



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **103 50 855.4**
 (22) Anmeldetag: **31.10.2003**
 (43) Offenlegungstag: **19.05.2004**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **19.01.2012**

(51) Int Cl.: **F02P 11/06 (2006.01)**

Innerhalb von drei 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:
60/423163 **01.11.2002** **US**
60/467660 **02.05.2003** **US**
10/458632 **11.06.2003** **US**

(73) Patentinhaber:
**Visteon Global Technologies Inc., Van Buren,
 Mich., US**

(74) Vertreter:
Bauer-Vorberg-Kayser, 50968, Köln, DE

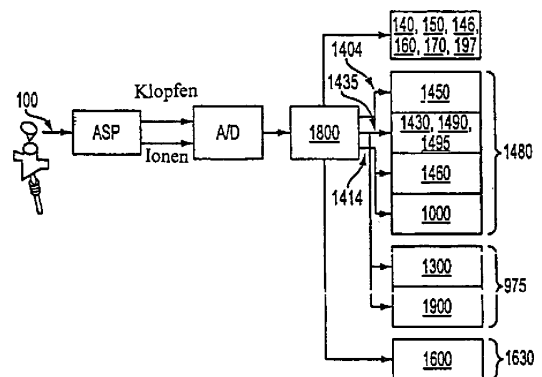
(72) Erfinder:
**Porter, David L., Westland, Mich., US; Huberts,
 Garlan J., Milford, Mich., US; Panages,
 Constantine, Saint Clair Shores, Mich., US; Zhu,
 Guoming G., Novi, Mich., US; Nation, Michael T.,
 Ypsilanti, Mich., US; Wang, Bruce, Troy, Mich.,
 US; Gould, Kenneth L., Fayetteville, Ga., US;
 Moran, Kevin D., Trenton, Mich., US**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE	603 12 757	T2
US	6 188 224	B1
US	6 222 368	B1
US	6 246 952	B1
US	6 343 500	B1
US	6 348 797	B1
US	6 360 587	B1
US	6 384 606	B1
US	6 386 183	B1
US	2003 / 0 164 025	A1
US	2003 / 0 164 164	A1
US	5 954 024	A
US	6 123 057	A
EP	0 926 337	A1
EP	1 217 207	A2

(54) Bezeichnung: **Zündspule mit integrierter Spulentreiber- und Ionisierungserfassungs-Schaltung**

(57) Hauptanspruch: Eine diskrete Zündkontroll- und Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung (80), die aufweist:
 – eine Zündspule (12), die eine Primärwicklung (16) mit einem ersten und einem zweiten Ende und eine Sekundärwicklung (18) mit einem ersten und zweiten Ende hat;
 – eine Spulentreiber-Schaltung (75), die einen Bipolartransistor mit integrierter Steuerelektrode (IGBT) aufweist, der die Kontrolle der Zündspule realisiert, mit einem ersten Ende, das operativ mit dem zweiten Ende von der Primärwicklung (16) verbunden ist und einem Kommando-Eingang für ein Kommandosignal (V_{IN});
 – eine Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung (80) mit mindestens zwei Eingängen und einem Ausgang, wobei ein erster Eingang operativ mit dem zweiten Ende der Primärwicklung (16) verbunden ist und ein zweiter Eingang operativ mit dem ersten Ende der Sekundärwicklung (18) verbunden ist;
 – eine Zündkerze (14), die operativ zwischen dem zweiten Ende der Sekundärwicklung (18) und Masse verbunden ist; gekennzeichnet durch
 – einen Stromverbraucher (94), der durch einen diskreten bipolaren Sperrschicht-Transistor realisiert...



Beschreibung

[0001] Die Anmeldung bezieht sich auf eine diskrete Zündkontroll- und Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Eine derartige Zündkontroll- und Ionisations-Erfassungs-Schaltung ist beispielsweise aus der US 6,360,587 B1 bekannt. Weitere Realisierungen von Zündkontroll- und Ionisations-Erfassungs-Schaltungen offenbaren die US 6,343,500 B1, die US 6,348,797 B1 und die US 6,386,183 B1. Die in der US 6,384,606 B1 offenbarte Zündkontroll- und Ionisations-Erfassungs-Schaltung erfasst induktiv die Spannung in der Sekundärspule. Aus den gewonnenen Informationen wird die optimale Zündenergie berechnet, so dass es möglich ist, die Zündkerze in einem optimalen Arbeitsfenster zu betreiben, wodurch der Verschleiß der Zündkerze verringert werden kann.

[0003] Aus der DE 603 12 757 T2, die ein Dokument im Sinne von § 3(2) PatG ist, ist eine diskrete Zündkontroll- und Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung ersichtlich, die aufweist:

- eine Zündspule, die eine Primärwicklung mit einem ersten und einem zweiten Ende und eine Sekundärwicklung mit einem ersten und zweiten Ende hat;
- eine Spulentreiber-Schaltung, die einen Bipolartransistor mit integrierter Steuerelektrode aufweist, der die Kontrolle der Zündspule realisiert, mit einem ersten Ende, das operativ mit dem zweiten Ende von der Primärwicklung verbunden ist und einem Kommando-Eingang für ein Kommandosignal;
- eine Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung mit einem Eingang und einem Ausgang, wobei der Eingang operativ mit dem ersten Ende der Sekundärwicklung verbunden ist;
- eine Zündkerze, die operativ zwischen dem zweiten Ende der Sekundärwicklung und Masse verbunden ist; und
- eine Verarbeitungsschaltung, die eine Bandpassfilter-/Verstärker-Schaltung, einen Gleichrichter-/Schwellenwertdetektor und eine Austastschaltung aufweist, operativ zwischen dem Kommando-Eingang der Spulentreiber-Schaltung und Masse verbunden ist und Störsignale und/oder Rauschen in Form von Spannungsimpulsen entfernt und verhindert, dass diese Impulse die Spulentreiber-Schaltung einschalten, das Passieren von Kommandosignalen an die Spulentreiber-Schaltung jedoch erlaubt.

[0004] Zündspulen-auf-Zündkerzen für Verbrennungsmotoren mit Transistortreibern, in ECMs oder anderen nahe gelegenen Positionen angeordnet, neigen zur Emission von großen elektromagnetischen Interferenzen und sind wegen der langen Leitungen das Ziel der Interferenz von anderen Komponenten. Ionisierungs-Erkennungs-Schaltungen haben wegen ihrer sehr kleinen Pegel der Stromsignale (im Bereich Mikroampere) größere Probleme mit elektromagnetischer Interferenz. Aufgrund der elektromagnetischen Interferenz können in benachbarten Stromkreisen Spannungen induziert werden, die auch Kommandosignalen ähneln können und entsprechende Reaktionen auslösen können. Insbesondere kann die Spulentreiber-Schaltung, welche die Zündung initiiert, unbeabsichtigt zu einem falschen Zeitpunkt ein Kommandosignal erhalten. Hierdurch kann es zu Fehlzündungen kommen, was ja durch die Zündkontroll- und Ionisations-Erfassungs-Schaltung gerade vermieden werden soll.

[0005] Mit Blick auf das oben Gesagte ist die Aufgabe der gegenwärtigen Erfindung, die Abgabe von unbeabsichtigten Kommandosignalen an die Spulentreiber-Schaltung zu vermeiden.

[0006] Gelöst wird die Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 1.

[0007] In einer Realisierung umfasst die gegenwärtige Erfindung eine Zündspule mit integriertem Spulentreiber und Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung eines Verbrennungsmotors, einschließlich einer Zündspule mit einer Primärwicklung und einer Sekundärwicklung, einer Zündkerze, die operativ verbunden ist zwischen einem zweiten Ende der Sekundärwicklung und Masse, einem Spulentreiber, der operativ verbunden ist mit der Primärwicklung der Zündspule und an der Zündspule angeordnet ist und einer Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung, die operativ verbunden ist mit der Primärwicklung der Zündspule und an der Zündspule angeordnet ist.

[0008] In einer anderen Realisierung weist die Erfindung mindestens einen Klippverbinder auf, der operativ verbunden ist zwischen der Zündspule und dem Spulentreiber sowie operativ verbunden ist zwischen der Zündspule und der Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung, wodurch die Zündspule, der Spulentreiber und die Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung angeschlossen sind.

[0009] In einer weiteren Realisierung sind die Zündspule, der Spulentreiber und die Ionisierungs-Erfassungsschaltung für den Betrieb von oder mehr als 140 Grad Celsius und Beschleunigungen von oder mehr als 20 g ausgelegt und zugelassen.

[0010] In einer anderen Realisierung sind der Spulentreiber und die Ionisierungs-Erfassungsschaltung auf einer Zündspule angeordnet.

[0011] In einer weiteren Realisierung sind der Spulentreiber und die Ionisierungs-Erfassungsschaltung auf der Seite einer Zündspule angeordnet.

[0012] Ein weiterer Ausblick auf die Anwendbarkeit der gegenwärtigen Erfindung wird durch die folgende ausführliche Beschreibung, Ansprüche und Zeichnung erkennbar. Es sollte jedoch verstanden sein, dass die ausführliche Beschreibung und bestimmte Beispiele, während sie auf bevorzugte Realisierungen der Erfindung hinweisen, nur zur Erklärung gegeben werden, weil verschiedene Änderungen und Modifikationen innerhalb des Gedankens und Ausblicks der Erfindung für Fachleute sichtbar werden.

Kurzbeschreibung der Zeichnung

[0013] Die gegenwärtige Erfindung wird besser verstanden werden durch die folgende ausführliche Beschreibung, die beigefügten Ansprüche und die begleitende Zeichnung, diese zeigt in

[0014] [Fig. 1](#) ein Ionisierungsrückkopplungs- und Kontrollsystem;

[0015] [Fig. 2](#) eine graphische Darstellung eines Ionisierungssignals;

[0016] [Fig. 3](#) eine graphische Darstellung, welche die Sekundärsignale und die Ionisierungssignale miteinander vergleicht;

[0017] [Fig. 4](#) eine graphische Darstellung des Ionisierungssignals, wenn die Zündkerze verschmutzt und der Isolator überhitzt ist;

[0018] [Fig. 5](#) den Effekt der Frühzündung an einem Ionisierungssignal;

[0019] [Fig. 6](#) ein Diagnose-Flussdiagramm der Schritte der gegenwärtigen Realisierung eines Verfahrens zur Überwachung des Wirkungsgrads der Zündung;

[0020] [Fig. 7](#) ein Flussdiagramm der Schritte der gegenwärtigen Realisierung, um mit dem Ionisierungssignal die Zündung zu diagnostizieren;

[0021] [Fig. 8](#) ein Schaltbild einer Schaltung zur Messung des Ionisierungsstroms in einem Brennraum eines Verbrennungsmotors;

[0022] [Fig. 9a](#) eine graphische Darstellung des Kontrollsignals V_{IN} , von PCM nach IGBT, gegen die Zeit; mit PCM = Antriebs-Überwachungs-Modul und IGBT = Bipolartransistor mit integrierter Steuerelektrode;

[0023] [Fig. 9b](#) eine graphische Darstellung des Stromflusses I_{PW} , durch die Primärwicklung der Zündspule gegen die Zeit;

[0024] [Fig. 9c](#) ein Ausgangs-Spannungssignal V_{OUT} , das aus einer normalen Verbrennung resultiert;

[0025] [Fig. 10](#) den typischen Aufbau eines 4-Zylinder-Reihenmotors;

[0026] [Fig. 11](#) den 4-Takt-Zyklus eines modernen Automobilmotors;

[0027] [Fig. 12](#) die Ventilanordnung eines Motors;

[0028] [Fig. 13](#) die Nocken, montiert auf einer Nockenwelle;

[0029] [Fig. 14](#) die unten liegende und die oben liegende Nockenwelle;

- [0030] [Fig. 15](#) die 4-Takt-Überdeckung an der Kurbelwelle des Motors;
- [0031] [Fig. 16](#) den Aufbau zum Erzeugen des Ionisierungsstroms;
- [0032] [Fig. 17](#) ein typisches Ionisierungssignal;
- [0033] [Fig. 18](#) den Takt gegen den Kurbelwellen-Winkel (in Grad) für einen Arbeitsablauf eines 4-Zylinder-Motors;
- [0034] [Fig. 19](#) die optimale Energiemenge eines Zündfunken;
- [0035] [Fig. 20](#) die Verweilzeit;
- [0036] [Fig. 21](#) den Zündfunken-Zeitpunkt in Abhängigkeit vom Zylinderdruck;
- [0037] [Fig. 22](#) die Ionisierung zur Zylinder-Identifizierung durch Verwenden von Teilladung;
- [0038] [Fig. 23](#) ein Abtastungsverfahren zur Bestimmung, ob ein Funke entstanden ist;
- [0039] [Fig. 24](#) ein Gerät zur Integration der Energie; zur Bestimmung, ob ein Funke entstanden ist;
- [0040] [Fig. 25](#) ein Flussdiagramm der unternommenen Schritte, um festzulegen, ob in einem Zylinder ein Funke entstanden ist;
- [0041] [Fig. 26](#) ein Flussdiagramm der unternommenen Schritte in dem Gerät zur Integration der Energie, um festzustellen, ob ein Zündfunke entstanden ist;
- [0042] [Fig. 27](#) alle Zylinder, in denen bei einer vorgegebenen Position der Kurbelwelle ein Funke entsteht, wobei aktuell nur in einem Zylinder Kompression stattfindet;
- [0043] [Fig. 28](#) die Ionisierung zur Zylinder-Identifizierung durch die Verwendung der Zündfunkendauer;
- [0044] [Fig. 29](#) einen flankenbasierenden Timer mit Sample-and-Hold-Schaltung;
- [0045] [Fig. 30](#) ein Flussdiagramm der Schritte, die in der Komparator-Integrator-Schaltung ablaufen;
- [0046] [Fig. 31](#) eine Komparator-Integrator-Schaltung;
- [0047] [Fig. 32](#) ein Flussdiagramm der verwendeten Schritte, wenn die Bestimmung der Zündfunkendauer durch Verwenden der Flankenerfassung erfolgt;
- [0048] [Fig. 33a](#) eine Draufsicht auf die Zündspule mit integrierter Zündspulentreiber- und Ionisierungs-Erfassung-Schaltung; mit der Schaltung auf der Zündspule angeordnet;
- [0049] [Fig. 33b](#) eine Seitenansicht der Zündspule mit integrierter Zündspulentreiber- und Ionisierungs-Erfassung-Schaltung; mit der Schaltung auf der Zündspule angeordnet;
- [0050] [Fig. 34](#) eine Ansicht der Zündspule mit integrierter Zündspulentreiber- und Ionisierungs-Erfassung-Schaltung; mit der Schaltung an der Seite der Zündspule angeordnet;
- [0051] [Fig. 35](#) ein Schaltbild eines Subsystems mit integriertem Zündspulentreiber und Ionisierungs-Erfassung;
- [0052] [Fig. 36a](#) das Ladebefehl-Signal V_{IN} ;
- [0053] [Fig. 36b](#) die erfasste Ionisierungsspannung;
- [0054] [Fig. 36c](#) die Ionisierungsspannung, multiplext mit dem Rückkopplungssignal des Ladestroms;

- [0055] [Fig. 37](#) eine Schaltung eines Subsystems mit integriertem Zündspulentreiber und Ionisierungs-Erfassung;
- [0056] [Fig. 38](#) ein Flussdiagramm und die Schritte der gegenwärtigen Realisierung eines Subsystems mit integriertem Zündspulentreiber und Ionisierungs-Erfassung;
- [0057] [Fig. 39](#) eine schematische Darstellung einer Zündspule;
- [0058] [Fig. 40](#) das Laden einer Zündspule;
- [0059] [Fig. 41](#) ein Ladestrom-Profil einer Zündspule;
- [0060] [Fig. 42](#) das Entladen einer Zündspule;
- [0061] [Fig. 43](#) einen Energiespeicher-Kondensator, von der Primärwicklung geladen;
- [0062] [Fig. 44](#) einen Energiespeicher-Kondensator, von der Sekundärwicklung geladen;
- [0063] [Fig. 45](#) ein schematisches Schaltbild einer geregelten Energieversorgung zur Im-Zylinder-Ionisierungs-Erfassung durch Sammeln der überschüssigen Streu- und Magnetisierungsenergie der Zündspule;
- [0064] [Fig. 46](#) das Laden des Hochspannungs-Kondensators;
- [0065] [Fig. 47](#) das Entladen des Hochspannungs-Kondensators;
- [0066] [Fig. 48](#) ein Flussdiagramm, das die Schritte der gegenwärtigen Realisierung zeigt: eine geregelte Stromversorgung zur Im-Zylinder-Ionisierungs-Erfassung durch Sammeln bzw. Erfassen der überschüssigen Streu- und Magnetisierungsenergie der Zündspule;
- [0067] [Fig. 49](#) eine Schaltung eines Subsystems mit integriertem Zündspulentreiber und Ionisierungs-Erfassung, die Ionisierungs- und Ladestrom multiplext;
- [0068] [Fig. 50a](#) das Gate-Signal der Ladung und das differenzielle Vergleichs-Gate-Signal
- [0069] [Fig. 50b](#) die erfassten Ionisierungs- und Rückkopplungssignale des Ladestroms;
- [0070] [Fig. 50c](#) das differenzielle Ionisierungssignal, multiplext mit dem Rückkopplungssignal des Ladestroms;
- [0071] [Fig. 51](#) ein Flussdiagramm, das die Schritte der gegenwärtigen Realisierung des integrierten Zündspulentreiber- und Ionisierungs-Erfassungs-Subsystems **90** veröffentlicht, in dem die Kontaktzahl um zwei verringert wurde;
- [0072] [Fig. 52](#) ein logisches Blockdiagramm der gegenwärtigen Erfindung für die Option ASIC (ICIS), mit ASIC Anwendungsspezifische integrierte Schaltung und ICIS Zündkontroll-Ionen-Sensor-ASIC;
- [0073] [Fig. 53](#) ein logisches Blockdiagramm der gegenwärtigen Erfindung für die Option Schaltung in einem Gehäuse DICIS;
DICIS = diskret aufgebauter ICIS
- [0074] [Fig. 54](#) ein Schaltbild eines Stromverbrauchers **94**; und
- [0075] [Fig. 55](#) ein Schaltbild einer Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung durch Verwendung einer Ladungspumpe als Vorspannungsquelle.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN REALISIERUNG

- [0076] Die gegenwärtige Erfindung erfasst ein Ionisierungssignal im Brennraum eines Verbrennungsmotors von einer Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung. Das hierin beschriebene System und gemeinsame Subsysteme

verwenden das erfasste Ionisierungssignal, um folgendes zu überwachen: Zündparameter, Diagnose und Verbesserung der Motorleistung, Erfassen der Zylinder-Identifizierung, Kontrolle des Kraftstoff-Luft-Verhältnisses, Kontrolle des Zeitpunktes der Zündverzögerung, Kontrolle des Minimalzeitpunkts für den besten Zeitpunkt des Drehmoments und Kontrolle der Auspuffgas-Rückströmung, zusätzlich zu anderen Eigenschaften, die in den folgenden Realisierungen gezeigt werden. Um es deutlich zu machen, sei bemerkt, dass viele der Einzelheiten, bezüglich der Methode und Geräte zur Verwendung von entweder einem ASIC oder einer Schaltung in einem Gehäuse, um einen IGBT (Bipolar-Transistor mit integriertem Gate) und eine Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung auf einem Siliziumträger oder entsprechend in einem Gehäuse zu integrieren, gemäß der gegenwärtigen Erfindung in Abschnitt J dieser ausführlichen Beschreibung beschrieben wird.

[0077] Diese ausführliche Beschreibung schließt eine Anzahl von erfinderischen Eigenschaften ein, die allgemein auf die Erfassung und/oder Verwendung eines Ionisierungsstroms bezogen sind. Diese Eigenschaften können für sich selbst oder in Kombination mit anderen beschriebenen Eigenschaften verwendet werden. Während eine oder mehrere Eigenschaften Bestandteil der schwebenden Ansprüche sind, können andere Eigenschaften, die nicht in den angehängten Ansprüchen eingeschlossen sind, in den Ansprüchen einer oder mehrerer separater Anmeldungen eingeschlossen sein, zur gleichen Zeit gespeichert oder zugunsten des Besten der gegenwärtigen Anmeldung.

[0078] Zur Klarheit wird jede der Eigenschaften in separaten Abschnitten dieser ausführlichen Beschreibung beschrieben. Abschnitt A zeigt die Verwendung eines Ionisierungssignals von einer Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung, um Zündparameter wie primärer Ladezeitpunkt (oder Zeit), primäre Ladedauer, Zündzeitpunkt oder Zündfunkenzeitpunkt und Zünddauer oder Zündfunkendauer zu überwachen; für ein zukünftiges 'smartes' Kontrollsystem der Zündung.

[0079] Abschnitt B zeigt eine Schaltung zur Messung des Ionisierungsstroms im Brennraum eines Verbrennungsmotors. In dieser Schaltung fließen der Zündstrom und der Ionisierungsstrom in der gleichen Richtung durch die Sekundärwicklung der Zündspule und die Schaltung erfasst, durch Anlegen einer Vorspannung über der Zündfunkenstrecke, ein Ionisierungssignal. Trotz der beschriebenen bevorzugten Schaltung werden viele Fachleute verstehen, dass viele der Eigenschaften der Erfindung durch andere Ionisierungs-Erfassungs-Schaltungen oder Methoden durchgeführt werden können, ohne den Bereich der angehängten Ansprüche zu verlassen.

[0080] Abschnitte C und D beziehen sich im Allgemeinen auf Verfahren zum Erfassen der Zylinder-Identifizierung durch die Anwendung der Im-Zylinder-Ionisierung zum Erfassen des Zündfunkens. Abschnitt C zeigt im Besonderen ein Verfahren zum Erfassen der Zylinder-Identifizierung durch Verwenden der Zündfunken-Phase eines Ionisierungssignals, um den aktuellen Kurbelwellen-Zyklus zu bestimmen, d. h. Zylinder-Identifizierung, in der die Zündspule nur teilweise auf einen vorbestimmten Pegel geladen ist (anstatt vollständig geladen). Wird die Luft in einem Zylinder komprimiert (Zylinder befindet sich im Kompressionstakt), steigt der Widerstand zwischen den Zündkerzen-Elektroden. Die Zylinder, in denen keine Zündung stattfindet, befinden sich im Kompressionstakt, weil die Dichte des Gasgemisches groß genug ist, dass die teilweise geladenen Zündspulen nicht in der Lage sind, die erforderliche Spannung zu liefern, um den Widerstand der Zündfunkenstrecke zu überwinden. Abschnitt D zeigt weiterhin Verfahren zum Erfassen der Zylinder-Identifizierung durch die Bestimmung, welcher Zylinder sich in Kompression befindet. Der Zylinder mit der kürzesten Zündfunkendauer ist in Kompression. Die beiden verwendeten Verfahren, um diese Dauer zeitlich zu kontrollieren, sind Flankenerfassung und Integration.

[0081] Abschnitt E zeigt eine Schaltung, die eine Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung sowie einen Zündspulentreiber-Transistor einschließt, die an eine Anordnung Zündspule-auf-Zündkerze integriert sind. Durch Anordnen der Schaltung auf der Oberseite oder der Seite der Zündspule wird der Abstand der Anschlüsse der Schaltung zur Sekundärwicklung minimalisiert. Die Schaltung ist deshalb weniger anfällig gegenüber Störungen und Rauschen. Ein anderer Vorteil ist, dass die Anordnung leicht montiert werden kann.

[0082] Abschnitt F zeigt Verfahren und Gerät um beide, das Ionisierungssignal und das Rückkopplungssignal des Treiberstroms, in ein Signal zu multiplexen, so dass die Zündspule mit integrierter Treiber- und Ionisierungsschaltung die gleiche Kontaktzahl hat wie das Design Treiber-auf-Spule. Werden an die Zündspule beide Schaltungen, die Zündspulen-Treiberschaltung und die Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung, integriert (wie in Abschnitt E beschrieben), bleibt das Problem offen, die Kontaktzahl des integrierten Pakets zu minimieren, um bei beiden, der Treiberschaltung und der Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung, die Kosten zu senken. Durch Multiplexen des Rückkopplungssignals des Zündspulen-Ladungsstroms mit dem Ionisierungssignal, wird die Kontaktzahl des Pakets um 1 verringert.

[0083] Abschnitt G zeigt ein Zwei-Stufen-Verfahren und Gerät zum Laden einer Ionisierungs-Erfassungsschaltung, gegenüber einer Stufe, in der ein zusätzlicher Energiespeicher-Kondensator verwendet wird. Der zweite Kondensator ersetzt den ersten Kondensator als die primäre Energiespeicher-Einheit. Dieses Zwei-Stufen-Verfahren des Ladens erzeugt eine stabile Spannung von 100 Volt am Ausgang des ersten Kondensators. Zusätzlich ist durch den Einsatz von zwei Kondensatoren oder Stufen mehr Energie für die Ionisierungs-Erfassungsschaltung verfügbar.

[0084] Abschnitt H zeigt das Multiplexen des Gatesignals der primären Zündspulen-Ladung mit beiden, dem Ionisierungs- und dem Rückkopplungssignal des Treiberstroms, so dass die Zündspule mit einer integrierten Treiber- und Ionisierungsschaltung (siehe Abschnitt E) nur eine Kontaktzahl von drei hat.

[0085] Abschnitt J zeigt die Verwendung von entweder einer ASIC oder einer Schaltung in einem Gehäuse, um einen IGBT und eine Ionisierungs-Erfassungsschaltung auf einem Siliziumträger, oder entsprechend in einem Elektronikgehäuse, in integrieren. Diese Einheiten verringern die Kosten und die Kompliziertheit eines Im-Zylinder-Ionisierungs-Erfassungssystems durch Vereinen der Funktionen in einem ASIC oder in einem Gehäuse.

[0086] Abschnitt K zeigt die Verwendung einer Hochspannungs-Ladungspumpe, um DC-Vorspannung zum Messen des Ionisierungsstroms zur Verfügung zu stellen.

[0087] Abschnitt A: Zünddiagnose durch Verwenden des Ionisierungssignals Diese Eigenschaft nutzt ein Ionisierungs-Signal von einer Ionisierungs-Erfassungsschaltung, um Zündparameter wie z. B.: primärer Ladezeitpunkt (oder Zeit), primäre Ladedauer, Zündzeitpunkt oder Zündfunkenzeitpunkt und Zünddauer oder Zündfunkenendauer zu überwachen; für ein zukünftiges 'smarteres' Zündkontrollsystem. Zusätzlich wird das Ionisierungs-Signal (ebenfalls) benutzt, um Verschmutzung der Zündkerze durch Ruß, Überhitzung des Isolators, Frühzündung sowie eine defekte Ionisierungsschaltung oder Zündspule zu erfassen.

[0088] Die Leistung eines Motors ist stark abhängig von der Leistung seines Zündsystems, speziell bei niedriger Belastung und hoher Abgasrückführung EGR (exhaust gas recirculation). Das Verständnis, wie sich ein Zündsystem bei verschiedenen Motorbedingungen verhält, ist sehr vorteilhaft für eine 'smarte' Kontrolle des Zündsystems. Die Primärwicklung (der Zündspule) eines Zündsystems wird typischerweise bis nahe an die geforderte Energiemenge, als Funktion der Betriebsbedingungen des Motor, wie örtliches Kraftstoff-Luft-Verhältnis A/F, Druck, Temperatur und EGR-Konzentration, geladen. Die wahre Ladeenergie der Primärwicklung und die Entladeenergie der Sekundärwicklung sind unbekannt. Dies führt zu einem Zündsystem, welches nicht robust gegenüber Variierung der Teile, Alterung des Motors, Änderungen der Betriebsbedingungen des Motors usw. ist. Um die Robustheit des Zündsystems zu verbessern, wird ein 'smarteres' Zündsystem, das seine Ladeenergie der Entladeenergie anpassen kann, erwünscht. Aus diesem Grund ist die Information über die sekundäre Entladung sehr wichtig. Weil die Durchbruchspannung und Zündfunkenendauer im Augenblick der Entladung von Zyklus zu Zyklus unterschiedlich sein kann, ist es wünschenswert, einige dieser Parameter zu überwachen.

[0089] Diese Erfindung nutzt das Ionisierungs-Signal der Zündkerze, um die primäre Ladezeit (oder den primären Ladungszeitpunkt **146**) und primäre Ladedauer sowie die sekundäre Entladezeit und -dauer zu überwachen, um den Grundstein für eine 'smarte' Kontrolle des Zündsystems **110** zu legen. Zusätzlich schließt diese Erfindung auch die Verwendung des Ionisierungs-Signals ein, um Fehlfunktion der Zündkerze, wie Verschmutzung durch Ruß oder Überhitzen des Isolators **197**, Frühzündung **190**, sowie eine defekte Ionisierungsschaltung und/oder Zündspule zu erfassen.

[0090] Dieses Merkmal der Erfindung wird im Allgemeinen an ein Subsystem des Zünddiagnose- und Rückkopplungs-Kontrollsystems weitergeleitet, welches die Rückkopplung des Ionisierungsstroms verwendet. Die Beziehung dieses Subsystems zum Diagnose- und Kontrollsystem wird gezeigt in [Fig. 1](#) im obersten Kasten 'Zündsystem-Diagnose': **140**, **150**, **146**, **160**, **170** und **197**, welches die folgenden Zündparameter einschließt: Zünddauer **170**, Ladedauer **150**, Warnsignal **197**, primäre Ladezeit **146**, Zündzeitpunkt **160** und Vor-Ladung **140**. Die vier Kästen des Zünddiagnose- und Rückkopplungs-Kontrollsystems, die das Rückkopplungssignal des Ionisierungsstroms verwenden und auf den Zündfunken-Zeitpunkt **1480** gerichtet sind, beinhalten: den Regelkreis der Begrenzungskontrolle des Klopfens (verbessert) **1450**, den Regelkreis MTB der Zündfunken-Kontrolle **1430**, **1490** und **1495**, den Regelkreis der Begrenzungskontrolle von Fehlzündung und teilweiser Verbrennung (verzögert) **1460** und den Regelkreis zur Begrenzung der Kaltstart-Verzögerung **1000**. Es gibt zwei Kästen, bezeichnet als Kraftstoff-Gleichgewichts-Vektor **975**, mit der Kontrolle des individuellen Kraftstoff-Luft-Verhältnisses A/F **1300** für jeden Zylinder und der Optimierung des Kraftstoff-Luft-Verhältnisses WOT A/

F **1900**. Ein Kasten ist auf die gewünschte Rate der Abgasrückführung (exhaust gas recirculation rate) **1630** gerichtet, mit der Optimierung der Abgasrückführung (EGR rate optimization) **1600**. Die anderen drei Kästen in **Fig. 1** sind eine analoge Signalverarbeitung ASP, ein Analog-Digital-Wandler A/D und ein Element zur Beurteilung der Parameter **1800**. Das Element zur Beurteilung der Parameter zeigt die Ausgänge Klopfen **1404**, MTB **1435** und Fehlzündungs-Signale **1414**. Der Eingang in das analoge Signalverarbeitungs-Element ASP ist ein Ionisierungsstrom **100**.

[0091] Ein typisches Ionisierungssignal gegen den Kurbelwellen-Winkel ist in **Fig. 2** dargestellt. Zu bemerken ist, dass das gezeigte Signal eine Spannung ist, proportional dem erfassten Ionisierungsstrom. Der Vergleich der Sekundärspannung **120** und der Stromkurve **130** (**Fig. 3**) macht klar, dass der Anfangsanstieg des Ionensignals vor dem scharfen Wechsel zur Zündzeit die Vor-Ladung (oder der Start der Ladung) der Primärwicklung **140** ist, siehe **Fig. 2**. Nachdem das Laden der Primärwicklung beendet ist, sinkt das Signal und steigt (danach) fast vertikal an (d. h. ein Schritt Anstieg gegen den Kurbelwinkel). Der Durchbruch ist an der ansteigenden Flanke des Schrittes erfolgt. Der Zeitpunkt des Zündfunken kann ab diesem Punkt erfasst werden. Die Zündzeit oder Zündfunkenzeit erfolgt, wenn das Ionisierungssignal treppenförmig ansteigt. Das ist die Zündzeit oder Zündfunkenzeit **160**. Der Zeitunterschied zwischen dem ersten Anstieg und dem gestuften Anstieg ist die primäre Ladungsdauer **150**. Entsteht der Funke über der Zündfunkenstrecke, fällt das Signal schnell und der Sekundärstrom **130** erreicht wegen des Zündfunken Null (siehe **Fig. 3**). Die Dauer zwischen dem scharf abgestuften Anstieg und dem nachfolgenden Abfall repräsentiert die Zündfunken-Dauer **170**. Aus diesem Grund können mit dem Ionisierungssignal die primäre Ladezeit **146**, die primäre Ladedauer **150**, der Zündzeitpunkt **160** und die Zündfunken-Dauer **170** erfasst werden. Diese Parameter können für jeden Zylinder des Motors für jeden Motorzyklus überwacht werden.

[0092] Ist eine Zündkerze verschmutzt oder ist der Isolator der Zündkerze überhitzt oder ist die Zündkerze selbst vorübergehend mit Kraftstoffnebel kontaminiert, wirkt der Isolator der Zündkerze wie ein Leiter. Bei diesen Bedingungen ist die Grundlinie des Ionisierungssignals nicht länger gleich der Vorspannung **105**. Abhängig von der Verschmutzung der Zündkerze und der Überhitzung des Isolators wird die Grundlinie des Ionisierungssignals gegenüber der Vorspannung **105** angehoben, **180**; siehe **Fig. 4**. In der Zwischenzeit wird ein Teil der Zündenergie über die verschmutzte Zündkerze oder den Isolator während der primären Ladedauer abfließen. Eventuell ist die verbleibende Energie nicht groß genug, um die Zündfunkenstrecke zu überbrücken und eine Fehlzündung wird erfolgen (**196** in **Fig. 6**). In einigen Fällen kann die Grundlinie so weit ansteigen, dass sie den Grenzwert des Ionisierungssignals erreicht und das Signal wird wertlos. Ist die Grundlinie einmal auf eine Schwelle (oder darüber hinaus) angestiegen (zum Beispiel ein Anstieg von etwa 20% oder 1 Volt oberhalb der anfänglichen Basis), wird ein Warnsignal, das auf Verschmutzung der Zündkerze oder Überhitzung hinweist, ausgesendet (**197** in **Fig. 6**)

[0093] Entsteht eine Vorzündung im Zylinder, wird das Ionisierungssignal **100** Ionen erkennen, bevor die Zündung erfolgt (**190**), siehe **Fig. 5**, die Vor-Ionisierung wegen Vorzündung zeigt. Ein Vorzündungs-Zyklus könnte auf eine frühere Vorzündung während des nächsten Zyklus hinweisen und den Motor beschädigen. Es ist erforderlich, den Motor auf niedrigeren Betriebsbedingungen zu kontrollieren, wenn einmal eine Vorzündung festgestellt ist.

[0094] Um eine offene oder kurzgeschlossene Ionisierungsschaltung zu erkennen, wird die Vorspannung **105** weit entfernt von den Zünd- und Verbrennungsvorgängen abgetastet (zum Beispiel 180 Grad nach dem oberen Totpunkt). Ist die abgetastete Vorspannung unterhalb einer vorgegebenen Schwelle (wie 0,5 Volt), kann eine offene Ionisierungsschaltung oder ein Kurzschluss gegen Masse erfasst werden (**198** in **Fig. 6**); ist die Vorspannung größer als eine Schwelle (zum Beispiel 4,5 Volt), soll eine Ionisierungsschaltung, die zur Batterie kurzgeschlossen ist, ausgegeben werden (**199** in **Fig. 6**). Die Information: offene Schaltung oder kurzgeschlossene Schaltung kann verwendet werden, um die Bedingungen des Zündsystems zu diagnostizieren (siehe **Fig. 6** und **Fig. 7**).

Abschnitt B: Schaltung zur Messung des Ionisierungsstroms

[0095] **Fig. 8** ist ein grundlegendes Schema einer Schaltung **10** zur Messung des Ionisierungsstroms im Brennraum eines Verbrennungsmotors, die den Funktionsblock **80** in **Fig. 35** repräsentiert. Die Schaltungen, die in **Fig. 35**, jedoch nicht in **Fig. 8**, gezeigt sind, sind die Vorspannungs-Schaltung und die Schaltung für den Schalter zum Multiplexen des primären Ladestroms. Die Komponenten und die Konfiguration der Schaltung **10** sind zuerst beschrieben, gefolgt von der Beschreibung der Funktion der Schaltung.

[0096] Als Erstes, mit Bezug auf die Komponenten und die Geometrie dieses Bestandteils, weist die Schaltung **10** eine Zündspule **12** und eine Zündkerze **14** auf, die in der Brennkammer eines Verbrennungsmotors angeordnet ist. Die Zündspule **12** hat eine Primärwicklung **16** und eine Sekundärwicklung **18**. Die Zündkerze **14** liegt in Reihe mit einem ersten Ende der Sekundärwicklung **18** und Masse. Die elektrischen Verbindungen zu einem zweiten Ende der Sekundärwicklung **18** sind weiter unten beschrieben. Ein erstes Ende der Primärwicklung **16** ist elektrisch mit dem Pluspol einer Batterie **20** verbunden. Ein zweites Ende der Primärwicklung **16** ist elektrisch mit dem Kollektor eines Bipolartransistors mit integrierter Steuerelektrode IGBT, oder anderem Transistortyp, oder Schalter **22** und einem ersten Ende eines ersten Widerstands **24** verbunden. Die Basis von IGBT **22** empfängt ein Kontrollsignal, in **Fig. 8** als V_{IN} bezeichnet, von einem Antriebs-Überwachungs-Modul PCM, nicht gezeigt. Das Kontrollsignal V_{IN} steuert IGBT **22** EIN oder AUS. Ein zweiter Widerstand **25** ist elektrisch in Reihe mit dem Emitter von IGBT **22** und Masse verbunden. Ein zweites Ende des ersten Widerstandes **24** ist elektrisch mit der Anode einer ersten Diode **26** verbunden.

[0097] Die Schaltung **10** umfasst weiterhin einen Kondensator **28**. Ein erstes Ende des Kondensators **28** ist elektrisch mit der Kathode der ersten Diode **26** und einem Stromspiegel **30** verbunden. Ein zweites Ende des Kondensators **28** liegt auf Masse. Eine erste Zenerdiode **32** ist elektrisch über dem, oder mit anderen Worten, parallel mit dem Kondensator **28** verbunden; mit der Kathode der Zenerdiode **32** elektrisch verbunden mit dem ersten Ende des Kondensators **28** und der Anode der ersten Zenerdiode **32** elektrisch verbunden mit Masse.

[0098] Die Stromspiegel-Schaltung umfasst einen ersten und einen zweiten pnp-Transistor, jeweils **34** und **36**. Die Transistoren **34** und **36** sind gepaarte Transistoren. Die Emitter der pnp-Transistoren **34** und **36** sind elektrisch mit dem ersten Ende des Kondensators **28** verbunden. Die jeweilige Basis der pnp-Transistoren **34** und **36** sind elektrisch miteinander und einem ersten Knotenpunkt **38** verbunden. Der Kollektor des ersten pnp-Transistors **34** ist ebenfalls elektrisch mit dem ersten Knotenpunkt **38** verbunden, wodurch Kollektor und Basis des ersten pnp-Transistors **34** kurzgeschlossen sind. Daher arbeitet der erste pnp-Transistor **34** als eine Diode. Ein dritter Widerstand **40** ist elektrisch in Reihe geschaltet zwischen dem Kollektor des zweiten pnp-Transistors **36** und Masse.

[0099] Die Schaltung **10** weist ebenfalls eine zweite Diode **42** auf. Die Kathode der zweiten Diode **42** ist elektrisch mit dem ersten Ende des Kondensators **28** und dem jeweiligen Emitter des ersten und zweiten pnp-Transistors **34** und **36** verbunden. Die Anode der zweiten Diode **42** ist elektrisch mit dem ersten Knotenpunkt **38** verbunden.

[0100] Die Schaltung **10** umfasst ebenfalls einen vierten Widerstand **44**. Ein erstes Ende des vierten Widerstands **44** ist elektrisch mit dem ersten Knotenpunkt **38** verbunden. Ein zweites Ende des vierten Widerstands **44** ist elektrisch mit dem zweiten Ende der Sekundärwicklung **18** (gegenüber der Zündkerze) und der Kathode einer zweiten Zenerdiode **46** verbunden. Die Anode der zweiten Zenerdiode **46** liegt auf Masse.

[0101] Bezugnehmend auf die **Fig. 8** und **Fig. 9**, wird nun die Schaltung **10** beschrieben. **Fig. 9a** ist eine graphische Darstellung des Kontrollsignals V_{IN} vom PCM zum IGBT **22** gegen die Zeit. **Fig. 9b** ist eine graphische Darstellung des Stromflusses I_{PW} durch die Primärwicklung **16** der Zündspule **12** gegen die Zeit. **Fig. 9c** ist eine graphische Darstellung eines Ausgangs-Spannungssignals der Schaltung **10** gegen die Zeit. Wie oben erwähnt, empfängt der IGBT **22** vom PCM ein Kontrollsignal V_{IN} , um den Zeitpunkt zu kontrollieren von: 1) der Zündung oder Verbrennung und 2) der Ladung des Kondensators **28**. In dieser Schaltungs-Konfiguration arbeitet der IGBT **22** als Schalter, mit einem AUS- oder nicht leitendem Status und einem EIN- oder leitenden Status.

[0102] Am Anfang, zu der Zeit t_0 , ist der Kondensator **28** nicht vollständig geladen. Das Kontrollsignal V_{IN} vom PCM ist LOW (siehe **Fig. 9a**), wodurch der IGBT **22** im AUS- oder nichtleitenden Status arbeitet. Die Primärwicklung **16** sieht eine offene Schaltung und deshalb fließt kein Strom durch die Wicklung **16**.

[0103] Zum Zeitpunkt t_1 schaltet das Kontrollsignal V_{IN} vom PCM von LOW nach HIGH (siehe **Fig. 9a**), wodurch der IGBT **22** im EIN- oder leitenden Status arbeitet. Strom von der Batterie **20** beginnt durch die Primärwicklung **16** der Zündspule **12**, den leitenden IGBT **22** und den zweiten Widerstand **25** gegen Masse zu fließen. Jede Art von Schaltern oder Schaltmechanismen kann verwendet werden, um Strom durch die Primärwicklung **16** zu leiten. In einer bevorzugten Realisierung wird IGBT **22** verwendet. Zwischen der Zeit t_1 und der Zeit t_2 beginnt der primäre Wicklungsstrom I_{PW} anzusteigen (dargestellt in **Fig. 8** mit einer gepunkteten Linie). Der Zeitraum zwischen der Zeit t_1 und der Zeit t_2 ist ungefähr eine Millisekunde lang, was mit der Art der verwendeten Zündspule variiert.

[0104] Zum Zeitpunkt t_2 schaltet das Kontrollsignal V_{IN} vom PCM von HIGH nach LOW (siehe [Fig. 9a](#)), wodurch der IGBT **22** im AUS- oder nichtleitenden Status arbeitet. Wenn der IGBT **22** im AUS-Status ist, beginnt die Rücklaufspannung von der Primärwicklung **16** der Zündspule **12** den Kondensator **28** schnell bis auf die geforderte Vorspannung aufzuladen. Zwischen dem Zeitpunkt t_2 und dem Zeitpunkt t_3 steigt die Spannung am ersten Ende der Sekundärwicklung **18**, die mit der Zündkerze **14** verbunden ist, auf einen Spannungspegel, bei dem die Zündung beginnt. Der Zeitraum zwischen der Zeit t_2 und der Zeit t_3 ist ungefähr 10 Mikrosekunden lang. Der erste Widerstand **24** wird verwendet, um den Ladestrom zum Kondensator **28** zu begrenzen. Der Widerstandswert des ersten Widerstandes **24** ist ausgewählt, um sicher zu stellen, dass der Kondensator vollständig geladen wird, wenn die Rücklaufspannung größer ist als die der Zenerdiode.

[0105] Zum Zeitpunkt t_3 liegt eine Zündspannung von der Sekundärwicklung **18** der Zündspule **12** an der Zündkerze **14** an und die Zündung beginnt. Zwischen dem Zeitpunkt t_3 und dem Zeitpunkt t_4 beginnt die Verbrennung des Gas-Luft-Gemisches und ein Zündstrom I_{IGN} (dargestellt in [Fig. 8](#) durch eine strich-punktierete Linie) fließt durch die zweite Zenerdiode **46**, die Sekundärwicklung **18** der Zündspule **12** und die Zündkerze **14** gegen Masse. Zum Zeitpunkt t_4 ist die Zündung vollendet und die Verbrennung des Gas-Luft-Gemisches dauert an.

[0106] Zum Zeitpunkt t_5 dauert der Verbrennungsprozess an und der geladene Kondensator **28** legt eine Vorspannung über die Elektroden der Zündkerze **14**, wodurch ein Ionisierungsstrom I_{ION} durch die Ionen, die durch den Verbrennungsprozess erzeugt wurden, entsteht, der durch den Kondensator **28** (ab)fließt. Der Stromspiegel **30** erzeugt einen isolierten Spiegelstrom I_{MIRROR} , der mit dem Ionisierungsstrom I_{ION} identisch ist. Ein Vorstrom bzw. BIAS-Strom I_{BIAS} (dargestellt in [Fig. 8](#) durch eine lang-kurz-kurz-gestrichelte Linie) der vom Kondensator **28** zum zweiten Knotenpunkt **48** fließt, ist gleich der Summe aus Ionisierungsstrom I_{ION} und isoliertem Spiegelstrom I_{MIRROR} (d. h. $I_{BIAS} = I_{ION} + I_{MIRROR}$).

[0107] Der Ionisierungsstrom I_{ION} (dargestellt in [Fig. 8](#) mit einer gestrichelten Linie) fließt vom zweiten Knotenpunkt **48** durch den ersten pnp-Transistor **34**, den ersten Knotenpunkt **38**, den vierten Widerstand **44**, die Sekundärwicklung **18** der Zündspule **12** und die Zündkerze **14** gegen Masse. Bei dieser Methode wird der geladene Kondensator **28** als Energiequelle verwendet, um eine Vorspannung von etwa 80 Volt über die Zündkerze **14** zu legen, wodurch der Ionisierungsstrom I_{ION} erzeugt wird. Die Vorspannung wird durch die Sekundärwicklung **18** und den vierten Widerstand **44** an die Zündkerze **14** angelegt. Die Induktion der Sekundärwicklung, der vierte Widerstand **44** und die effektive Kapazität der Zündspule begrenzen die Bandbreite des Ionisierungsstroms. Dementsprechend wird der Widerstandswert des vierten Widerstands **44** so gewählt, dass die Bandbreite des Ionisierungssignals maximiert, der Frequenzbereich optimiert und auch der Ionisierungsstrom begrenzt werden. In einer Realisierung der gegenwärtigen Erfindung hat der vierte Widerstand **44** einen Wert von 330 Kilo-Ohm, was in einer Bandbreite des Ionisierungsstroms von bis zu 20 Kilo-Hertz resultiert.

[0108] Die Stromspiegel-Schaltung **30** wird verwendet, um den erfassten Ionisierungsstrom I_{ION} und den Ausgang der Schaltung zu isolieren. Der isolierte Spiegelstrom I_{MIRROR} (dargestellt in [Fig. 8](#) durch eine Linie Strich-Punkt-Punkt) ist gleich dem, oder mit anderen Worten, ist ein Spiegel des Ionisierungsstroms I_{ION} . Der isolierte Spiegelstrom I_{MIRROR} fließt vom zweiten Knotenpunkt **48** durch den zweiten pnp-Transistor **36** und den dritten Widerstand **40** gegen Masse. Um ein isoliertes Spiegelstrom-Signal I_{MIRROR} , das identisch proportional dem Ionisierungsstrom I_{ION} ist, zu erzeugen, müssen der erste und der zweite pnp-Transistor, **34** und **36**, gepaart werden, d. h. identische elektronische Charakteristika haben. Ein Weg, solche identischen Charakteristika zu bekommen, ist die Verwendung von zwei Transistoren aus dem gleichen Stück Silizium. Das isolierte Spiegelstrom-Signal I_{MIRROR} ist typisch kleiner als 300 Mikroampere. Der dritte Widerstand **40** wandelt das isolierte Spiegelstrom-Signal I_{MIRROR} in eine korrespondierende Ausgangsspannung um, die in [Fig. 8](#) als V_{OUT} bezeichnet wird. Der Widerstandswert des dritten Widerstandes **40** ist gewählt, um die Größe des Spannungssignals V_{OUT} am Ausgang anzupassen. Die zweite Diode **42** schützt die Spiegeltransistoren **34** und **36** dadurch, dass sie durchschaltet und einen Pfad nach Masse erzeugt, wenn die Spannung an Knotenpunkt **38** eine Schwelle kreuzt. Ein dritter Transistor kann ebenfalls verwendet werden, um die Spiegeltransistoren zu schützen.

[0109] [Fig. 9c](#) stellt ein Signal der Ausgangsspannung V_{OUT} dar, das aus einem normalen Verbrennungs-Ereignis resultiert. Der Anteil des Ausgangsspannungs-Signals V_{OUT} ab der Zeit t_5 und danach kann als Diagnoseinformation bezüglich der Verbrennungsleistung verwendet werden. Um die Verbrennungsleistung des gesamten Motors zu bestimmen, kann der Ionisierungsstrom in einem oder in mehreren Brennräumen durch eine oder entsprechend mehrere Schaltungen **10** gemessen werden.

[0110] In der gegenwärtigen Schaltung **10** fließen der Zündstrom I_{IGN} und der Ionisierungsstrom I_{ION} in der gleichen Richtung durch die Sekundärwicklung **18** der Zündspule **12**. Als Ergebnis ist die Zündung, oder mit

anderen Worten, sind der Fluss des Ionisierungsstroms sowie das Erfassen des Ionisierungsstroms schnell. In der gegenwärtigen Schaltung **10** arbeitet der geladene Kondensator **28** als eine Energiequelle. Folglich ist die Schaltung **10** passiv, oder, mit anderen Worten, benötigt keine eigene Energiequelle. Der geladene Kondensator **28** erzeugt eine relativ hohe Vorspannung von beiden, der Ionisierungs-Erfassungs- und der Stromspiegel-Schaltung **30**. Als Ergebnis ist die Höhe des gespiegelten, isolierten Stromsignals I_{MIRROR} groß und deshalb das Signal-Rausch-Verhältnis hoch.

Abschnitt C: Ein Verfahren zum Erfassen der Zylinder-Identifizierung durch Verwenden von Im-Zylinder-Ionisierung bei Zündfunkenfassung nach erfolgter Teilladung der Zündspule

[0111] Übliche Anordnungen zur Erfassung der Zylinder-Identifizierung, die Im-Zylinder-Ionisierungs-Erfassung verwenden, haben eine Anzahl von Problemen: Lärm-, Vibrations- und Rauheitsprobleme, wenn die Verbrennung bei Auspuff-Takt stattfindet, Emissionsprobleme durch Kohlenwasserstoffe beim Kaltstart und Verzögerung wegen Kraftstoff-Puddel-Effekten bei niedrigen Temperaturen.

[0112] Diese Eigenschaft bezieht sich auf ein Fahrzeug mit einem Verbrennungsmotor mit mindestens zwei Zylindern, einer Zündkerze mit einer Zündfunkenstrecke und einer Im-Zylinder-Messung des Ionisierungsgrads, ohne Verwendung eines Sensors auf der Nockenwelle für einen variablen Nockenzeitpunkt.

[0113] Ungezählte Systeme des Standes der Technik beziehen sich im Allgemeinen auf den Ionisierungsstrom, aber die meisten arbeiten mit dem Erfassen von Fehlzündung und Klopfen und der Kontrolle der Motorvariablen, wie EGR und Zündfunken-Platzierung oder entsprechenden Schaltungen.

[0114] Einige frühere Veröffentlichungen arbeiten direkt mit der Zylinder-Identifizierung durch Ionisierungsstrom. Das U.S. Patent 5 563 515 A1 zum Beispiel verwendet Zylinder mit Fehlzündung zum Erfassen des Zylinders. Das U.S. Patent 6 029 631 A1 beschreibt weiterhin ein Verfahren, welches den Spannungspegel, der über der Zündfunkenstrecke erzeugt wird, zur Bestimmung der Zylinder-Identifizierung verwendet. Wie weiter unten diskutiert wird, hat diese Methode eine Reihe von Nachteilen.

[0115] Die überwiegende Mehrzahl von Verbrennungsmotoren in Automobilen sind Kolbenmotoren. Der Kolbenmotor ist eine Maschine, die Kraftstoffenergie in eine Drehbewegung umwandelt, die gewöhnlich in PS (in der übrigen, nicht-englischen Welt in kW) gemessen wird. In einem Motor wird Benzin der Luft zugefügt, wenn sie den Vergaser (oder die Einspritzpumpe) auf ihrem Weg in den Zylinder passiert. Dieses Gemisch wird dann im Zylinder verbrannt und erzeugt Hitze, die Druck erzeugt. Dieser Druck drückt den Kolben im Zylinder nach unten, um die Kurbelwelle zu drehen. [Fig. 10](#) zeigt einen typischen Aufbau eines Vier-Zylinder-Reihenmotors eines Automobils.

[0116] Die überwiegende Mehrzahl der modernen Automobilmotoren verwendet einen Vier-Takt- oder Zyklusbetrieb (siehe [Fig. 11](#)). Bewegt sich der Kolben beim Einlass-Takt nach unten, öffnet das Einlassventil und ein Kraftstoff-Luft-Gemisch wird in den Zylinder gezogen (vergleichbar dem Zurückziehen des Kolbens einer Injektionspritze, das der Flüssigkeit erlaubt, in die Kammer gezogen zu werden). Erreicht der Kolben das Ende des Einlass-Taktes, schließt das Ventil und das Kraftstoff-Luft-Gemisch ist im Zylinder eingeschlossen.

[0117] Im Kompressions-Takt bewegt sich der Kolben nach oben und verdichtet das Kraftstoff-Luft-Gemisch, das durch den Einlass-Takt hinein gebracht wurde. Die Größe, um die die Mixtur verdichtet wird, ist durch das Kompressionsverhältnis des Motors festgelegt. Das Kompressionsverhältnis eines üblichen Motors bewegt sich im Bereich von 8:1 bis 10:1. Das heißt, dass, wenn der Kolben die Spitze des Zylinders erreicht, das Kraftstoff-Luft-Gemisch auf ein Zehntel seines Originalvolumens zusammengedrückt ist.

[0118] Im Arbeits-Takt zündet die Zündkerze und entzündet das komprimierte Kraftstoff-Luft-Gemisch, was eine kraftvolle Expansion des Gases erzeugt. Der Verbrennungsprozess drückt den Kolben im Zylinder mit einer genügend großen Kraft nach unten, um die Kurbelwelle zu drehen und die Kraft zur Verfügung zu stellen, das Fahrzeug in Bewegung zu setzen. Jede Zündkerze (nicht jeder Kolben) zündet zu einer unterschiedlichen Zeit, festgelegt in der Zündfolge. In der Zeit, in der die Kurbelwelle zwei Umdrehungen ausgeführt hat; wird jeder Zylinder des Motors durch einen Arbeits-Takt gegangen sein.

[0119] Im Auslass-Takt, mit dem Kolben am unteren Ende des Zylinders, öffnet das Auslassventil, um es dem verbrannten Auspuffgas zu ermöglichen, zum Auspuffsystem ausgestoßen zu werden. Dadurch, dass der Zylinder so viel Druck aufweist, wird das Gas, wenn das Ventil öffnet, mit einer erheblichen Kraft ausgestoßen (das ist der Grund, warum ein Fahrzeug ohne Schalldämpfer so laut ist). Der Kolben wandert zur Spitze des

Zylinders und drückt das gesamte Auspuffgas aus, bevor das Auslassventil geschlossen wird, als Vorbereitung zum Start des erneuten Vier-Takt-Prozesses.

[0120] Ein Zylinder hat von Natur aus nur zwei Takte. Um vier Takte zu erzeugen, werden Ventile verwendet, die den Lufteintritt und Luftaustritt im Zylinder kontrollieren. Die Nocken **201** auf der Nockenwelle **202** bestimmen das Öffnen und Schließen der Ventile, als Ventilzeitpunkt bezeichnet (siehe [Fig. 12](#) und [Fig. 13](#)).

[0121] Die Nockenwelle dreht sich nicht mit der gleichen Rate wie die Kurbelwelle, weil sich die Ventile nicht mit jedem Zylindertakt öffnen und schließen. Stattdessen wird die Nockenwelle so angetrieben, dass sie sich mit der halben Rate der Kurbelwelle dreht.

[0122] [Fig. 14](#) zeigt eine unten liegende Nockenwelle **203** und eine oben liegende Nockenwelle **204**. Die unten liegende Nockenwelle umfasst: einen Kipphebel **205**, einen Freiraum **206** für den Tassenstößel, eine Nockenwelle, die sich mit der Hälfte der Motordrehzahl dreht (doppelt so viele Zähne auf dem Kettenrad **207**), ein Kettenrad der Kurbelwelle **208**, eine Nocke **209**, eine Nockenwelle **210**, einen Tassenstößel **211**, ein Einlassventil **212**, ein Auslassventil **213**, eine Stößelstange **214**, eine Feder **261**, eine Sicherungsmutter zum Einstellen des Ventilspiels **262** und eine Kipphebelwelle **263**. Die oben liegende Nockenwelle **204** umfasst: eine Nocke **264**, ein Ventil, das durch die sich drehende Nocke **265** geöffnet ist, eine Nockenwelle **266**, ein Kettenrad der Nockenwelle **267**, einen Tassenstößel **268**, eine Ventildfeder **269**, einen Kettenspanner **270**, ein Kettenrad **271**, einen weiteren Kettenspanner **272**, ein Kettenrad der Kurbelwelle **273**, ein Auslassventil **274**, ein Einlassventil **275**, eine Ventildfeder **276**, einen Tassenstößel **277**, ein Kettenrad **278** und eine weitere Nockenwelle **279**.

[0123] Die Zylinder-Identifizierung ist definiert als der Vorgang zur Bestimmung, welcher Zylinder des Motors sich in welchem Takt befindet. Weil die Ventile und nicht die Zylinderposition den Takt festlegen, ist es schwierig, den Kurbelwellen-Winkel zu verwenden, um zu sagen, in welchem Takt ein Zylinder ist. Vom Sensor der Kurbelwelle können wir erfahren, wann ein Zylinder komplett oben ist, aber es ist erforderlich zu wissen, ob er sich im Kompressions-Takt oder im Auslass-Takt befindet.

[0124] Wenn ein Zylinder komplett oben ist, kann er sich entweder im Kompressions-Takt, Takt 2 oder im Auslass-Takt, Takt 4 befinden. Umgekehrt kann sich ein Zylinder, wenn er komplett unten ist, entweder im Einlass-Takt, Takt 1 oder im Arbeits-Takt, Takt 3 befinden. Obwohl der Winkel der Kurbelwelle verwendet werden kann, um die Position des Zylinders zu identifizieren, ist es erforderlich zu wissen, ob er sich im Kompressions-Takt oder im Auslass-Takt befindet.

[0125] Motoren nach dem aktuellen Stand der Technik ohne Ionisierungs-Sensoren bestimmen die Zylinder-Identifizierung durch einen speziellen Nockenwellen-Sensor und ein Zahnrad, das auf der Nockenwelle angeordnet ist. Dies addiert Kosten und Komplexität des Motors. Zusätzlich, weil der Sensor nur die Position eines Zylinders anzeigt (zum Beispiel oberer Totpunkt von Zylinder 1 während der Kompression), muss sich die Kurbelwelle eines Motors bis zu zwei Mal drehen, um ihren Takt zu identifizieren, abhängig von der Orientierung, als sie angehalten wurde. [Fig. 15](#) zeigt die Überdeckung des Ventilzeitpunkts der vier Takte an der Kurbelwelle des Motors. In Wirklichkeit ist die Anzahl der Umdrehungen oft größer, da der typischste Sensortyp (Sensor mit variabler Reluktanz) bei niedrigen Geschwindigkeiten nicht arbeiten will und während der ersten oder den ersten beiden Umdrehungen nicht reagiert, bis die Geschwindigkeit eine Minimalschwelle erreicht. Es ist daher wünschenswert, in der Lage zu sein, einen Ionisierungs-Sensor zu verwenden, um die Zylinder-Identifizierung sehr schnell zu bestimmen und in der Lage zu sein, den Nockenwellen-Sensor und das Zahnrad zu eliminieren.

[0126] Bei einem Motor mit Funkenzündung befindet sich die Zündkerze bereits innerhalb des Brennraums und kann als Erfassungseinrichtung verwendet werden, ohne dass das Aufschalten eines separaten Sensors notwendig ist. Während der Verbrennung werden im Plasma viele Ionen erzeugt. H_3O^+ , $C_3H_3^+$ und CHO^+ werden durch die chemischen Reaktionen an der Flammenfront erzeugt und haben eine ausreichend lange Erregungszeit, um erfasst werden zu können. Wird eine Vorspannung über die Zündfunkenstrecke gelegt, werden diese freien Ionen angezogen und einen Strom erzeugen.

[0127] Ein Aufbau einer Ionisierungs-Erfassung **280** besteht aus einer Anordnung Zündspule-auf-Zündkerze, mit einer Vorrichtung in jeder Zündspule, um eine Vorspannung über die Zündfunkenstrecke zu legen, wenn der Zündfunke nicht entsteht. Der Strom durch die Elektroden der Zündkerze wird isoliert und verstärkt, bevor er gemessen wird (siehe [Fig. 16](#)). Die Zündspulen **281** (mit der Ionen-Erfassung) sind mit einem Modul **282** (zum Verarbeiten des Ionenstroms) verbunden.

[0128] Ein Ionisierungssignal von der Zündkerze misst die lokale Leitfähigkeit an der Zündfunkenstrecke, wenn im Zylinder eine Verbrennung stattfindet. Die Änderungen des Ionisierungssignals gegen den Winkel der Kurbelwelle können auf die verschiedenen Stufen des Verbrennungsprozesses bezogen werden. Der Ionenstrom hat typisch drei Phasen: die Zünd- oder Zündfunkenphase, die Flammenfrontphase und die Nachflammenphase. Die Zündphase ist die, wo die Zündspule aufgeladen wird und später das Kraftstoff-Luft-Gemisch entzündet. Die Flammenfrontphase ist die, wo sich die Flamme (die Bewegung der Flammenfront, während der Bildung des Flammenkerns) im Zylinder entwickelt und, unter idealen Bedingungen, aus einer einzigen Spitze besteht. Es hat sich gezeigt, dass der Strom in der Flammenfrontphase stark abhängig ist vom Kraftstoff-Luft-Verhältnis. Die Nachflammenphase hängt von der Temperatur- und Druckentwicklung im Zylinder ab und erzeugt einen Strom, dessen Spitze gut in Wechselwirkung steht mit dem Ort der Spitze des Drucks.

[0129] Das Ionisierungssignal repräsentiert den Ionisierungsstrom nach der Zündung. Während der Zündung repräsentiert es die Kombination aus Zündstrom und Ionenstrom (d. h. Ionisierungsstrom). Dies ist so, weil in der gegenwärtigen Erfindung der Ionisierungsstrom und der Zündstrom in die gleiche Richtung fließen. Vor der Zündung repräsentiert das Ionensignal die Stromschwankung der Sekundärwicklung, verursacht durch den Ladestrom der Primärwicklung.

[0130] [Fig. 17](#) zeigt ein typisches Ionisierungssignal mit dem Druck **283** und dem Ionisierungssignal **284**, gezeigt für Zylinder 1. Das gegenwärtige Verfahren zum Erfassen der Zylinder-Identifizierung verwendet die Zündfunkenphase des Signals. Wird Luft in einem Zylinder komprimiert, steigt der Widerstand zwischen den Elektroden der Zündkerze. Dies ist so, weil Luft ein natürlicher Isolator mit seiner eigenen Durchbruchspannung ist, die von einer Anzahl verschiedener Faktoren abhängt (Dichte, Luftfeuchtigkeit, Temperatur usw.). Dieser angestiegene Widerstand wird in einigen deutlich sichtbaren Effekten resultieren.

[0131] Die Dauer eines Zündfunkens (oder Zündfunkendauer) im Kompressionstakt wird kürzer sein als eine ohne Kompression. Die Spannung braucht eine längere Zeit, um sich aufzubauen, bevor der Zündfunke erfolgt und, wenn die Energie verbraucht ist und die Spannung sinkt, wird der Zündfunke früher enden. Es gibt verschiedene Probleme bei diesem Verfahren. Das erste ist, dass es im Allgemeinen die Verwendung von Flankenerfassung erfordert, um die Zündfunkendauer zu bestimmen, weil das Abtasten (der Ereignisse) bei einer Auflösung von einem Ereignis/Grad (typisch) keine ausreichende Genauigkeit bei einem Ereignis von dieser kurzen Dauer zur Verfügung stellen wird, speziell nicht bei niedriger Motordrehzahl. Zusätzlich können andere Variable zu erheblichem Rauschen bei dieser Messung beitragen, speziell, seit der Unterschied in der Zündfunkendauer klein genug ist, dass ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis nützlich ist.

[0132] Die Zündspulen können teilweise bis auf (nur) ein vorherbestimmtes Maß aufgeladen werden (anstatt sie vollständig zu laden). Als nächstes wird bestimmt, welche Zündspule versagte oder welche der Zündspulen versagten, um den Zündfunken auszulösen. Die Zylinder, in denen keine Zündung stattfindet, sind im Kompressions-Takt, weil der Widerstand hoch genug ist, aber die teilweise geladenen Zündspulen nicht in der Lage sind, die erforderliche Spannung an die Zündfunkenstrecke zum Durchschlagen des Gases zu liefern.

[0133] Der angestiegene Widerstand wird ebenfalls die Höhe der Sekundärspannung beeinflussen. Eine höhere sekundärseitige Spannung wird erforderlich sein, um einen Zündfunken über der Zündfunkenstrecke auszulösen. Dies kann auf der Primärseite durch den induzierten Stromfluss gemessen werden. Das Problem bei diesem Verfahren ist, dass der IGBT, der im Allgemeinen zum Ein- und Ausschalten der Primärseite verwendet wird, einen Spannungsschutz hat, der Spannungen oberhalb 400 Volt (typisch) unterdrückt. Dies kann dieses Verfahren der Spitzen-Erfassung nutzlos machen.

[0134] Es wird deshalb ein verbessertes Verfahren für die Verwendung des Ionisierungsstrom-Sensors zur Bestimmung der Zylinder-Identifizierung vorgeschlagen. In einer Realisierung sind die Zündspulen bis auf einen vorherbestimmten Pegel teilweise geladen (anstatt der vollständigen Ladung). Als Nächstes wird auf die Zündspulen geschaut, um festzustellen, welche der Zündspule(n) versagte(n), den Zündfunken auszulösen. Die Zylinder mit den Zündspulen, die nicht den Zündfunken auslösen, sind im Kompressions-Takt. Die Zündspulen lösen den Zündfunken nicht aus, weil der (Druck des) Gasgemisches hoch genug ist (so hoch ist), dass die teilweise geladenen Zündspulen nicht in der Lage sind, die erforderliche Spannung zum Durchbrechen des Widerstandes an der Zündfunkenstrecke zu liefern.

[0135] Deshalb schließt diese Realisierung die Bestimmung ein, in welchen Zylindern ein Zündfunke erzeugt wird und wann, die Berechnung der Verweilzeit und die Bestimmung, durch Beobachten des Ionisierungsstroms, nachdem der IGBT ausgeschaltete ist, welcher Zylinder sich in Kompression befindet.

[0136] In einer anderen Realisierung schließt die gegenwärtige Erfindung die Bestimmung ein, in welchen Zylindern ein Zündfunke erzeugt wird und wann, die Berechnung der Zündfunkendauer und die Bestimmung, welcher Zylinder sich in Kompression befindet.

[0137] Zuerst wird bestimmt, in welchem Zylinder ein Zündfunke erzeugt wird und wann. Dies wird eine Kalibrier-Information, speziell für einen bestimmten Motor. Bei einem Vier-Zylinder-Motor (gezeigt in [Fig. 18](#)) mit der Zündfolge (eins, drei, vier, zwei) erfordert die Bestimmung, wo 0 Grad auf der Kurbelwelle sind, bis zu eine volle Umdrehung der Motorkurbelwelle, bevor der gesuchte Zahn des Zahnrads (typischerweise verwendet) gefunden ist. An diesem Punkt werden bei 0 Grad (ihrem oberen Totpunkt) Zylinder eins und vier gezündet. Schlägt die Bestimmung fehl (d. h. keine der Zündspulen versagt), werden bei 180 Grad Zylinder drei und zwei gezündet, um zu bestimmen, welcher sich in Kompression befindet. Dies würde solange andauern, bis die Zylinder-Identifizierung erfolgt ist.

[0138] Dieses Verfahren ist fast identisch bei Acht-Zylinder-Motoren außer, dass vier Zylinder simultan gezündet werden können, um die Wechsel der erfolgreichen Erfassung zu erhöhen. In Vier-, Sechs- und Zehn-Zylinder-Motoren ist der Prozess vergleichbar, wobei die Zylinder paarweise bei verschiedenen Winkeln der Kurbelwelle gezündet werden. Drei- und Fünf-Zylinder-Motoren sind etwas unterschiedlich in der Art, dass die Takte an gegenüberliegenden Zylindern komplett gegenteilig sind. Das Ergebnis wird das gleiche sein, weil nur ein Zylinder fehlzündet wird, weil er sich am oberen Totpunkt des Kompressions-Taktes befindet.

[0139] Die Berechnung der Energiemenge, die benötigt wird, um die Zündspulen zu laden, ist abhängig von einer Anzahl von Variablen wie Motordrehzahl, Ladung usw. Das Anlegen von zu viel Energie kann, unabhängig vom Takt, alle Zylinder zünden und lässt nicht den Zylinder im Kompressions-Takt erfassen. Zu wenig Energie kann keinen der Zylinder zünden lassen und lässt nicht den Zylinder im Kompressions-Takt erfassen. Deshalb wird ein richtiger Pegel der Zündenergie verwendet, um den Zylinder im Kompressions-Takt zu erfassen. Die wird in den [Fig. 19](#) und [Fig. 20](#) dargestellt.

[0140] Die aktuelle Zündenergie ist bezogen auf die Verweilzeit, die für den Zündkerzen-Zeitpunkt gesetzt wird. Je höher der Strom ist, der durch die Zündspule fließt, desto größer ist die gespeicherte Energie in der Zündspule. Schaltet das elektronische Steuergerät ECU (in der Beschreibung identisch mit PCM) den IGBT ein, beginnt sich die Zündspule aufzuladen. Wenn das ECU den IGBT ausschaltet, wird ein induktiver Rücklauf erzeugt und der Zündfunke wird entstehen, wenn in der Zündspule genug Energie ist, um die Durchbruchspannung zu erzeugen. Weil der Zündfunken-Zeitpunkt feststeht (AUS-Zeit des IGBT), ist die EIN-Zeit des IGBT die Kontrolle (Ausgang) für die Verweilzeitberechnung. Während des normalen Motorbetriebs versucht das ECU die EIN-Zeit des IGBT in der Weise zu berechnen, dass die Zündspule in der Zeit, in der der Zündfunke erfolgt, vollständig aufgeladen ist und der IGBT dann ausgeschaltet wird. Ist die Verweilzeit zu groß, wird Energie verschwendet und überschüssige Wärme in der Zündspule erzeugt. Ist die Verweilzeit zu klein, wird die Zündspule nicht vollständig aufgeladen, was in einer Fehlzündung oder teilweisen Verbrennung, wegen eines nicht erfolgten oder degradierten Zündfunkens, resultiert. Weil der Zündfunken-Zeitpunkt wichtig ist und nicht verändert werden sollte, wird das ECU dazu tendieren, die Zündspule zu überladen (zu viel Verweilzeit), um einen genauen Zündfunken-Zeitpunkt zu garantieren.

[0141] Wie oben ausgeführt, misst ein Ionisierungssignal die lokale Leitfähigkeit der Zündfunkenstrecke, wenn eine Verbrennung im Zylinder stattfindet. Der Grund dafür ist, dass das Gas im Zylinder während des Kompressions-Taktes komprimiert wird, dabei die Gasdichte ansteigt und der Widerstand des Gases, bezogen auf den Stromfluss, ansteigt. Aus diesem Grund steigt der Widerstand zwischen den Elektroden der Zündkerze an.

[0142] Typischerweise wird eine Spannung von 12 Volt DC für 1 Millisekunde an die Primärwicklung der Zündspule angelegt. Diese Spannung wird in der Sekundärwicklung auf mehr als 30 KVolt hochtransformiert. Diese Hochspannung ist erforderlich, um die Zündfunkenstrecke zu durchbrechen und einen Zündfunken zu erzeugen. Dies ist in [Fig. 20a](#) dargestellt. [Fig. 20a](#) zeigt, dass die Spannung proportional dem Spulenstrom ist (abgeschrägter Teil der Kurve), bis der Maximalstrom erreicht ist.

[0143] Befindet sich ein Zylinder in Kompression, kann die Gasdichte zwischen den Elektroden der Zündkerze zu groß sein, um einen Zündfunken zu erzeugen, wenn die Zündspule nicht vollständig geladen ist.

[0144] Durch Verändern der Verweilzeit (der Zeitraum, in dem Spannung an der Primärwicklung anliegt) wird die verfügbare Energie, die an den Elektroden der Zündkerze anliegt, ebenfalls verändert. Je kürzer die Verweilzeit, desto weniger verfügbare Energie. Wie vorher ausgeführt, wird die Verweilzeit durch die EIN-Zeit des IGBT kontrolliert.

[0145] Der Fehler einer Zündkerze, nicht zu zünden, ist im Ionisierungssignal wiedergegeben. Es zeigt sich, wenn das Ionisierungssignal eine Sequenz von Pulsen zeigt, nachdem die Verweilzeit vorüber ist, siehe [Fig. 21](#), ein Effekt des Überschwingens, wenn die gespeicherte Energie in der Sekundärwicklung verbraucht wird. Deshalb kann das Ionisierungssignal zur Bestimmung verwendet werden, ob sich ein Zylinder im Kompressions-Takt befindet. Das gegenwärtige Verfahren verringert die Verweilzeit, die verwendet wird, um eine Zündspule für einen Zylinder zu laden. Deshalb wird die Energie, die über den Elektroden der Zündkerze liegt, verringert. Die spezifische Verweilzeit ist so ausgewählt, dass die Zündkerze in einem Zylinder, der nicht in Kompression ist, zündet, während eine Zündkerze in einem Zylinder, der in Kompression ist, nicht zündet. In einer bevorzugten Realisierung ist die Verweilzeit auf 30% bis 50% der typischen Verweilzeit von 1 Millisekunde verringert.

[0146] Die gegenwärtige Erfindung verwendet verringerte Verweilzeit (verglichen mit normalem Laden der Zündspule). Wie in der folgenden Gleichung dargestellt, ist die Verweilzeit eine Funktion von verschiedenen Variablen, wobei jede Einfluss auf die erforderliche Energie hat, einen Zündfunken in einem Zylinder in Kompression auszulösen:

$$T_{\text{on}} = T_{\text{off}} - f(\text{ACT}, \text{ECT}, \text{MAP}, \text{N})$$

wobei T_{off} den Zündzeitpunkt darstellt (die Zeit, bei der der IGBT ausgeschaltet ist), ACT (Air Charge Temperature) die Lufttemperatur der einströmenden Luft darstellt, ECT (Engine Coolant Temperature) die Kühlmitteltemperatur des Motors darstellt, MAP (Manifold Air Pressure) den Luftdruck im (Ansaug)-Krümmer darstellt und N (Engine Crank Speed) die Drehzahl der Kurbelwelle darstellt.

[0147] Der Zündzeitpunkt ist gewählt, um die Differenz der Gasdichte der beiden ausgewählten Zylinder, die zünden, zu maximieren. Deshalb ist der beste Zündzeitpunkt zur Zylinder-Identifizierung am oberen Totpunkt TDC des ausgewählten Zylinderpaares. Bei einem Vier-Zylinder-Motor mit der Zündfolge eins, drei, vier, zwei wird das erste Zylinderpaar (Zylinder eins und vier) beim nächsten verfügbaren Kurbelwellenwinkel von entweder 0 Grad oder 360 Grad sein und das zweite Zylinderpaar (Zylinder drei und zwei) bei einem Kurbelwellenwinkel von entweder 180 Grad oder 540 Grad sein.

[0148] Es gibt andere Faktoren, wie Luftfeuchtigkeit, die ebenfalls einen Effekt auf diesen Prozess ausüben. Ihr Effekt ist im Allgemeinen unbedeutend. Um den Aufwand und die Notwendigkeit zum Kalibrieren zu verringern, können einige der Variablen in der obigen Gleichung entfernt werden, wobei die minimal notwendige Formel sein würde:

$$T_{\text{on}} = T_{\text{off}} - f(\text{N})$$

[0149] In einer bevorzugten Realisierung wird durch Beobachten des Ionisierungsstroms, nachdem der IGBT abgeschaltet ist, festgelegt, welcher Zylinder sich in Kompression befindet und ob ein Zündfunke entstanden ist oder nicht.

[0150] [Fig. 21](#) zeigt den Prozess des Zündens aller Zündspulen an den drei Zylindern eines Drei-Zylinder-Motors, in der Nähe des oberen Totpunkts TDC von Zylinder eins, wenn Zylinder eins sich dem Ende seines Kompressions-Taktes nähert. Die obere Kurve **285** zeigt den Druck in Zylinder 1. Die untere Kurve zeigt das Zünden aller Zündspulen an jedem Zylinder zur gleichen Zeit, **286**, **287**, **288**. Dieses Beispiel wird gezeigt, um die Unterschiede zwischen den Zylindern in Kompression und denen, nicht in Kompression, hervorzuheben. Aktuelle Zündschemata werden das Ergebnis der Motorkonfiguration sein und wurden oben diskutiert.

[0151] [Fig. 22](#) zeigt die Ergebnisse, die zeigen, dass zwei der Zylinder zündeten (Sättigung des Signals des Ionisierungsstroms), während Zylinder eins wegen des Fehlens der erforderlichen höheren Spannung nicht zündete, was in Überschwingen resultierte. Die strich-punktierte Kurve **286** repräsentiert Zylinder eins, der wegen der höheren Gasdichte im Kompressions-Takt keinen Zündfunken hatte. Die durchgezogene Linie **287** repräsentiert Zylinder zwei, der wegen relativ niedriger Gasdichte zündete (nicht in Kompression). Die gestrichelte Linie **288** repräsentiert Zylinder drei, der wegen relativ niedriger Luftdichte zündete (nicht in Kompression).

[0152] [Fig. 22](#) veranschaulicht auch den Unterschied der Ionisierungssignale, erfasst von verschiedenen Zylindern. Die Spannung der Sekundärwicklung von Zylinder eins ist nicht groß genug, um die Zündfunkenstrecke zu überbrücken und die Spannungen der Zylinder zwei und drei überbrücken ihre Zündfunkenstrecke. Bei Zylinder eins wurde das Gas der Zündfunkenstrecke nicht überbrückt, es entstand kein Zündfunke. Die Weite des ersten Ionisierungspulses nach Beendigung der Verweilzeit hat eine viel kürzere Dauer als die Ionisierungssignale der Zylinder zwei und drei. Die Ionisierungssignale der Zylinder zwei und drei, wo ein Durchschlag statt-

fand, haben viel längere Pulsweiten. Deshalb kann man durch Messen der Pulsdauer des Ionisierungssignals von jedem Zylinder ermitteln, welcher Zylinder sich in Kompression befindet.

[0153] Ein Fachmann kann sofort eine Anzahl von Verfahren ersehen, um eine Ja-/Nein-Antwort auf die Frage zu erhalten, ob ein Zündfunken-Ereignis stattgefunden hat. Mehrere davon sind unten aufgelistet.

[0154] In dem Fall wo Überspringen, assoziiert mit der Schaltung, keine Sättigung der Ionen Spannungs-/Strom-Pegel, die der Mikroprozessor misst, verursacht, ist es möglich, eine Messung während des erwarteten Zündfunken-Fensters durchzuführen. Ist die Größe eines Spitzenwertes der gemessenen Pulssequenz größer als eine Schwelle, dann ist ein Zündfunke erfolgt. Andernfalls ist kein Zündfunke entstanden. Der Grund ist, dass der Überspringstrom des Zündfunken in der Sekundärwicklung relativ kleiner ist als der Zündfunkenstrom. [Fig. 23](#) zeigt ein Abtastverfahren zur Bestimmung, ob ein Zündfunke entstanden ist.

[0155] Geht das Überspringen in die Sättigung, wird ein Verfahren verwendet, das nicht von absoluten Messwerten abhängt. Ein Verfahren ist, den Strom in eine Spannung umzuwandeln, das Signal zu integrieren und dann einen Komparator zu verwenden, um zu bestimmen, ob das integrierte Ionisierungssignal über dem Zündfunkenfenster über einer bestimmten Schwelle liegt. Wenn das so ist, ist ein Zündfunke entstanden. Andernfalls ist kein Zündfunke entstanden. [Fig. 24](#) zeigt ein Gerät zum Integrieren der Zündfunkenenergie, um zu bestimmen, ob ein Zündfunke entstanden ist, wobei die Zündfunkenenergie als die integrierte Ionisierungsspannung über dem Zündfunkenfenster definiert ist.

[0156] Ein umfassendes Flussdiagramm, das die Logik zeigt, die zur Bestimmung, ob in einem Zylinder ein Zündfunke entstanden ist, verwendet wird, ist in [Fig. 25](#) dargestellt. In [Fig. 26](#) werden die Werte von allen Ionisierungssignalen erfasst bei **340**, gefiltert im Schritt **345** (**240** in [Fig. 24](#)) und integriert im Schritt **350** (**245** in [Fig. 24](#)). Das integrierte Ionisierungssignal wird dann abgetastet und gehalten im Schritt **355** (**250** in [Fig. 24](#)) und in einem Komparator (**260** in [Fig. 24](#)) mit einem Referenzwert im Schritt **360** (**255** in [Fig. 24](#)) verglichen. Ist die Energie unterhalb dieser Referenz, ist kein Zündfunke entstanden, siehe **365, 370** in [Fig. 26](#). Überschreitet der integrierte Wert einen Referenzwert oder eine Schwelle, ist ein Zündfunke entstanden, siehe Schritte **365, 375** in [Fig. 26](#). Die Energie ist definiert als die Ionisierungsspannung während der Zündung, integriert über dem Zündfunkenfenster. Die Zündfunkenenergie kann typisch angenähert werden durch Verwenden der Formel $E = V^2 \cdot (t/R)$, wobei E die Energie darstellt, V_{ION} die Ionisierungsspannung, proportional zum Ionisierungsstrom, darstellt, R den Widerstand darstellt und t die Zeit darstellt.

[0157] Weil der Widerstand R wegen der Schaltung der Ionisierungs-Erfassung als konstant angenommen wird und es bekannt ist, dass die Schaltung während eines Zündfunken-Ereignisses in die Sättigung geht, resultiert die Multiplikation von V_{max}^2 mit der Zeit in einer repräsentativen Zahl. Eine typische Zahl kann $(5V^2) \cdot 0,5$ ms sein, was proportional der aktuellen Zündfunkenenergie ist. Die 0,5 Millisekunden stellen ein typisches Integrationsfenster bei einiger Motordrehzahl dar (das aktuelle Fenster ändert sich mit der Motordrehzahl) und die 5 Volt stellen den Maximalwert dar, den die Schaltung zur Ionisierungsmessung erzeugt. Der typische Referenzwert oder die typische Schwelle wird bei 75% dieser Energie gesetzt. Die Schritte sind im Flussdiagramm in [Fig. 26](#) dargestellt.

Abschnitt D: Ein Verfahren zum Erfassen der Zylinder-Identifizierung durch Verwenden von Im-Zylinder-Ionisierung durch Messen der Zündfunkendauer

[0158] Wie oben diskutiert, bezieht der Zylinder-Erkennungsprozess die Berechnung des Zündfunken-Zeitpunkts aus dem Ionensignal ein. Das Verfahren zur Bestimmung, welcher Zylinder gezündet wird und wann, bleibt unverändert mit Bezug auf das Verfahren, wie im Abschnitt C angegeben. [Fig. 27](#) zeigt alle Zylinder, an einem vorgegebenen Ort auf der Kurbelwelle, gezündet, wobei nur ein Zylinder aktuell in Kompression ist. Die breite Kurve **289** stellt den Druck im Zylinder 1 dar. Die feinen Kurven **290, 291, 292**, die durch die breite Kurve bei rund 321 K Messwerten (samples) führen, stellen alle Zündspulen dar, die nahe des oberen Totpunktes jedes Zylinders zünden. Der Zündfunke mit der kürzesten Dauer ist der Zylinder in Kompression.

[0159] [Fig. 28](#) zeigt eine Vergrößerung der resultierenden Zündfunkendauer, abgelöst durch die Ionisierungsspannung proportional dem Ionisierungsstrom.

[0160] Es ist klar, dass einer der drei Zylinder eine viel kürzere Dauer hat. Das ist der Zylinder in Kompression. Zu bemerken ist der Effekt des Überspringens am Zündfunkenende, welcher den Erfassungsaufwand etwas kompliziert. Die gestrichelte Kurve **290** stellt Zylinder 1 dar, der die kürzeste Zündfunkendauer hatte. Die

strichpunktierte Kurve **291** stellt Zylinder 2 dar, der eine längere Zündfunkendauer hatte. Die durchgezogene Kurve stellt Zylinder 3 dar, der eine längere Zündfunkendauer hatte.

[0161] Es ist klar, dass ein Faktor, der zur Bestimmung verwendet wird, welcher Zylinder in Kompression ist, verbunden ist mit der Möglichkeit, die Zündfunkendauer zu messen. Zwei Methoden, die zur Zeit diese Dauer verwenden, sind unten beschrieben.

[0162] Zum einen ist es möglich, die Techniken der Flankenerfassung zu verwenden, um die Größe der Zündfunkendauer zu bestimmen. In [Fig. 29](#) ist ein Fall gezeigt, wo ein Timer **400** durch die steigenden und fallenden Flanken des Zündfunken-Ereignisses, gesehen von der Ionisierungsschaltung, ein- und ausgeschaltet wird. Ein Ionisierungssignal **100** und ein Fenstersignal **410** werden an die Eingänge eines Detektors für die steigende Flanke **415** und eines Detektors für die fallende Flanke **420** angelegt. Die steigenden und fallenden Flanken schalten ein Flip-Flop **425**, operativ verbunden mit dem Kontakt ENABLE des Timers **400**. Zu bemerken ist, dass, weil Überspringen in der Schaltung nach einem Zündfunken-Ereignis auftritt, die beiden Flanken-Detektoren **415** und **420** in einer bevorzugten Realisierung in einem Schuss (one-shot) arbeiten. Die Ausgänge der multiplen Timer werden in einer Sample-and-Hold Schaltung **430** verglichen, um zu sehen, welches Ereignis die kürzeste Dauer hatte. Ein Uhrensinal **405** treibt den Timer **400** und den Flip-Flop **425**. [Fig. 30](#) ist ein Flussdiagramm der Schritte, wenn die Zündfunkendauer durch die Verwendung der Flankenerfassung bestimmt wird.

[0163] Ein unterschiedliches Verfahren (zur Bestimmung) des Zeitpunktes der Zündfunkendauer würde die Integration des Ionisierungssignals sein. Die Schaltung mit der kleinsten Menge an integrierter Energie würde der Zylinder in Kompression sein. [Fig. 31](#) zeigt einen Komparator **440**, der Integration verwendet, um zwei Zylindersignale zu vergleichen. Die Energie von zwei Ionisierungssignalen **100S1** und **100S2** wird erfasst in Schritt **500**, integriert in Schritt **510** in den Integratoren 1, **445** und 2, **450** und verglichen in Schritt **520**. Das Ergebnis wird abgetastet und gehalten in Schritt **530**. Der Schalter **455** und der Speicher **460** arbeiten zusammen als Sample-and-Hold Schaltung **462**, die durch das Fenstersignal **410** getriggert wird. Der Komparator **440** wird verwendet, um festzustellen, welches der beiden Signale, **100S1** oder **100S2**, größer ist. Der Zylinder in Kompression würde das Signal mit der kleineren Energiemenge ausgeben. Die Energie ist während der Zündung proportional der Ionisierungsspannung, integriert über dem Zündfenster. Diese Schritte sind in einem Flussdiagramm in [Fig. 32](#) dargestellt.

Abschnitt E: Zündspule mit integrierter Zündspulentreiber- und Ionisierungserfassungsschaltung

[0164] Anordnungen Zündspule-auf-Zündkerze von Verbrennungsmotoren mit Transistortreibern, die in ECMs oder anderen entfernten Positionen angeordnet sind, neigen zu hohen elektromagnetischen Emissionen EMI und werden, wegen ihrer langen Anschlussdrähte, von anderen Komponenten elektromagnetisch beeinflusst. Schaltungen zum Erfassen der Ionisierung haben wegen ihres sehr kleinen Signalstrompegels (Mikroampere) sogar größere EMI-Probleme. Die Lösung ist, beide, den Zündspulentreiber-Transistor und die Ionisierungserfassungsschaltung, in die Anordnung Zündspule-auf-Zündkerze zu integrieren ([Fig. 33](#)).

[0165] In einer bevorzugten Realisierung werden in beiden, dem Zündspulentreiber-Transistor und der Ionisierungserfassungsschaltung, die im Zündspulenpaket integriert sind, Teile verwendet, die eine Zulassung für mehr als 140 Grad Celsius haben, um Befürchtungen bezüglich Temperatur und Temperaturwechsel gerecht zu werden. Zusätzlich werden bei beiden, dem Zündspulentreiber-Transistor und der Ionisierungserfassungsschaltung, Teile verwendet, die eine Zulassung für die 20-fache Erdanziehung haben, um Befürchtungen bezüglich Vibration gerecht zu werden.

[0166] Durch Anordnen der Schaltung auf der Oberseite der Zündspule oder an der Seite der Zündspule wird die Leitungslänge von der Schaltung zur Sekundärwicklung minimiert (siehe [Fig. 33a](#) und [Fig. 33b](#) für die Realisierung 'Auf der Spule'). Deshalb ist die Schaltung weniger empfindlich gegenüber Störsignalen und Rauschen. Ein anderer Vorteil ist, dass die Anordnung leicht montiert werden kann. Die Platine mit Treiber- und Ionisierungsschaltung ist einfach an die Zündspulenordnung geklippt. Die Verwendung des Klipp-Verbinders **65** ist ein weiterer Vorteil dieser Gestaltung. Die Draufsicht [33a](#) zeigt die Abdeckung **60**, um die Treiber- und Ionisierungsschaltungs-Platine **10** zu schützen, und den Verbinder **50**, operativ verbunden mit dem Motorsteuergerät PCM. Die Seitenansicht [33b](#) zeigt die Primärwicklung **16**, den Spulenkern **13**, die Sekundärwicklung **18**, die Treiber- und Ionisierungsschaltungs-Platine **10**, den Klipp-Verbinder **65**, die Abdeckung **60**, den Verbinder **55**, operativ mit der Zündkerze verbunden und den Verbinder **50**, operativ mit dem Antriebs-Überwachungs-Modul PCM verbunden. In [Fig. 34](#) ist die Schaltung auf der Seite der Zündspule angeordnet. Das Ionisierungssignal **100**, Signal zum Treiben des Gate Vin, Masse GnD, Spannung B+, Primäranschluss der Zündspule **16**

und Sekundäranschluss der Zündspule **18**, angeordnet auf einer Platine **70**, sind dargestellt. Die Signale von: Spannung B+, Masse GnD, Signal zum Treiben des Gates Vin und Ionisierungssignal **100** sind ebenfalls an vier Anschlussfahnen **71** angeordnet.

Abschnitt F: Ein Verfahren zur Reduzierung der Kontaktzahl einer integrierten Zündspule mit Treiber- und Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung durch Multiplexen der Ionisierungssignale und der Rückkopplungssignale des Zündspulen-Ladestroms

[0167] Der Verbrennungsprozess in einem Verbrennungsmotor ist bestimmt durch: das Kraftstoff-Luft-Verhältnis im Zylinder A/F, Temperatur und Druck, die Rate der Abgasrückführung EGR, Zündzeit, Zünddauer usw. Die Emission des Motors und der Kraftstoffhaushalt sind eng mit dem Verbrennungsprozess verbunden. Bei gleichartigen Verbrennungsmotoren wird meistens das Kraftstoff-Luft-Verhältnis A/F in einem Regelkreis durch Verwenden einer beheizten Lamdasonde (heated exhaust gas oxygen HEGO sensor) oder eines gleichartigen universellen Sensors (universal exhaust gas oxygen UEGO sensors) kontrolliert. Das Maß der Abgasrückführung EGR wird mit Hilfe der Messung des Druckunterschiedes Δp kontrolliert. Weil Sensoren, welche die Verbrennung überwachen, zu niedrigen Kosten nicht verfügbar sind, wird der Zündfunken-Zeitpunkt des Motors in einem offenen Regelkreis kontrolliert und mit dem Ergebnis der Erfassung des Klopfens korrigiert. Eine Option für eine Erfassung der Verbrennung zu niedrigen Kosten ist die Ionisierungs-Erfassung, die den Ionisierungsstrom, der während des Verbrennungsprozesses erzeugt wird, durch Anlegen einer Vorspannung an der Zündfunkenstrecke misst. Wird der Zündspulentreiber an die Zündspule gebracht (zum Beispiel bei Einzelfunken-Zündspule oder Zündspule-auf-Zündkerze), wäre es wünschenswert, beide, die Zündspulen-Treiberschaltung und die Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung, auf der Zündspule zu integrieren, siehe Abschnitt E dieser Anmeldung wegen Einzelheiten. Ein offenes Problem ist das Verwenden einer minimalen Kontaktzahl des integrierten Pakets, um bei beiden, der integrierten Treiber- und der Ionisierungs-Erkennungs-Schaltung, Kosten zu verringern. Dieses Merkmal schlägt vor, das Rückkopplungssignal des Zündspulen-Ladestroms mit dem Ionisierungssignal zu multiplexen und dadurch die Kontaktzahl um 1 zu reduzieren.

[0168] Das herkömmliche Design einer integrierten Zündspule mit Treiber- und Ionisierungs-Erkennungs-Schaltung besteht aus fünf Kontakten: Gate-Signal der Zündspulenladung, Rückkopplungssignal des Ladestroms, Signal des Ionisierungsstroms, Batteriespannung und Masse. Jede höhere Kontaktzahl steigert die Kosten des Zündungs-Subsystems weiter, wegen des Zündspulensteckers, des Kabelbaums und des Verbinders zum Motorsteuergerät ECU. Um die Kosten des Subsystems zu verringern, multiplext diese Erfindung beide, das Rückkopplungssignal des primären Ladestroms und das Signal des Ionisierungsstroms. Dies wird dadurch möglich, da die primäre Ladung der Zündspule und die Verbrennungseignisse sequentiell erfolgen.

[0169] Es ist wünschenswert, die Elektronik des Zündspulentreibers mit der Zündspule zu integrieren (zum Beispiel Einzelfunken-Zündspule oder Zündspule-auf-Zündkerze), siehe Abschnitt E, hauptsächlich, um auf Hochstromkontakte zwischen PCM und Zündspulen verzichten zu können und um elektrische und magnetische Interferenz zu verringern. Ein Design für eine integrierte Zündspule mit Treiber besteht aus vier Kontakten: Gate-Signal der Ladung der Zündspulen-Primärwicklung, Rückkopplungs-Signal des Ladestroms der Primärwicklung, Batteriespannung B+ und Batteriemasse.

[0170] Bei der Integration einer Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung an eine Zündspule mit integriertem Treiber ist ein zusätzlicher Ausgangskontakt notwendig, um das erfasste Ionisierungssignal zurück an das PCM zu senden. Aus diesem Grund benötigt die Zündspule mit integrierter Treiber- und Ionisierungsschaltung einen 5-poligen Verbinder.

[0171] Um Kosten zu verringern und um das Zündspulen-Paket leichter zu machen, schlägt diese Erfindung vor, beide Signale, das Ionisierungs- und das Rückkopplungssignal des Treiberstroms, in ein Signal zu multiplexen, so dass die Zündspule mit integrierter Treiber- und Ionisierungsschaltung die gleiche Kontaktzahl hat wie das Design Treiber-an-Zündspule.

[0172] [Fig. 35](#) zeigt ein Schema eines Subsystems **72** mit integriertem Zündspulentreiber und Ionisierungs-Erfassung, welches das Multiplexen des Ionisierungssignals mit dem Ladestrom oder Rückkopplungs-Signal des Ladestroms veranschaulicht. Das Subsystem besteht aus einer Zündspulentreiber-Schaltung **75**, einer Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung **80** und einem Verstärker **85**. Die Treiberschaltung **75** lädt die Primärwicklung **16** der Zündspule **12**, wenn das Laden freigegeben ist. Als nächstes legt die Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung **80** eine Vorspannung an die Sekundärwicklung **18** der Zündspule **12** und die Zündkerze **14**, und der daraus resultierende Ionisierungsstrom I_{ION} entsteht durch die Ionen, die während des Verbrennungsprozesses erzeugt werden. Der Verstärker **85** verstärkt das erfasste Signal für ein verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis.

[0173] Die Fig. 36a bis c zeigen das Ladebefehl-Signal V_{IN} (Fig. 36a), das Signal oder die Spannung der erfassten Ionisierung 100, dargestellt durch eine gestrichelte Linie, das Rückkopplungssignal des Ladestroms 102, dargestellt durch eine durchgezogene Linie (Fig. 36b) und das Signal oder die Spannung der Ionisierung, mit dem Rückkopplungssignal des Ladestroms multiplext (Fig. 36c). Zwischen t_0 und t_1 gibt es keine Verbrennung und die Zündspule 12 ist in Ruhe. Der Ladebefehl V_{IN} wird bei t_1 freigegeben und bei t_2 gesperrt. Während dieser Periode wird die Primärwicklung vollständig geladen (Schritt 600 in Fig. 38). Dies ist ein Erfassungsfenster für die Strom-Rückkopplung. Die Zündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches erfolgt zwischen den Zeiten t_2 und t_3 (Schritt 610 in Fig. 38). Der Verbrennungsprozess ist zwischen den Zeiten t_3 und t_4 abgeschlossen.

[0174] Die Möglichkeit des Multiplexens von beiden, dem Rückkopplungssignal des Ladestroms und dem Signal der Ionisierungs-Erfassung, wird in Fig. 36b gezeigt. Weil die Verbrennung (Schritt 620 in Fig. 38) nach Zündung (Schritt 610 in Fig. 38) erfolgt, liegt das Hauptfenster der Ionisierungs-Erfassung zwischen den Zeiten t_2 und t_4 . Diese Folge von Ereignissen ermöglicht es, beide, das Ionisierungssignal 100 und das Rückkopplungssignal des Ladestroms 102, zu multiplexen.

[0175] In dem gegenwärtigen Verfahren leitet das multiplexte Signal 106 zuerst das Ionisierungs-Erfassungssignal 100 an den Ausgang weiter und ersetzt, wenn der Ladebefehl V_{IN} freigegeben wird, das Ionisierungssignal 100 durch das Rückkopplungssignal des Ladestroms 102 (siehe Fig. 36a). Fig. 36b zeigt beide Signale, das Rückkopplungssignal des Ladestroms 102, (durchgezogen) und das Ionisierungssignal 100 (gestrichelt). Fig. 36c zeigt die multiplexten Signale 106.

[0176] Während der Zeit t_0 und der Zeit t_1 ist der Ausgang das Ionisierungssignal 100. Der Schalter SW1 ist mit dem Ausgang der Ionisierungs-Erfassungsschaltung (oder dem Ionenstrom-Knotenpunkt) 82 verbunden. Wird zwischen t_1 und t_2 der Ladebefehl V_{IN} freigegeben, wechselt der Schalter SW1 zum Knotenpunkt des Rückkopplungssignals des Ladestroms 84, der über die Treiberschaltung 75 mit einem Ende der Primärwicklung 16 der Zündspule 12 verbunden ist. Der Schalter SW1 leitet daher das Rückkopplungssignal des Ladestroms 102 (ein Spannungssignal über Widerstand 24, das dem primären Ladestrom proportional ist, siehe Fig. 35) an den Ausgang weiter. Nach t_2 schaltet das Signal 106 zurück zum Ionisierungssignal 100. Zu bemerken ist, dass zwischen t_2 und t_3 das Ionisierungssignal 100 Informationen bezüglich des Zündprozesses 104 zur Verfügung stellt, d. h. den Zündstrom, von der Ionenschaltung erfasst sowie zwischen t_3 und t_4 Informationen bezüglich des Verbrennungsprozesses (im Schritt 630, Fig. 38).

[0177] Fig. 37 zeigt das Schema eines Subsystems mit integriertem Zündspulentreiber und Ionisierungs-Erfassung. Das Subsystem besteht aus Zündspule 12 und einer Ionisierungs-Erfassungsschaltung 28, 30. Eine Treiberschaltung lädt die Primärwicklung 16 der Zündspule 12, wenn die Ladung durch V_{IN} freigegeben wird. Als nächstes legt die Ionisierungs-Erfassungsschaltung 28, 30 eine Vorspannung über die Sekundärwicklung 18 der Zündspule 12 und die Zündkerze 14. Ionisierungsstrom wird durch die Ionen, die während des Verbrennungsprozesses entstehen, erzeugt. Ein Verstärker wird verwendet, um das erfasste Signal zu verstärken, zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses.

[0178] In der Zusammenfassung leitet das multiplexte Rückkopplungssignal 106 das Rückkopplungssignal der Ionisierung 100 zum Ausgang und schaltet um zum Rückkopplungssignal des Ladestroms 102, wenn der Ladebefehl V_{IN} aktiv ist. Fig. 38 ist ein Flussdiagramm und stellt die Schritte der gegenwärtigen Realisierung des Subsystems 72 von integriertem Zündspulentreiber und Ionisierungs-Erfassung dar.

Abschnitt G: Ein Verfahren für eine geregelte Energieversorgung zur Im-Zylinder-Ionisierungs-Erfassung durch Verwenden der Rücklaufenergie der Zündspule und Zwei-Stufen-Regelung

[0179] Diese Eigenschaft ist wesentlicher Bestandteil einer Vorrichtung, die eine geregelte Energieversorgung für die Im-Zylinder-Ionisierungs-Erfassung durch Sammeln der überschüssigen Zündspulen-Streu- und Magnetisierungsenergie, unmittelbar nach dem Abschalten der Zündspule (durch den IGBT), zur Verfügung stellt. Zündfunkenstrecken für Verbrennungsmotoren müssen ausreichende Energie an der Zündfunkenstrecke der Zündkerze zur Verfügung stellen, um das komprimierte Kraftstoff-Luft-Gemisch im Zylinder zu entzünden. Um dies zu erreichen, wird Energie in einer magnetischen Einrichtung gespeichert, üblicherweise Zündspule 12 genannt. Die gespeicherte Energie wird dann zur richtigen Zeit an die Zündfunkenstrecke einer Zündkerze 14 freigegeben, um ein Kraftstoff-Luft-Gemisch zu entzünden. Eine schematische Darstellung einer typischen Zündspule ist in Fig. 39 gezeigt. Die Zündspule 12, die eigentlich ein Rücklauftransformator ist, besteht aus einer primären 16 und einer sekundären Wicklung 18, die magnetisch über einen hoch permeablen Magnetkern 13 gekoppelt sind. Die Sekundärwicklung 18 hat normalerweise viel mehr Windungen als die Primärwicklung 16. Dies erzeugt bei der Sekundärspannung während der Rücklaufzeit einen sehr hohen Pegel.

[0180] Energie wird in der Zündspule ab Einschalten eines Leistungsschalters, normalerweise eines IGBT **22**, und Anlegen einer Batteriespannung über der Primärwicklung **16** der Zündspule **12** gespeichert. Wird eine konstante Spannung an die primäre Induktivität gelegt (L_{pri}), steigt der primäre Strom (I_{pri}) linear, bis er einen vorbestimmten Pegel erreicht (**Fig. 40**, **Fig. 41**).

[0181] Die gespeicherte Energie in der Zündspule ist eine quadratische Funktion des Primärstroms der Zündspule nach der folgenden Gleichung:

$$\text{Energie} = \frac{1}{2} \cdot L_{pri} \cdot (I_{pri})^2$$

[0182] Hat der Primärstrom I_{pri} seinen vorbestimmten Spitzenpegel erreicht, wird der Leistungsschalter IGBT **22** ausgeschaltet. Geschieht dies, verursacht die in der Induktivität der Zündspule gespeicherte Energie L_{pri} , dass sich die Primärspannung des Transformators umkehrt und bis zur Klemmenspannung des IGBT ansteigt, normalerweise 350 bis 450 Volt. Dadurch, dass die Sekundärwicklung **18** magnetisch mit der Primärwicklung **16** gekoppelt ist, reversiert die Sekundärspannung ebenfalls und steigt auf einen Wert gleich der primären Klemmenspannung, multipliziert mit dem Windungsverhältnis der sekundären Windungen zu den primären Windungen, an (20.000 bis 40.000 Volt). Diese Hochspannung erscheint über den Elektroden der Zündkerze **14** und erzeugt einen kleinen Strom zwischen den Elektroden der Zündkerze an der Zündfunkenstrecke. Obwohl dieser Strom klein ist, ist die an der Zündfunkenstrecke verbrauchte Energie wegen der Hochspannung bedeutend. Die Energie an der Zündfunkenstrecke heizt die Luft zwischen den Elektroden schnell auf und ionisiert dabei die Moleküle. Einmal ionisiert, leitet das Kraftstoff-Luft-Gemisch zwischen den Elektroden beträchtlich und verlagert die gespeicherte Energie aus dem Rücklauftransformator **12** an die Zündfunkenstrecke der Zündkerze **14** (**Fig. 42**). Dieses plötzliche Freilassen der gespeicherten Energie aus dem Rücklauftransformator **12** zündet das Kraftstoff-Luft-Gemisch im Zylinder.

[0183] Im-Zylinder-Ionisierungs-Erfassung erfordert für das Anlegen einer Vorspannung über den Elektroden der Zündkerze **14** eine geregelte Energieversorgung. Diese Spannung, die im Allgemeinen im 80 bis 100 Volt-Bereich liegt, erzeugt einen Ionisierungsstrom I_{ION} , der normalerweise auf einige 100 Mikroampere begrenzt ist. Der resultierende Ionisierungsstrom I_{ION} wird dann wahrgenommen und verstärkt, um ein nutzbares Signal für Diagnose- und Kontrollzwecke zu erzeugen.

[0184] Weil die Größe des Ionisierungsstroms I_{ION} relativ klein ist, ist es erforderlich, die Elektronik zum Wahrnehmen und Verstärken nahe an die Zündspule **12** und Zündkerze **14** zu bringen. Es ist auch vorteilhaft, die Hochspannungsversorgung sehr nah an die Ionisierungselektronik zu bringen, da die Unterbringung und gemeinsame Verlegung von Hochspannungsleitungen unter der Haube eines Autos unerwünscht ist. Deshalb werden Mittel zur Verfügung gestellt, um die Hochspannung lokal zu erzeugen.

[0185] Ein Verfahren zum Erzeugen des Ionisierungspotentials besteht in der Verwendung eines DC/DC-Wandlers, um aus den verfügbaren 12 Volt DC eine Energieversorgung von 80 bis 100 Volt an der Zündspule **12** zu erzeugen. Dieses Verfahren, obwohl direkt und zuverlässig, erfordert es, mehrere Komponenten hinzuzufügen, was sich aus Kosten- und Platzgründen verbietet.

[0186] Ein anders Verfahren ist das Laden eines Kondensators durch den Kollektor des primären IGBT **22**, unmittelbar nach Abschalten des IGBT **22**. Der primäre Vorteil dieser Technik ist, dass sie keinen separaten Verstärkungswandler benötigt, um die Vorspannung der Ionisierung zu erzeugen. Ein zweiter und vielleicht gleich wichtiger Vorteil dieser Technik ist, dass sie mindestens einen Teil der im Transformator gespeicherten Streuinduktivität im Energiespeicher-Kondensator sammelt. Normalerweise würde diese Energie im IGBT **22** als Wärme verbraucht, was seine Betriebstemperatur erhöht. Eine Realisierung dieser Technik ist schematisch in **Fig. 43** gezeigt. Wie vorher beschrieben, verursacht die in der Spuleninduktivität L_{pn} gespeicherte Energie, dass sich die Primärspannung im Transformator umkehrt und auf die Klemmenspannung des IGBT hochschießt (350 bis 450 Volt), wenn der IGBT **22** ausgeschaltet wird. Wenn dies eintritt, ist Diode D1 in Durchlassrichtung vorgespannt und erlaubt einem Strom, durch D1 und den strombegrenzenden Widerstand R1 in Kondensator C1 zu fließen. Die Zenerdiode D2 begrenzt die Spannung an C1 auf etwa 100 Volt.

[0187] Ein Nachteil dieses Verfahrens ist, dass der Energiespeicher-Kondensator C1 die Energie bei einer relativ kleinen Spannung speichert (100 Volt), verglichen mit der Größe der Rücklaufspannung (etwa 400 Volt). Weil die gespeicherte Energie im Kondensator eine Funktion des Quadrats der Kondensatorspannung ist, erfordert das Energiespeichern für eine gegebene Menge bei einer niedrigen Spannung eine viel größere Kapazität als wenn dem Kondensator erlaubt würde, bei höherer Spannung zu laden. Das Speichern von 500 Mikro-Joules bei 100 Volt erfordert zum Beispiel einen Kondensator von 0,1 Mikrofarad. Das Speichern der

gleichen Energie bei 200 Volt erfordert nur einen Kondensator von 0,025 Mikrofarad. Die Kapazität ist beim Verdoppeln der Kondensatorspannung um den Faktor 4 verringert.

[0188] Ein zweiter Nachteil dieses Verfahrens ist, dass $R1 \times C1 = \text{const.}$ klein genug sein muss, um C1 ein komplettes Wiederaufladen in der kurzen Zeit zwischen dem Ausschalten von IGBT **22** und Zündfunken-Entladung (normalerweise weniger als eine Mikrosekunde) zu ermöglichen. Gleichzeitig muss C1 groß genug sein, um den Ionisierungsstrom I_{ION} ohne substantiellen Spannungseinbruch an C1 unter extremen Bedingungen (niedrige Drehzahl, verschmutzte Zündkerze) zur Verfügung zu stellen. Dies zwingt R1 auf einem relativ kleinen Wert (einige 10 Ohm) und resultiert in einem relativ großen Ladestrom des Kondensators, wenn IGBT **22** ausgeschaltet wird. Unter nominalen Betriebsbedingungen (2000 bis 3000 Umdrehungen pro Minute, saubere Zündkerze) ist das Entladen von C1 wegen der Ionisierung moderat, was in einem überschüssigen Ladestrom resultiert, der in der Zenerdiode (D2) geteilt wird. Das Produkt von überschüssigem Zenerdiodenstrom und Zenerdiodenspannung besteht aus Energie, die in der Zenerdiode D2 verschwendet wird.

[0189] Ein anderes Verfahren ist das Laden eines Energiespeicher-Kondensators mit dem sekundären Zündstrom durch Anordnen des Kondensators in Reihe mit der Sekundärwicklung **18** des Rücklauftransformators **12**. Eine Realisierung dieser Technik ist schematisch in [Fig. 44](#) gezeigt. Zündstrom fließt in der Sekundärwicklung **18** der Zündspule **12** und lädt den Energiespeicher-Kondensator C1 über die Diode D1. Erreicht die Spannung an C1 die Zenerspannung, wird der Sekundärstrom durch die Zenerdiode D1 geteilt und begrenzt die Spannung an C1 auf etwa 100 Volt.

[0190] Weil C1 in Reihe mit der Sekundärwicklung liegt, ist das Sammeln von Streuenergie zum Laden von C1 nicht möglich. Ein Teil der Energie, die normalerweise zur Zündfunkenstrecke geliefert würde, ist nun in C1 gespeichert. Die gespeicherte Magnetisierungsenergie im Transformator **12** muss deshalb vergrößert werden, um diese Energieableitung auszugleichen.

[0191] Ein Verfahren gemäß der gegenwärtigen Erfindung stellt eine geregelte Energieversorgung für Im-Zylinder-Ionisierungs-Erfassung durch Sammeln der überschüssigen Zündspulenstreu- und Magnetisierungsenergie in einer Weise zur Verfügung, die effektiver ist als die vorher beschriebenen Techniken.

[0192] [Fig. 45](#) ist eine schematische Darstellung der Schaltung, die diese Technik verwendet. Auf den ersten flüchtigen Blick scheint die Schaltung ähnlich der zweiten Schaltung, die oberhalb beschrieben ist, in der ein Energiespeicher-Kondensator von der Primärwicklung geladen wird ([Fig. 43](#)). Es gibt jedoch ungewöhnliche und nicht offensichtliche Unterschiede, die es dieser neuen Schaltung ermöglichen, die Energiespeicherung und Spannungsregulierung in einer fundamental unterschiedlichen und effektiveren Weise durchzuführen.

[0193] Ein Unterschied ist das Hinzufügen des Energiespeicher-Kondensators C2, der Kondensator C1 als primäre Energiespeicher-Einrichtung ersetzt. Wie in [Fig. 46](#) gezeigt, ist eine Anschlussklemme des Kondensators C2 mit der Kathode von D1 verbunden und die andere Anschlussklemme des Kondensators C2 ist mit Masse verbunden. Beim Einschalten des Leistungsschalters (IGBT) **22** wird Batteriespannung über der Primärwicklung **16** der Zündspule **12** angelegt und Energie in der Zündspule gespeichert (Schritt **700** in [Fig. 48](#)). Wird der Schalter (IGBT) **22** ausgeschaltet, verursacht die gespeicherte Streuenergie und magnetische Induktivität der Zündspule eine Umkehr der Primärspannung des Transformators. Die Kollektorspannung von IGBT **22** erhöht sich schnell, bis sie die Spannung an Kondensator C2, erhöht um die Dioden-Durchlass-Spannung von 0,7 Volt, erreicht hat. An diesem Punkt wird Diode D1 leitend und erlaubt einem Vorwärtsstrom, durch D1 in Kondensator C2 zu fließen ([Fig. 46](#)). Wenn dies geschieht, wird Energie, die in der Streuinduktivität des Transformators gespeichert war, zum Kondensator C2 geleitet, anstatt am IGBT verbraucht zu werden (Schritt **710** in [Fig. 48](#)). Etwas Magnetisierungsenergie des Transformators kann ebenfalls zum Kondensator C2 transportiert werden.

[0194] R1, der jetzt einen viel größeren Wert hat (einige 100 KOhm), ist ausgelegt, um genug Strom für die üblichen Ionisierungsstrom-Erfordernisse aus dem Speicher des Hochspannungskondensators (C2) zu empfangen und um die Spannungsregel-Diode D2 mit adäquatem Vorstrom zu versorgen. Durch den großen Wert des Widerstandes R1 gibt es niemals einen großen Überschuss an Stromfluss in D2. Dies verringert bedeutend die Energieverschwendung an der Spannungsregel-Diode D2, verglichen mit anderen, früher beschriebenen Techniken.

[0195] Zündet die Zündkerze **14**, bricht die Sekundärspannung zusammen und die im Transformator gespeicherte Magnetisierungsenergie wird an die Zündfunkenstrecke geleitet, um das Kraftstoff-Luft-Gemisch im Zylinder zu entzünden. Gleichzeitig bricht die Primärspannung zusammen, sperrt die Vorspannungs-Diode D1

und beendet das Laden des Kondensators C2. Zu dieser Zeit hat C2 seine Maximalspannung, typisch 350 bis 400 Volt, erreicht. Kondensator C2 arbeitet nun als primärer Energiespeicher, um die Ladung im Kondensator C1 aufrecht zu halten, während er die Ionisierungsschaltungen und die Spannungsregel-Diode D1 mit Strom versorgt (720).

[0196] Kondensator C2 ist so ausgelegt, dass er den üblichen Ionisierungsstrom unter schlechtesten Bedingungen liefern kann (600 Umdrehungen pro Minuten, verschmutzte Zündkerze), während er eine ausreichend hohe Spannung von 100 Volt zur Regelung der Versorgung der Ionisierung (supply bus) an den Kondensator C1 liefert. Weil Kondensator C1 nicht länger das primäre Energiespeicher-Element ist, muss er nur groß genug sein, um den Spannungsabfall an der Ionisierungsversorgung (bus) während der Versorgung mit transienten Ionisierungsströmen auf vertretbare Werte zu begrenzen. Eingeschwungene Ströme (stationäre Ströme) werden durch C2 zur Verfügung gestellt. Der Pfad des Entladestroms ist in [Fig. 47](#) dargestellt.

[0197] in einer bevorzugten Realisierung sind C1 und C2 gleich 0,1 Mikrofarad und R1 gleich 1,8 Megaohm. Der Widerstand R_{sense} ist gleich 40 Milliohm. C1 ist bemessen für 630 Volt. Der Spannungsabfall in Durchlassrichtung an D1 beträgt 0,7 Volt, während die Lawinenspannung für Zenerdiode D2 100 Volt beträgt. D1 ist bemessen für eine Umkehrspannung von 800 Volt.

[0198] Die gegenwärtige Erfindung benutzt somit ein Zwei-Stufen-Verfahren zum Laden der Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung, gegenüber nur einer Stufe. Kondensator C2 wird zuerst geladen, typischerweise bis auf 400 Volt DC. C2 wird dann als ein Speicher zum Laden des Kondensators der zweiten Stufe, C1, verwendet. Kondensator C1 wird typischerweise bis auf 100 Volt DC geladen. Dieses Zwei-Stufen-Verfahren des Ladens erzeugt einen stabilen Ausgang von 100 Volt an Kondensator C1. Beim Stand der Technik verändert sich die Spannung an Kondensator C1, wenn Energie entnommen wird. Durch Verwenden von zwei Kondensatoren oder Stufen steht zusätzlich mehr Energie für die Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung zur Verfügung.

[0199] [Fig. 48](#) ist ein Flussdiagramm, das die Schritte zeigt, die in der gegenwärtigen Realisierung bezüglich einer Schaltung gemacht wurden, die eine geregelte Energieversorgung für Im-Zylinder-Ionisierungs-Erfassung durch Sammeln der überschüssigen Zündspulenstreu- und Magnetisierungsenergie zur Verfügung stellt.

[0200] Beispiele von einigen der besonderen Eigenschaften der vorgespannten Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung sind: (1) Sammeln der gesamten Energie, die in der Streuinduktivität des Transformators gespeichert ist und Verwendung dieser als eine Energiequelle für die Ionisierungsschaltungen; (2) Verringern des Verlustes und daraus resultierende Erwärmung des primären IGBT durch Leiten der Streuenergie in den Hochspannungs-Kondensator, anstatt sie am IGBT zu verbrauchen; (3) Speichern der Energie bei einer hohen Spannung, um der Tatsache gerecht zu werden, dass Energie, die in einem Kondensator gespeichert wird, mit dem Quadrat der Kondensatorspannung ansteigt, was einen körperlich kleineren Kondensator benötigt, um die gleiche gespeicherte Energie zu erreichen; (4) Reduzieren der Verlustenergie an der Spannungsregel-Diode durch Vergrößern des Wertes des Strombegrenzungswiderstands in der Art, dass die Diode niemals einen großen Rückwärtsstrom sieht und (5) Verkleinern des Wertes von C1, um dem Faktor gerecht zu werden, dass C1 nicht länger das hauptsächliche Energiespeicher-Element für die Ionisierungselektronik ist und dass C1 nur so groß sein muss, um den Spannungsabfall am Ionisierungsspannungs-Bus während der Ionisierungsstrom-Transienten auf akzeptable Pegel zu begrenzen.

Abschnitt H: Ein Verfahren zur Reduzierung der Kontaktzahl einer integrierten Zündspule mit Treiber- und Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung durch Multiplexen von Ionisierungsstrom-Signal, Rückkopplungssignal des Zündspulen-Ladestrom und Gatesignal des Treibers

[0201] Dieser Bestandteil der gegenwärtigen Erfindung wendet sich an viele der Mängel, die in der Diskussion weiter oben im Abschnitt F, mit den Titel „Ein Verfahren zur Reduzierung der Kontaktzahl einer integrierten Zündspule mit Treiber- und Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung durch Multiplexen der Ionisierungssignale- und Rückkopplungssignale der Zündspulenladung“ angesprochen wurden. Dieser Bestandteil der Erfindung multiplext das Gatesignal des Zündspulentreibers mit beiden, dem Rückkopplungssignal des Zündspulen-Ladestroms und dem Ionisierungssignal und verringert deshalb die Kontaktzahl um 2.

[0202] Das herkömmliche Design für eine integrierte Zündspule mit Treiber- und Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung weist fünf Kontakte auf: 1) Gatesignal der Zündspulenladung, 2) Rückkopplungssignal des Ladestroms, 3) Signal des Ionisierungsstroms, 4) Batteriespannung und 5) Batteriemasse. Jeder zusätzliche Kontakt vergrößert die Kosten des Zündungs-Subsystems, wegen der Verbindungen zum Zündspulen-Kontakt, zum Kabelbaum und zum elektronischen Steuergerät (ECU) des Motors. Um die Kosten des Subsystems zu

verringern, multiplext diese Erfindung das Gatesignal der Zündspulenladung mit beiden, dem Rückkopplungssignal des primären Ladestroms und dem Signal des Ionisierungsstroms. Aus diesem Grund hat die gegenwärtige Erfindung die folgende Kontaktzahl: 1) Batteriespannung und 2) Batteriemasse, 3) multiplextes Gatesignal der Zündspulenladung, Rückkopplungssignal des Ladestroms und Signal des Ionisierungsstroms.

[0203] Ein Ziel ist, die Zündspulen-Treiberelektronik an der Zündspule zu integrieren (zum Beispiel Einzelfunken-Zündspule oder Zündspule-auf-Zündkerze). Um Hochstromkontakte zwischen dem Antriebs-Überwachungs-Modul PCM und der Zündspule zu verringern oder wegzulassen, enthält ein Design für eine integrierte Zündspule mit Treiber vier Kontakte: ein Gatesignal zum Laden der Primärwicklung der Zündspule, ein Rückkopplungssignal des Ladestroms der Primärwicklung, eine Batterieversorgung B+ und eine Batteriemasse.

[0204] Bei der Integration einer Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung an eine Zündspule mit integriertem Treiber ist ein zusätzlicher Ausgangskontakt notwendig, um das erfasste Ionisierungsstrom-Signal zum PCM zurück zu senden. Aus diesem Grund erfordert die Zündspule mit integrierter Treiber- und Ionisierungsschaltung einen 5-poligen Verbinder.

[0205] Um Kosten zu verringern und um das Zündspulenpaket leichter zu machen, multiplext dieser Bestandteil der Erfindung das Gatesignal der Primärladung der Zündspule mit beiden, dem Ionisierungs- und dem Rückkopplungssignal des Treiberstroms, so dass die Zündspule mit integrierter Treiber- und Ionisierungsschaltung eine Kontaktzahl von nur 3 hat.

[0206] [Fig. 49](#) zeigt ein Schema eines integrierten Zündspulentreibers mit Treiber- und Ionisierungs-Erfassungs-Subsystem **90**. Das integrierte Zündspulen-Subsystem **90** besteht aus einer Zündspulen-Treiberschaltung **75**, einer Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung **80**, einem Doppelverstärkern **85**, **86** und einer Regenerierungs-Schaltung des Gatesignals **92**. Die Zündspule hat eine Primärwicklung **16** und eine Sekundärwicklung **18**. Dadurch, dass die beiden Verstärker **85**, **86** identische Stromquellen sind, hat die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Eingängen der differentiellen Vergleicherschaltung **93** den Wert des Basissignals der Ladung V_{IN} , unter der Annahme, dass der Widerstand R_4 gleich der Summe der Widerstände R_2 und R_3 ist. Ist die Differenz größer als eine gegebene Schwelle, bleibt der Ausgang der differentiellen Vergleicherschaltung **93** auf HIGH und erzeugt das Basissignal der Primärladung V_{IN} . Die Treiberschaltung **75** lädt eine Primärwicklung **16** der Zündspule **12**, wenn das Signal des Ladebefehls V_{IN} freigegeben ist. Die Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung **75** legt eine Vorspannung durch eine Sekundärwicklung **18** der Zündspule **12** an die Zündkerze **14**. Ein resultierender Ionisierungsstrom I_{ION} wird durch die Ionen während des Verbrennungsprozesses erzeugt. Der obere Verstärker **85** schließlich verstärkt das Signal für verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis.

[0207] [Fig. 49](#) zeigt das Multiplexen des Ionisierungssignals, des Gatesignals der Ladung und des Signals des Rückkopplungsstroms. [Fig. 50a](#) zeigt das Gatesignal der Ladung V_{IN} (durchgezogene Linie) und das Gatesignal des differentiellen Vergleichsbefehls **108** (gestrichelte Linie). [Fig. 50b](#) zeigt das erfasste Ionisierungssignal **100** (gestrichelte Linie) und das Rückkopplungssignal des Ladestroms **102** (durchgezogene Linie). [Fig. 50c](#) zeigt das differenzierte Ionisierungssignal (Ionisierungssignal multiplext mit dem Rückkopplungssignal des Ladestroms **106**). Zwischen den Zeitpunkten t_0 und t_1 gibt es keine Verbrennung und die Zündspule **12** ist in Ruhe. Der Schalter SW1 ist mit dem Knotenpunkt **82** des Ionisierungsstroms verbunden und leitet den Ionisierungsstrom I_{ION} durch den oberen Verstärker **85** zu $P_{IN} 1$. Der Ausgang des oberen Verstärkers **85** ist ebenfalls mit einem ersten Eingang einer differentiellen Vergleicherschaltung **93** verbunden. In [Fig. 49](#) kann gesehen werden, dass der Knotenpunkt 1, verbunden mit dem Ausgang des oberen Verstärkers **85**, als Ausgangsknoten $P_{IN} 1$ für das Ionenstrom-Signal und das Rückkopplungssignal des Ladestroms **102** agiert. Das Gatesignal für die Ladung V_{IN} vom PCM wird bei der Zeit t_1 freigegeben und bei der Zeit t_2 gesperrt. Zu dieser Zeit fließt Gate-Ladestrom I_g vom Gate-Ladesignal-Generator **92** durch Widerstand R_3 nach Masse und verursacht, dass eine Gatespannung am zweiten Eingang der differentiellen Vergleicherschaltung **93** auftaucht.

[0208] Der Grund dafür ist, dass der Gate-Ladesignal-Generator **92** eine Stromquelle ist. Der Strom fließt durch Widerstand R_3 , weil Widerstand R_2 viel größer als Widerstand R_3 ist. Deshalb ist die Spannung U_{IG} an der Verbindung der Widerstände R_2 und R_3 gleich $R_3(I_g)$. Die Spannung am Ausgangsknotenpunkt des oberen Verstärkers **85** ist: $U_2 = I_1 (R_2 + R_3) + R_3(I_g)$, wobei I_1 entweder das Ionisierungssignal **100** oder das Rückkopplungssignal des Ladestroms **102** ist. Die Spannung über dem Widerstand R_4 ist: $U_1 = I_1 (R_2 + R_3)$, wobei R_4 ausgesucht war, gleich $R_2 + R_3$ zu sein. In einer bevorzugten Realisierung ist: $R_4 = 180 \text{ Ohm}$, $R_2 = 150 \text{ Ohm}$ und $R_3 = 30 \text{ Ohm}$.

[0209] In einer bevorzugten Realisierung ist die differentielle Vergleicherschaltung **93** ein Komparator mit zwei Eingängen und einem Ausgang. Der Unterschied zwischen den beiden Eingangssignalen ist: $U_2 - U_1 = R_3$

(I_g) (Schritt **800** in [Fig. 51](#)). Seine Aufgabe ist, das Ladebefehl-Signal **108** an die Zündspulen-Treiberschaltung **75** zu senden (Schritt **810** in [Fig. 51](#)). Wegen des zusätzlichen Stroms an R3, wenn das Signal V_{IN} vom PCM eingeschaltet wird, ist die Spannungsdifferenz zwischen R3 und R4 groß genug, so dass der Ausgang **108** der differentiellen Vergleicherschaltung **93** während dieser Periode in HIGH bleibt und die Primärwicklung **16** vollständig geladen wird (Schritt **820** in [Fig. 51](#)). Ist das Gatesignal V_{IN} nicht aktiviert, $U_1 = U_2 = I_1(R_2 + R_3)$, ist der Ausgang des Komparators LOW. Aus diesem Grund kann das Gatesignal V_{IN} weiterhin benutzt werden, um die Zündspule **12** zu laden, obwohl zwei Kontakte weggefallen sind. Zusätzlich ist die Zeitperiode t_1 bis t_2 ein Erfassungsfenster für den Rückkopplungsstrom.

[0210] Das Kraftstoff-Luft-Gemisch wird zwischen den Zeiten t_2 und t_3 entzündet (Schritt **830** in [Fig. 51](#)) und der Verbrennungsprozess ist zwischen den Zeiten t_3 und t_4 beendet (Schritt **840** in [Fig. 51](#)). Die Möglichkeit des Zeitmultiplexens zwischen dem Rückkopplungssignal des Ladestroms und dem Ionisierungssignal ist in [Fig. 50b](#) gezeigt. Der Schalter SW1 schaltet seinen Eingang vom Knotenpunkt **82** des Ionisierungssstroms zum Knotenpunkt **84** der Rückkopplung des Ladestroms, der über die Spulentreiber-Schaltung **75** mit einem Ende der Primärwicklung **16** der Zündspule **12** verbunden ist. Weil sich Verbrennung nach Zündung ereignet, ist das Hauptfenster für die Ionisierungs-Erfassung zwischen t_2 und t_4 . Dies ermöglicht das Multiplexen von beiden, dem Ionisierungssignal **100** und dem Rückkopplungssignal des Ladestroms **102**. Das multiplexte Signal **106** leitet das Ionisierungs-Erfassungssignal an den Ausgang und ersetzt das Ionisierungssignal **100** durch das Rückkopplungssignal des Ladestroms **102**, wenn der Ladebefehl V_{IN} freigegeben ist, siehe [Fig. 50c](#). [Fig. 50b](#) zeigt beide, Rückkopplungssignal des Ladestroms und Ionisierungssignal und [Fig. 50c](#) zeigt die multiplexten Signale. Zwischen den Zeitpunkten t_0 und t_1 ist das multiplexte Ausgangssignal **106** das Ionisierungssignal **100**. Wird der Ladebefehl zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_2 freigegeben, schaltet der Ausgang zum Rückkopplungssignal des Ladestroms **102** (ein Spannungssignal, proportional dem primären Ladestrom), siehe [Fig. 50c](#). Nach der Zeit t_2 schaltet das multiplexte Signal **106** zurück zum Ionisierungssignal **100**. Zu bemerken ist, dass das Ionisierungssignal **100** zwischen den Zeiten t_2 und t_3 Informationen bezüglich des Zündprozesses und zwischen den Zeiten t_3 und t_4 bezüglich des Verbrennungsprozesses zur Verfügung stellt.

[0211] In der Zusammenfassung leitet das multiplexte Signal **106** das Ionisierungssignal **100** an den Ausgang und schaltet zum Rückkopplungssignal des Ladestroms **102**, wenn der Ladebefehl aktiv ist, d. h. zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_2 .

[0212] [Fig. 51](#) ist ein Flussdiagramm und zeigt die Schritte, die bei der gegenwärtigen Realisierung, eines integrierten Spulentreiber- und Ionisierungs-Erfassungs-Subsystem **90**, in dem die Kontaktzahl des Paketes 2 ist, durchgeführt wurden.

Abschnitt J: Ein Verfahren zur Verringerung der Kontaktzahl und der Gehäusegröße
eines Im-Zylinder-Ionisierungs-Erfassungssystems durch Integrieren der
Zündspulentreiber- und der Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung in einem Gehäuse

[0213] Die Kontrolle der Zündspule wird im Allgemeinen durch einen Bipolartransistor mit integrierter Steuerelektrode IGBT, der im Antriebs-Überwachungs-Modul PCM untergebracht ist, realisiert. Das Anlegen einer vorbestimmten Vorspannung an die Sekundärseite **18** der Zündspule **12** und das Lesen des veränderlichen Strompegels an den Elektroden der Zündkerze **14** führt zur Ionisierungs-Erfassung. Der Pegel des Stromflusses ist niedrig und erfordert, das Signal zu verstärken. Die Elektronik zur Ionisierungs-Erfassung kann entweder im PCM oder in einem separaten Modul, außerhalb des PCM, untergebracht sein. Es werden zwei Realisierungen veröffentlicht, eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung ASIC und eine Schaltung in einem Gehäuse. Die ASIC, wie innerhalb dieser Beschreibung definiert, integriert den IGBT und die Ionisierungs-Erfassungs-Elektronik auf einem Siliziumträger. Die Schaltung in einem Gehäuse, wie innerhalb dieser Veröffentlichung definiert, kombiniert den IGBT und die Ionisierungs-Erfassungs-Elektronik in diskreter Form in einem einzigen Gehäuse.

[0214] Das Folgende beschreibt zwei Realisierungen einer integrierten Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung und Zündspulentreiber gemäß der gegenwärtigen Erfindung, eine ASIC und eine Schaltung in einem Gehäuse. Die Einheiten, wie innerhalb dieser Beschreibung definiert, reduzieren Kosten und Komplexität des Im-Zylinder-Ionisierungs-Erfassungs-Systems durch Kombinieren der Funktionen in einer ASIC oder in einem Gehäuse.

[0215] Ionisierungs-Erfassung wird erreicht durch Anlegen einer vorher festgesetzten Vorspannung an die Sekundärseite **18** einer Zündspule **12** und Lesen des veränderlichen Strompegels, der durch die Sekundärwicklung **18** und die Zündspule **14** fließt. Der Pegel des Stromflusses ist niedrig und erfordert, wegen eines

besseren Signal-Rausch-Verhältnisses, das Signal zu verstärken. Die Schaltung, die verwendet wird, um die Zündspule **12** vorzuspannen und um die Verstärkung zu erreichen, besteht aus Komponenten, die leicht in Silizium angeordnet werden können.

[0216] Ein Vorteil des Anordnens der Schaltung auf einem Siliziumträger ist, dass die Eigenschaften des Siliziums die Gestaltung von 'smarten' IGBTs gestatten, die einen Strom zurückgeben, proportional dem Strom, der durch den IGBT fließt, ohne das Erzeugen der Wärme von Erfassungswiderständen. Ein zweiter Vorteil ist, dass das Stromsignal auf das Ionisierungssignal abgestimmt werden kann, was ihnen erlaubt, als ein Signal zurückgeleitet zu werden.

[0217] Die Einheit Zündungskontroll-Ionen-Sensor-ASIC (ICIS) ist eine Kombination einer Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung **80** und der Zündkontroll-Schaltung **75** in einer ASIC. Die Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung **80**, aus Komponenten aufgebaut, die auch in Silizium realisiert werden können, kombiniert mit dem bereits verfügbaren 'smarten' IGBT auf Silizium, erzeugt eine ICIS auf einem Siliziumträger. Dies schließt sowohl Ein-Chip- als auch Mehrfach-Chip-Lösungen (Chip-an-Chip oder Chip-neben-Chip) ein. ICIS können innerhalb des PCM, außerhalb des PCM oder als separates Modul (siehe DICIS) in oder an der Zündspule, angeordnet sein.

[0218] Die diskrete ICIS, DICIS, ist eine Kombination einer Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung **80** und der Zündkontroll-Schaltung **75** in einem Gehäuse. Die Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung in ihrer diskreten Form, kombiniert mit entweder einem 'smarten' IGBT, einem 'dummen' IGBT oder 'dummen' IGBT mit zusätzlicher Kontrolle und Schutz erzeugt eine DICIS in einem Gehäuse. Dies schließt Ein-Substrat- wie auch Vielsubstrat-Gestaltungen ein. DICIS können in oder an der Zündspule **12**, in der Nähe der Zündspule **12** oder in anderen gehäusefreundlichen Bereichen des Kraftfahrzeugs untergebracht werden.

[0219] [Fig. 35](#) zeigt eine Schaltung mit nur vier Kontakten, die es erlaubt, das Rückkopplungssignal des Laststroms **102** und das Ionisierungssignal **100** durch zeitliche Mehrfachübertragung (Zeitmultiplexen) als ein Signal an einem Kontakt zurückzusenden.

[0220] [Fig. 52](#) und [Fig. 53](#) sind logische Blockdiagramme der gegenwärtigen Erfindung für beide, die ASIC (ICIS) ([Fig. 52](#)) und die Option Schaltung in einem Gehäuse DICIS ([Fig. 53](#)). In beiden, [Fig. 52](#) und [Fig. 53](#), ist die Spulentreiber-Schaltung **75**, bestehend aus einem Stromverbraucher **94**, Schutzbegrenzung U1, Verstärker U2 und einer Basis des IGBT **22** dargestellt. Zusätzlich ist eine Ionisierungs-Erfassung **80**, bestehend aus dem Stromspiegel **30**, Energieversorgung **20** und Kondensator **28**, dargestellt. Ebenfalls dargestellt sind Widerstände **24** und **44**, Zündkerze **14**, Zündspule **12** mit Primärwicklung **16** und Sekundärwicklung **18**, Verstärker U3 und analoger Zwischenspeicher zur Mehrfachübertragung (analoger Multiplexer-Buffer) **86**. Der Stromverbraucher **94** entfernt Störsignale und/oder Rauschen in Form von Spannungsimpulsen. Die Spannungsimpulse haben Hochspannung, aber kurze Dauer. Der Stromverbraucher verhindert, dass diese Impulse den IGBT einschalten. Der Stromverbraucher **94** erlaubt jedoch das Passieren des Kommandosignals für den IGBT.

[0221] [Fig. 54](#) ist ein Schaltbild eines Stromverbrauchers **94**.

Option für ASIC

[0222] Die ICIS **81** beinhaltet einen integrierten IGBT-Treiber, IGBT-Treiberkontrolle und die Schaltung für den Rückkopplungsstrom der Ionen-Erfassung. Die gesamte aktive Schaltung ist auf einem Siliziumträger untergebracht und in der Zündspule integriert. Die ICIS-ASIC kann an der Zündspule, in der Nähe der Zündspule oder innerhalb des PCM an Stelle des Spulenstrom-Treiber-IC angeordnet sein.

[0223] Die Verbrennungs-Überwachungs-Spule CMC hat eine Schnittstelle mit vier Kontakten: 1) Batteriespannung B+, 2) Kontrollsignal V_{IN} : kontrolliert IGBT ein/aus und die Quelle für das Rückkopplungssignal des Stroms, 3) Rückkopplungs-Signale des Stroms (**100**, **102**, **106**): weist auf Spulenstrom hin, wenn IGBT eingeschaltet ist, weist auf Ionenstrom hin, wenn IGBT ausgeschaltet ist, 4) Masse.

Option für Schaltung in einem Gehäuse

[0224] Das Paket DICIS **83** besteht aus einem integriertem IGBT-Treiber und der Erfassung des Rückkopplungsstroms der Ionen-Erfassung. Die aktive Schaltung ist diskret aufgebaut und in einem Gehäuse untergebracht. Das Gehäuse kann an der Zündspule oder in der Nähe der Zündspule angeordnet sein.

[0225] Die CMC hat eine Schnittstelle mit vier Kontakten: 1) Batteriespannung B+, 2) Kontrollsignal V_{IN} : kontrolliert IGBT ein/aus und die Quelle für das Rückkopplungssignal des Stroms, 3) Rückkopplungs-Signale des Stroms (**100**, **102**, **106**): weist auf Spulenstrom hin, wenn IGBT eingeschaltet ist, weist auf Ionenstrom hin, wenn IGBT ausgeschaltet ist, 4) Masse.

Abschnitt K: Ein Verfahren für eine geregelte Energieversorgung mit einer Ladungspumpe für Im-Zylinder-Ionisierungs-Erfassung mit einer Ladungspumpe für Im-Zylinder-Ionisierungs-Erfassung

[0226] Der Ionisierungsstrom eines Verbrennungsmotors kann zur Diagnose von: Fehlzündung, Klopfen, Zündzeitpunkt und -dauer usw. verwendet werden. Durch fortschrittliche Signalverarbeitung können die einzelnen Verbrennungs-Eigenschaften im Zylinder ebenfalls ermittelt werden. Damit kann der Verbrennungsprozess im Motor präzise überwacht und in einem Regelkreis kontrolliert werden. Um während des Verbrennungsprozesses die im Zylinder erzeugten Ionen zu erfassen, muss eine Vorspannung über die Zündfunkenstrecke gelegt werden. Es gibt zwei Möglichkeiten, diese DC-Vorspannung zu erzeugen: herkömmliche DC-Spannungsversorgung (große Elektronik) sowie Kondensator, geladen durch primäre oder sekundäre Rücklaufspannung (Hochspannungs-Kondensator).

[0227] Beide Ansätze können wegen der Größe der DC-Spannungsversorgung und der Zuverlässigkeit von Hochspannungs-Kondensatoren nicht die Forderung erfüllen, die Ionisierungs-Schaltung mit der Zündspule zu integrieren (siehe Abschnitt E). DC heißt Gleichspannung. Diese Ausführung der Erfindung verwendet eine Hochspannungs-Ladungspumpe, um genug DC-Vorspannung zur Messung des Ionisierungs-Stroms zur Verfügung zu stellen.

[0228] Typischerweise wird Rücklaufspannung verwendet, um den Kondensator, der die Ionisierungs-Erfassungsschaltung mit Strom versorgt, zu laden, (siehe Abschnitt G). Dies macht die Verwendung von Hochspannungs-Kondensatoren notwendig. Im Allgemeinen werden Keramik-Kondensatoren verwendet. Durch Temperaturschwankungen kann sich jedoch die Platine, auf der der Kondensator befestigt ist, verbiegen, wodurch der Keramik-Kondensator zerbricht und versagt. In der gegenwärtigen Erfindung ist die Quelle für die Vorspannung des Ionenstroms eine Ladungspumpe, siehe [Fig. 55](#).

[0229] [Fig. 55](#) zeigt ein Beispiel einer Ionisierungs-Erfassungsschaltung **80** mit einer Schaltung zum Erzeugen der Vorspannung, die eine Ladungspumpe **98** verwendet. Die Ladungspumpen-Schaltung **98** wandelt die DC-Spannung von 12 Volt der Klemme B+ in einen Puls von 80 bis 100 Volt und einer Puls-Wiederholfrequenz von 500 Kilohertz um, der an Ausgang **99** anliegt.

[0230] In einer bevorzugten Realisierung wird in der Ladungspumpen-Schaltung **98** ein Treiber, Modell-Nummer MIC4827 EL (U5) verwendet. Dieser wird von 'Micrel' hergestellt. Die folgende Tabelle stellt die Kontaktbelegung des Chips (U5), zusammen mit einer Tabelle der Funktionen der Kontakte, dar.

Kontakt-Nummer	Kontakt-Name	Kontakt-Funktion
1	VDD	Versorgung (Eingang): 1,8 bis 5,5 Volt für interne Schaltung
2	RSW	Schaltwiderstand (externe Komponente): setze Schaltfrequenz des internen Leistungs-MOSFET durch Anschließen eines externen Widerstandes an VDD. Anschluss des externen Widerstandes an Masse (GND) sperrt den Schalter-Oszillator und schaltet das Gerät aus.
3	REL	EL-Widerstand (externe Komponente): setzt EL-Frequenz des internen H-Brückentreibers durch Anschluss eines externen Widerstandes an VDD. Anschluss des externen Widerstandes an Masse (GND) sperrt den EL-Oszillator.
4	GND	Masse
5	SW	Schalter-Knotenpunkt (Eingang): interne Abzugselektrode (drain) des Hochspannungs-MOSFET
6	CS	geregelter Verstärker-Ausgang (boost) (externe Komponente) : wird an den Ausgangskondensator des Verstärkungsreglers und die Katode der Diode angeschlossen

7	VB	EL Ausgang: wird an ein Ende der EL-Lampe angeschlossen. Polarität ist unwichtig
8	VA	EL Ausgang: wird an das andere Ende der EL-Lampe angeschlossen. Polarität ist unwichtig

[0231] Der Treiber MIC4827 EL (U5) umfasst aus zwei Stufen: eine Verstärkungs-Stufe und eine H-Brücken-Stufe. Die Verstärkungsstufe transformiert die Eingangsspannung bis +90 Volt hoch. Der MIC4827 enthält separate Oszillatoren für die Verstärkungsstufe und die H-Brückenstufe. Externe Widerstände setzen unabhängig die Arbeitsfrequenz für jede Stufe.

[0232] In einer bevorzugten Realisierung haben: Kondensator $C_{IN} = 10$ Mikrofarad, Kondensator $C_{OUT} = 0,033$ Mikrofarad/100 Volt; D3 ist eine Diode des Typs 1N4148, L1 ist eine Induktivität mit 220 Mikrohenry, Widerstand R7 hat 322 Kiloohm und Widerstand R6 hat 3,32 Megaohm.

[0233] Die Verwendung einer Ladungspumpe **98** für die DC-Vorspannung hat mehrere Vorteile. Als Erstes führt das Weglassen von Hochspannungskondensatoren als Energiequelle für die Vorspannung der Ionen (siehe Abschnitt G) zur Verringerung der Kosten und Verbesserung der Zuverlässigkeit (verhindert zerbrochene Kondensatoren in rauer Umgebung). Weiterhin führt die Reduzierung der Größe zu mehr verfügbarem Raum, der hilfreich für beide Zündspulen (Einzelfunken-Zündspule und Zündspule-auf-Zündkerze) ist. Zusätzlich erfordert die Vorspannung mittels Kondensator, wenn dieser durch Rücklaufspannung geladen wird (siehe Abschnitt G), mehrere Zündereignisse, um den Kondensator vollständig zu laden. Um also in der Lage zu sein, den Ionisierungs-Strom während des Startens des Motors zu erfassen, sind einige Zündungen notwendig, um den Kondensator zu laden und die Vorspannung der Ionisierung zu erhalten. Die Verwendung einer Ladungspumpe kann diese Forderung ausschalten. Seit eine Ladungspumpe, zusammen mit dem Rest der Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung (siehe Abschnitt E), einfach auf einem Siliziumträger hergestellt werden kann, stellt dieses Merkmal eine große Kosteneinsparung gegenüber der Verwendung teurer Hochspannungskondensatoren dar.

[0234] Während die Erfindung in dieser Patentanmeldung durch Referenz zu den Einzelheiten der bevorzugten Ausbildungen dieser Erfindung gezeigt wurde, ist es verständlich, dass die Darstellung in einem mehr erklärenden als einem endgültigen Sinn zu sehen ist, so wie erwartet wird, dass Modifikationen, die Fachleuten naheliegen, innerhalb des Geistes der Erfindung und mit Blick auf die beigefügten Ansprüche und ihre Äquivalente bleiben.

Patentansprüche

1. Eine diskrete Zündkontroll- und Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung (**80**), die aufweist:
 - eine Zündspule (**12**), die eine Primärwicklung (**16**) mit einem ersten und einem zweiten Ende und eine Sekundärwicklung (**18**) mit einem ersten und zweiten Ende hat;
 - eine Spulentreiber-Schaltung (**75**), die einen Bipolartransistor mit integrierter Steuerelektrode (IGBT) aufweist, der die Kontrolle der Zündspule realisiert, mit einem ersten Ende, das operativ mit dem zweiten Ende von der Primärwicklung (**16**) verbunden ist und einem Kommando-Eingang für ein Kommandosignal (V_{IN});
 - eine Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung (**80**) mit mindestens zwei Eingängen und einem Ausgang, wobei ein erster Eingang operativ mit dem zweiten Ende der Primärwicklung (**16**) verbunden ist und ein zweiter Eingang operativ mit dem ersten Ende der Sekundärwicklung (**18**) verbunden ist;
 - eine Zündkerze (**14**), die operativ zwischen dem zweiten Ende der Sekundärwicklung (**18**) und Masse verbunden ist;
gekennzeichnet durch
 - einen Stromverbraucher (**94**), der durch einen diskreten bipolaren Sperrschicht-Transistor realisiert ist und der operativ zwischen dem Kommando-Eingang der Spulentreiber-Schaltung (**75**) und Masse verbunden ist und der Störsignale und/oder Rauschen in Form von Spannungsimpulsen entfernt und verhindert, dass diese Impulse die Spulentreiberschaltung einschalten, das Passieren von Kommandosignalen (V_{IN}) an die Spulentreiber-Schaltung (**75**) jedoch erlaubt.
2. Die integrierte Zündkontroll- und Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung (**80**) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass diese weiterhin aufweist:
 - einen Schalter (SW1) mit mindestens zwei Eingängen und einem Ausgang, wobei ein erster Eingang (**82**) operativ mit dem Ausgang der Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung (**80**) verbunden ist, ein zweiter Eingang (**84**) operativ mit einem zweiten Ende der Spulentreiber-Schaltung (**75**) verbunden ist und der Ausgang des Schal-

ters (SW1) zwischen einem Ionisierungssignal und einem Rückkopplungssignal des Ladestroms gemultiplext wird; und

– einen Verstärker (85) mit einem Eingang und einem Ausgang, wobei der Eingang operativ mit dem Ausgang des Schalters (SW1) verbunden ist.

3. Die integrierte Zündkontroll- und Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung (80) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung (80) aufweist:

– einen Kondensator (28), der mit einem ersten Ende operativ mit dem zweiten Ende der Primärwicklung (16) verbunden ist; und

– einen Stromspiegel (30), der mit einer ersten Anschlussklemme operativ mit dem ersten Ende der Sekundärwicklung (18) und mit einer zweiten Anschlussklemme operativ mit dem ersten Ende des Kondensators (28) verbunden ist.

4. Die integrierte Zündkontroll- und Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung (80) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass diese weiterhin aufweist:

– einen Multiplexer (86) mit mindestens zwei Eingängen und einem Ausgang, wobei ein erster Eingang operativ mit dem Ausgang der Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung (80) verbunden ist, ein zweiter Eingang operativ mit einem zweiten Ende der Spulentreiber-Schaltung (75) verbunden ist und der Ausgang des Multiplexers (86) zwischen einem Ionisierungssignal und einem Rückkopplungssignal des Ladestroms gemultiplext wird; und

– einen Verstärker mit einem Eingang und einem Ausgang, wobei der Eingang operativ mit dem Ausgang des Multiplexers (86) verbunden ist.

5. Die integrierte Zündkontroll- und Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung (80) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass diese weiterhin aufweist:

– einen Eingangskontakt des Kommando-Eingangs, operativ mit einer Befehlseingabe der Spulentreiber-Schaltung (75) verbunden;

– einen Massekontakt;

– einen Energieversorgungs-Kontakt mit der Batterie, operativ mit dem ersten Ende der Primärwicklung (16) verbunden; und

– einen Ausgangskontakt, operativ mit dem Ausgang des Verstärkers verbunden ist.

6. Die integrierte Zündkontroll- und Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung (80) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass diese weiterhin aufweist:

– einen Schalter (SW1) mit mindestens zwei Eingängen und einem Ausgang, wobei ein erster Eingang (82) operativ mit dem Ausgang der Ionisierungs-Erfassungs-Schaltung (80) verbunden ist, ein zweiter Eingang (84) operativ mit einem zweiten Ende der Spulentreiber-Schaltung (75) verbunden ist und der Ausgang des Schalters (SW1) zwischen einem Ionisierungssignal und einem Rückkopplungssignal des Ladestroms gemultiplext wird;

– einen Verstärker (85) mit einem Eingang und einem Ausgang, wobei der Eingang operativ mit dem Ausgang des Schalters (SW1) verbunden ist;

– einen Eingangskontakt des Kommando-Eingangs, der operativ mit einer Befehlseingabe der Spulentreiber-Schaltung (75) verbunden ist;

– einen Massekontakt;

– einen Energieversorgungs-Kontakt mit der Batterie, der operativ mit dem ersten Ende der Primärwicklung (16) verbunden ist; und

– einen Ausgangskontakt (106), der operativ mit dem Ausgang des Verstärkers verbunden ist.

Es folgen 53 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

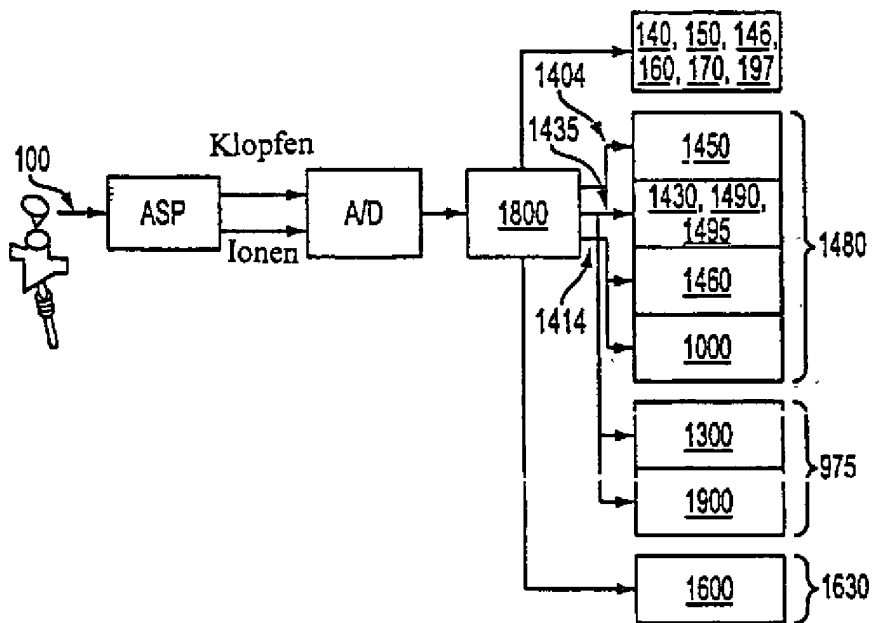


FIG. 1

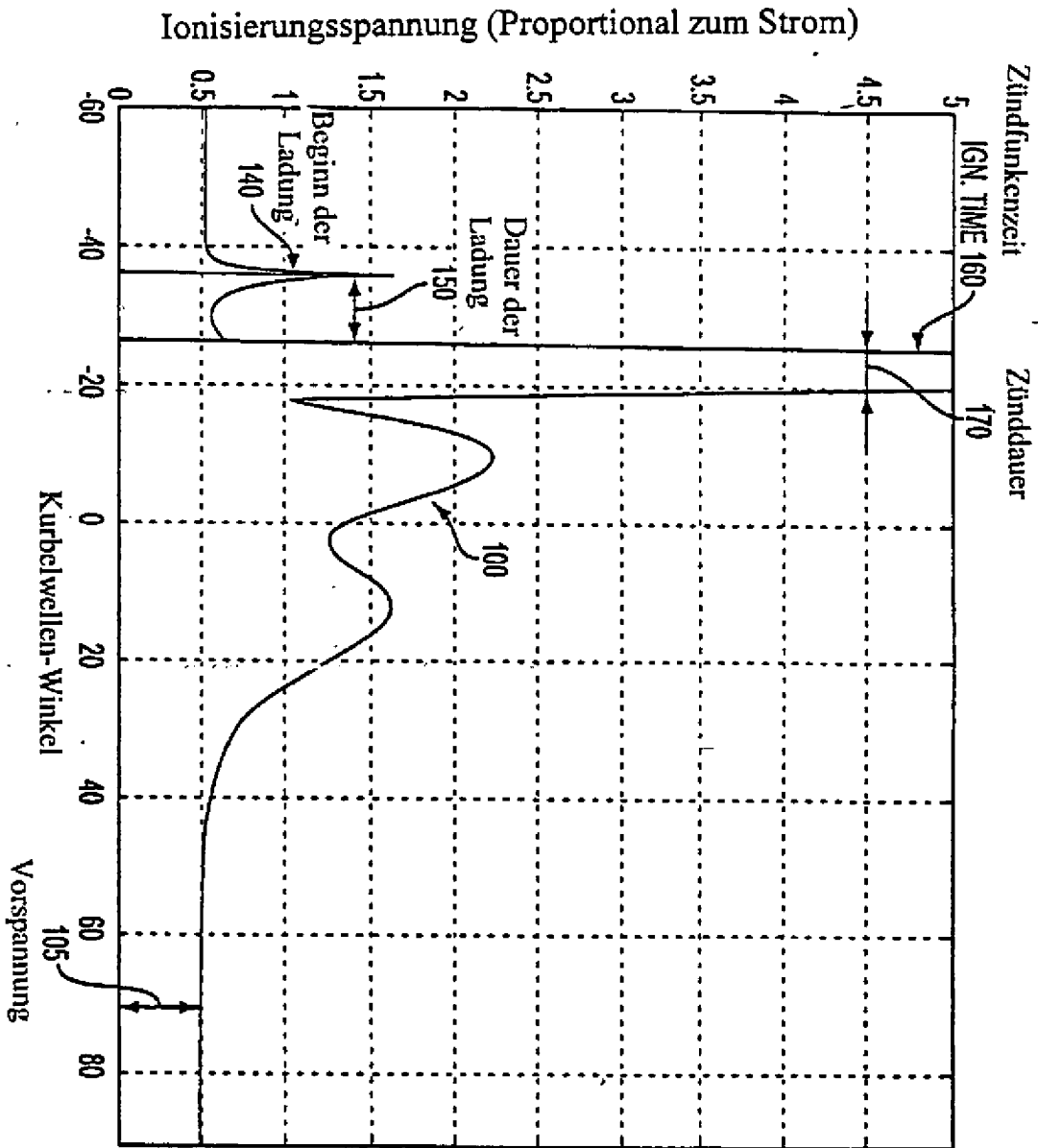


FIG. 2

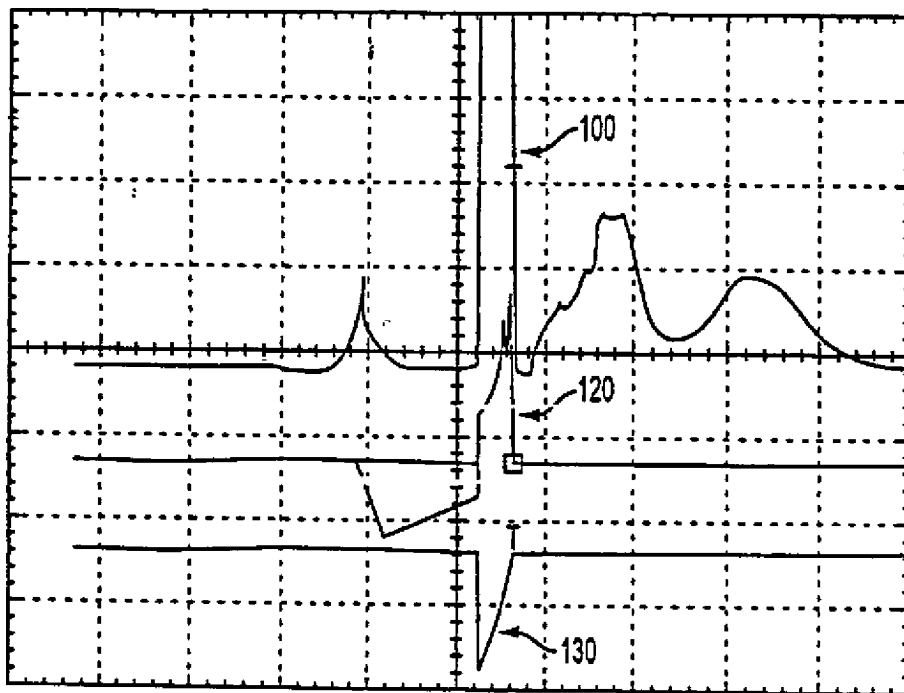


FIG. 3

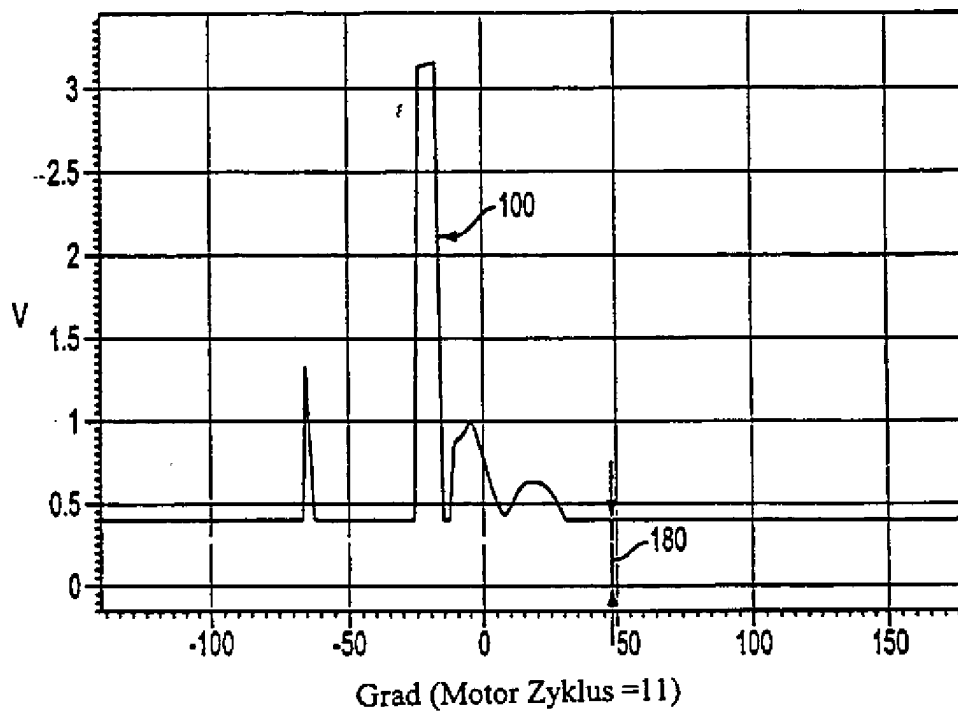


FIG. 4

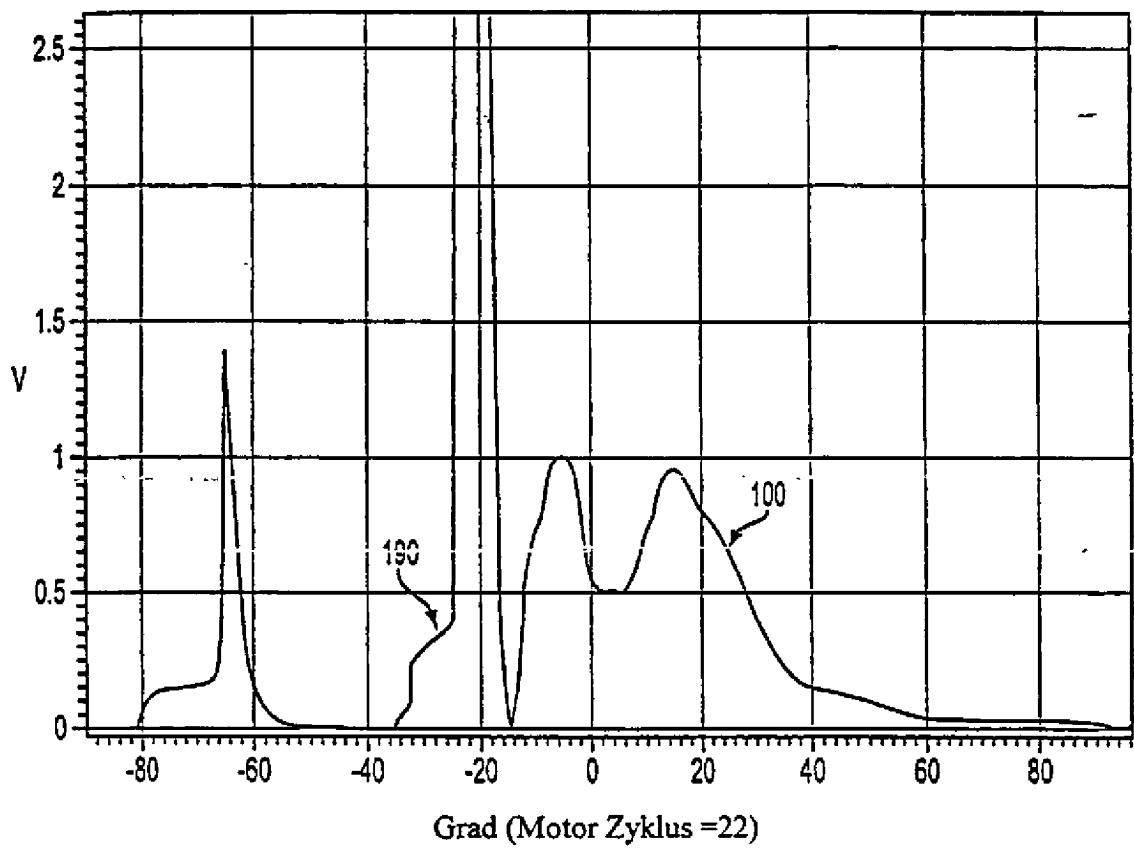


FIG. 5

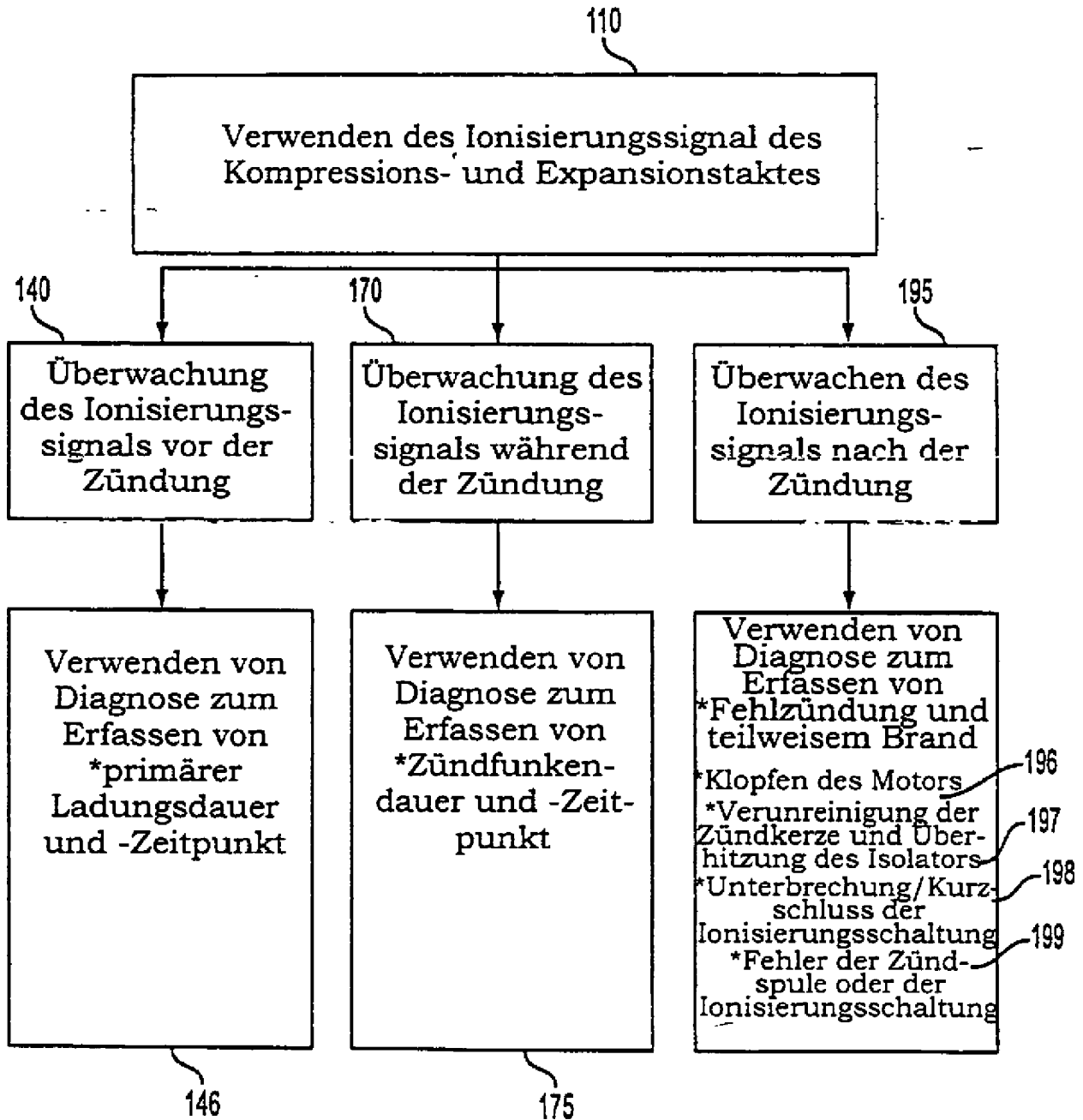


FIG. 6

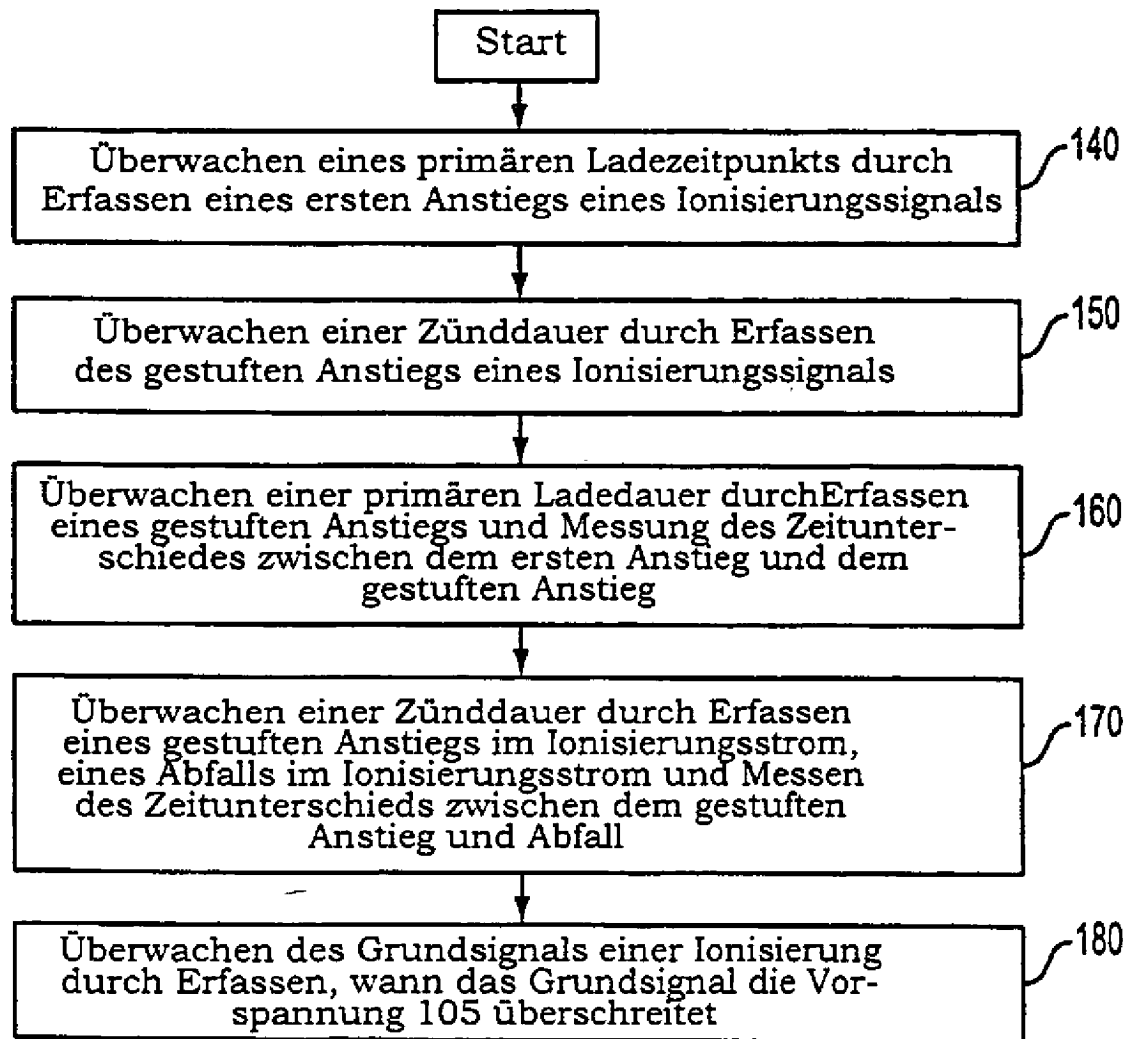


FIG. 7

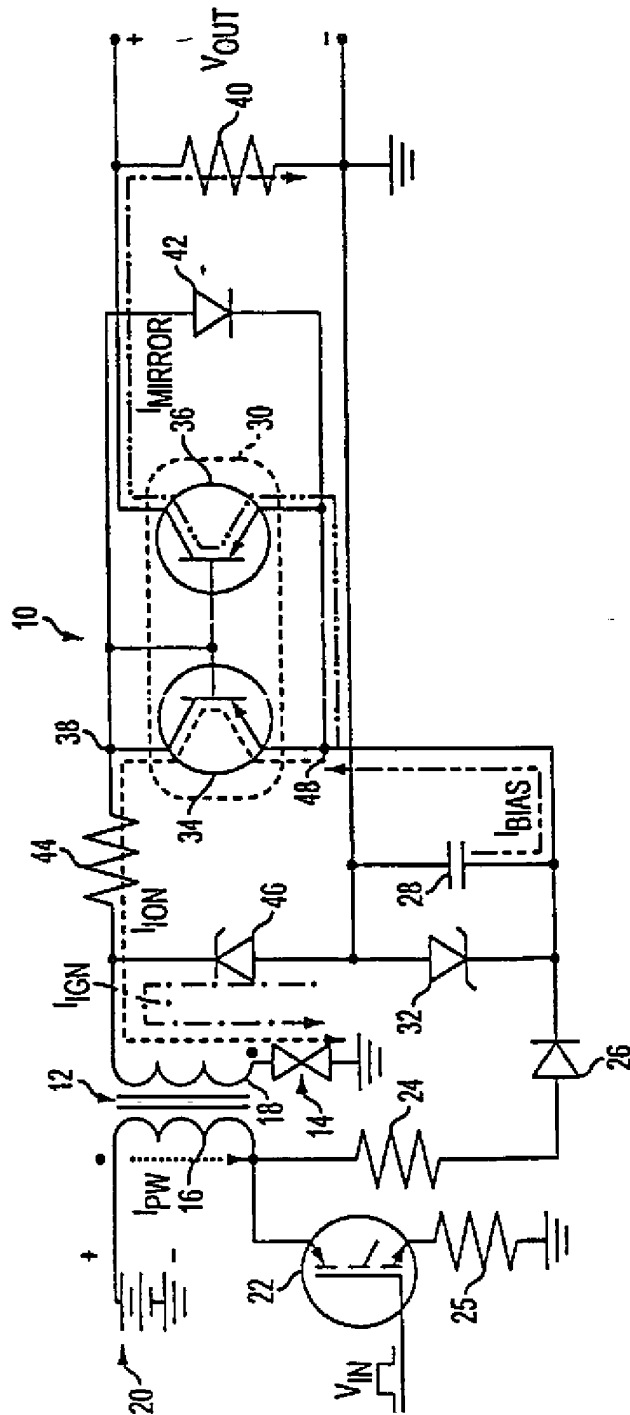


FIG. 8

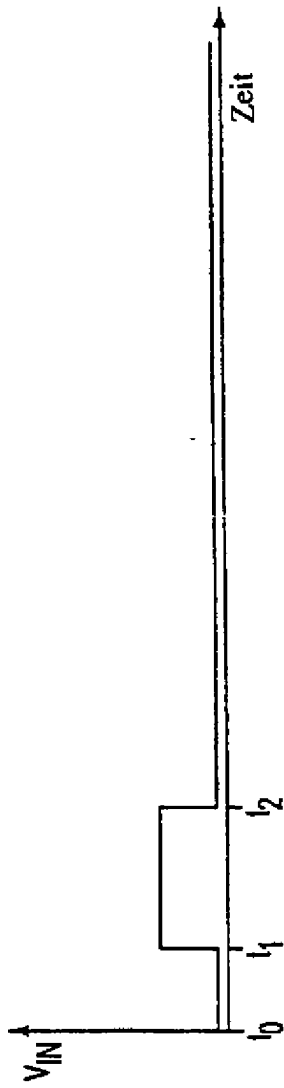


FIG. 9a

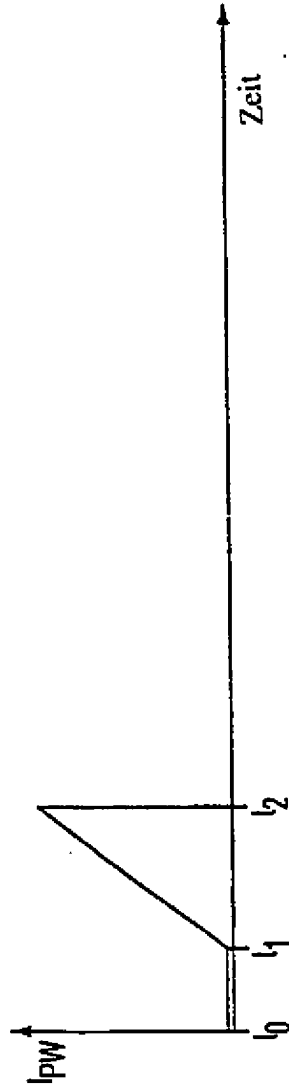


FIG. 9b

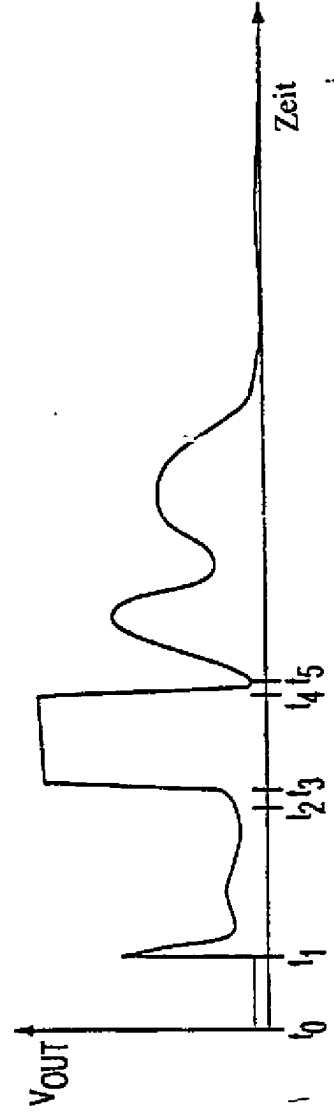


FIG. 9c

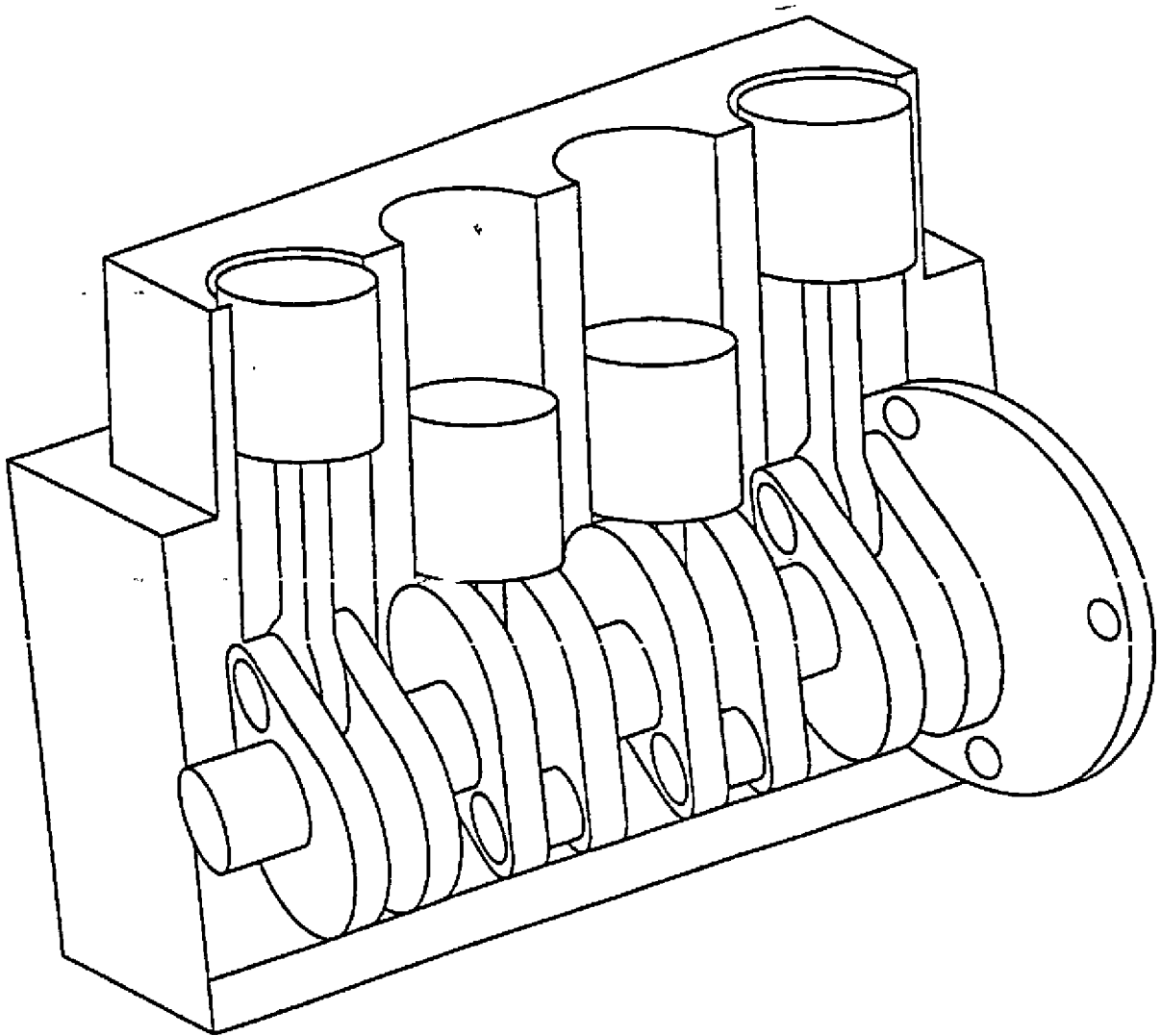


FIG. 10
(PRIOR ART)

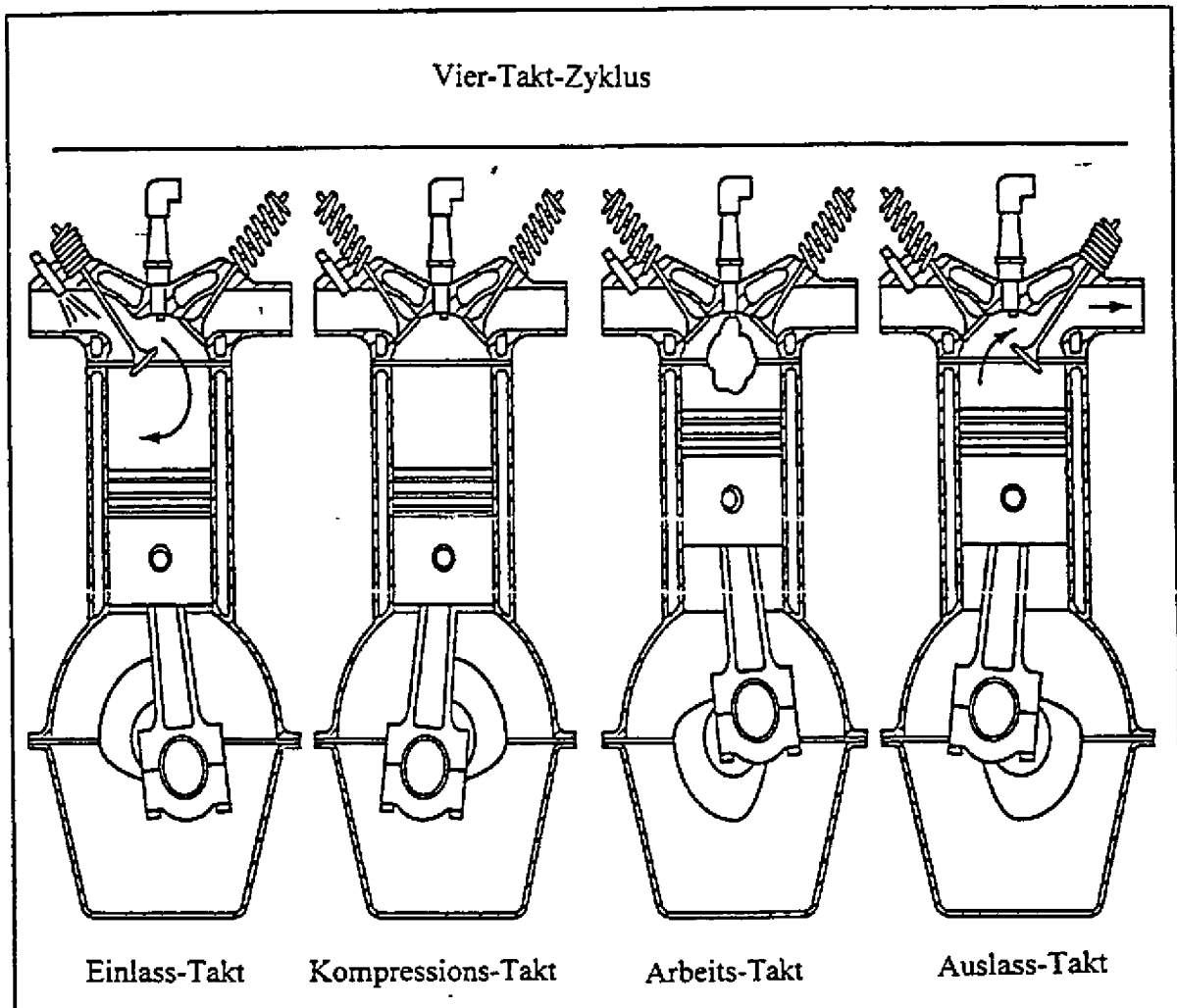


FIG. 11
(PRIOR ART)

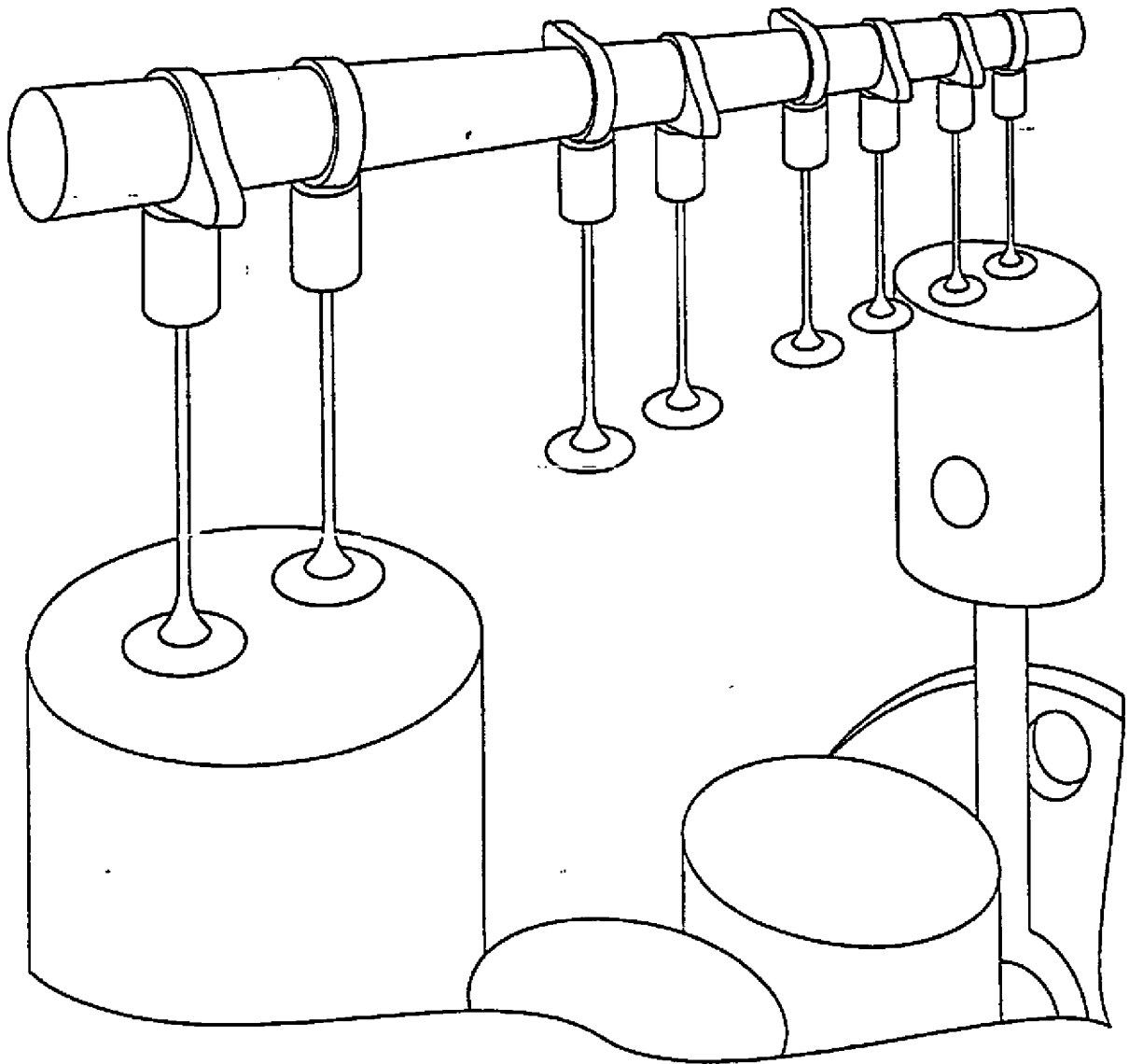


FIG. 12
(PRIOR ART)

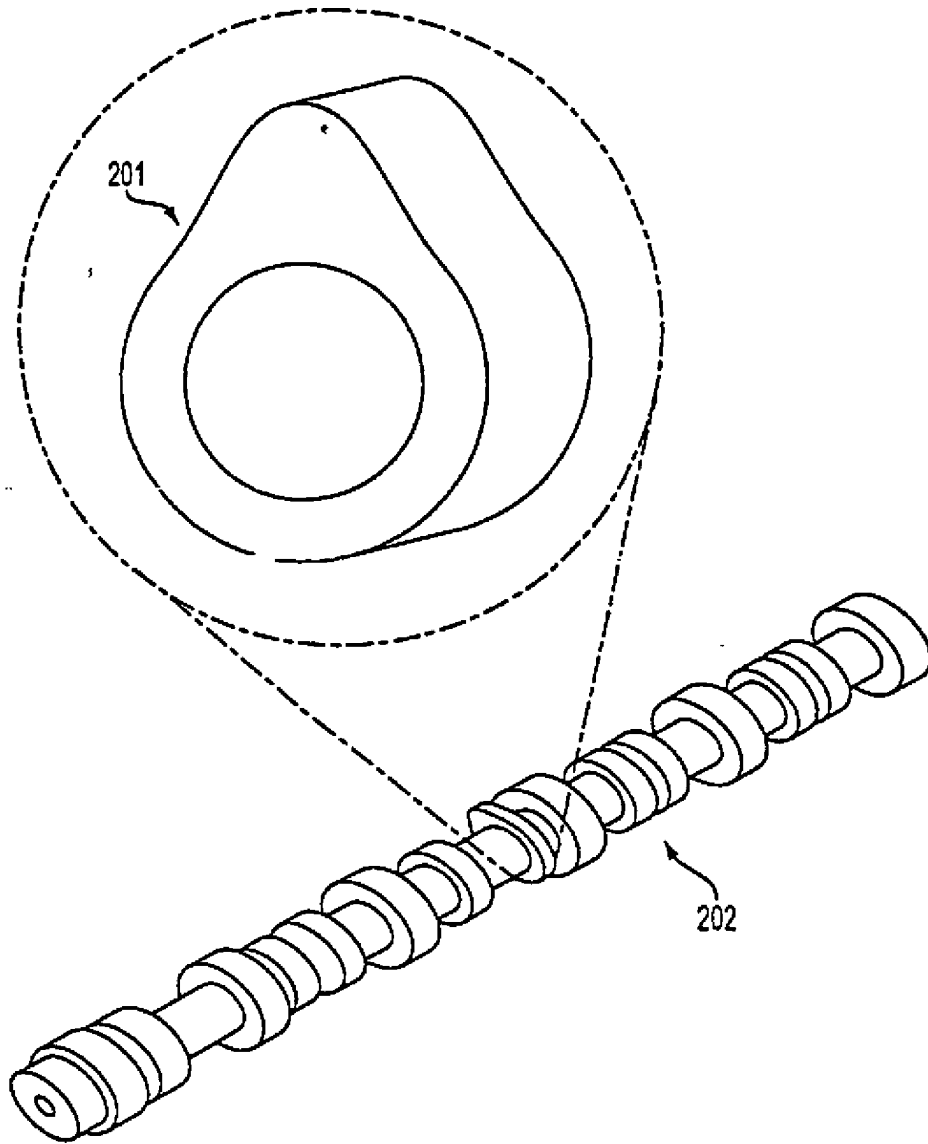


FIG. 13

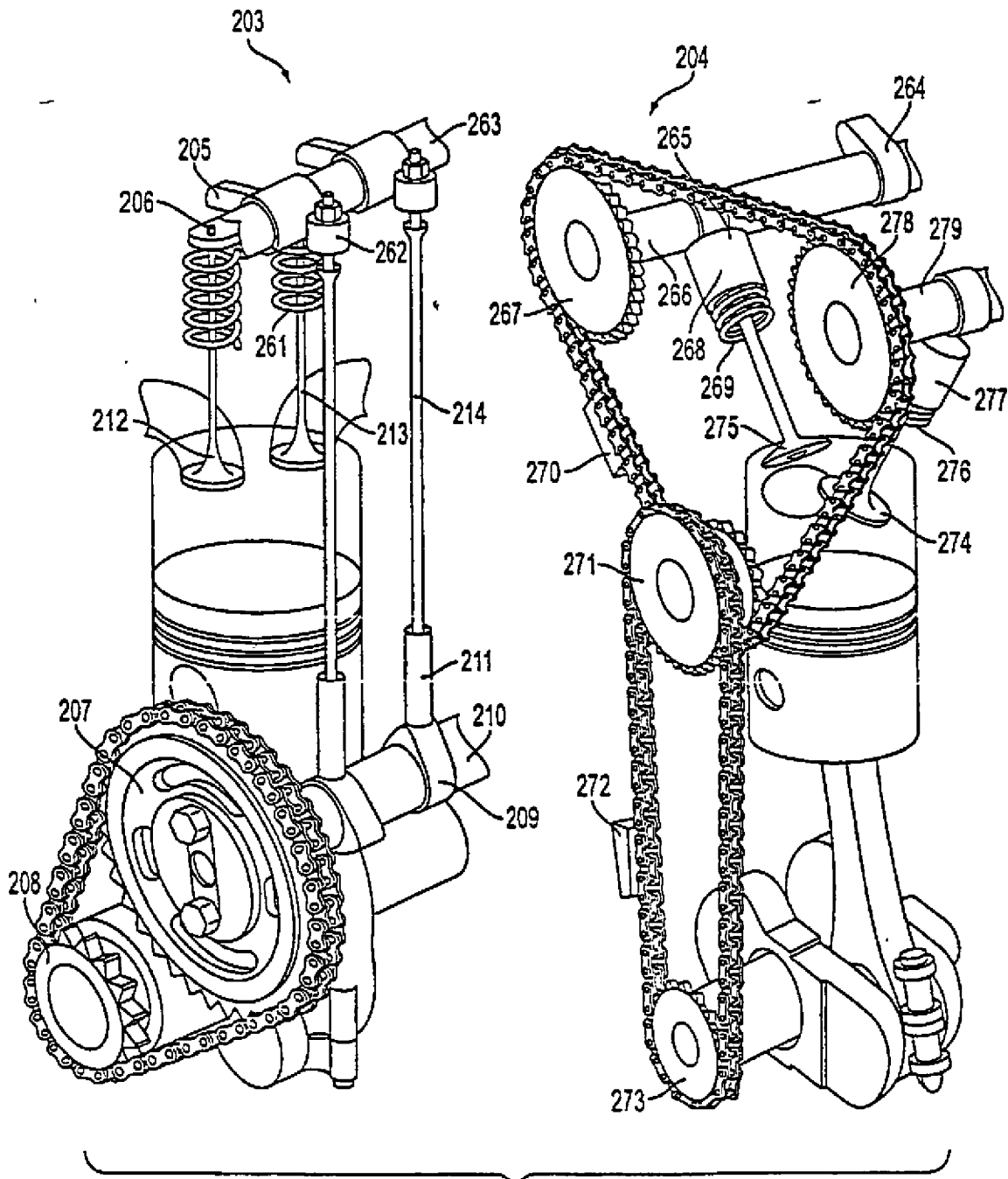
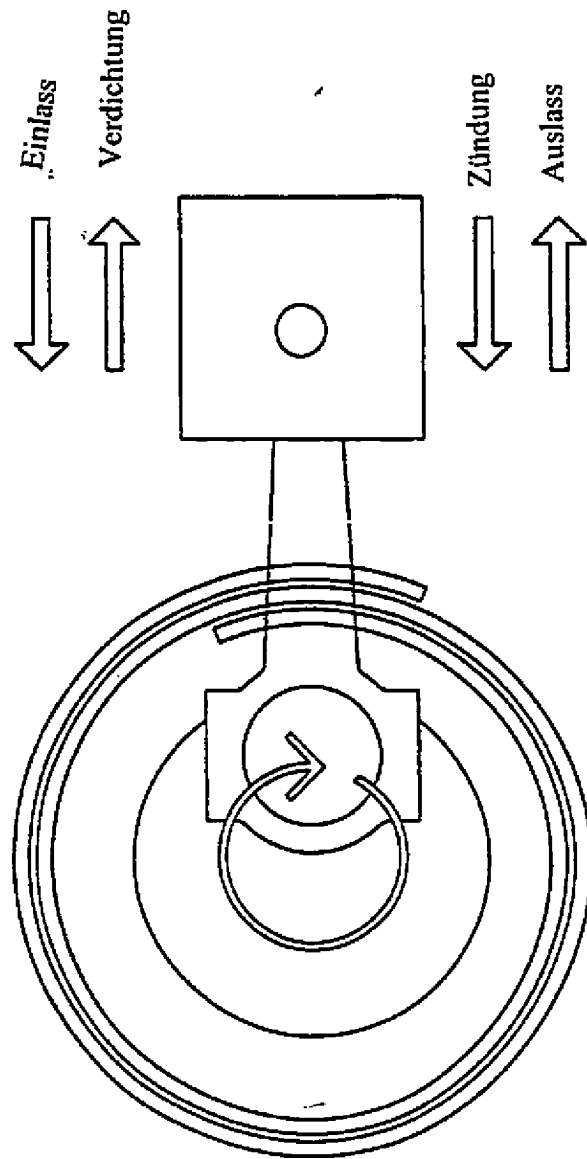


FIG. 14
(PRIORART)



Überdeckung des Ventilzeitpunktes

FIG. 15
(PRIOR ART)

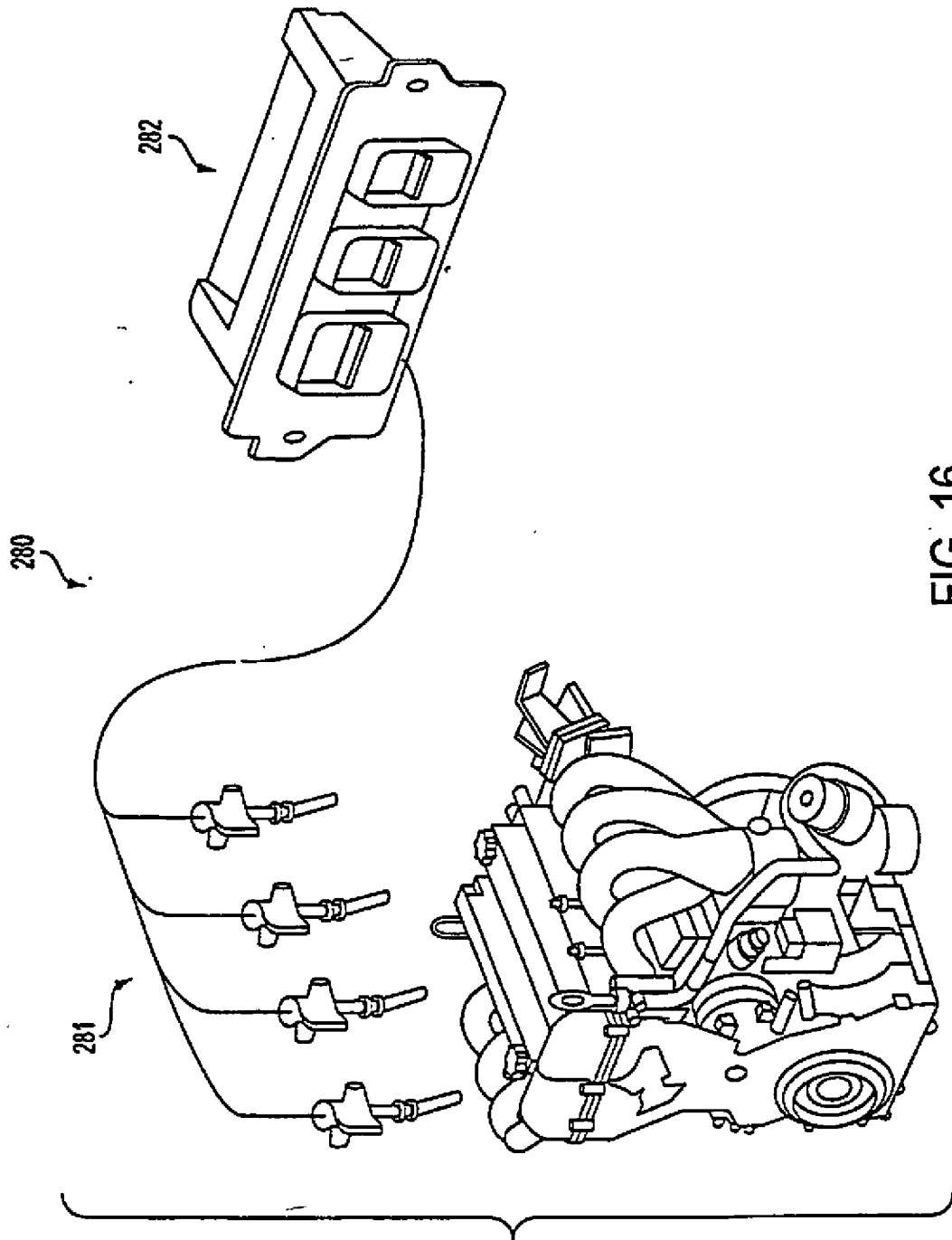


FIG. 16

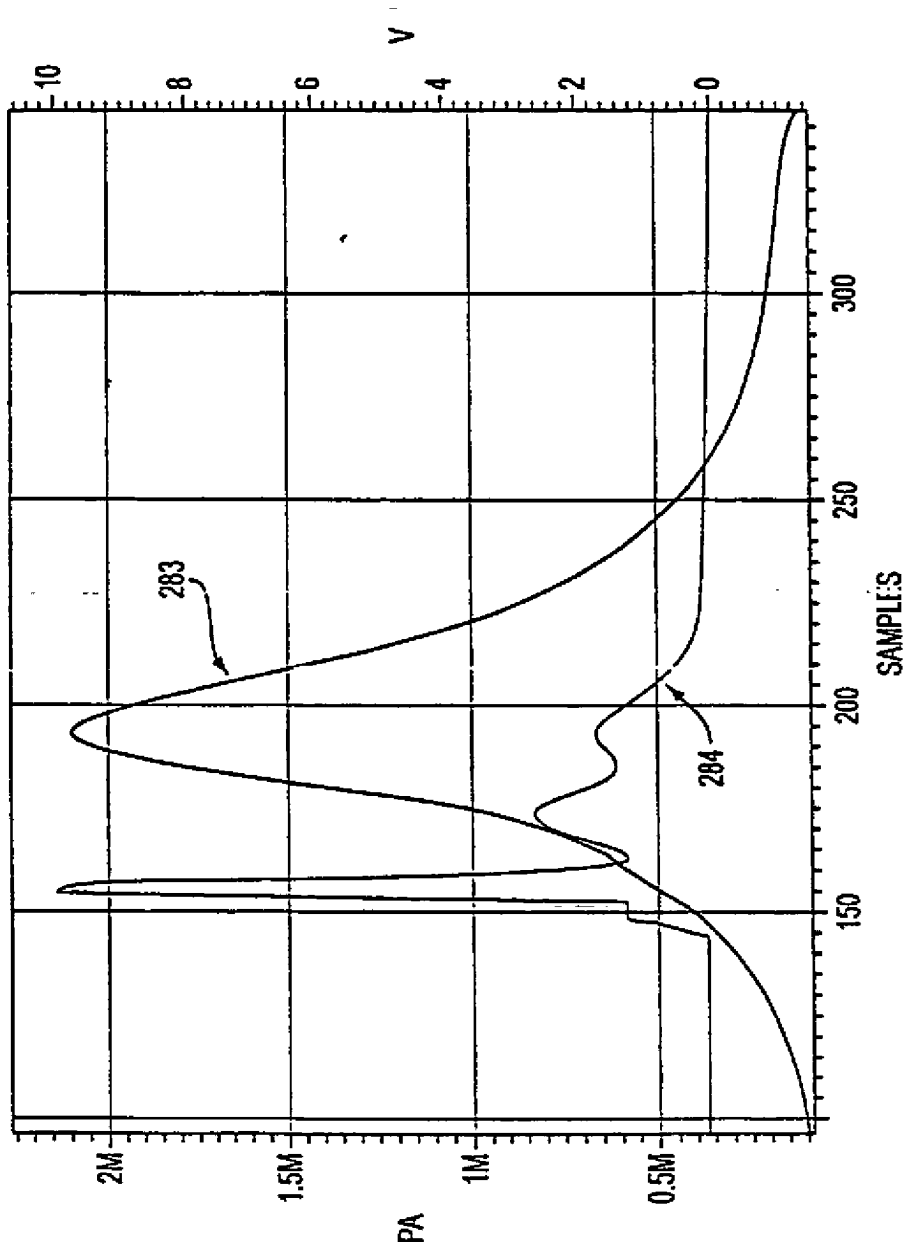


FIG. 17

Viertakt-Betriebszyklus
parallele Zyklusdarstellung für einen Vier-Zylinder-Verbrennungsmotor

Zündfolge: 1-3-4-2

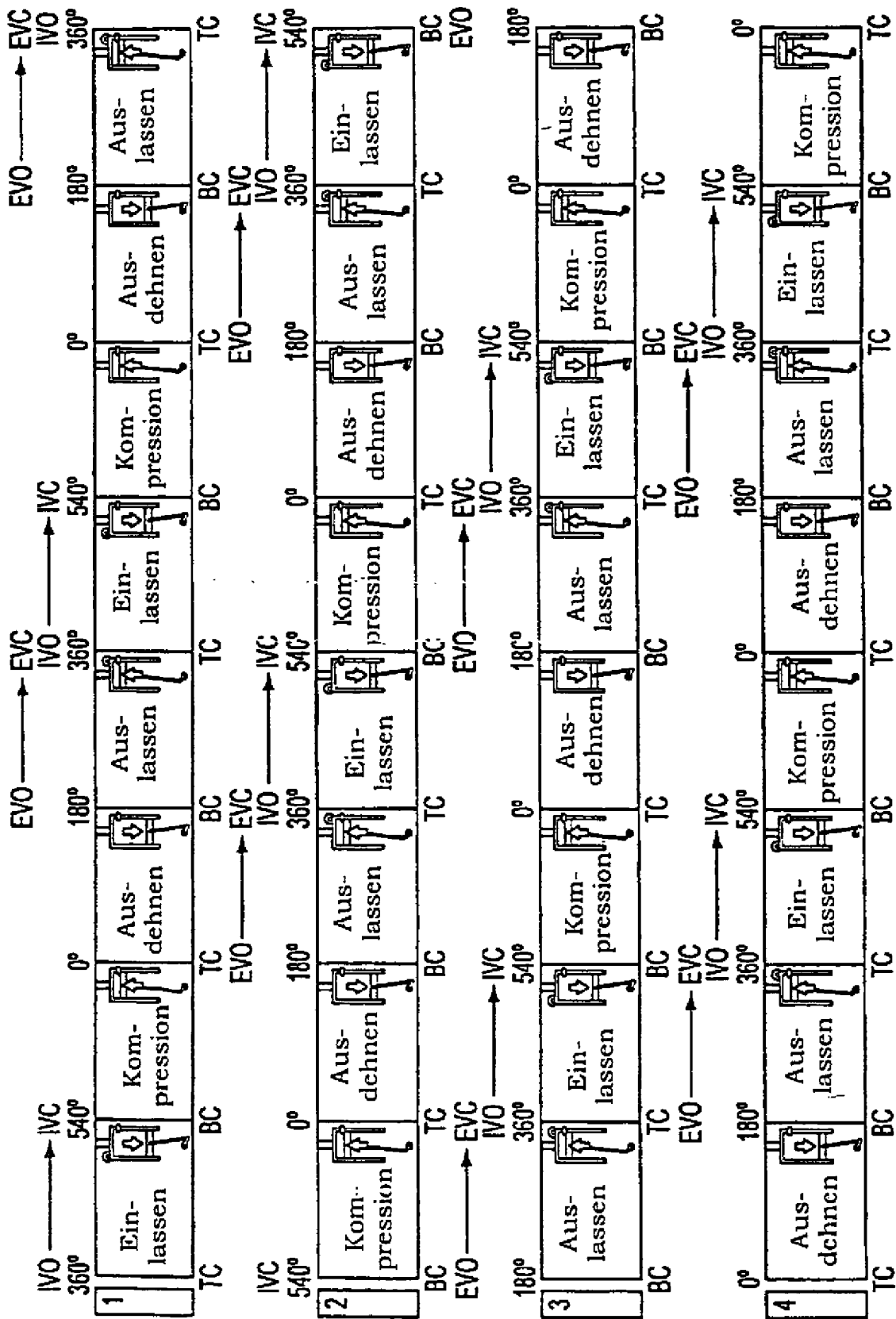


FIG. 18

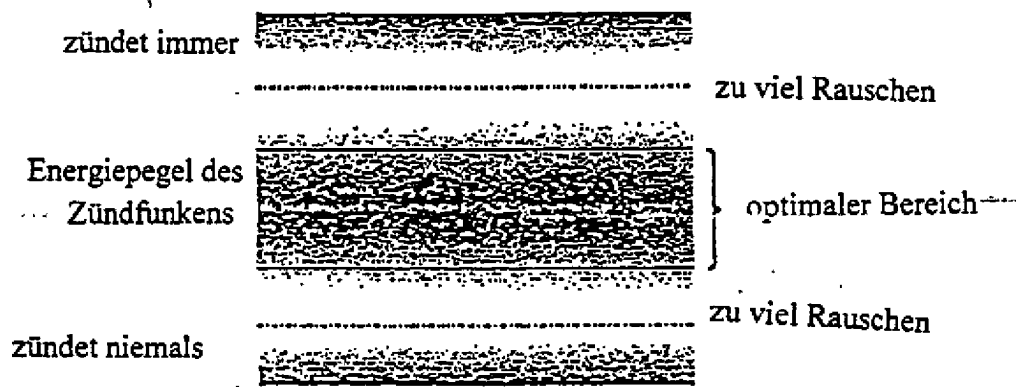


FIG. 19

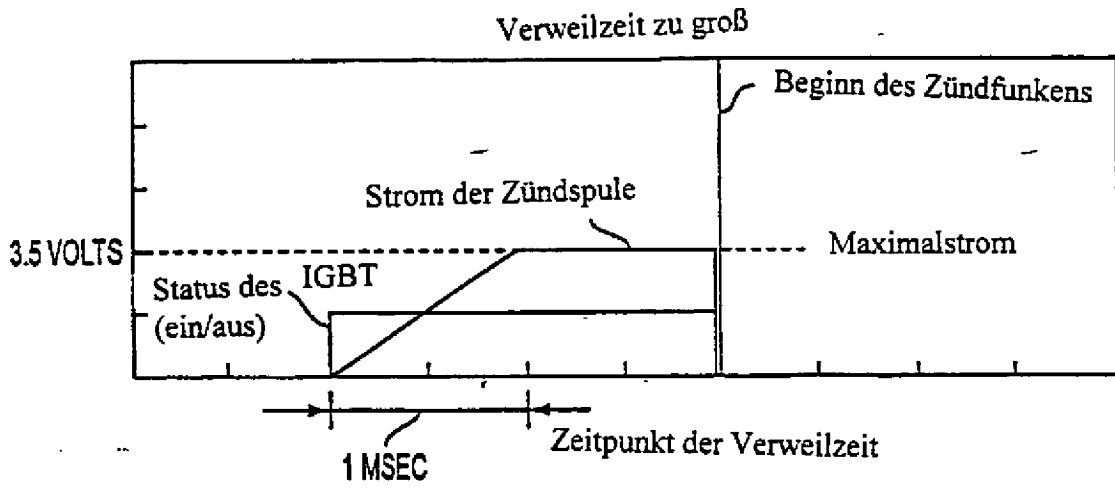


FIG. 20a

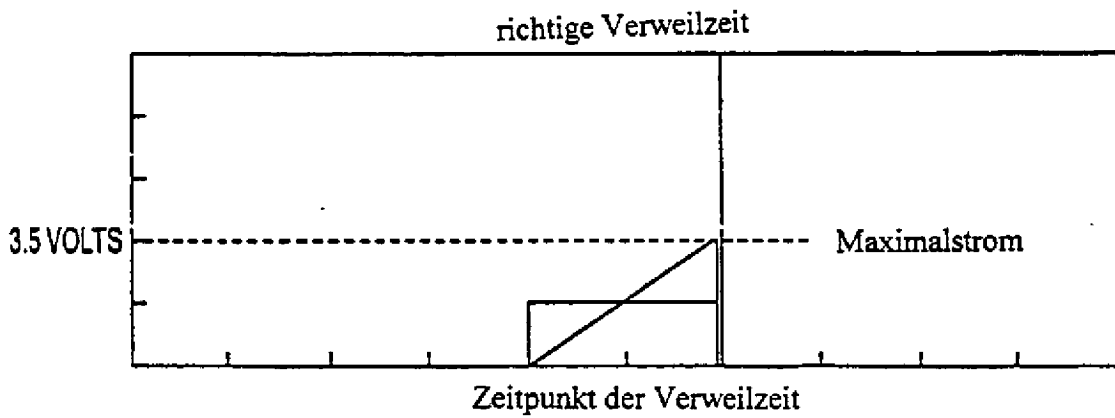


FIG. 20b

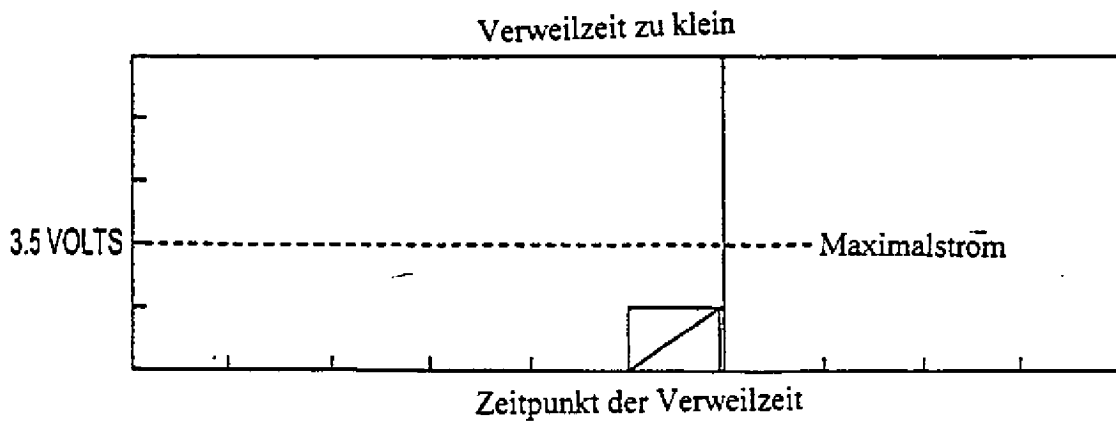


FIG. 20c

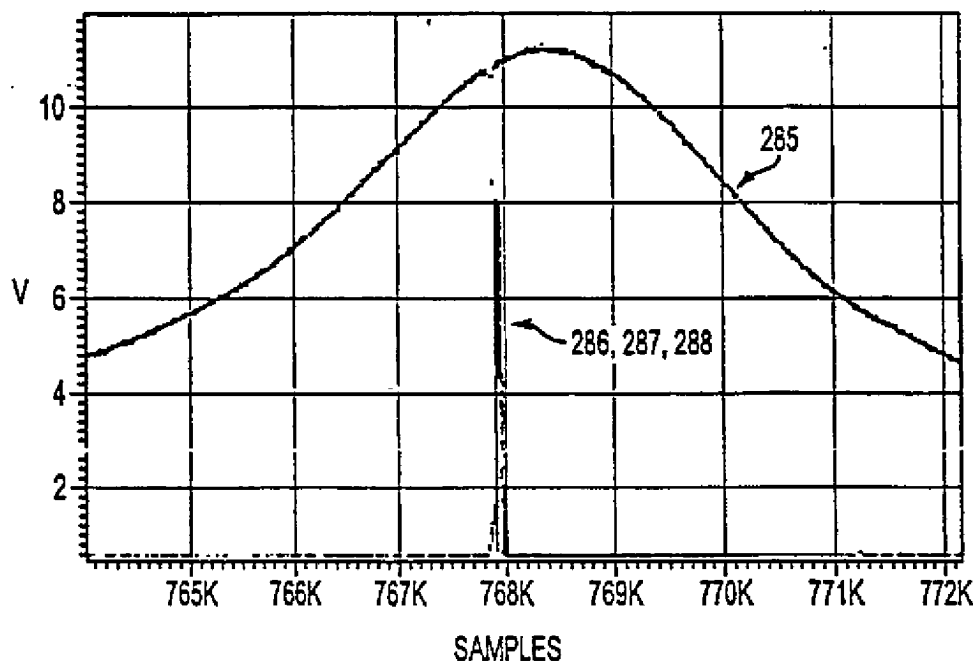


FIG. 21

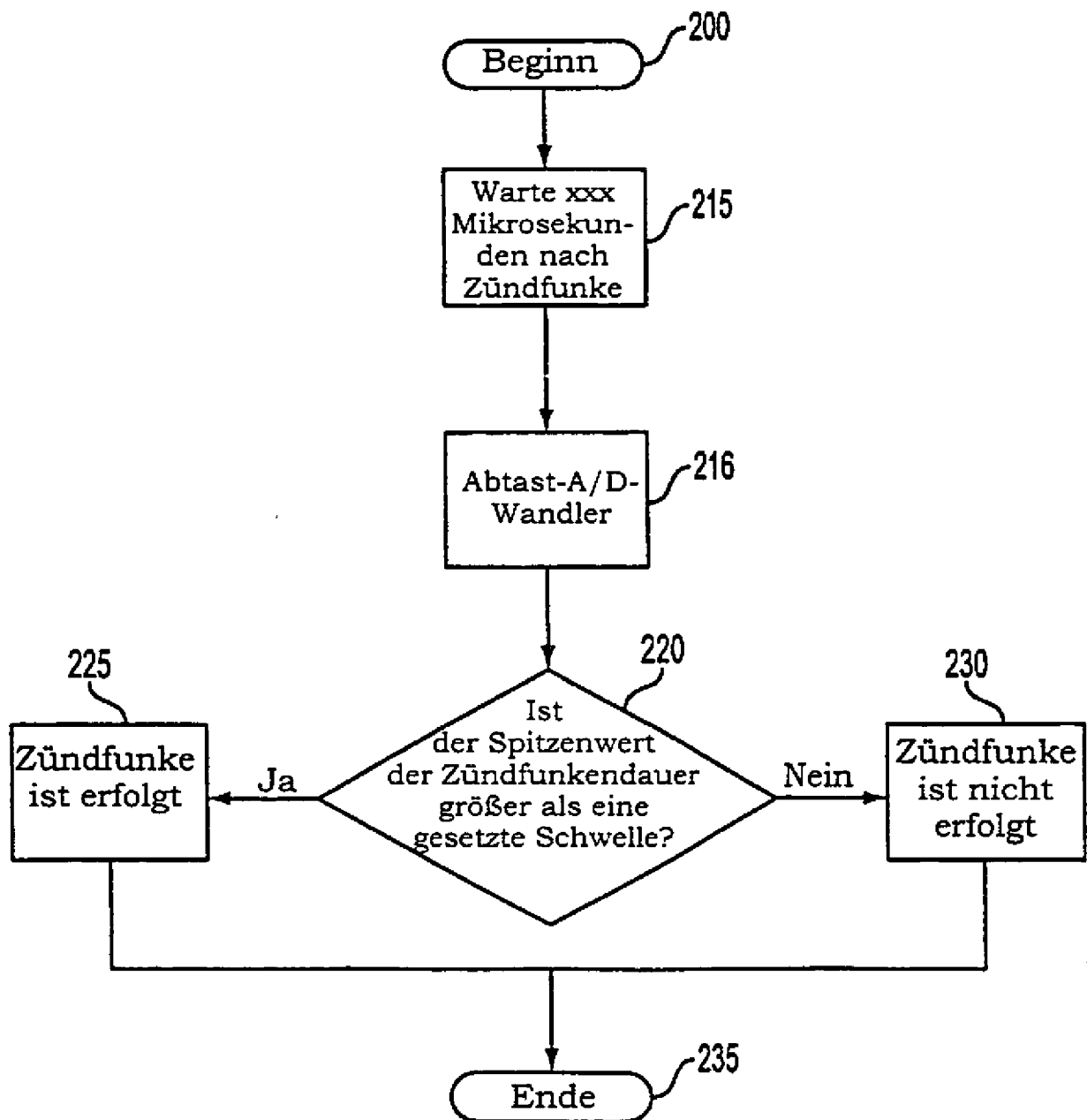


FIG. 23

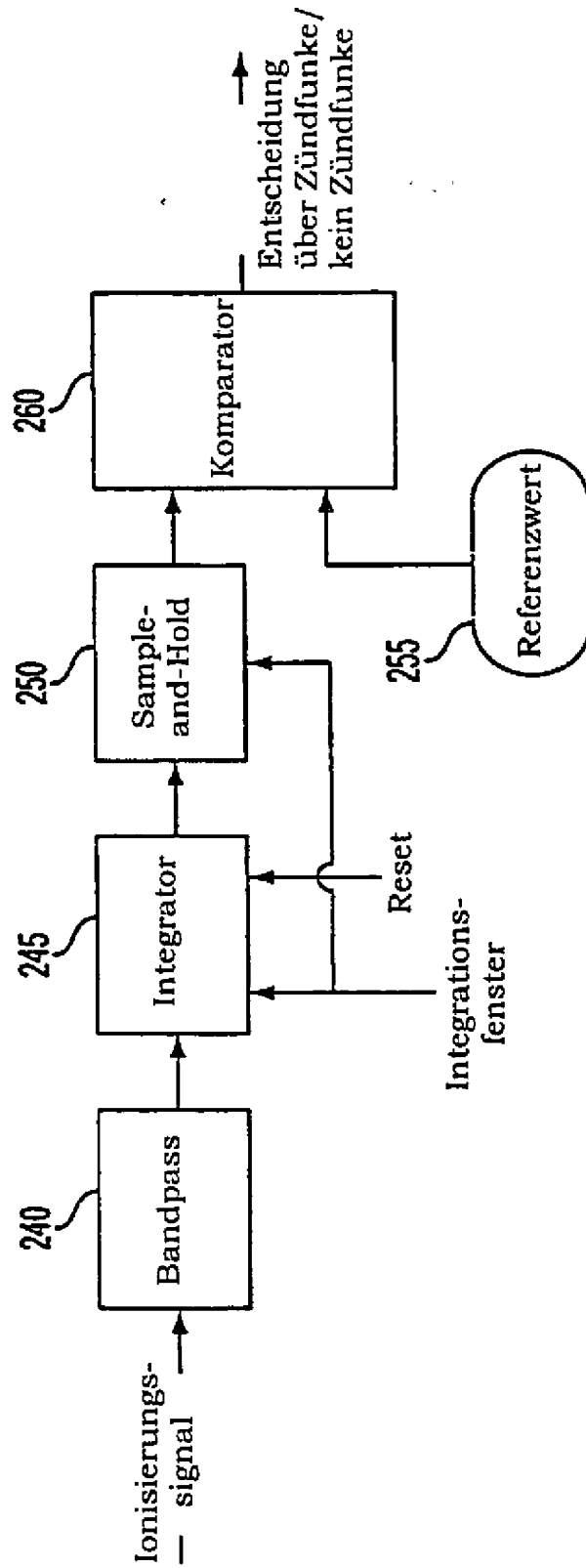


FIG. 24

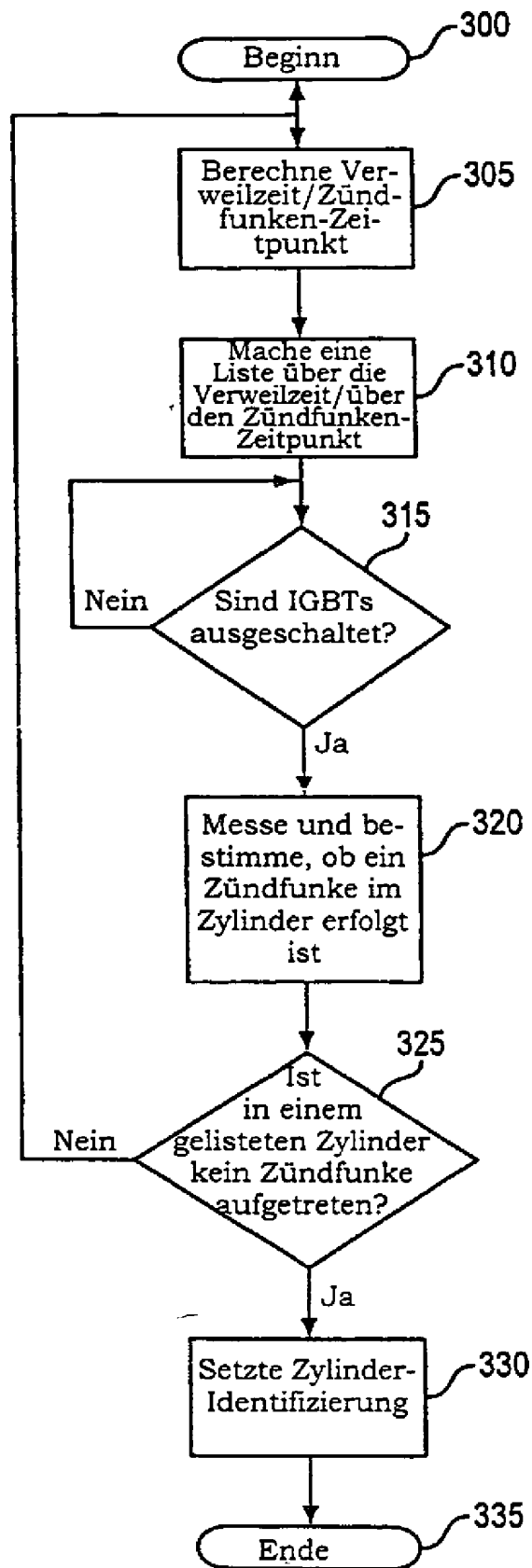


FIG. 25

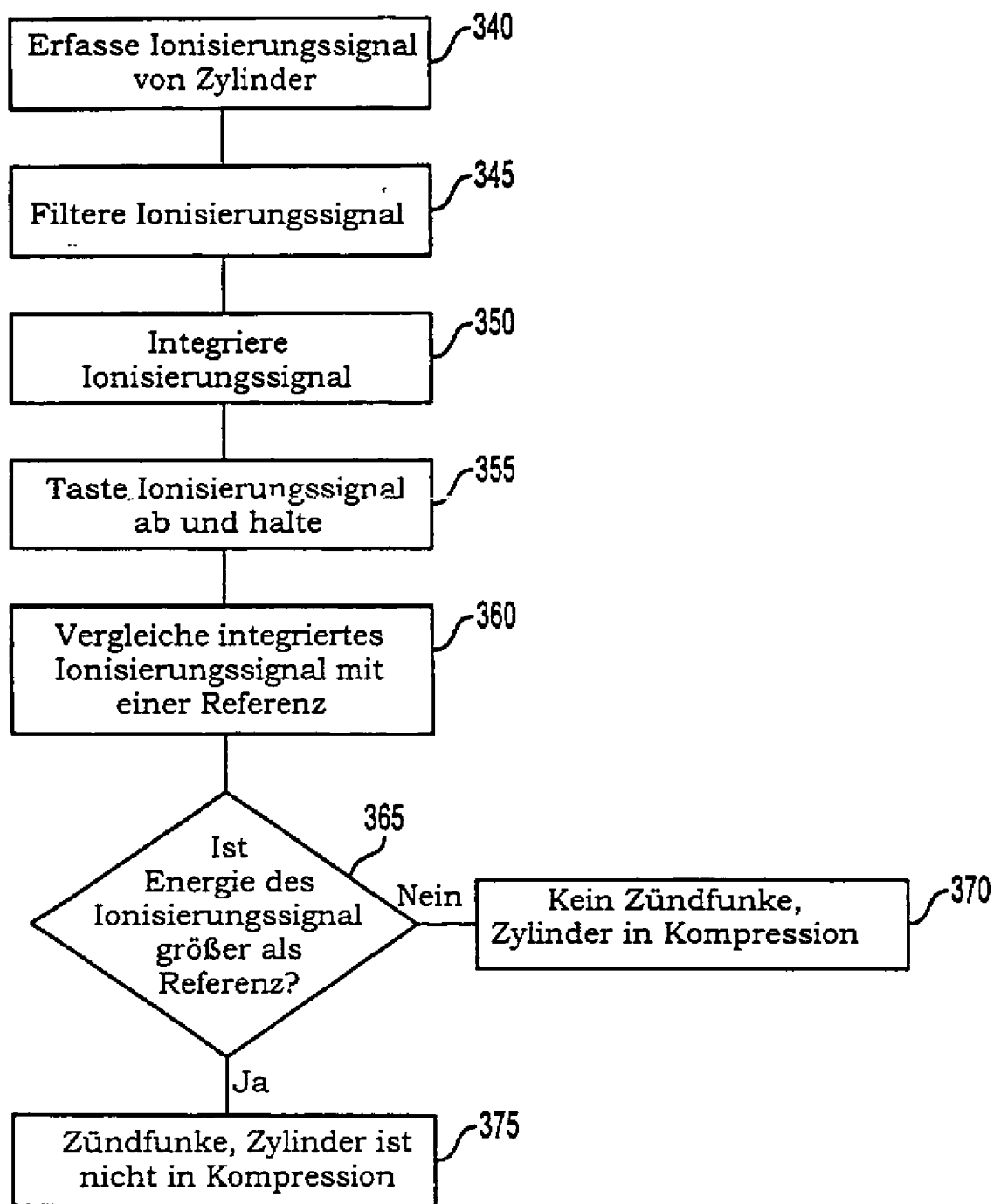


FIG. 26

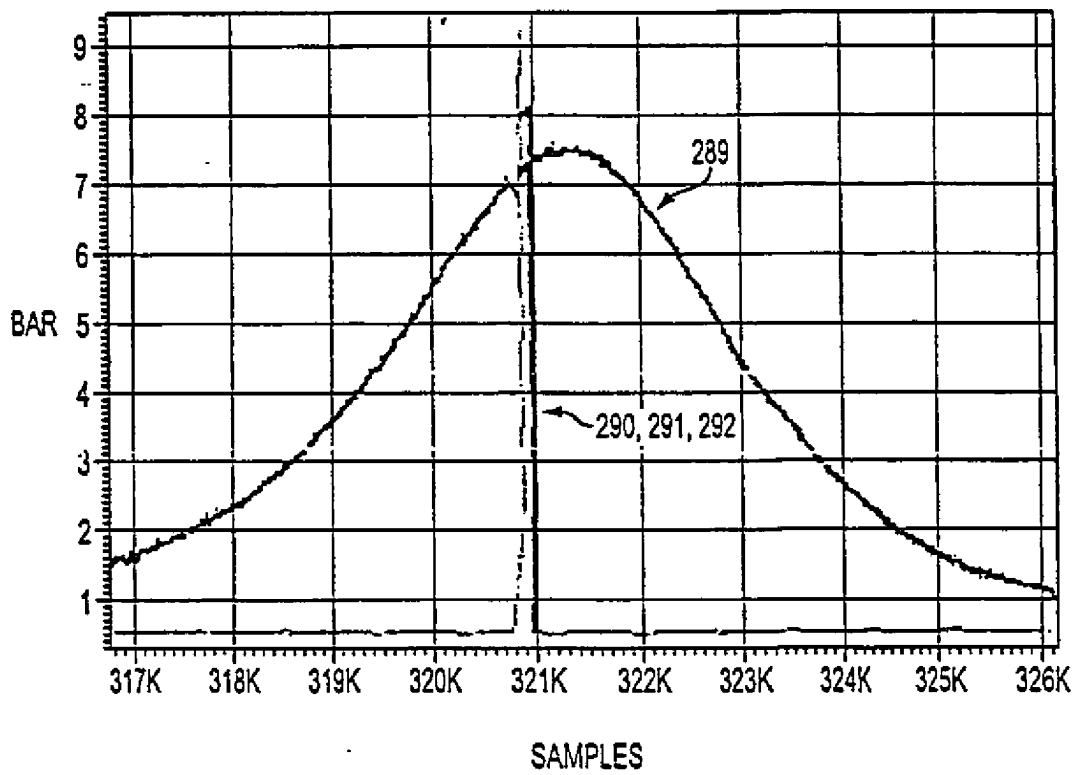


FIG. 27

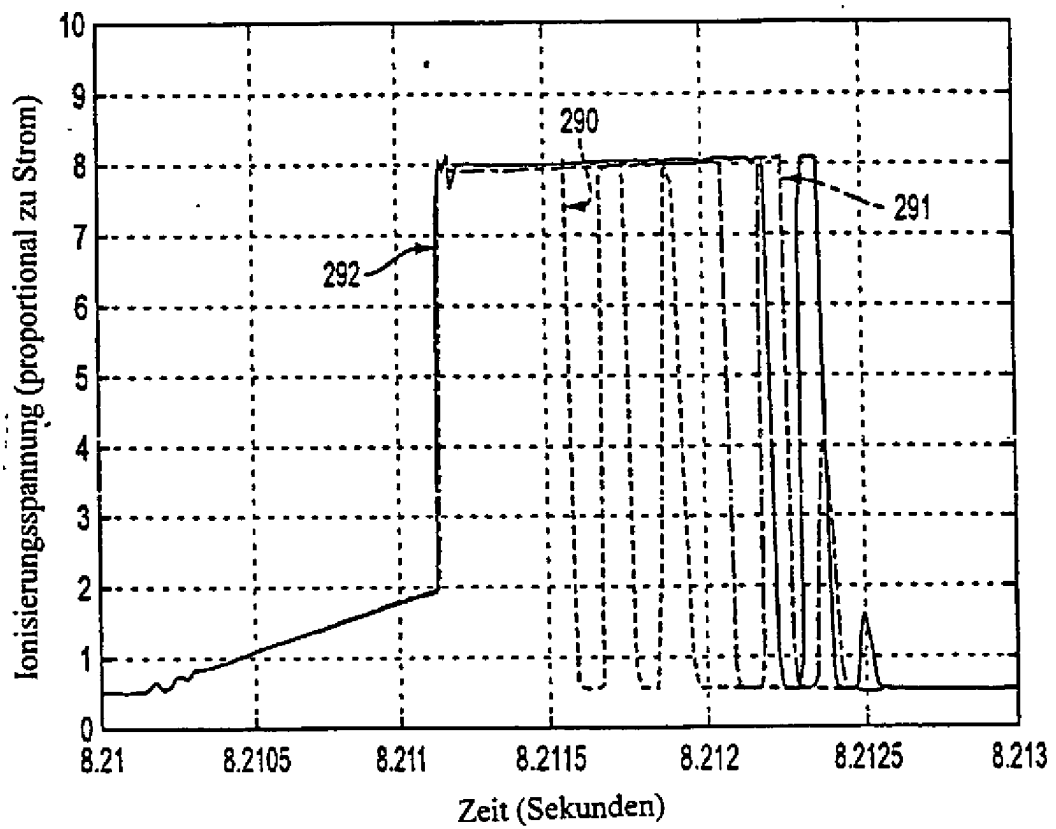


FIG. 28

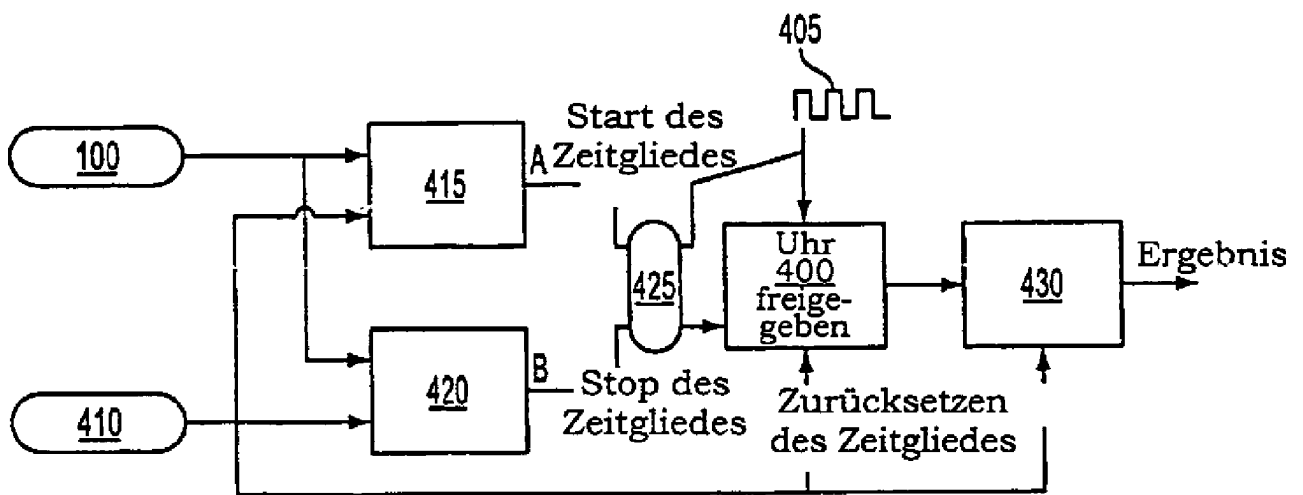


FIG. 29

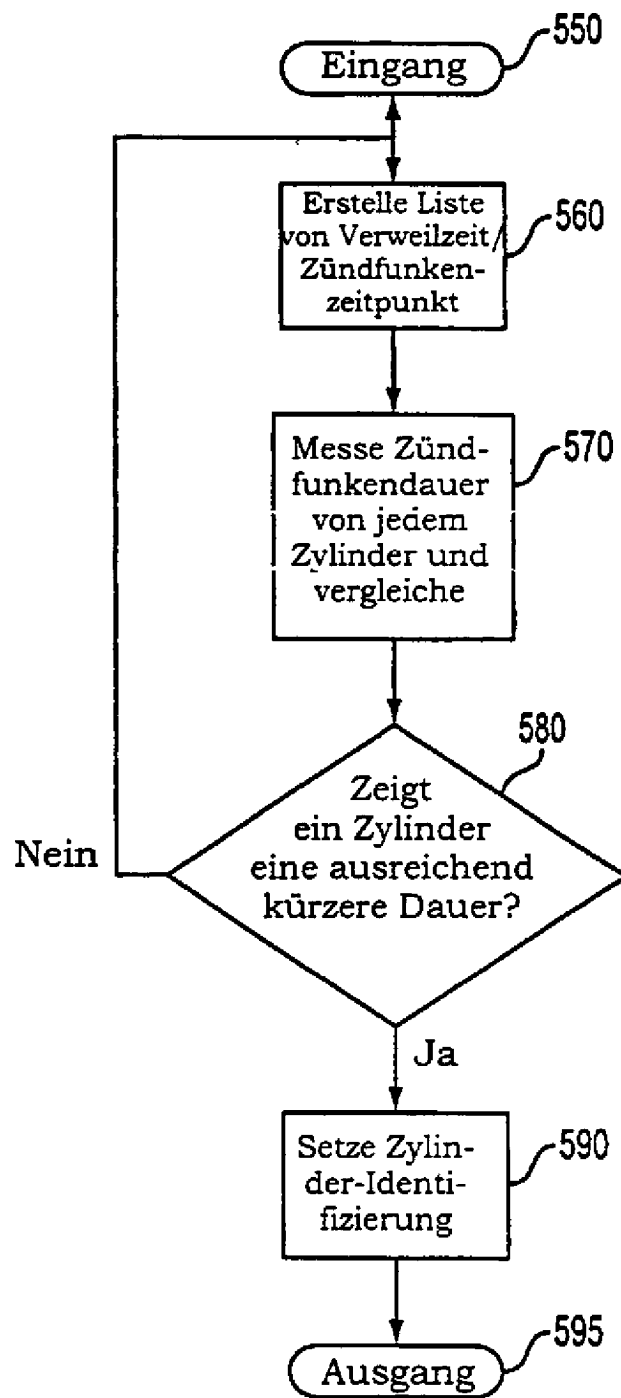


FIG. 30

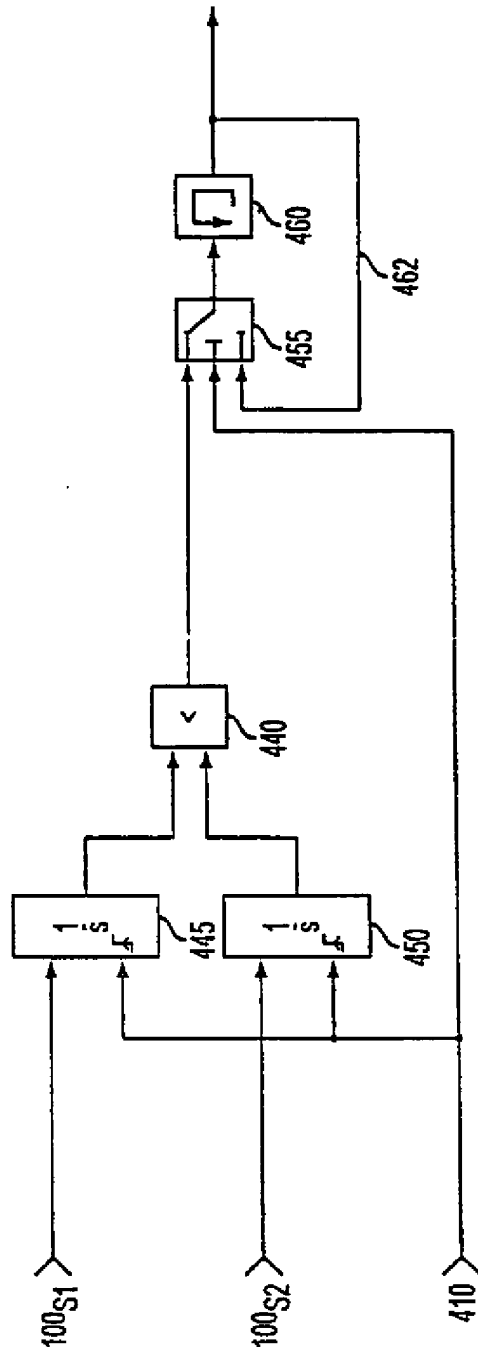


FIG. 31

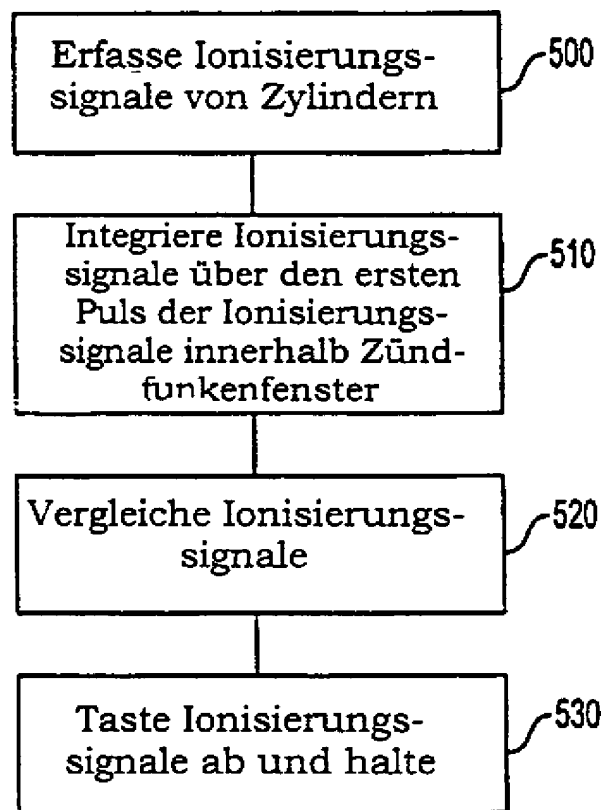


FIG. 32

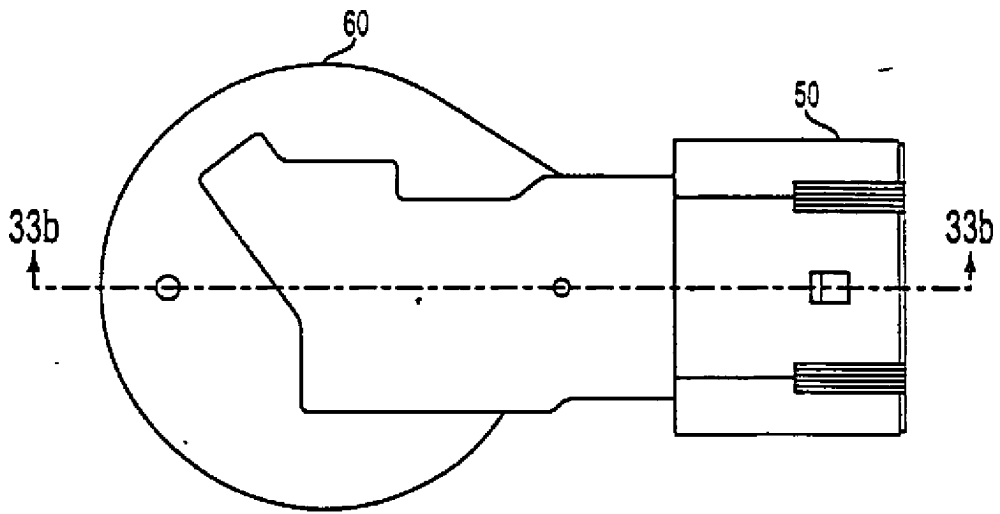


FIG. 33a

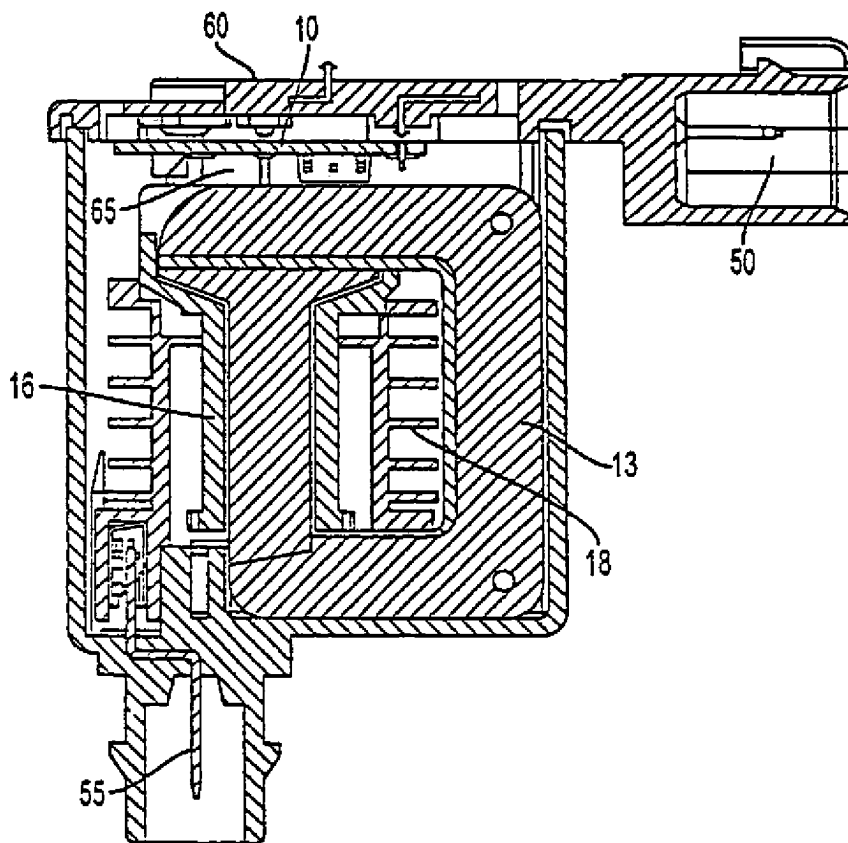


FIG. 33b

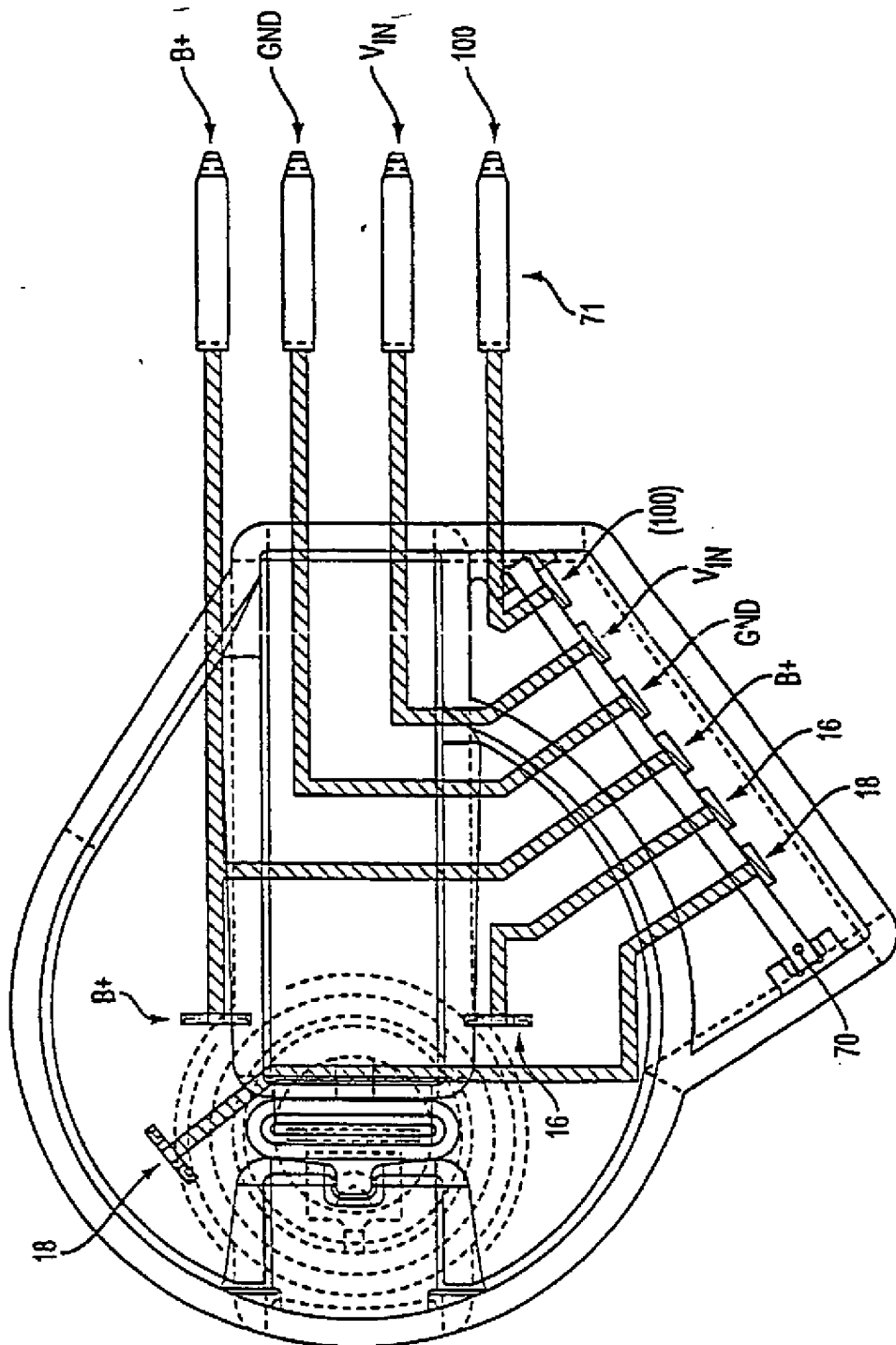


FIG. 34

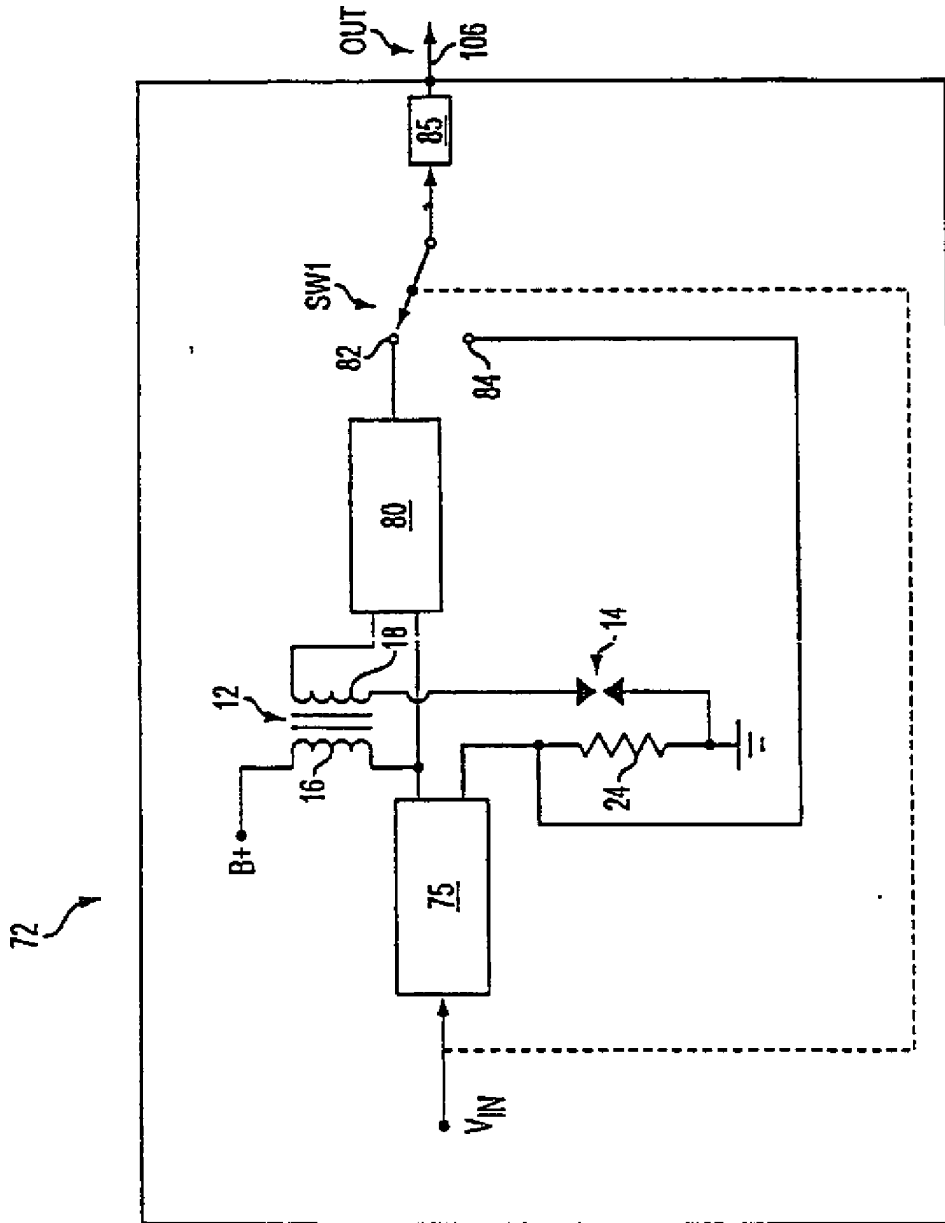


FIG. 35

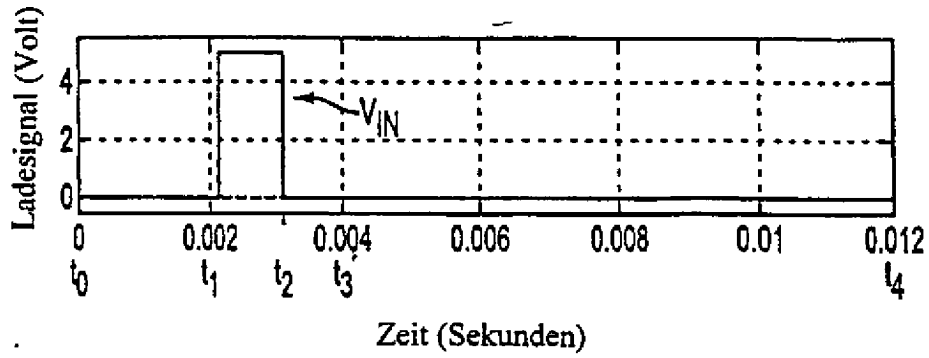


FIG. 36a

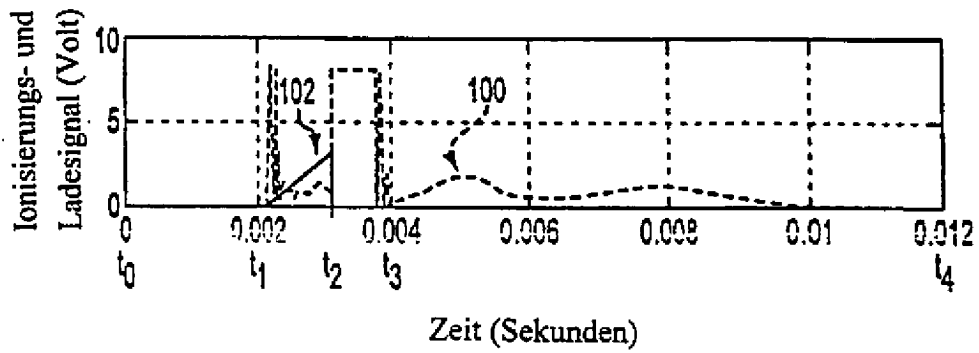


FIG. 36b

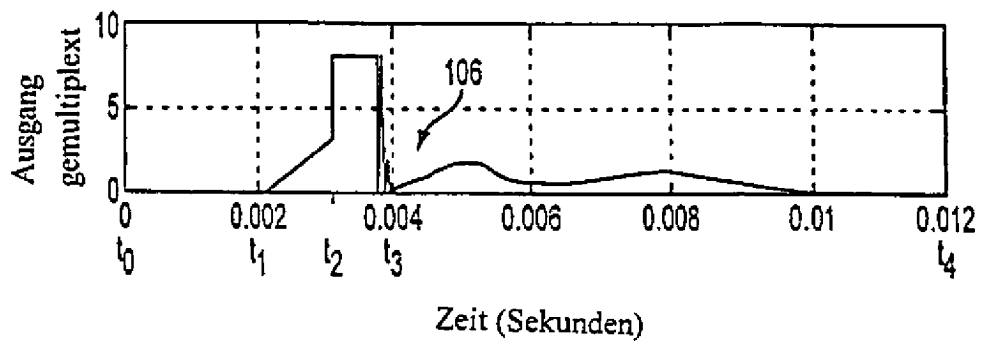


FIG. 36c

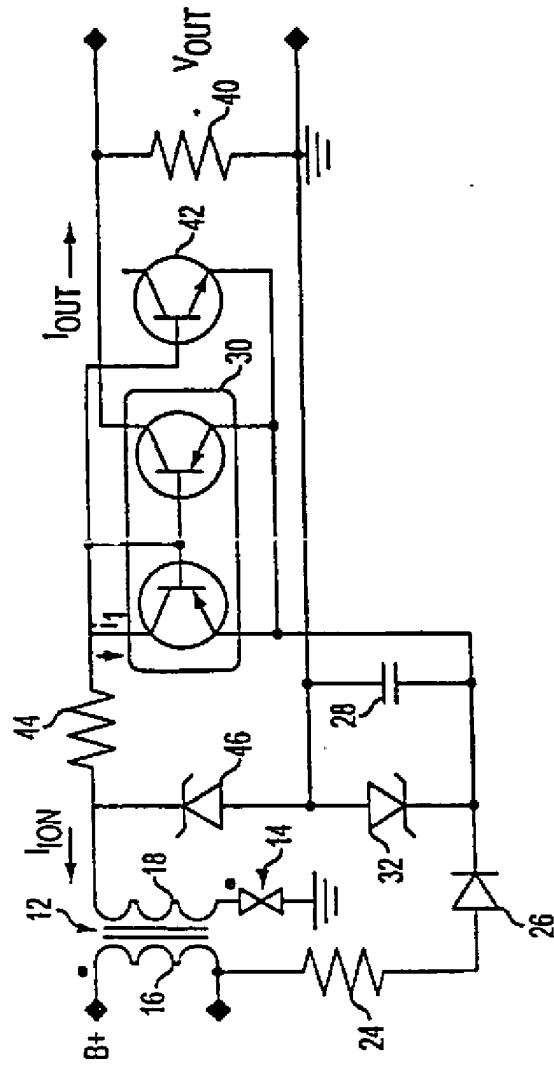


FIG. 37

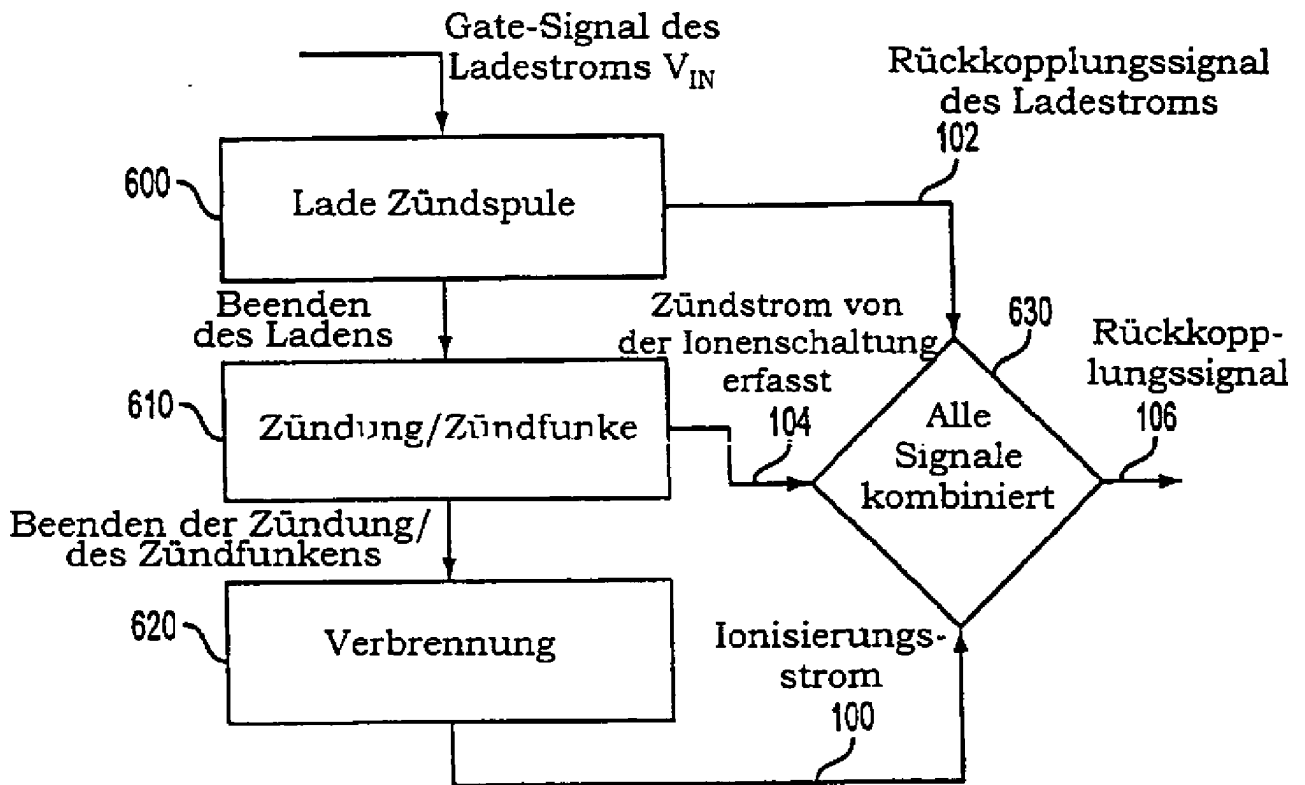


FIG. 38

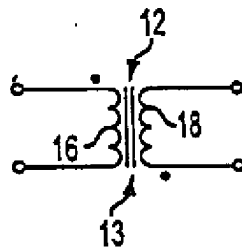


FIG. 39

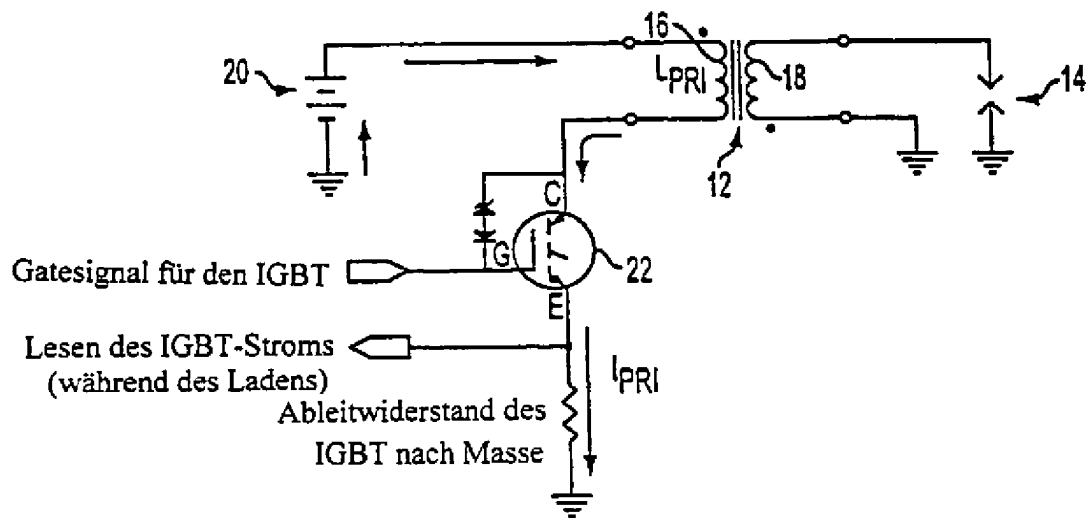


FIG. 40

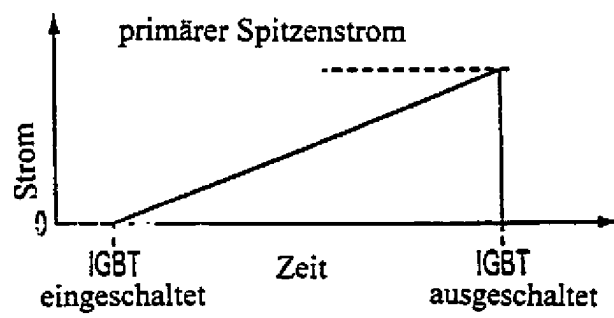


FIG. 41

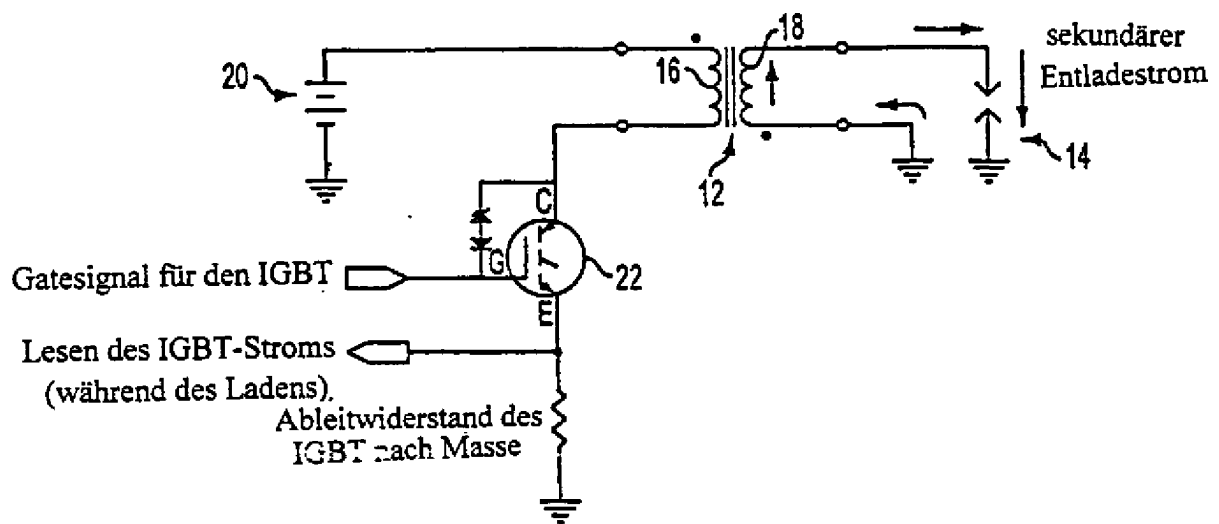


FIG. 42

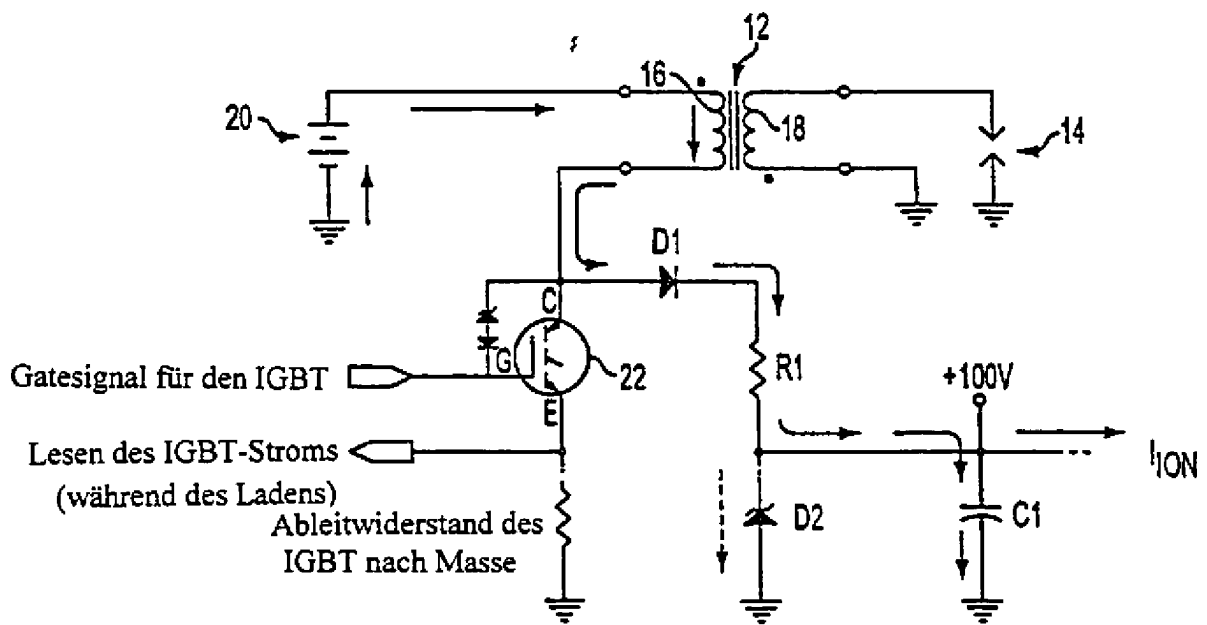


FIG. 43

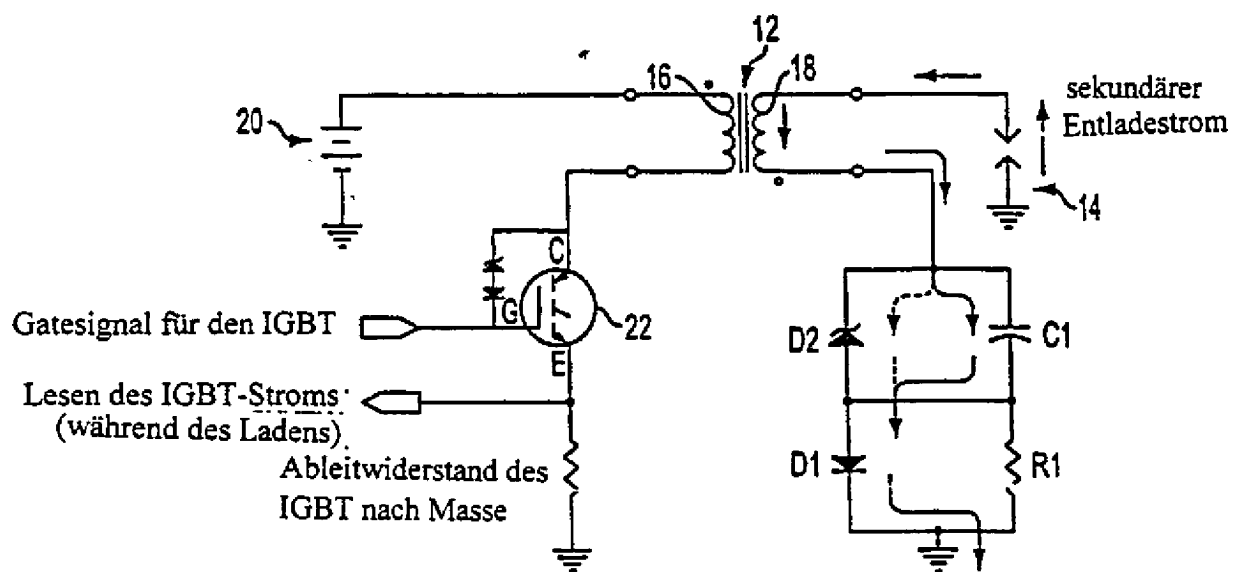


FIG. 44

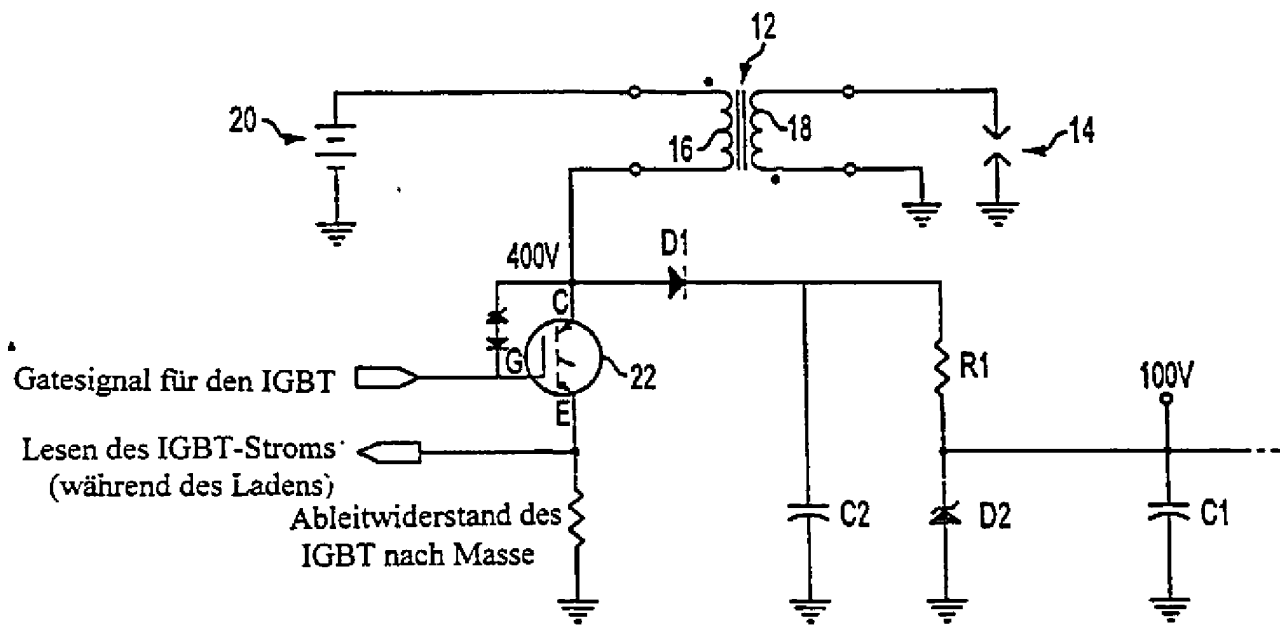


FIG. 45

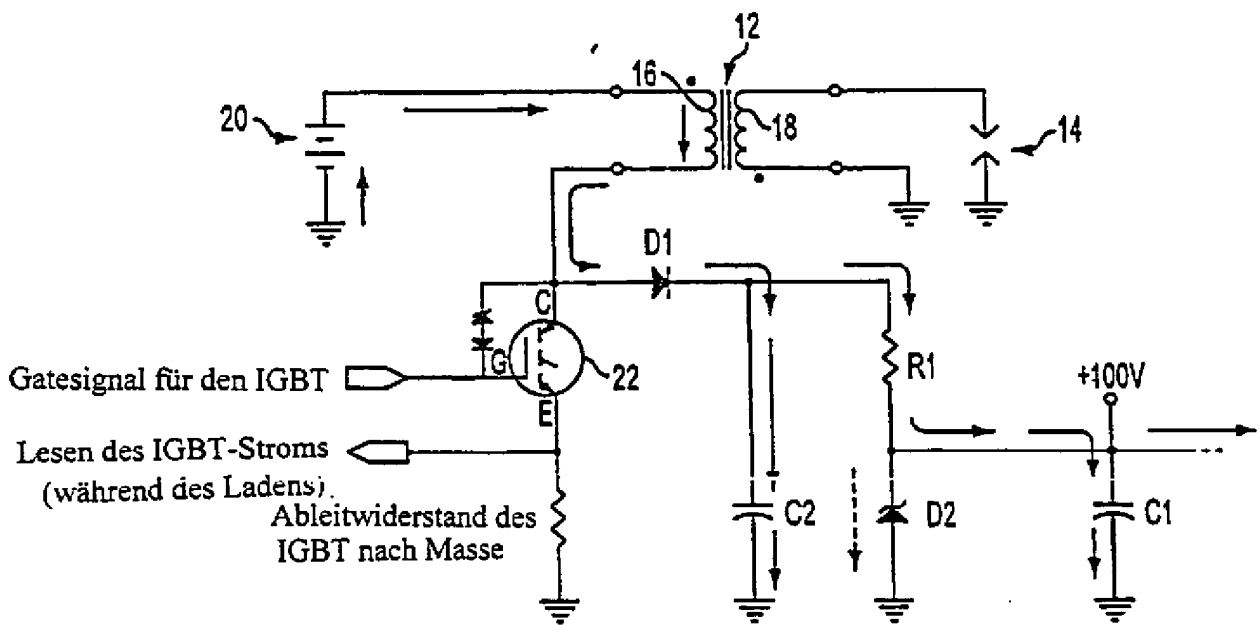


FIG. 46

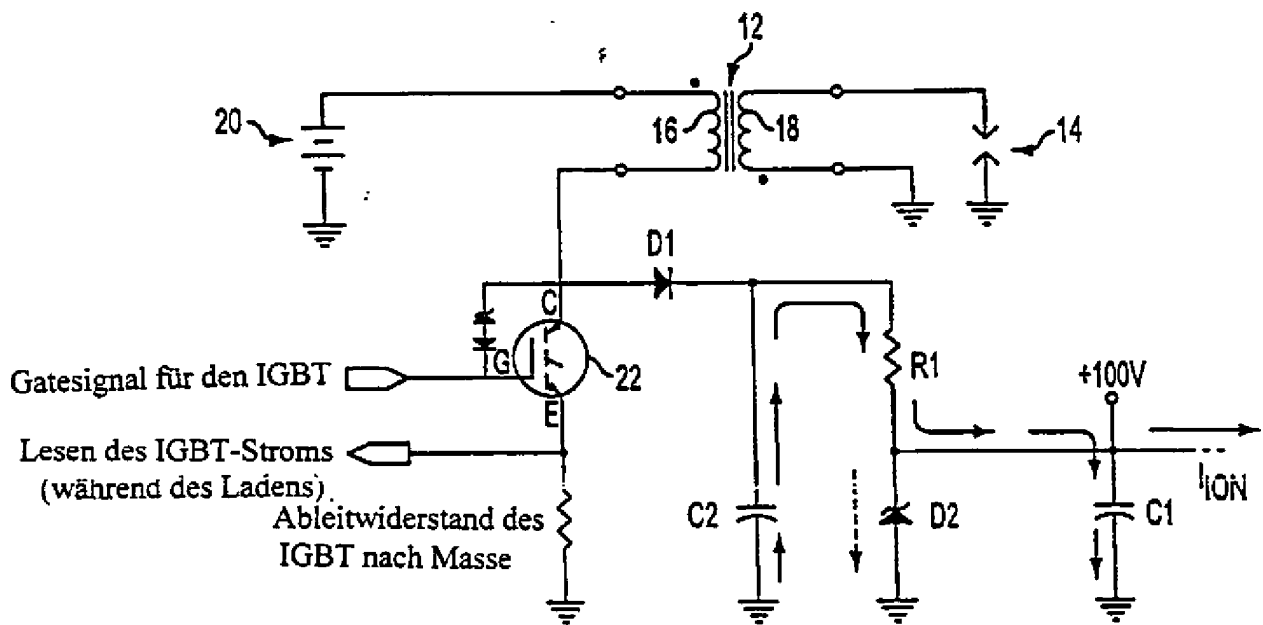


FIG. 47

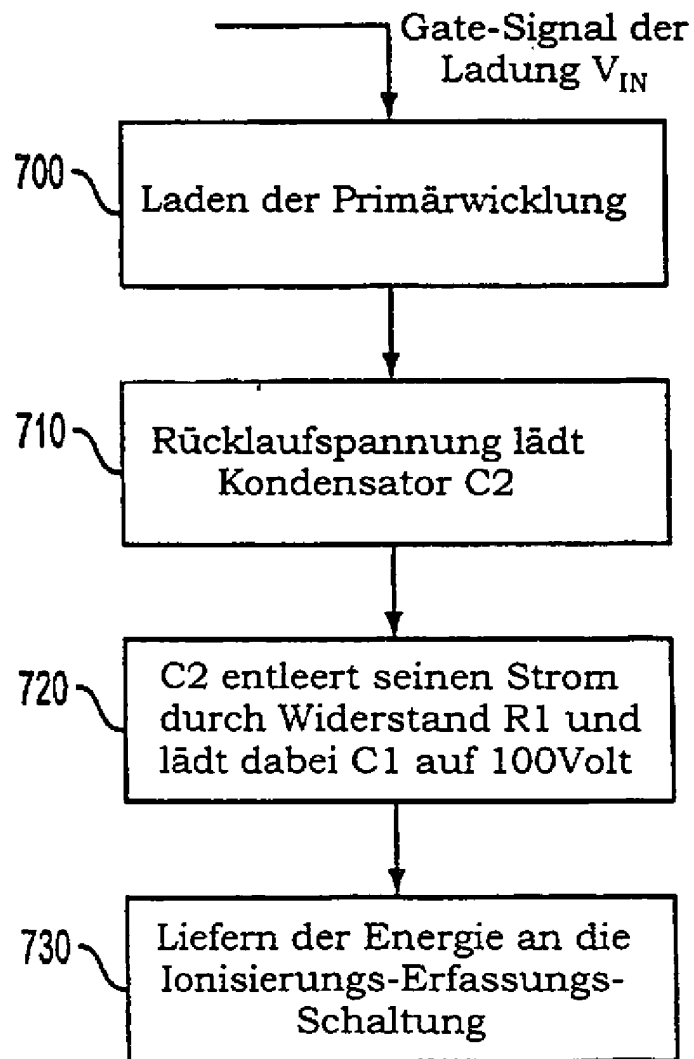


FIG. 48

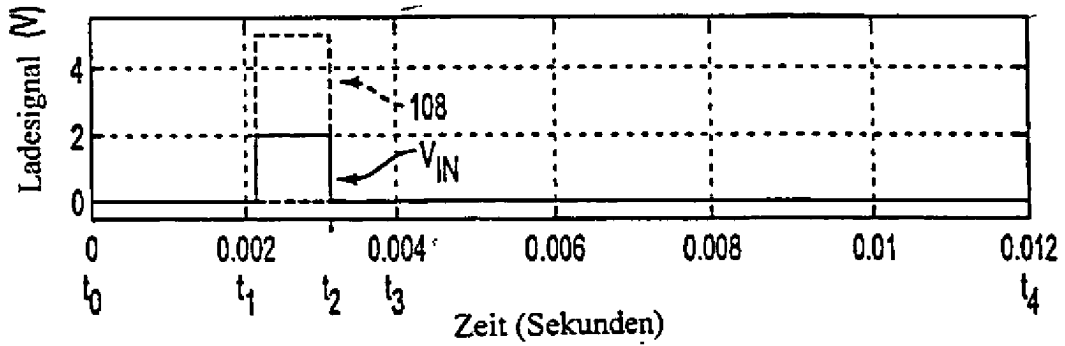


FIG. 50a

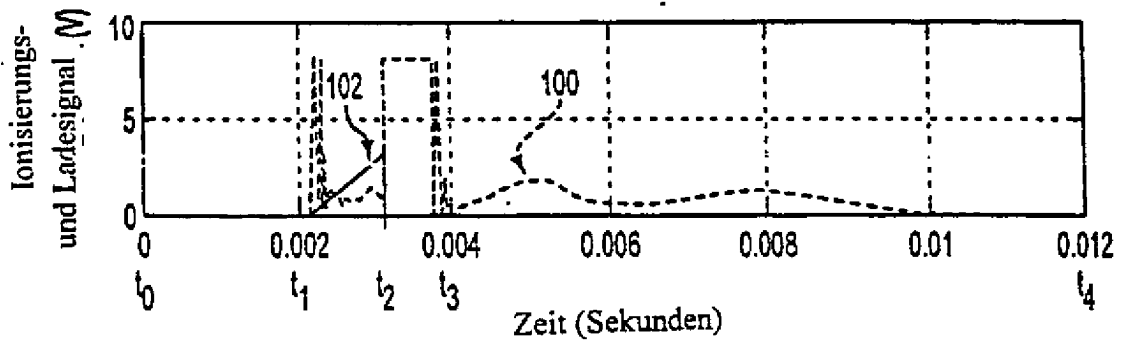


FIG. 50b

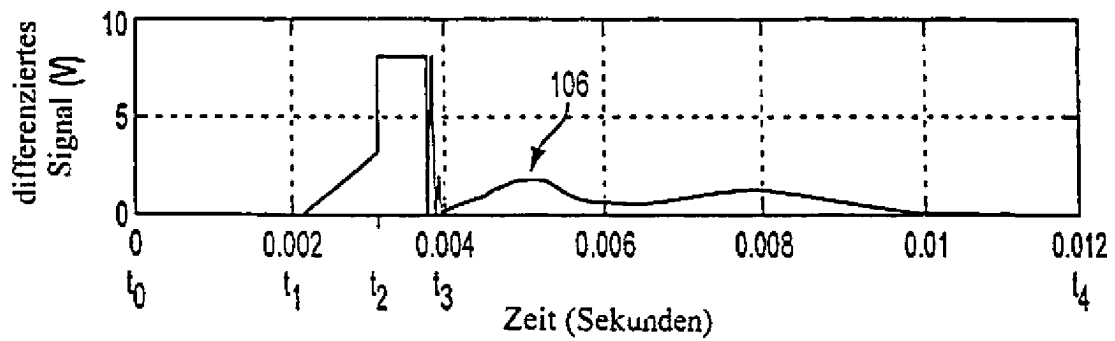


FIG. 50c

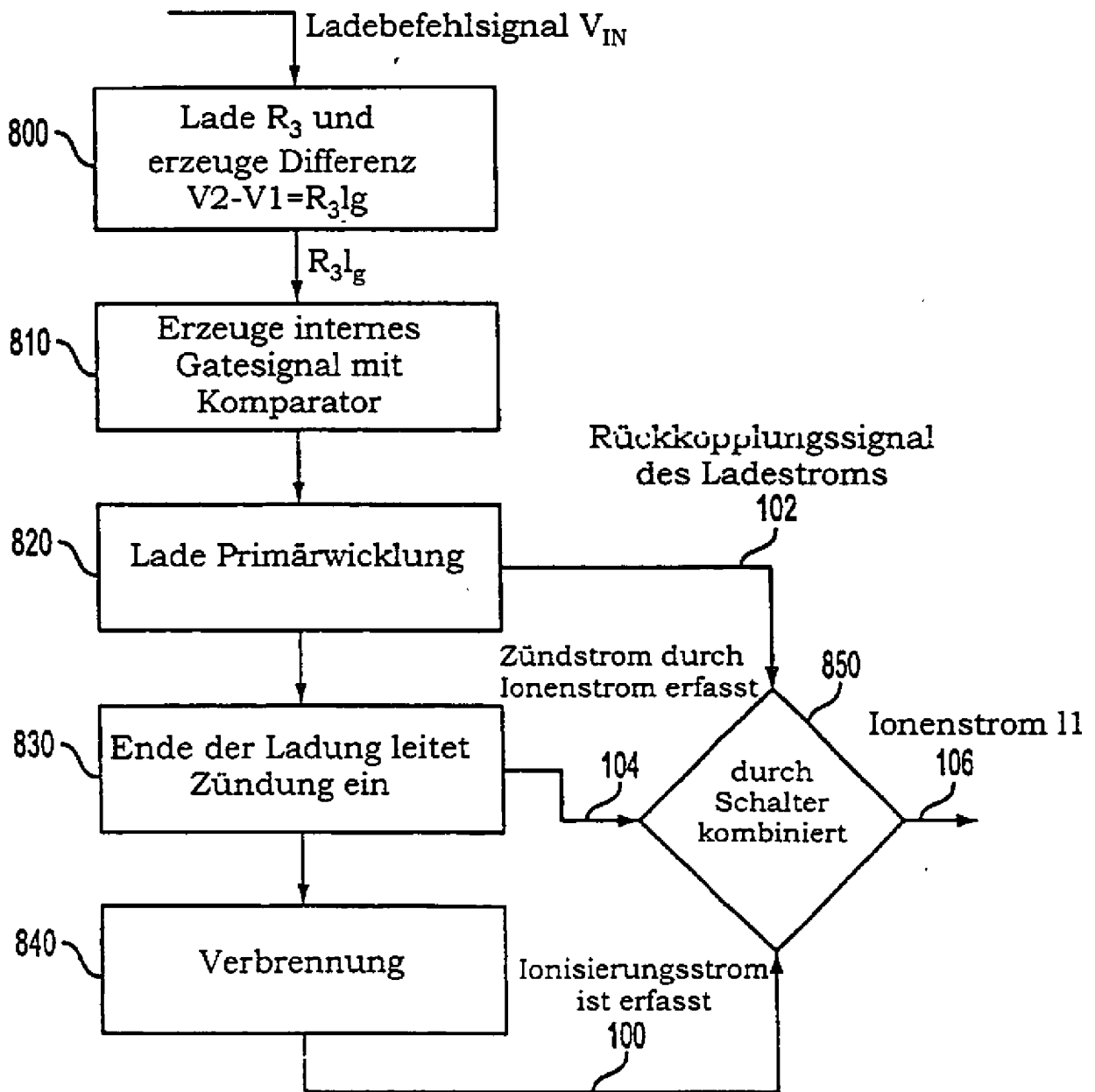


FIG. 51

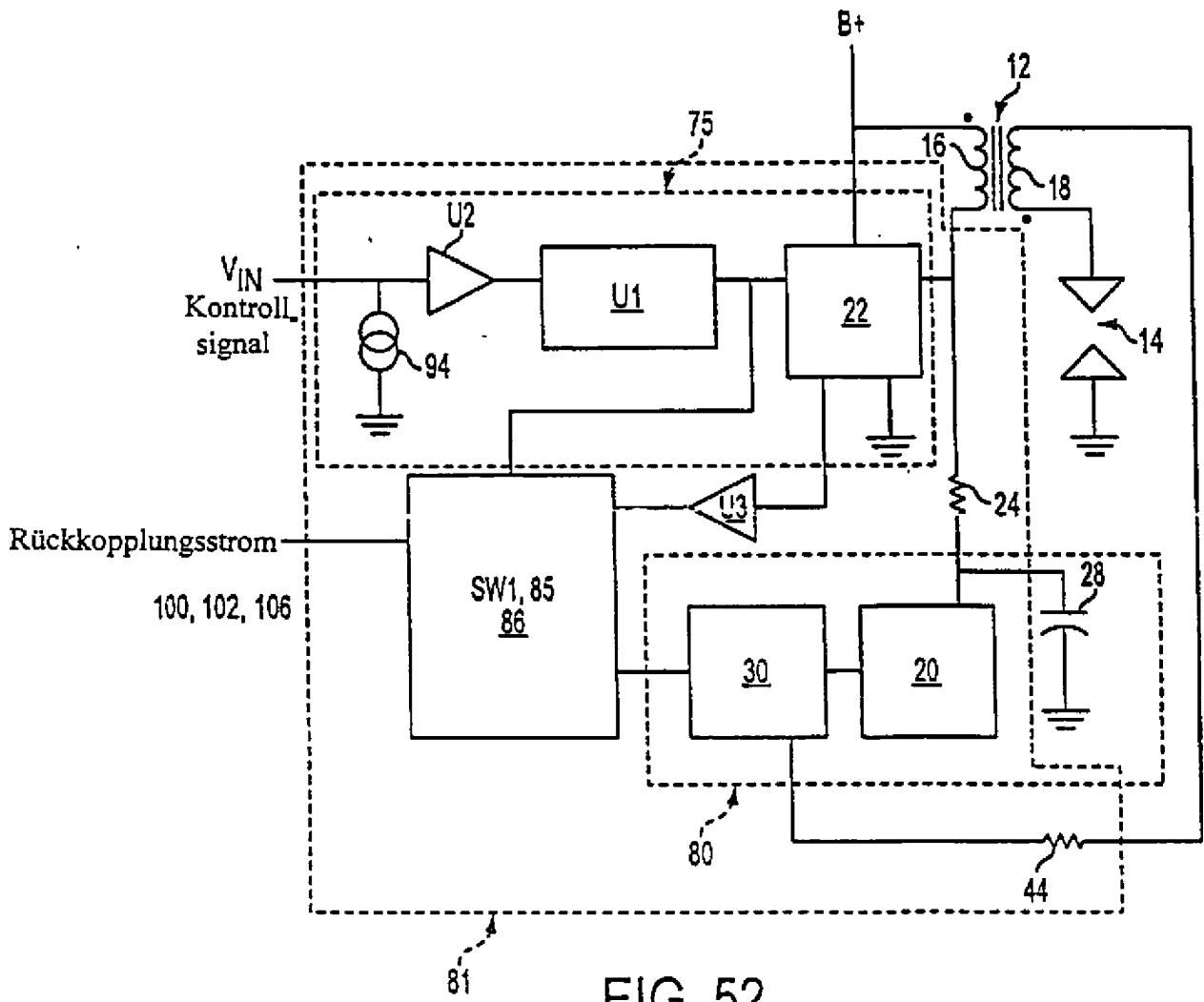


FIG. 52

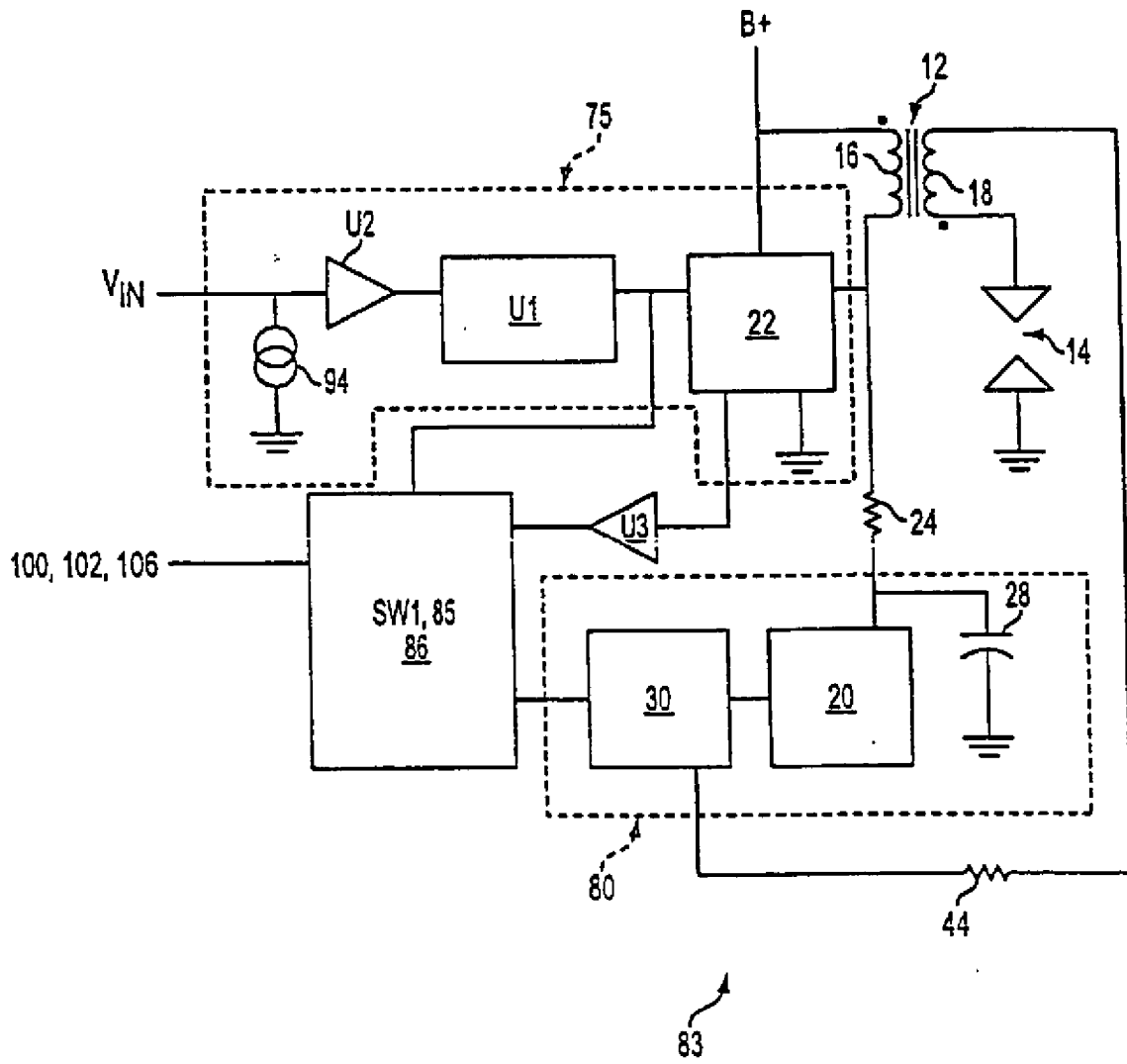


FIG. 53

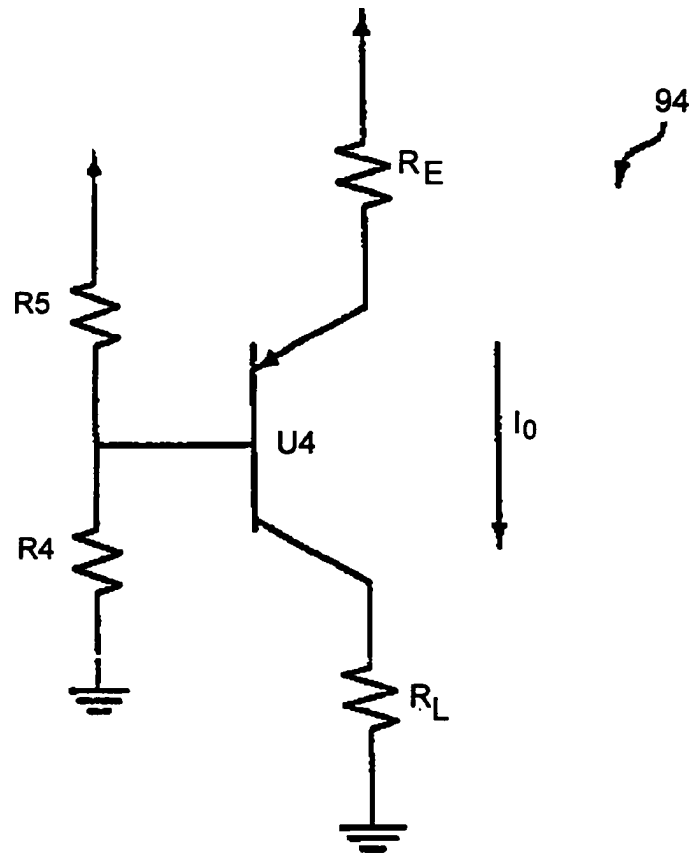


Fig. 54

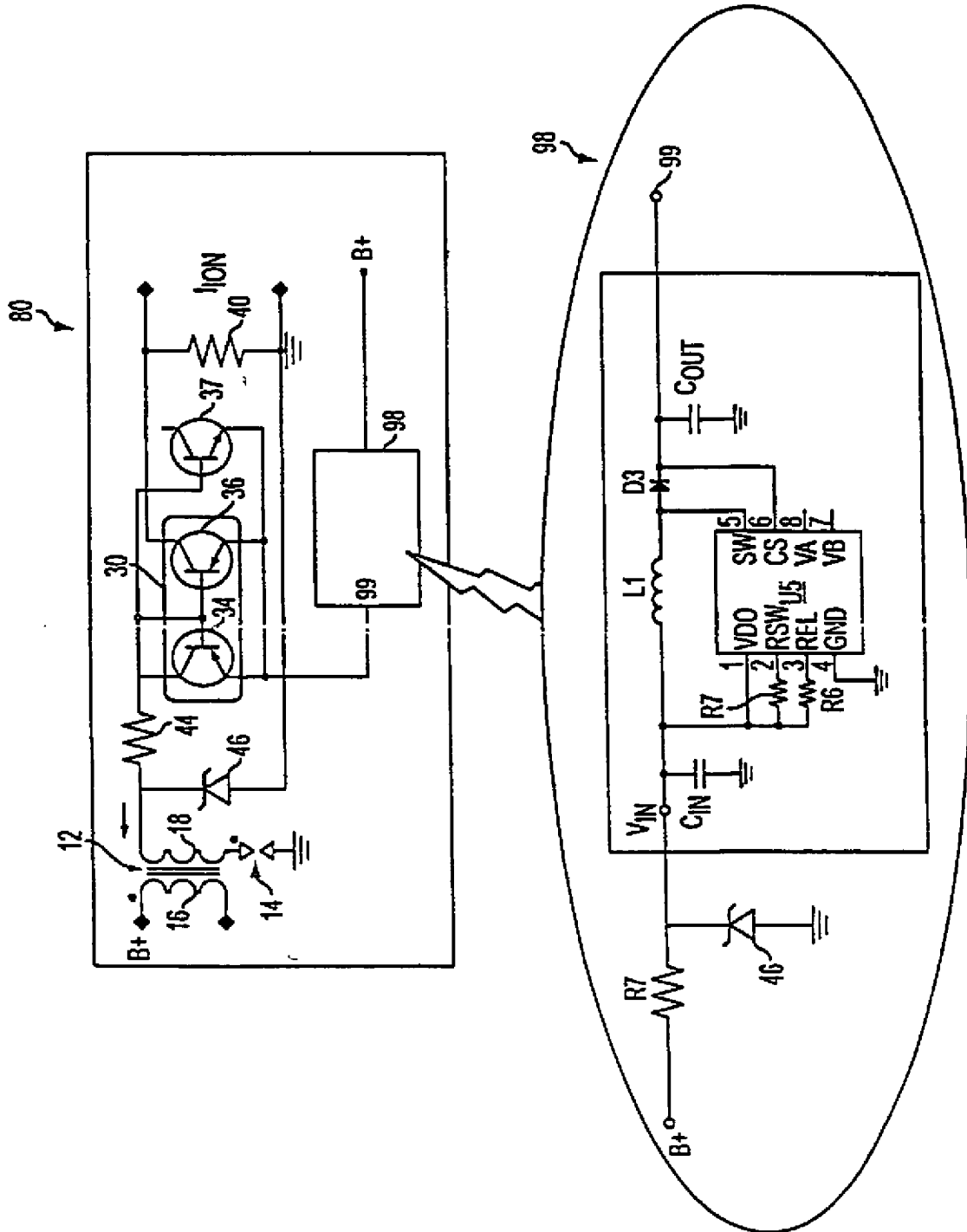


FIG. 55