

(19)



(11)

**EP 1 854 997 A2**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**14.11.2007 Patentblatt 2007/46**

(51) Int Cl.:  
**F02P 3/045<sup>(2006.01)</sup> F02P 9/00<sup>(2006.01)</sup>**  
**F02P 3/05<sup>(2006.01)</sup> F02P 3/055<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **07006780.6**

(22) Anmeldetag: **31.03.2007**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA HR MK YU**

(72) Erfinder:  
• **Kraus, Markus**  
**6200 Wiesing (AT)**  
• **Gschirr, Arno**  
**6020 Innsbruck (AT)**  
• **Kröll, Markus**  
**6295 Ginzling (AT)**

(30) Priorität: **12.05.2006 AT 8192006**

(74) Vertreter: **Hofinger, Stephan et al**  
**Wilhelm-Greil-Strasse 16**  
**6020 Innsbruck (AT)**

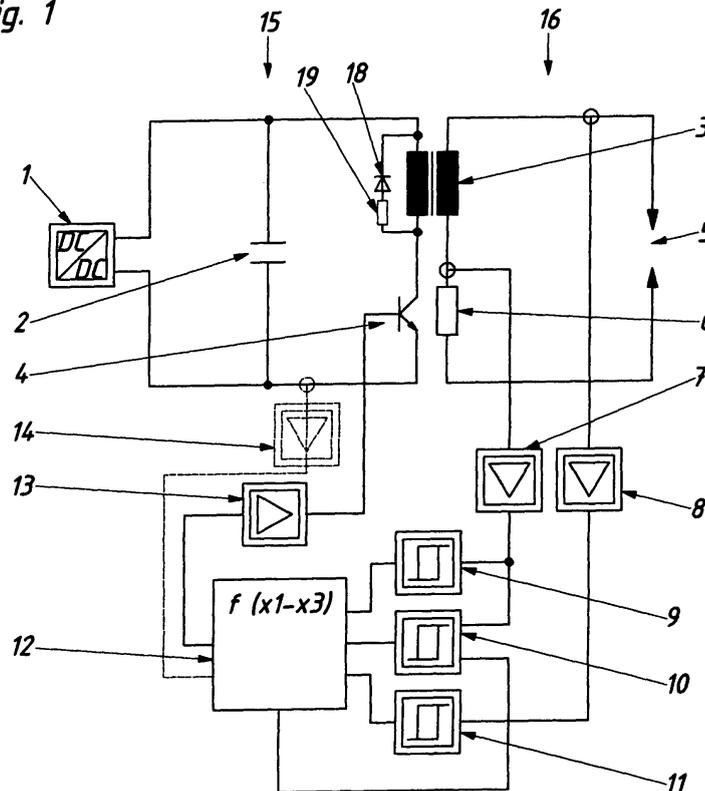
(71) Anmelder: **GE Jenbacher GmbH & Co. OHG**  
**6200 Jenbach (AT)**

(54) **Zündeinrichtung für eine Brennkraftmaschine**

(57) Zündeinrichtung für eine Brennkraftmaschine, insbesondere für einen Gasmotor, mit einer Regeleinrichtung (12) und mit einer Zündspule (3), die auf ihrer Primärseite (15) von einer Spannungsquelle speisbar ist, wobei die Regeleinrichtung (12) dazu vorgesehen ist, die

an der Primärseite (15) der Zündspule (3) angelegte Spannung zu unterbrechen oder zu reduzieren, wenn ein Betrag einer magnetischen Induktion  $B$  auf der Primärseite (15) der Zündspule (3) einen vorgebbaren Maximalwert ( $B_{max}$ ) überschreitet.

*Fig. 1*



**EP 1 854 997 A2**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Zündeinrichtung für eine Brennkraftmaschine, insbesondere für einen Gasmotor, mit einer Regeleinrichtung und mit einer Zündspule, die auf ihrer Primärseite von einer Spannungsquelle speisbar ist.

**[0002]** Die Zündspulen der gattungsgemäßen Zündeinrichtungen sind Transformatoren, auf deren Sekundärseite die Hochspannung an die Zündkerze angelegt werden. Beim Betrieb dieser Zündspulen wird Leistung von der Primärseite auf die Sekundärseite transferiert.

**[0003]** Aufgabe der Erfindung ist es, dies möglichst effektiv zu gestalten und auch bei großen Leistungsanforderungen eine Zerstörung oder Beeinträchtigung der Komponenten der Zündeinrichtung zu vermeiden.

**[0004]** Dies wird erfindungsgemäß erreicht, indem die Regeleinrichtung dazu vorgesehen ist, die an der Primärseite der Zündspule angelegte Spannung zu unterbrechen oder zu reduzieren, wenn ein Betrag einer magnetischen Induktion  $B$  auf der Primärseite der Zündspule einen vorgebbaren Maximalwert überschreitet.

**[0005]** Durch diese erfindungsgemäße Maßnahme der Begrenzung des Betrages der magnetischen Induktion auf der Primärseite wird einerseits verhindert, dass zu hohe Ströme primärseitig fließen, welche zu einer Beeinträchtigung oder Zerstörung der primärseitigen Komponenten der Zündeinrichtung führen könnten. Andererseits wird durch diese Art der Begrenzung aber auch eine effektive Leistungsübertragung über die Zündspule hinweg gewährleistet, da weit unterhalb der Sättigung der Zündspule relativ geringe Änderungen des primärseitigen Stromes relativ große Änderungen im Betrag der magnetischen Induktion  $B$  hervorrufen.

**[0006]** Dabei ist vorzugsweise vorgesehen, dass der vorgebbare Maximalwert des Betrages der magnetischen Induktion  $B$  eine Obergrenze eines Arbeitsbereiches ist, in dem ein zumindest annähernd linearer Zusammenhang zwischen dem Betrag der magnetischen Induktion  $B$  und dem primärseitigen Strom besteht. Vorteilhafte Ausführungsformen sehen eine indirekte Bestimmung bzw. Bewertung der magnetischen Induktion  $B$  auf der Primärseite der Zündspule vor. Eine erste Variante ist dabei dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinrichtung den Betrag der magnetischen Induktion  $B$  auf der Primärseite der Zündspule indirekt über eine Bewertung einer Dauer von Einschaltzeit(en) und Ausschaltzeit(en) bestimmt, wobei während der Einschaltzeit(en) die Spannung der Spannungsquelle an der Primärseite der Zündspule anliegt und während der Ausschaltzeit(en) die Spannung der Spannungsquelle nicht an der Primärseite der Zündspule anliegt.

**[0007]** Eine andere Variante sieht vor, dass die Zündeinrichtung eine Primärstrommesseinrichtung aufweist und die Regeleinrichtung den Betrag der magnetischen Induktion  $B$  auf der Primärseite der Zündspule indirekt über eine Bewertung des Betrages des primärseitigen Stromes bestimmt.

**[0008]** Weitere Merkmale und Einzelheiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung. Dabei zeigen:

5 Fig. 1 einen schematischen Schaltplan zu einem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel einer Zündeinrichtung,

Fig. 2 den Verlauf verschiedener Parameter zur Darstellung eines Zündvorgangs und

10 Fig. 3 eine schematische Darstellung zum Zusammenhang zwischen Primärstrom und magnetischer Induktion auf der Primärseite der Zündspule.

15 **[0009]** Das nachstehend beschriebene Regelprinzip kann zur Ansteuerung einer modulierten Hochspannungskondensatorzündung (HKZ) verwendet werden. Die modulierte HKZ basiert auf der Idee, die Zündenergie des Kondensators schrittweise der Zündspule zuzuführen. Dies kann grundsätzlich gesteuert oder geregelt erfolgen. Gemäß der vorliegenden Erfindung wird die geregelte Variante realisiert und im Folgenden beschrieben. In der geregelten Version wird die primäre Seite der Zündspule in Abhängigkeit vom Zustand des Zündfunken auf der Sekundärseite an die Versorgungsspannung geschaltet. Ein Vorteil dieses Systems liegt in der zeitlichen Verlängerung des Zündfunken bei gleichzeitiger Steuerung der Zündfunkencharakteristik. Brenndauern, vorzugsweise bis 5.000 Mikrosekunden sind mit diesem System problemlos zu erreichen. Insbesondere bei Gasmotoren wird häufig ein Hochspannungsangebot bis 40 kV (Kilovolt) benötigt. Dies kann beim Erregen eines erfindungsgemäßen Systems in weniger als 100 Mikrosekunden erreicht werden. Die Brenndauer wird von der Regeleinrichtung typischerweise zwischen 100 und 1.200 Mikrosekunden vorgegeben. Während dieser Zeit wird der Zündfunke durch eine verstellbare Vorgabe des Brennstromsollwertes  $I_{rated}$  (siehe Fig. 2) charakterisiert. Die Regeleinrichtung muss dabei die primärseitige Spannungsversorgung der Zündspule so ansteuern, dass die vorgegebene Charakteristik des Zündfunken bzw. der Sollverlauf des sekundärseitigen Stromes  $I_{rated}$  möglichst gut erreicht wird.

25 **[0010]** Verbrennungskonzepte bzw. Brennkraftmaschinen mit hohem Wirkungsgrad weisen auch sehr hohe Turbulenzen im Verbrennungsraum auf. Durch diese Turbulenzen wird der Zündfunke einer sekundärseitig von einer Zündeinrichtung angesteuerten Zündkerze räumlich verlängert und es kann zum vorzeitigen Erlöschen kommen. Um einen Verbrennungsaussetzer im Brennraum aufgrund von zu geringer Brenndauer zu verhindern, muss der Zündfunke in möglichst kurzer Zeit wieder hergestellt werden. Die notwendige Zündspannung kann dabei durchaus nahe dem Hochspannungsangebot der Zündspule liegen. Um möglichst schnell einen neuen Zündfunken zu erzeugen, sollte berücksichtigt werden, dass beim Erlöschen des Zündfunken noch Restenergie im Schwingkreis des Hochspannungskrei-

ses, also auf der Sekundärseite der Zündspule vorhanden ist. Zum Wederherstellen des Zündfunken muss daher ein Zeitpunkt gewählt werden, der die vorhandene Energie im System positiv nutzt. Dies kann erreicht werden, indem die Regeleinrichtung 12 im Anschluss an eine Unterbrechung der primärseitigen Spannungs- und/oder Stromversorgung der Zündspule während eines Zündvorgangs oder im Anschluss an das Abfallen der primärseitigen Spannung und/oder des primärseitigen Stromes  $I_{pri}$  durch die Zündspule 3 unter einen vorgebbaren Schwellwert während des Zündvorgangs die primärseitige Spannungs- und/oder Stromversorgung der Zündspule 3 erst dann wieder einschaltet oder über den Schwellwert regelt, wenn der dadurch induzierte sekundärseitige Strom  $I_{sek}$  in Richtung des, vorzugsweise unmittelbar, vorab bestimmten Verlaufs des sekundärseitigen Stromes  $I_{sek}$  wirkt.

**[0011]** Fig. 1 zeigt schematisch ein Regelungsprinzip für eine erfindungsgemäß modulierte Zündeinrichtung, hier in Form einer Hochspannungskondensatorzündung. Bei der Zündspule 3 handelt es sich um einen allgemein bekannten Transformator, auf dessen Primärseite 15 eine Spannungsversorgung vorgesehen ist und auf dessen Sekundärseite 16 die Zündkerze 5 zur Erzeugung eines Zündfunken mit Hochspannung versorgt wird. Beim vorliegenden Ausführungsbeispiel handelt es sich primärseitig um eine Gleichstromspannungsquelle, die hier aus dem DC-DC-Konverter 1 und einem dazu parallel geschalteten Kondensator 2 besteht. Darüber hinaus ist auf der Primärseite der von der Regeleinrichtung 12 über die Ansteuerung 13 angesteuerte Schalter 4 vorgesehen. Dieser kann als Halbleiterschalter ausgebildet sein. Der Schalter 4 weist zumindest einen ersten Schaltzustand, bei dem die Spannung der Spannungsquelle an der Zündspule 3 anliegt, und zumindest einen zweiten Schaltzustand, bei dem die Spannung der Spannungsquelle nicht an der Zündspule 3 anliegt, auf. Darüber hinaus ist zur primärseitigen Wicklung der Zündspule 3 eine Freilaufdiode 18 parallel geschaltet. Diese dient der weiter unten beschriebenen Entregung der Primärseite 15 im abgeschalteten Zustand der Spannungsquelle bei geöffnetem Schalter 4. Durch die Verwendung der Freilaufdiode 18 wird bei der Entregung die Energie maximal im primärseitigen Kreis gehalten. Optional kann in Reihe zur Freilaufdiode 18 aber auch ein zusätzlicher ohmscher Widerstand 19 geschaltet werden. Dieser bedeutet zwar einen Energieverlust. Durch den Widerstand 19 und die dadurch erreichte Dämpfung der Primärseite 15 bei der Entregung ist aber andererseits ein schnelleres Wiedereinschalten nach dem Erlöschen eines Zündfunken möglich.

**[0012]** Das An- und Abschalten der Spannungsquelle 1, 2 erfolgt in diesem Ausführungsbeispiel also ausschließlich über den Schalter 4. Auf der Primärseite 15 gestrichelt dargestellt, ist eine im bevorzugten Ausführungsbeispiel vorgesehene Primärstrommesseinrichtung 14, die zur Bestimmung des im Primärkreis fließenden Stromes  $I_{pri}$  dient. Dieser Wert  $I_{pri}$  wird an die Rege-

leinrichtung 12 weitergegeben. Darüber hinaus kann optional, anstelle und/oder zusätzlich primärseitig auch noch eine Spannungsmesseinrichtung vorgesehen sein. Diese ist hier aber explizit nicht dargestellt. Ist sie vorhanden, so gibt sie den an der Primärseite der Zündspule 3 gemessenen Spannungswert ebenfalls an die Regeleinrichtung 12 weiter.

**[0013]** Auf der Sekundärseite 16 ist mit der entsprechenden Wicklung der Zündspule 3 ein Shunt 6 für den Strom im Zündfunken in Reihe geschaltet. Darüber hinaus ist eine Sekundärstrommesseinrichtung 7 sowie eine Sekundärspannungsmesseinrichtung 8 vorgesehen. Der mittels der Sekundärstrommesseinrichtung 7 gemessene sekundärseitige Strom  $I_{sek}$  wird in diesem Ausführungsbeispiel mittels der Polaritätsauswerteeinrichtung 9 bezüglich seiner Polarität und mittels der Stromstärkenauswerteeinrichtung 10 bezüglich seiner Amplitude bzw. Stromstärke ausgewertet. Dabei ist im gezeigten Ausführungsbeispiel vorgesehen, dass sich die Auswertung des Betrages, also der Stromstärke des sekundärseitigen Stromes  $I_{sek}$  darauf beschränkt, ob dieser größer oder gleich eines vorgebbaren Mindestwertes ist oder nicht. Dies wird weiter unten anhand von Fig. 2 im Detail weiter erläutert. Als vorgebbarer Mindestwert wird dabei in der Regel der Brennstromsollwertverlauf  $I_{rated}$  herangezogen werden.

**[0014]** Die von der Polaritätsauswerteeinrichtung 9 und der Stromstärkenauswerteeinrichtung 10 bestimmten Werte geben jedenfalls nicht singuläre Einzelwerte sondern den Verlauf des sekundärseitigen Stromes  $I_{sek}$  wieder und diesen an die Regeleinrichtung 12 weiter. Das gleiche kann auch für die mittels der Sekundärspannungsmesseinrichtung 8 gemessene sekundärseitige Spannung  $U_{sek}$  gelten. Diese wird mit der Hochspannungsauswerteeinrichtung 11 ausgewertet, wobei diese die Spannungsinformation wiederum an die Regeleinrichtung 12 weitergibt. In Abhängigkeit der genannten Eingabeparameter steuert die Regeleinrichtung 12 den primärseitigen Schalter 4 an und regelt damit die Strom- und Spannungsversorgung der Primärseite 15 der Zündspule 3.

**[0015]** In Fig. 2 ist anhand von verschiedenen Parametern ein Verlauf eines Zündvorgangs dargestellt, währenddessen der Zündfunke abreißt und wieder aufgebaut wird. Die Funktionsweise der Regeleinrichtung wird anhand der einzelnen Phasen dieses Zündvorgangs im folgenden dann näher erläutert. Die Regelung durchläuft dabei die Phasen Ionisation Ph1, Stromregelung Ph2, Entregung Ph3 und Synchronisation. Letztere ist am Übergang zwischen Ph3 und nachfolgender Ph1 realisiert.  $U_{sek}$  zeigt den sekundärseitigen Spannungsverlauf.  $I_{sek}$  zeigt den Verlauf des gemessenen sekundärseitigen Stromes.  $I_{rated}$  zeigt den Sollwertverlauf des sekundärseitigen Stromes und bevorzugt damit auch den Verlauf des Mindestwertes anhand dessen die Stromstärkenauswerteeinrichtung 10 entscheidet, ob der gemessene sekundärseitige Strom  $I_{sek}$  den Sollstromwert erreicht bzw. überschreitet oder darunter liegt. FB1 zeigt

dabei das Auswertergebnis der Stromstärkeauswerteeinrichtung 10. FB1 nimmt den Wert 1 an, wenn  $I_{\text{sek}}$  größer oder gleich  $I_{\text{rated}}$  ist. In den anderen Fällen nimmt FB1 den Wert 0 an. FB2 zeigt das Ergebnis der Polaritätsauswerteeinrichtung 9. Liegt der gemessene sekundärseitige Strom  $I_{\text{sek}}$  im positiven Bereich, so nimmt FB2 den Wert 1 an. Ist der sekundärseitige Strom negativ, so nimmt FB2 den Wert 0 an.  $T_{\text{Switch}}$  zeigt den Verlauf des Ansteuersignals der Regeleinrichtung 12 an den Schalter 4. Ist dieses 1, so ist der Schalter 4 geschlossen und die Spannungs- bzw. Stromversorgung liegt an der Primärseite der Zündspule 3 an. Ist das Ansteuersignal gleich 0, so ist der Schalter 4 geöffnet, womit die Spannungs- und Stromversorgung von der Primärseite 15 der Zündspule 3 getrennt ist. Der Graph  $I_{\text{pri}}$  zeigt den Verlauf des primärseitigen Stromes während des Zündvorgangs. Alle Graphen stellen somit den zeitlichen Verlauf der Parameter dar.

**[0016]** Der Stromsollwert des sekundärseitigen Stromes  $I_{\text{rated}}$  ist über die Regeleinrichtung 12 einstellbar und wird der Stromstärkeauswerteeinrichtung 10 in diesem Ausführungsbeispiel zur Bestimmung von FB1 zugeführt. Die Stromstärkeauswerteeinrichtung 10 kann hierfür als Komparator ausgebildet sein. Der Sollwertverlauf des sekundärseitigen Stromes  $I_{\text{rated}}$  kann von der Regeleinrichtung 12 bevorzugt sowohl bezüglich der Brenndauer als auch bezüglich der Stromstärke auf verschiedene Werte eingestellt werden. Optional ist es auch möglich, die Spannung an der Zündkerze zu messen und dieses Signal in die Regelung einzubinden.

**[0017]** Zu Beginn des Zündvorgangs zum Zündzeitpunkt  $t_0$  wird die Regeleinrichtung 12 zunächst in die Ionisationsphase Ph1 geschaltet. Diese ist ein Anschaltintervall  $\Delta t_{\text{an1}}$  in der die Hochspannung aufgebaut wird, die für die Erzeugung des Zündfunken benötigt wird. Während des gesamten Anschaltintervalls  $\Delta t_{\text{an1}}$  ist bevorzugt vorgesehen, dass bei geschlossenem Schalter 4 auf der Primärseite 15 der Zündspule 3 die Spannung der Spannungsquelle 1, 2 in voller Höhe und zumindest für die vorgebbare Zeitdauer  $\Delta t_{\text{an1}}$  permanent anliegt. Die Zündspule 3 ist primärseitig somit während der gesamten Ionisationsphase bzw. während des gesamten Anschaltzeitintervalls primärseitig an die Versorgungsspannung geschaltet. Im einfachsten Fall wird die Ionisationsphase für eine fix eingestellte Zeit, welche zur Erzeugung der Hochspannung und damit des sekundärseitigen Zündfunken notwendig ist, angeschlossen. Um Beschädigungen des Systems durch zu hohe Spannungen zu vermeiden, kann die Ionisationsphase optional auch beim Überschreiten der von der Zündspule abgegebenen Hochspannung im Vergleich mit einem Grenzwert abgeschaltet werden. Hierzu ist vorgesehen, dass die Regeleinrichtung 12 während des Anschaltzeitintervalls  $\Delta t_{\text{an1}}$ ,  $\Delta t_{\text{an2}}$  den sekundärseitigen Strom  $I_{\text{sek}}$  über die Sekundärstrommesseinrichtung 7 und/oder die sekundärseitig von der Zündspule 3 abgegebene Spannung  $U_{\text{sek}}$  über die Sekundärspannungsmesseinrichtung 8 überwacht und die primärseitige Spannungsver-

sorgung der Zündspule 3 unterbricht, wenn der sekundärseitige Strom  $I_{\text{sek}}$  und/oder die sekundärseitig von der Zündspule abgegebene Spannung  $U_{\text{sek}}$  (einen) vorgebbare(n) Grenzwert(e) überschreitet (überschreiten). Diese Option schützt das System bei einer schadhafte(n) Zündkerze, fehlendem Zündkerzenstecker oder einer anderen Fehlfunktion vor Zerstörung. Beim gezeigten Ausführungsbeispiel ist also vorgesehen, dass während des Ionisationsphase Ph1 bzw. dem Anschaltzeitintervall  $\Delta t_{\text{an1}}$  keine Regelung in Abhängigkeit des sekundärseitigen Stromes vorgenommen wird. Diese setzt bei dieser Variante erst nach Abschluss der Ionisationsphase Ph1 und bei Eintritt in die Stromregelungsphase Ph2 ein. In dieser Phase Ph2 wird der sekundärseitige Strom  $I_{\text{sek}}$  (im Zündfunken) mittels des Komparators der Stromstärkeauswerteeinrichtung 10 mit dem Verlauf des Sollwertes  $I_{\text{rated}}$  verglichen. Aus diesem Vergleich ergibt sich - wie bereits geschildert - das Signal FB1. Nimmt dieses den Wert 1 an und ist damit der Istwert des sekundärseitigen Stromes  $I_{\text{sek}}$  höher als oder gleich dem Sollwert  $I_{\text{rated}}$  wird die Energiezufuhr auf der Primärseite 15 der Zündspule 3 durch Öffnen des Schalters 4 unterbrochen. Im umgekehrten Fall wird die Zündspule 3 an die Spannungsversorgung 1, 2 geschaltet. Mit dieser Regelung kann der Strom im Zündfunken eingestellt werden und im Idealfall kann die Phase Ph2 der Brennstromregelung bis zum Ende der eingestellten Brenndauer beibehalten werden.

**[0018]** Durch die Turbulenzen im Brennraum wird in der Praxis der Funken jedoch räumlich verlängert, wodurch die Spannung an der Zündkerze steigt und der Zündkerze mehr Energie zugeführt werden muss. In diesem Fall kann der Stromsollwert  $I_{\text{rated}}$  nicht mehr erreicht werden und der Zündfunken muss bewusst zum Erlöschen gebracht werden, indem die Phase der Entregung Ph3 eingeleitet wird. Die Anforderungen der Brennkraftmaschine können besonders gut dann erfüllt werden, wenn die Brennstromvorgabe  $I_{\text{rated}}$  während des Zündfunken verändert werden kann.

**[0019]** Die Phase der Entregung Ph3 wird in zwei Fällen benötigt. Zum einen kann dies sein, wenn während des vorgesehenen Zündvorgangs unbeabsichtigt der Zündfunke abreißt und neu aufgebaut werden muss. Zum anderen kann eine Entregung notwendig werden, wenn der Magnetismuslevel bzw. die magnetische Induktion  $B$  auf der Primärseite 15 der Zündspule 12 zu groß wird. Zur Erläuterung des zuletzt genannten Ereignisses wird auf Fig. 3 verwiesen. Diese zeigt den Zusammenhang zwischen der Stromstärke des primärseitigen Stromes  $I_{\text{pri}}$  und dem Betrag der magnetischen Induktion  $B$  auf der Primärseite 15 der Zündspule 3. Hier ist zu sehen, dass - wie allgemein bekannt - der Betrag der magnetischen Induktion  $B$  mit zunehmendem Strom  $I_{\text{pri}}$  in den Bereich einer Sättigung gelangt. In diesem Bereich müssen sehr große Änderungen der Stromstärke  $I_{\text{pri}}$  vorgenommen werden, um vergleichsweise geringe Änderungen der magnetischen Induktion  $B$  zu bewirken. Dies ist bei Zündsystemen mit Zündspule 3 nicht wünschens-

wert. Um dies zu verhindern, ist vorgesehen, dass die Regeleinrichtung 12, die an der Primärseite 15 der Zündspule 12 angelegte Spannung unterbricht oder reduziert, wenn der Betrag der magnetischen Induktion B auf der Primärseite 15 der Zündspule 12 einen vorgebbaren Maximalwert  $B_{\max}$  überschreitet. Dabei ist günstigerweise vorgesehen, dass der vorgebbare Maximalwert  $B_{\max}$  des Betrages der magnetischen Induktion B die Obergrenze eines Arbeitsbereiches 17 ist, in dem ein zumindest annähernd linearer Zusammenhang zwischen dem Betrag der magnetischen Induktion B und dem primärseitigen Strom  $I_{\text{pri}}$  vorliegt. Der vorgebbare Maximalwert  $B_{\max}$  ist dabei günstigerweise weit unterhalb des gesättigten Bereiches der Zündspule 3 angeordnet. Zum Vergleich sind zwei Stromänderungen  $\Delta I_1$  und  $\Delta I_2$  des primärseitigen Stromes in Fig. 3 eingezeichnet, die dazu benötigt werden dieselbe Änderung des Betrages der magnetischen Induktion B (Betrag von  $\Delta B_1$  ist gleich Betrag von  $\Delta B_2$ ) hervorzurufen. Innerhalb des Arbeitsbereiches 17 reicht aufgrund des mehr oder weniger linearen Zusammenhangs zwischen Primärstrom  $I_{\text{pri}}$  und dem Betrag der magnetischen Induktion B die vergleichsweise geringe Stromänderung  $\Delta I_1$ . Oberhalb des Arbeitsbereiches 17 muss, um dieselbe Änderung des Betrages der magnetischen Induktion B hervorzurufen, eine wesentlich größere Stromänderung  $\Delta I_2$  aufgewendet werden.

**[0020]** Aufgrund des geschilderten und in Fig. 3 dargestellten Zusammenhangs ist es also sinnvoll, den Betrag der magnetischen Induktion B auf der Primärseite 15 der Zündspule 12 im Arbeitsbereich 17 zu halten. Dabei ergibt sich aus Fig. 3, dass der Magnetismuslevel bzw. die magnetische Induktion B ein Abbild der Höhe des primärseitigen Stromes  $I_{\text{pri}}$  ist. Umso höher der Magnetismuslevel bzw. der Betrag der magnetischen Induktion B ist, desto höher ist auch der primärseitige Strom  $I_{\text{pri}}$  durch die Zündspule 3 und den Schalter 4. Eine Begrenzung des Betrages der magnetischen Induktion B vermeidet somit auch eine Zerstörung der primärseitigen Bauteile durch zu hohe Stromstärken. Daher ist vorzugsweise vorgesehen, dass beim Überschreiten des Maximalwertes  $B_{\max}$  die Zündspule 3 entregt wird, um den Magnetismuslevel bzw. den Betrag der magnetischen Induktion B zu verringern.

**[0021]** Der Magnetismuslevel kann über die Bewertung der Ein- und Ausschaltzeiten des Schalters 3 ermittelt werden. In dieser Variante ist somit vorgesehen, dass die Regeleinrichtung 12 den Betrag der magnetischen Induktion B auf der Primärseite 15 der Zündspule 3 indirekt über eine Bewertung einer Dauer von Einschaltzeit(en) und Ausschaltzeit(en) bestimmt, wobei während der Einschaltzeit(en) Spannung der Spannungsquelle an der Primärseite 15 der Zündspule 3 anliegt und während der Ausschaltzeit(en) die Spannung der Spannungsquelle nicht an der Primärseite 15 der Zündspule 3 anliegt. Eine sinnvolle Variante sieht dabei vor, dass der Maximalwert eine vorgebbare Zeitspanne ist und die Regeleinrichtung diese Zeitspanne mit der Summe der Einschaltzeiten,

vorzugsweise ab Beginn eines Zündvorgangs, abzüglich der Summe der Ausschaltzeiten, vorzugsweise ab Beginn des Zündvorgangs, vergleicht.

**[0022]** Als Alternative zur Bewertung der Ein- und Ausschaltzeiten kann aber auch vorgesehen sein, dass die Zündeinrichtung eine Primärstrommesseinrichtung 14 aufweist und die Regeleinrichtung 12 den Betrag der magnetischen Induktion B auf der Primärseite 15 der Zündspule 3 indirekt über eine Bewertung des primärseitigen Stromes  $I_{\text{pri}}$  bestimmt. Hierbei wird der Maximalwert  $B_{\max}$  durch einen vorgebbaren maximalen Stromwert substituiert, wobei die Regeleinrichtung 12 diesen mit dem Betrag des primärseitigen Stromes  $I_{\text{pri}}$  vergleicht.

**[0023]** Sowohl bei der Bewertung der Ein- und Ausschaltzeiten, als auch bei der Bewertung des primärseitigen Stromes handelt es sich somit um indirekte Vorgehensweisen, um den Betrag der magnetischen Induktion B auf der Primärseite 15 der Zündspule 12 zu überwachen. In weiteren Varianten ist es aber auch möglich, den Betrag der magnetischen Induktion B direkt oder indirekt über andere - an sich bekannte Methoden - zu bestimmen.

**[0024]** Ist der ermittelte Wert des Magnetismuslevel bzw. des Betrages der magnetischen Induktion B zu hoch, so wird die primärseitige Spannungsversorgung durch Öffnen des Schalters 4 solange abgeschaltet, bis der Magnetismuslevel auf einem akzeptablen Wert abgesenkt wurde. Hierbei kann vorgesehen sein, dass die Regeleinrichtung 12 im Anschluss an eine Unterbrechung oder eine Reduktion der an der Primärseite 15 der Zündspule 12 angelegten Spannung ein Wiedereinschalten bzw. Erhöhen der Spannung erst dann wieder zulässt oder einleitet, wenn der Betrag der magnetischen Induktion B auf der Primärseite 15 der Zündspule 12 den vorgebbaren Maximalwert  $B_{\max}$  bzw. entsprechende Maximalwerte der oben genannten Ersatzparameter oder einen vorgebbaren Wiedereinschaltswert unterschreitet. Der Wiedereinschaltswert kann also zum Beispiel auch niedriger als der je nach Ausführungsvariante zur Bewertung verwendete Maximalwert gewählt werden.

**[0025]** Während der Zeit der Entregung wird die Polarität des sekundärseitigen Stromes  $I_{\text{sek}}$  beobachtet. Wird die Polarität negativ, so ist der Zündfunken erloschen und muss wieder aufgebaut werden. Günstigerweise ist dabei vorgesehen, dass die Regeleinrichtung 12 im Anschluss an eine Unterbrechung oder Reduktion der an der Primärseite 15 der Zündspule 12 angelegten Spannung ein Wiederanschalten bzw. Erhöhen der primärseitigen Spannung erst dann wieder zulässt, wenn eine Polarität des sekundärseitigen Stromes  $I_{\text{sek}}$  wechselt. In Fig. 2 ist am beispielhaften Verlauf des sekundärseitigen Stromes  $I_{\text{sek}}$  eine Phase der Entregung Ph3 gezeichnet, in der der sekundärseitige Strom zunächst stark abfällt, woraufhin die Polarität des sekundärseitigen Stromes negativ wird und anschließend zum Zeitpunkt  $t_n$  bei einem Nulldurchgang wieder in den positiven Bereich

wechselt. Als unterster Graph ist dabei der Verlauf des primärseitigen Stromes  $I_{pri}$  dargestellt. Dieser zeigt die generelle Tendenz der Zunahme des primärseitigen Stromes, während in der Phase der Entregung Ph3 eine Abnahme des primärseitigen Stromes  $I_{pri}$  zu sehen ist.

**[0026]** Erlischt der Zündfunke während der geforderten Brenndauer, muss dieser wieder in möglichst kurzer Zeit hergestellt werden. Hierzu kann eine Spannung, welche nahe des Hochspannungsangebotes des Systems liegt, notwendig sein. Um diese Anforderung zu erreichen, sollten die Energieverhältnisse im System berücksichtigt werden. Hierzu kann vorgesehen sein, dass die Regeleinrichtung 12 im Anschluss an eine Unterbrechung der primärseitigen Spannungs- und/oder Stromversorgung der Zündspule 3 während eines Zündvorgangs oder im Anschluss an das Abfallen der primärseitigen Spannung und/oder des primärseitigen Stromes  $I_{pri}$  durch die Zündspule 3 unter einen vorgebbaren Schwellwert während des Zündvorgangs die primärseitige Spannungs- und/oder Stromversorgung der Zündspule 3 erst dann wieder einschaltet oder über den Schwellwert regelt, wenn der dadurch induzierte sekundärseitige Strom  $I_{sek}$  in Richtung des, vorzugsweise unmittelbar, vorab bestimmten Verlaufs des sekundärseitigen Stromes  $I_{sek}$  wirkt. Der Schalter 4 sollte also nicht eingeschaltet werden, wenn der sekundäre Strom  $I_{sek}$  negativ ist. Ein Einschalten erfolgt günstigerweise erst im oder nach dem Zeitpunkt  $t_n$ , bei dem die Polarität des sekundärseitigen Stromes wechselt und damit der über das Anschalten der primärseitigen Spannungsversorgung sekundärseitig induzierte Strom in Richtung des vorab bestimmten Verlaufes des sekundärseitigen Stromes  $I_{sek}$  wirkt. Der Start der nun folgenden Ionisierungsphase Ph1 bzw. des Anstichzeitintervalls  $\Delta t_{an2}$  wird somit mit dem sekundärseitigen Verlauf des Stromes synchronisiert. In der nun folgenden Ionisierungsphase bleibt der Schalter 4 solange geschlossen, bis das gewünschte Hochspannungsangebot erreicht wird. Es herrschen ähnliche Verhältnisse zum ersten Anstichzeitintervall  $\Delta t_{an1}$ , wenn die sekundäre Spannung  $U_{sek}$  aus der positiven Halbwelle durch den Nulldurchgang geht. Der Startzeitpunkt  $t_n$  der Ionisierungsphase wird aus der Überwachung der Polarität des sekundärseitigen Stromes  $I_{sek}$  bestimmt (siehe auch FB2 aus Fig. 2). Da die Eigenfrequenz der Zündeinrichtung durch ihre Komponenten bestimmt wird, ist diese bekannt. Günstigerweise kann daher vorgesehen sein, dass die Regeleinrichtung 12 die primärseitige Spannungs- und/oder Stromversorgung der Zündspule 3, vorzugsweise unmittelbar, nach einem vorgebbaren Zeitversatz im Anschluss an einen Polaritätswechsel bzw. Nulldurchgang des sekundärseitigen Stromes  $I_{sek}$  wiedereinschaltet oder über den vorab bestimmbar Schwellwert regelt, wobei vorzugsweise der vorgebbare Zeitversatz im Wesentlichen ein Viertel der Eigenperiode, vorzugsweise der Sekundärseite 16, der Zündeinrichtung entspricht. Die Ionisierungsphase beginnt demnach mit einer Verzögerung um ein Viertel der Eigenperiode des Systems, nachdem der sekundäre Strom  $I_{sek}$

in den positiven Bereich kommt.

**[0027]** In einer bevorzugten Ausgestaltungsform wird verhindert, dass die Ionisierungsphase durch das Erreichen des Maximalwertes des Betrages der magnetischen Induktion B unterbrochen wird. Dabei ist vorgesehen, dass die Ionisierungsphase nur dann gestartet werden kann, wenn der Magnetisierungslevel bzw. der Betrag der magnetischen Induktion B auf der Primärseite 15 der Zündspule zu Beginn gering genug ist. Ist dies nicht der Fall, muss das System solange entregt werden (Phase Ph3), bis der benötigte niedrige Magnetisierungslevel erreicht ist. Die Ionisierungsphase zum Wiederaufbau des Zündfunkens kann also bevorzugt nur dann gestartet werden, wenn der Magnetisierungslevel und die Synchronisationsbedingung im Schwingkreise erfüllt sind.

**[0028]** Darüber hinaus können weitere Überwachungen des Systems bezüglich negativer Beeinträchtigungen oder Zerstörungen vorgesehen sein. Um die Spannungsversorgung nicht zu überlasten, werden die Einschaltzeiten des Schalters 4 während der vorgegebenen Brenndauer summiert. Überschreitet die summierte Einschaltzeit des Schalters 4 einen vorgegebenen Grenzwert, wird der Zündvorgang abgebrochen. Diese Überwachung erfolgt günstigerweise unabhängig vom Magnetisierungslevel.

**[0029]** Die Qualität des Zündvorgangs wird in der Regel auf Grundlage der tatsächlichen Brenndauer des Zündfunkens beurteilt. Die Brenndauer wird zwischen dem Erreichen des vorgegebenen Brennstromsollwertes  $I_{rated}$  bis zum Nullwert des sekundären Stroms  $I_{sek}$  gemessen. Erlischt der Zündfunke während der vorgegebenen Brenndauer und wird dieser wieder aufgebaut, so wird die Messung mit dem Erreichen des vorgegebenen Stromsollwertes wieder gestartet und beim Nullwert des sekundären Stroms  $I_{sek}$  wieder gestoppt. Die Messwerte der einzelnen Messvorgänge werden summiert. Nach Abschluss des Zündvorgangs wird die Brenndauermessung gestoppt und der gemessene Wert ausgewertet. Zur Messung bzw. Erkennung von Zündaussetzern wird die Brenndauermessung zurückgesetzt, wenn die Messung vom Erreichen des Brennstromsollwertes bis zum Nullwert des sekundärseitigen Stroms  $I_{sek}$  kürzer als die Ionisationsphase ist. In diesem Fall ist in der ersten Ionisationsphase kein Zündfunke entstanden. Dieser Umstand wird als Fehler bzw. als Aussetzer gewertet.

**[0030]** Durch Hardwareprobleme kann sich im sekundärseitigen Kreis durch die kapazitive Belastung der Hochspannungsverkabelung und der Zündkerze ein kapazitiver Strom aufbauen. Dieser Strom fließt unabhängig ob ein Zündfunke an der Zündkerze 5 entsteht oder nicht. Um dies zu erkennen, wird der Brennstromsollwert  $I_{rated}$  in der Ionisationsphase so gewählt, dass der Wert sicher überschritten werden muss. Das Erreichen des Brennstromsollwertes wird kurz vor Ende der Ionisationsphase abgefragt. Ist der sekundäre Strom  $I_{sek}$  zu diesem Zeitpunkt nicht hoch genug, dann liegt ein Hardwarefehler im System vor.

## Patentansprüche

1. Zündeinrichtung für eine Brennkraftmaschine, insbesondere für einen Gasmotor, mit einer Regeleinrichtung und mit einer Zündspule, die auf ihrer Primärseite von einer Spannungsquelle speisbar ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung (12) dazu vorgesehen ist, die an der Primärseite (15) der Zündspule (3) angelegte Spannung zu unterbrechen oder zu reduzieren, wenn ein Betrag einer magnetischen Induktion B auf der Primärseite (15) der Zündspule (3) einen vorgebbaren Maximalwert ( $B_{max}$ ) überschreitet. 5
2. Zündeinrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der vorgebbare Maximalwert ( $B_{max}$ ) des Betrages der magnetischen Induktion B eine Obergrenze eines Arbeitsbereiches (17) ist, in dem ein zumindest annähernd linearer Zusammenhang zwischen dem Betrag der magnetischen Induktion B und einem primärseitigen Stromes ( $I_{pri}$ ) besteht. 10
3. Zündeinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der vorgebbare Maximalwert ( $B_{max}$ ) des Betrages der magnetischen Induktion B unterhalb des gesättigten Bereiches der Zündspule liegt. 15
4. Zündeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung (12) den Betrag der magnetischen Induktion B auf der Primärseite (15) der Zündspule (3) indirekt über eine Bewertung einer Dauer von Einschaltzeit(en) und Ausschaltzeit(en) bestimmt, wobei während der Einschaltzeit(en) die Spannung der Spannungsquelle an der Primärseite (15) der Zündspule (3) anliegt und während der Ausschaltzeit(en) die Spannung der Spannungsquelle nicht an der Primärseite (15) der Zündspule (3) anliegt. 20
5. Zündeinrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Maximalwert eine vorgebbare Zeitspanne ist und die Regeleinrichtung (12) diese Zeitspanne mit der Summe der Einschaltzeiten, vorzugsweise ab Beginn eines Zündvorgangs, abzüglich der Summe der Ausschaltzeiten, vorzugsweise ab Beginn des Zündvorgangs, vergleicht. 25
6. Zündeinrichtung nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zündeinrichtung eine Primärstrommesseinrichtung (14) aufweist und die Regeleinrichtung (12) den Betrag der magnetischen Induktion B auf der Primärseite (15) der Zündspule (3) indirekt über eine Bewertung des primärseitigen Stromes bestimmt. 30
7. Zündeinrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Maximalwert ein vorgebarer maximaler Stromwert ist und die Regeleinrichtung (12) diesen mit dem Betrag des primärseitigen Stromes ( $I_{pri}$ ) vergleicht. 35
8. Zündeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung (12) im Anschluss an eine Unterbrechung oder Reduktion der an der Primärseite (15) der Zündspule (3) angelegten Spannung ein Wiedereinschalten bzw. Erhöhen der Spannung erst dann wieder zulässt oder einleitet, wenn der Betrag der magnetischen Induktion B auf der Primärseite (15) der Zündspule (3) den vorgebbaren Maximalwert ( $B_{max}$ ) oder einen vorgebbaren Wiedereinschaltswert unterschreitet. 40
9. Zündeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zündeinrichtung eine auf der Sekundärseite (16) der Zündspule (3) angeordnete Sekundärstrommesseinrichtung (7) zur Messung, vorzugsweise des Verlaufs, des sekundärseitigen Stromes ( $I_{sek}$ ) aufweist. 45
10. Zündeinrichtung nach Anspruch 8 und 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung (12) im Anschluss an eine Unterbrechung oder Reduktion der an der Primärseite (15) der Zündspule (3) angelegten Spannung ein Wiederanschalten bzw. Erhöhen der Spannung erst dann wieder zulässt, wenn eine Polarität des sekundärseitigen Stromes ( $I_{sek}$ ) wechselt. 50
11. Zündeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung (12) die primärseitige Spannung und/oder den primärseitigen Strom ( $I_{pri}$ ) zumindest zeitweilig in Abhängigkeit eines mittels einer auf der Sekundärseite (16) der Zündspule (3) angeordneten Sekundärstrommesseinrichtung (7) gemessenen Verlaufs des sekundärseitigen Stromes ( $I_{sek}$ ) regelt. 55
12. Zündeinrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung (12) im Anschluss an eine Unterbrechung der primärseitigen Spannungs- und/oder Stromversorgung der Zündspule während eines Zündvorgangs oder im Anschluss an das Abfallen der primärseitigen Spannung und/oder des primärseitigen Stromes ( $I_{pri}$ ) durch die Zündspule (3) unter einen vorgebbaren Schwellwert während des Zündvorgangs die primärseitige Spannungs- und/oder Stromversorgung der Zündspule (3) erst dann wieder einschaltet oder über den Schwellwert regelt, wenn der **dadurch** induzierte sekundärseitige Strom ( $I_{sek}$ ) in Richtung des, vorzugsweise unmittelbar vorab bestimmten Verlaufs des sekundärseitigen Stromes ( $I_{sek}$ ) wirkt. 60

13. Zündeinrichtung nach Anspruch 12 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung die primärseitige Spannungs- und/oder Stromversorgung der Zündspule nach einem Polaritätswechsel bzw. Nulldurchgang des sekundärseitigen Stromes wieder einschaltet oder über den vorab bestimmbar Sollwert regelt.
14. Zündeinrichtung nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung (12) die primärseitige Spannungs- und/oder Stromversorgung der Zündspule (3), vorzugsweise unmittelbar, nach einem vorgebbaren Zeitversatz im Anschluss an einen Polaritätswechsel bzw. Nulldurchgang des sekundärseitigen Stromes ( $I_{\text{sek}}$ ) wiedereinschaltet oder über den vorab bestimmbar Schwellwert regelt.
15. Zündeinrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der vorgebbare Zeitversatz im Wesentlichen ein Viertel der Eigenperiode, vorzugsweise der Sekundärseite (16), der Zündeinrichtung entspricht.
16. Zündeinrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung (12) beim Einschalten der Zündeinrichtung zu Beginn eines Zündvorgangs und/oder im Anschluss an eine Unterbrechung der primärseitigen Spannungs- und/oder Stromversorgung der Zündspule (3) oder im Anschluss an das Abfallen der primärseitigen Spannung und/oder des primärseitigen Stromes ( $I_{\text{pri}}$ ) durch die Zündspule (3) unter den vorab vorgebbaren Schwellwert während eines Zündvorgangs ein Anschaltzeitintervall ( $\Delta t_{\text{an1}}, \Delta t_{\text{an2}}$ ) vorsieht, bei dem auf der Primärseite (15) der Zündspule (3) die Spannung der Spannungsquelle in voller Höhe und/oder für eine vorgebbare Zeitdauer permanent anliegt.
17. Zündeinrichtung nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung (12) während des Anschaltzeitintervalls ( $\Delta t_{\text{an1}}, \Delta t_{\text{an2}}$ ) den sekundärseitigen Strom ( $I_{\text{sek}}$ ) über die Sekundärstrommesseinrichtung (7) und/oder eine sekundärseitige von der Zündspule abgegebene Spannung ( $U_{\text{sek}}$ ) über eine Sekundärspannungsmesseinrichtung (8) überwacht und die primärseitige Spannungsversorgung der Zündspule (3) unterbricht, wenn der sekundärseitige Strom ( $I_{\text{sek}}$ ) und/oder die sekundärseitig von der Zündspule abgegebene Spannung ( $U_{\text{sek}}$ ) (einen) vorgebbare(n) Grenzwert(e) überschreitet (überschreiten).
18. Zündeinrichtung nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung (12) die primärseitige Spannung und/oder den primärseitigen Strom ( $I_{\text{pri}}$ ) erst im Anschluss an das Anschaltzeitintervall ( $\Delta t_{\text{an1}}, \Delta t_{\text{an2}}$ ) in Abhängigkeit des Verlaufs des sekundärseitigen Stromes ( $I_{\text{sek}}$ ) regelt.
19. Zündeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spannungsquelle zumindest eine Gleichstromspannungsquelle, vorzugsweise einen DC-DC-Konverter (1), und zumindest einen dazu parallel geschalteten Kondensator (2) aufweist.
20. Zündeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** auf der Primärseite (15) der Zündspule (3) ein von der Regeleinrichtung (12) angesteuerter Schalter (4) vorgesehen ist, der zumindest einen ersten Schaltzustand, bei dem die Spannung der Spannungsquelle an der Zündspule (3) anliegt, und zumindest einen zweiten Schaltzustand, bei dem die Spannung der Spannungsquelle nicht an der Zündspule (3) anliegt, aufweist.
21. Zündeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung (12) mit Hilfe der Sekundärstrommesseinrichtung (8) den Verlauf des sekundärseitigen Stromes ( $I_{\text{sek}}$ ) hinsichtlich seiner Polarität und/oder seines Betrages auswertet.
22. Zündeinrichtung nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung (12) mit Hilfe der Sekundärstrommesseinrichtung (7) auswertet, ob der Betrag des sekundärseitigen Stromes ( $I_{\text{sek}}$ ) größer oder gleich eines vorgebbaren Mindestwertes ist oder nicht.

Fig. 1

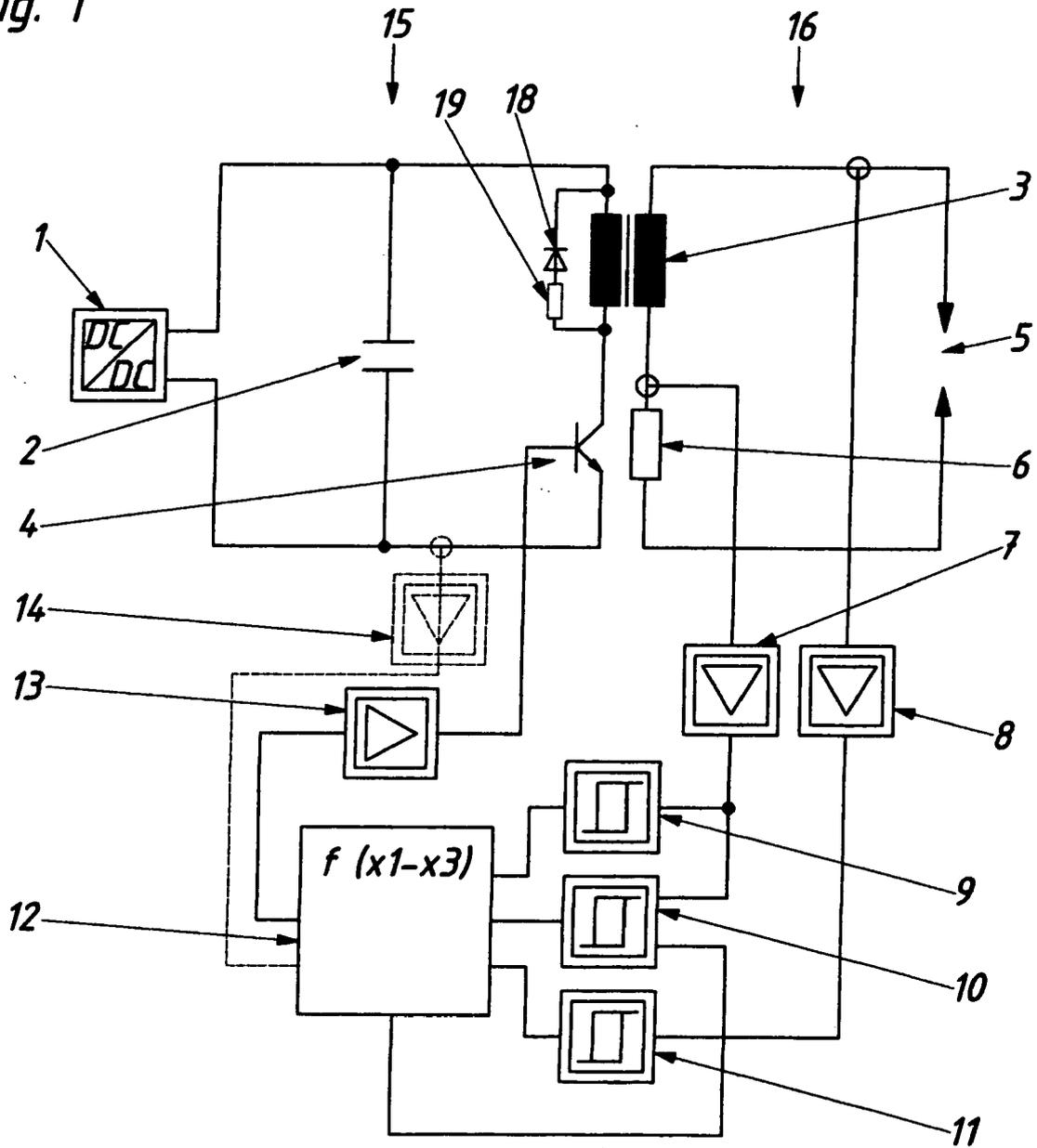


Fig. 2

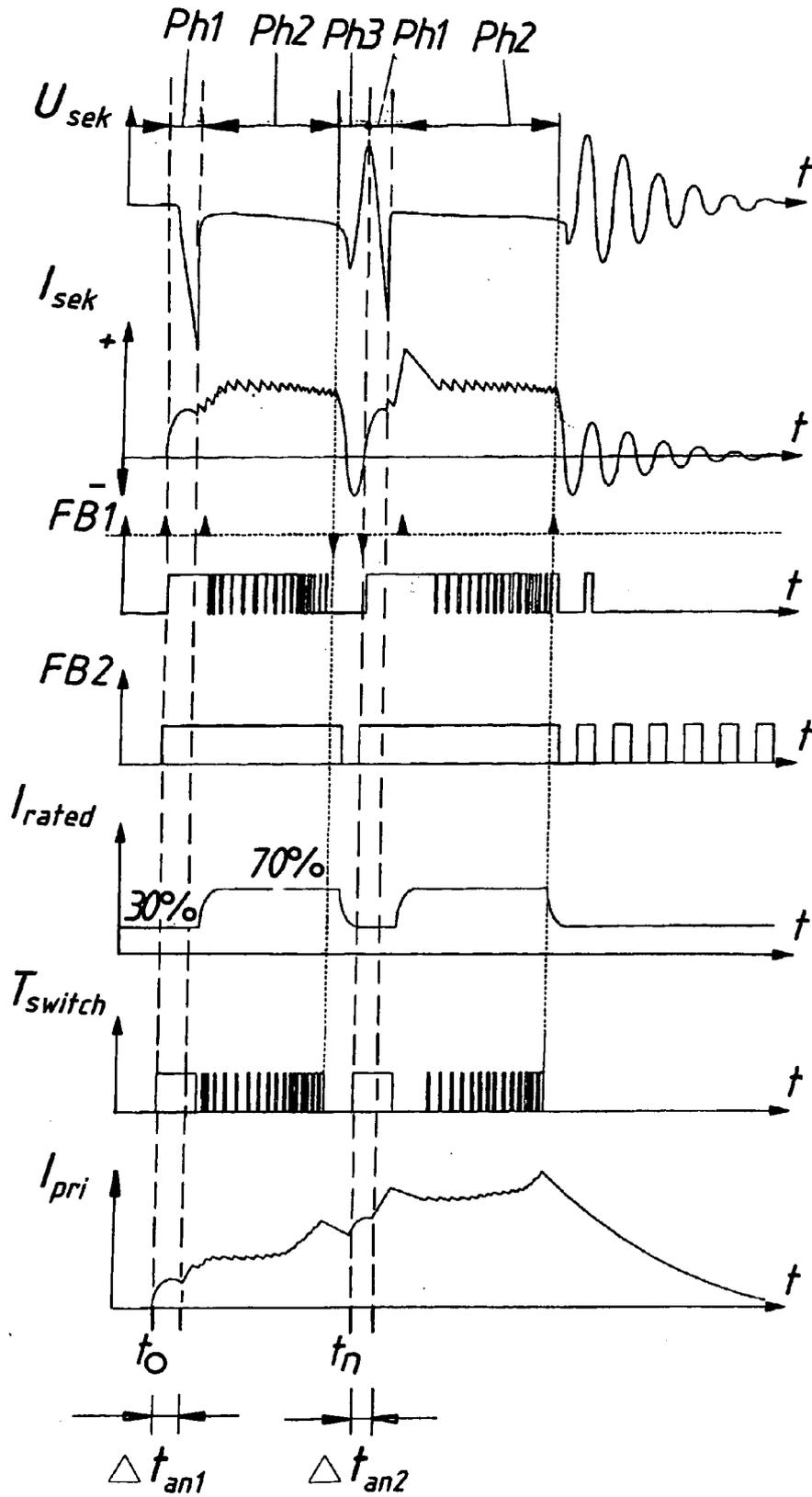


Fig. 3

