



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 696 30 351 T2 2004.08.19**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 768 536 B1**

(51) Int Cl.7: **G01R 31/06**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **696 30 351.5**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **96 112 449.2**

(96) Europäischer Anmeldetag: **01.08.1996**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **16.04.1997**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **15.10.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **19.08.2004**

(30) Unionspriorität:
9512125 13.10.1995 FR

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, ES, GB, IT

(73) Patentinhaber:
Siemens VDO Automotive S.A.S., Toulouse, FR

(72) Erfinder:
Avian, Philippe, 78300 Poissy, FR; Hannoyer, Gilles, 31320 Castanet, FR; Lucchese, Alain, 31320 Vigoulet Auzil, FR

(74) Vertreter:
Berg, P., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 80339 München

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Bestimmen des mittleren Stroms in einer induktiven Last**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen des mittleren Stromes in einer induktiven Last, beispielsweise in der Erregerspule eines Magnetventils.

[0002] Bei zahlreichen Steuerverfahren werden bestimmte Parameter durch elektromagnetische Aktoren wie Magnetventile geregelt. Man kann hierbei beispielhaft die Leerlaufregelung einer Brennkraftmaschine nennen, bei der eine zusätzliche Luftmenge durch ein Magnetventil zugemessen wird, das normalerweise von einer Feder verschlossen wird und dessen Öffnungsgrad durch einen in seiner Erregerspule fließenden veränderlichen Strom gesteuert wird. Eine Vorrichtung dieser Art ist schematisch in **Fig. 1** dargestellt, in der die Wicklung des Magnetventils durch eine induktive Last **1** symbolisiert ist, welche einerseits mit einer Versorgungsspannungsquelle V_b und andererseits mit einem als Transistor dargestellten Schalter **3** verbunden ist. Dieser Schalter wird an seinem Steuereingang **4** durch ein periodisches Rechtecksignal mit fester Frequenz und veränderlichem Tastverhältnis gesteuert. Der der induktiven Last gegenüberliegende Anschluss des Schalters **3** liegt über einen Widerstand **6** an Masse. Eine den Schalter und den Widerstand verbindende Leitung **5** ermöglicht eine Messung des den Schalter durchfließenden Stroms mittels eines Analog/Digital-Wandlers **7**, der einen Teil eines Mikroprozessors **8** bildet. Es versteht sich, dass dieser Widerstand nur ein Beispiel zum Messen des Stromes ist; bestimmte moderne Schalter weisen eigene integrierte Vorrichtungen zum Herbeiführen desselben Ergebnisses auf. Wenn der Schalter den Stromfluss zur Masse unterbricht, wird die in der induktiven Last gespeicherte Energie in Form eines Stromes, der durch eine zur Last **1** parallel geschaltete Diode **2** fließt, unter einer vorgegebenen Spannung V_D in Abhängigkeit von der Art der verwendeten Diode zurückgeführt. Um den Öffnungsgrad des Ventils zu kennen und um ihn durch Einwirken auf das Steuertastverhältnis zu steuern, ist es erforderlich, den in der induktiven Last fließenden mittleren Strom zu kennen. Wenn es auch leicht ist, diesen Strom bei geschlossenem Schalter zu messen, ist es nicht möglich, den Strom zu messen, der über die Diode **2** zurückfließt, wenn die Schaltung durch Öffnen des Schalters unterbrochen ist, umso mehr, als dieser Strom von zahlreichen Parametern wie der Temperatur der Wicklung, die ihre Induktanz beeinflusst, und dem Widerstand der Last **1** und somit der in ihr gespeicherten Energie abhängt. Überdies modifiziert bei einem elektromagnetischen Aktor das Steuertastverhältnis die Konfiguration des Magnetkreises (Luftspalt) und somit die Induktanz der Last.

[0003] Aus dem Stand der Technik, beispielsweise der französischen Patentanmeldung Nr. 2 696 253, ist ein Verfahren bekannt, bei dem die Leitungsdauer des Schalters vergrößert wird, um zu ermöglichen, dass der in der Last fließende Strom den Sättigungsstrom erreicht, und um hieraus den Ist-Widerstand abzuleiten. Ein solches Verfahren hat jedoch den Nachteil, dass die Erregungsdauer des Magnetventils und somit sein Öffnungsgrad modifiziert wird und einen fatalen Einfluss auf die Einhaltung eines Leerlaufsollwertes des Motors haben kann.

[0004] Es sind ferner, beispielsweise aus der französischen Patentanmeldung Nr. 2 639 680, Vorrichtungen bekannt, die den im Zeitpunkt der Schaltungsunterbrechung erhaltenen maximalen Wert des Stromes verwenden, um hieraus den mittleren Strom abzuleiten, der in der Last fließt. Dieser maximale Wert muss jedoch mittels analoger Vorrichtungen wie einem Taster mit Halteglied gemessen werden, was zusätzliche Kosten darstellt, und der Wert des mittleren Stromes unterliegt erheblichen Fehlern aufgrund von Rauschen, das die Messung des Spitzenwertes beeinträchtigt. Außerdem müssen Schwankungen des Lastwiderstandes mit der Temperatur durch komplizierte Verarbeitungsalgorithmen kompensiert werden.

[0005] Die vorliegende Erfindung hat somit zum Ziel, ein Verfahren zum Bestimmen des mittleren Stromes in einer induktiven Last vorzuschlagen, das diese Nachteile nicht hat.

[0006] Diese Ziele der Erfindung sowie weitere, die aus der folgenden Beschreibung hervorgehen, werden erreicht mittels eines Verfahrens zum Bestimmen des mittleren Stromes in einer induktiven Last, die zwischen eine Spannung V_b liefernde Versorgungsquelle und einen Schalter geschaltet ist, der in der Lage ist, periodisch und mit einem vorgegebenen Steuertastverhältnis RCO entweder eine Stromleitung zu einem Massepotential zu ermöglichen oder zu unterbrechen, wobei eine Diode dazu dient, eine Rückführung der in der Last gespeicherten Energie zum Potential V_b zu ermöglichen, wobei das Verfahren eine Messung des in dem Schalter fließenden Stromes verwendet, dadurch gekennzeichnet, dass der Strom, der in dem Schalter fließt, zur Bildung von Messwerten asynchron bezüglich des Steuertastverhältnisses und mit einer kleineren Periode als diesem gemessen wird, die Messwerte, deren Wert kleiner als eine vorgegebene Schwelle ist, eliminiert werden, der Mittelwert der beibehaltenen Messwerte synchron zur Unterbrechung der Stromleitung gebildet wird, um einen mittleren Wert des Stromes, der im Schalter während seines leitenden Zustandes fließt, zu bilden, der Wert des in der Last fließenden mittleren Stroms ausgehend von dem mittleren Wert des im Schalter fließenden Stroms, der Versorgungsspannung, der Nenn-Induktanz und dem Nenn-Widerstand der induktiven Last, dem Steuertastverhältnis RCO und der Durchlassspannung der Diode berechnet wird.

[0007] Gemäß einem wichtigen Merkmal der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass der mittlere Wert des im Schalter fließenden Stromes in der Weise ermittelt wird, dass ein intermediärer Mittelwert der beibehaltenen Messwerte während der letzten Steuerperiode gebildet und durch einen gewichteten Mittelwert dieses

intermediären Mittelwertes und des mittleren Wertes des im Schalter fließenden Stromes, der in der vorhergehenden Steuerperiode erhalten wurde, gefiltert wird.

[0008] Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens der Erfindung ist vorgesehen, dass der Wert des in der Last fließenden mittleren Stromes aus der folgenden Formel berechnet wird:

$$I_{L_moy} = I_{on_moy} - (V_b + V_D) \times Tab(RCO)$$

worin Tab(RCO) ein einer Tabelle entnommener Wert ist, der in Abhängigkeit von dem Steuertastverhältnis definiert ist und während eines vorausgehenden Schrittes des Verfahrens bestimmt wurde.

[0009] Weitere Merkmale und Vorteile des Verfahrens gemäß der Erfindung gehen aus der folgenden Beschreibung und den beigefügten Zeichnungen hervor, in denen:

[0010] **Fig. 1** die in der Beschreibungseinleitung beschriebene Schaltung zum Steuern der induktiven Last darstellt und

[0011] **Fig. 2A** einen Zeitgraphen des in der Last fließenden Stromes darstellt, während **Fig. 2** denjenigen des Stromes darstellt, der an der Leitung **5** der Schaltung der **Fig. 1** gemessen wird.

[0012] Es wird nun auf die **Fig. 2A** Bezug genommen, in der der Strom I_L dargestellt ist, welcher in der induktiven Last **1** fließt, wenn der Schalter **3** durch ein rechteckiges Steuersignal mit fester Periode und veränderlichem Tastverhältnis RCO betätigt wird. Das Tastverhältnis RCO wird durch das Verhältnis Ton/(Ton + Toff) ausgedrückt, in dem Ton die Dauer ist, während der der Schalter **3** leitend ist, Toff die Dauer ist, während der der Schalter **3** nicht leitend ist, und die Summe Ton + Toff die Periode des Steuersignals darstellt. Die Aufgabe, die die Erfindung zu lösen sucht, besteht darin, den mittleren Strom I_{L_moy} in der induktiven Last zu bestimmen. Wie sich in der **Fig. 2B** feststellen lässt, ist der Strom, der sich mit einer Vorrichtung wie der der **Fig. 1** messen lässt, der durch den Schalter **3** fließende Strom I_{on} , welcher gleich dem Strom I_L während der Dauer Ton und Null während Toff ist. Aus diesem Grund sind der Strom I_L , der in der Last während der Dauer Toff fließt, sowie sein mittlerer Wert, der durch die schraffierte Zone in der **Fig. 2A** dargestellt wird, nicht direkt messbar.

[0013] Gemäss der Erfindung werden mit Hilfe von Messungen, die von dem Analog/Digital-Wandler ausgeführt werden, aufeinander folgende Messwerte des Stromes I_{on} gewonnen. Diese Messwertgewinnung erfolgt während einer Dauer Tech, die kleiner als die Periode des Steuersignals des Schalters **3** und asynchron zu diesem ist. In der Praxis werden Messfrequenzen gewählt, die drei- bis zehnmals größer als die Frequenz des Steuersignals ist, wobei ganzzahlige Vielfache vermieden werden, um die Gewinnung von Messwerten zu ermöglichen, die nicht immer an derselben Stelle der Kurve des Stromes I_{on} liegen, ein Vorteil, der in der folgenden Beschreibung genauer erläutert wird. Beispielsweise wurde für ein Steuersignal mit der Periode Ton + Toff gleich 6,25 Millisekunden eine Messperiode von 1 Millisekunde gewählt. Ein solches Messverfahren ist von Vorteil, denn moderne Mikroprozessoren ermöglichen eine Verwirklichung dieser Funktion als Grundaufgabe, was es erlaubt, die Möglichkeiten des Mikroprozessors für andere Aufgaben zu nutzen, wobei diese eine Synchronisation ihrer Messwerte mit dem Steuersignal nicht erfordern, wie dies im Stand der Technik der Fall ist, wenn man den Spitzenwert des Stroms bei einem veränderlichen Tastverhältnis messen möchte. In **Fig. 2B** wurden die Messwerte e1 bis e5 zwischen den Zeitpunkten t1 und t2 festgehalten, die einer Periode des Steuersignals entsprechen. Diese Messwerte werden, so wie sie gewonnen werden, mit einer Schwelle I_s nahe bei Null verglichen, um die Messwerte zu eliminieren, die der Dauer Toff des Schalters entsprechen. Es versteht sich, dass diese Eliminierung auch auf Kosten einer zusätzlichen Synchronisation hätte gewonnen werden können, indem nur die während der Dauer Ton erhaltenen Messwerte beibehalten werden. Im Zeitpunkt t2, in dem die Stromleitung des Schalters **3** unterbrochen wird, berechnet der Mikroprozessor **8** den Mittelwert der beibehaltenen Messwerte (hier e3 bis e5), um einen intermediären Wert I_{m_per} zu erhalten, der den mittleren Wert des Stromes I_{on} während der letzten Dauer der Stromleitung darstellt. Dieser intermediäre Wert I_{m_per} wird anschließend in einem Rekursivfilter vom Typ mittlerer Gewichtung dazu verwendet, einen Wert I_{on_moy} zu gewinnen, der den mittleren Wert des Stromes I_{on} während des leitenden Zustandes des Schalters **3** darstellt. Es lässt sich beispielsweise eine Formel des folgenden Typs verwenden:

$$I_{on_moy}(i) = (1 - k) \times I_{on_moy}(i - 1) + k \times I_{m_per}$$

worin k ein Gewichtungsfaktor zum Regeln der Zeitkonstanten des Filters und i die betrachtete Periode des Steuersignals ist. Wie ersichtlich ermöglicht die Verwendung eines intermediären mittleren Wertes vorteilhafterweise eine Gewinnung des mittleren Wertes I_{on_moy} des Stroms in jeder Periode, und zwar unabhängig vom Tastverhältnis.

[0014] Man geht nun zur Berechnung des mittleren Stromes I_{L_moy} über, der in der induktiven Last **1** fließt. Wenn auch das theoretische Studium der Schaltung der **Fig. 1** es erlaubt, diesen mittleren Strom unter idealen Bedingungen in Abhängigkeit von den Parametern V_b (Versorgungsspannung der Schaltung), V_D (Durchlassspannung der Rückführdiode), RCO (Steuertastverhältnis) und in Abhängigkeit von der Ist-Induktanz und dem Ist-Widerstand der Last zu berechnen, stellt man jedoch fest, dass das Ergebnis dieser Berechnung von der

sich unter praktischen Bedingungen ergebenden Realität abweicht. Im tatsächlichen Fall sind insbesondere die Werte der Induktanz und des Widerstandes der Last nicht genau bekannt, und zwar einerseits wegen der durch Fertigungstoleranzen bedingten Abweichungen dieser Werte von den Ursprungswerten und andererseits wegen ihrer Abhängigkeit von der Temperatur. Außerdem modifiziert das Steuertastverhältnis bei einem elektromagnetischen Aktor die Konfiguration des Magnetkreises (Luftspalt) und somit die Induktanz der Last. Der auf diese Weise verursachte Fehler kann in vorteilhafter Weise durch Verwendung des mittleren Stromes I_{on_moy} , der im Schalter während der leitenden Phasen fließt, so wie er vorher erhalten wurde, kompensiert werden. Tatsächlich lassen sich dadurch, dass bezüglich der Steuerperiode des Schalters asynchrone Messungen des Stromes I_{on} durchgeführt werden, Werte dieses Stromes gewinnen, die die Änderungskurve desselben beschreiben. Der auf diese Weise erhaltene mittlere Strom berücksichtigt somit die Form dieser Kurve, welche unmittelbar mit den Parametern Ist-Widerstand und Ist-Induktanz der Last verknüpft sind. Es ließ sich somit ausgehend von Berechnungen und Versuchen die folgende Formel aufstellen, die es erlaubt, den mittleren Strom in der induktiven Last zu erhalten:

$$I_{L_moy} = I_{on_moy} - [(Vb + V_D) \times R^{0.8}] \times \frac{Ton \times Toff}{11xL^{1.8} \times (Ton + Toff)}$$

worin R und L der Nenn-Widerstand bzw. die Nenn-Induktanz der Last sind. Wie ohne weiteres ersichtlich, ist eine derartige Formel in einem Rechner, wie sie in Kraftfahrzeugen verwendet werden, schwierig zu integrieren, und hinsichtlich der Rechnerzeit kostenintensiv. Es wird daher vorgeschlagen, sich die Tatsache zunutze zu machen, dass die Werte von R und L Konstanten sind, um bei dem Verfahren eine Wertetabelle in Abhängigkeit von dem Steuertastverhältnis $Tab(RCO)$ zu bilden, eine Tabelle, die in herkömmlicher Weise durch Interpolation ausgewertet wird. Die Verwendung einer derartigen Tabelle hat außer dem Gewinn an Rechengeschwindigkeit den Vorteil, dass sich bestimmte punktuelle Unzulänglichkeiten des Algorithmus korrigieren lassen, beispielsweise für sehr kleine Tastverhältnisse. Der Art des in der induktiven Last **1** fließenden mittleren Stromes wird dann durch die folgende Formel berechnet:

$$I_{L_moy} = I_{on_moy} - (Vb + V_D) \times Tab(RCO)$$

[0015] Es wurde somit ein Verfahren zum Bestimmen des mittleren Stromes in einer induktiven Last beschrieben, das in der Lage ist, Schwankungen von Parametern der Last (Widerstand und Induktanz) auszugleichen, ohne hierfür eine Modifikation der Steuerung des Schalters oder zusätzliche Schaltungen zur Formung des Stroms zu benötigen, und das darüber hinaus den Vorteil hat, robuster gegenüber Rauschen und parasitären Erscheinungen zu sein, die die Strommessungen beeinträchtigen könnten, und zwar aufgrund der Verwendung des im Schalter fließenden mittleren Stroms, der durch Messwertbildung, Mittelung und Filterung des Ist-Wertes dieses Stroms gewonnen wird.

[0016] Es versteht sich, dass die Erfindung nicht auf die Verwendung eines derartigen Verfahrens in Verbindung mit einem Zusatzluftventil für die Leerlaufregelung von Brennkraftmaschinen beschränkt ist, sondern vielmehr in allen Fällen verwendet werden kann, in denen die Kenntnis des in einer induktiven Last fließenden mittleren Stromes von Nutzen sein kann. Die Erfindung ist durch die Patentansprüche beschränkt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen des mittleren Stromes in einer induktiven Last (**1**), die zwischen eine eine Spannung Vb liefernde Versorgungsquelle und einen Schalter (**3**) geschaltet ist, der in der Lage ist, periodisch und mit einem vorgegebenen Steuertastverhältnis RCO entweder eine Stromleitung zu einem Massepotential zu ermöglichen oder zu unterbrechen, wobei eine Diode (**2**) dazu dient, eine Rückführung der in der Last gespeicherten Energie zum Potential Vb zu ermöglichen, wobei das Verfahren eine Messung des in dem Schalter fließenden Stromes (I_{on}) verwendet, **dadurch gekennzeichnet**, dass:

- der Strom (I_{on}), der in dem Schalter fließt, zur Bildung von Messwerten asynchron bezüglich des Steuertastverhältnisses und mit einer kleineren Periode als diesem gemessen wird,
- die Messwerte, deren Wert kleiner als eine vorgegebene Schwelle (I_s) ist, eliminiert werden,
- der Mittelwert der beibehaltenen Messwerte synchron zur Unterbrechung der Stromleitung gebildet wird, um einen mittleren Wert (I_{on_moy}) des Stromes, der im Schalter während seines leitenden Zustandes fließt, zu bilden,

- der Wert des in der Last fließenden mittleren Stroms (I_{L_moy}) ausgehend von dem mittleren Wert (I_{on_moy}) des im Schalter fließenden Stroms, der Versorgungsspannung (Vb), der Nenn-Induktanz (L) und dem Nenn-Widerstand (R) der induktiven Last, dem Steuertastverhältnis RCO und der Durchlassspannung (V_D) der Diode berechnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der mittlere Wert (I_{on_moy}) des im Schalter fließ-

ßenden Stromes in der Weise ermittelt wird, dass ein intermediärer Mittelwert (I_{m_per}) der beibehaltenen Messwerte während der letzten Steuerperiode gebildet und durch einen gewichteten Mittelwert dieses intermediären Mittelwertes und des mittleren Wertes des im Schalter fließenden Stromes, der in der vorhergehenden Steuerperiode erhalten wurde, gefiltert wird.

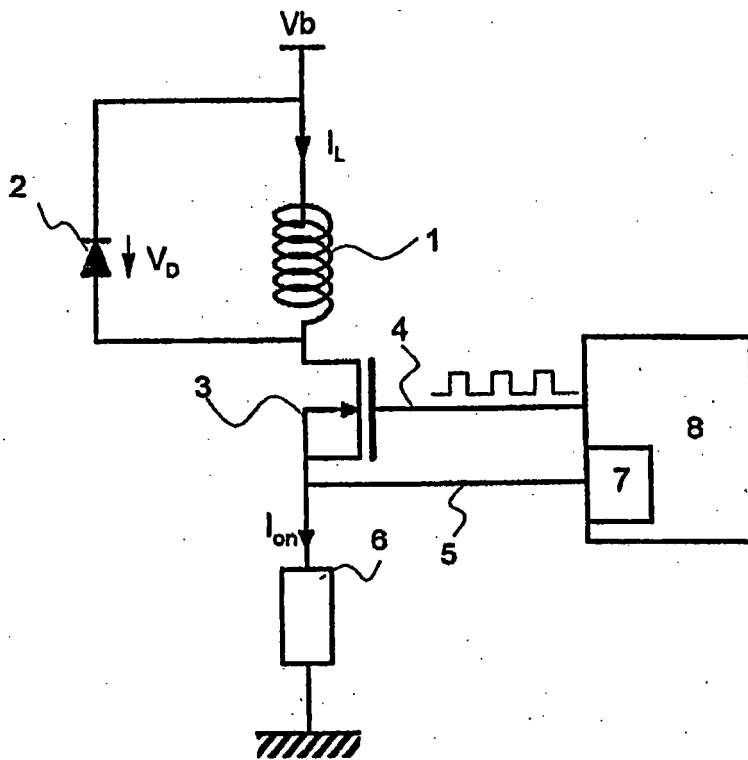
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Wert des in der Last fließenden mittleren Stromes (I_{L_moy}) aus der folgenden Formel berechnet wird:

$$I_{L_moy} = I_{on_moy} - (V_b + V_D) \times Tab(RCO)$$

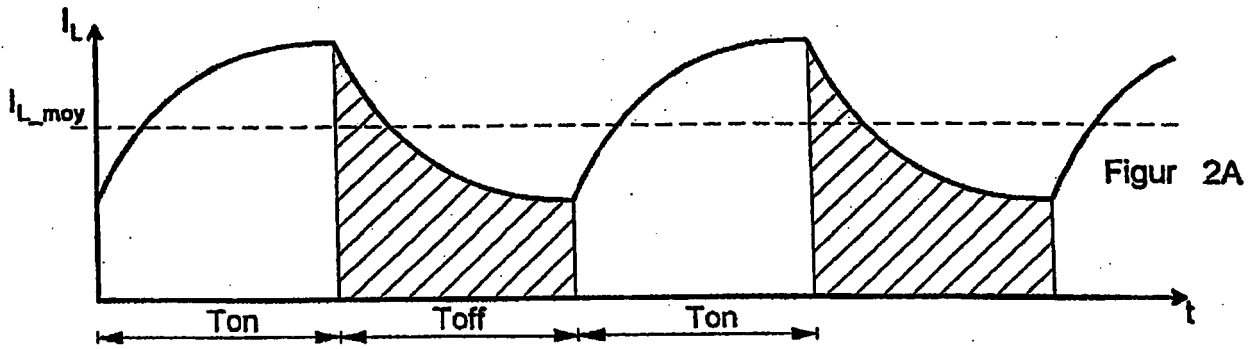
worin $Tab(RCO)$ ein einer Tabelle entnommener Wert ist, der in Abhängigkeit von dem Steuertastverhältnis RCO definiert ist und während eines vorausgehenden Schrittes des Verfahrens bestimmt wurde.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

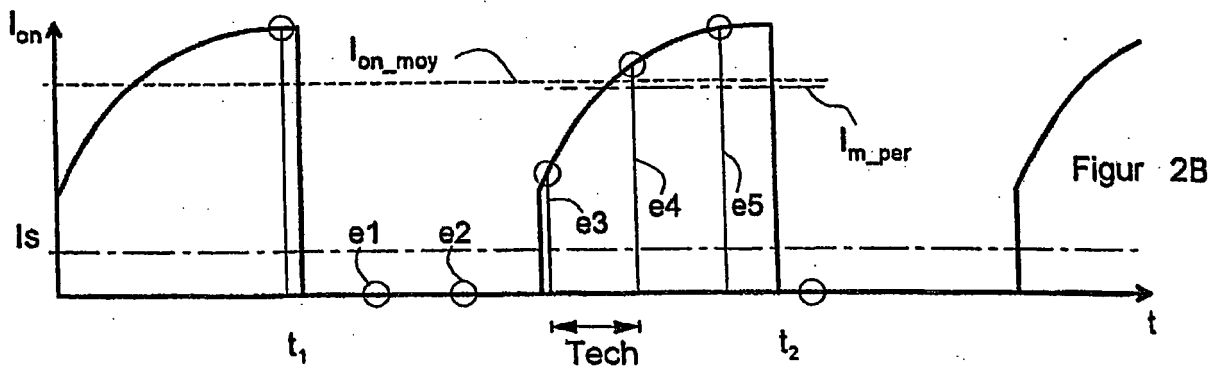
Anhängende Zeichnungen



Figur 1



Figur 2A



Figur 2B