

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 1 073 842 B2**

(12)

## NEUE EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Entscheidung über den Einspruch:  
**07.09.2005 Patentblatt 2005/36**

(51) Int Cl.7: **F02N 17/08, F02N 11/04**

(45) Hinweis auf die Patenterteilung:  
**06.11.2002 Patentblatt 2002/45**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP1999/002219**

(21) Anmeldenummer: **99917937.7**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 1999/054621 (28.10.1999 Gazette 1999/43)**

(22) Anmeldetag: **31.03.1999**

### (54) VERFAHREN UND STARTERSYSTEM ZUM STARTEN EINES VERBRENNUNGSMOTORS

METHOD AND STARTER SYSTEM FOR STARTING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

PROCEDE ET SYSTEME POUR LE DEMARRAGE D'UN MOTEUR A COMBUSTION INTERNE

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE ES FR GB IT**

• **ROSSKOPF, Franz**  
**D-81476 München (DE)**

(30) Priorität: **20.04.1998 DE 19817497**

(74) Vertreter:  
**von Samson-Himmelstjerna, Friedrich et al**  
**SAMSON & PARTNER**  
**Widenmayerstrasse 5**  
**80538 München (DE)**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**07.02.2001 Patentblatt 2001/06**

(56) Entgegenhaltungen:  
**DE-A- 3 117 144 DE-A- 4 200 606**  
**DE-A- 4 311 229 DE-A- 19 532 128**  
**DE-A- 19 741 294 DE-U- 29 723 175**  
**FR-A- 2 569 776**

(73) Patentinhaber:

- **Continental ISAD Electronic Systems GmbH & Co. oHG**  
**86899 Landsberg/Lech (DE)**
- **Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft**  
**80788 München (DE)**

(72) Erfinder:

- **PELS, Thomas**  
**D-77855 Achern (DE)**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Starten eines Verbrennungsmotors sowie ein Startersystem für einen Verbrennungsmotor.

**[0002]** Aus der Praxis ist bekannt, daß Verbrennungsmotoren, z.B. in Kraftfahrzeugen, nicht aus eigener Kraft anlaufen können. Sie müssen zunächst durch eine äußere Kraftquelle, dem sog. Starter, angeworfen und auf die zum Anspringen des Verbrennungsmotors benötigte Motordrehzahl beschleunigt werden. Erst dann können sie aus eigener Kraft weiterlaufen.

**[0003]** Bei Kraftfahrzeugen wird häufig ein batteriegespeister Gleichstrommotor als elektrischer Starter verwendet, der das notwendige Startmoment über ein in einen Zahnkranz an der Schwungscheibe eingreifendes Antriebsritzel auf die Kurbelwelle des Verbrennungsmotors überträgt. Aus der DE 44 06 481 A1 ist ferner ein Startersystem mit einem elektrischen Startermotor bekannt, dessen Rotor direkt auf der Kurbelwelle des Verbrennungsmotors sitzt und drehfest mit ihr verbunden ist. Bei einer solchen Anordnung nutzt man die Masse des Rotors der elektrischen Maschine zugleich als Schwungmasse.

**[0004]** Das Startmoment eines Verbrennungsmotors und die Mindest-Startdrehzahl hängen unter anderem von Motortyp, Hubvolumen, Zylinderzahl, Lagerreibung, Kompression und Gemischaufbereitung und vor allem von der Temperatur ab. Von Bedeutung für die Kompression eines Verbrennungsmotors und damit für seine Startwilligkeit ist auch, in welchem Abschnitt des Arbeitsverfahrens sich der oder die Zylinder des Motors beim Starten befinden. So wirkt sich beispielsweise die Kompression eines sich gerade im Verdichtungstakt befindlichen Zylinders ungünstig für das Starverhalten aus, weil sie dem Starter gleich zu Beginn des Starts ein überhöhtes Drehmoment entgegengesetzt.

**[0005]** Bisher hat man im Stand der Technik diese Einflußgröße nicht im genügenden Maß berücksichtigt. Bekannte Starter mußten leistungsmäßig jedenfalls so ausgelegt werden, daß der Verbrennungsmotor unter allen Bedingungen gestartet werden kann.

**[0006]** Zwar ist aus WO 91/16538 ein Verfahren sowie ein Startersystem zum Starten eines Verbrennungsmotors bekannt. Danach wird nach dem Abschalten bzw. Absterben des Verbrennungsmotors der Kurbelwinkel mit Hilfe eines der Kurbelwelle zugeordneten Drehwinkelsensors automatisch erfaßt; und eine elektrische Maschine stellt sodann einen günstigen Startwinkel für den nächsten Startvorgang ein, z.B. einen Kurbelwinkel, bei welchem sich keine oder am wenigsten Kolben vor oder in einem Verdichtungstakt befinden. Die für den Starterbetrieb benötigte elektrische Energie wird entweder einem Akku oder einer herkömmlichen Fahrzeughilfsbatterie, d.h. elektrochemischen Energiespeichern, entnommen, welche nicht immer ein optimales Starten, z.B. bei tiefen Temperaturen, gewährleisten können.

**[0007]** In EP-A-0 569 347 wird ebenfalls vor dem ei-

gentlichen Startvorgang auf die Kurbelwellenstellung Einfluß genommen, indem vor dem Start die Kurbelwelle in einem bestimmten Startwinkel zurückgedreht wird, bei welchem ein erhöhter Kompressionshöchstdruck erreicht wird. Der Verbrennungsmotor wird dann aus diesem Startwinkel heraus gestartet, wobei der elektrische Starter aber aus einer herkömmlichen Batterie gespeist wird.

**[0008]** Folgende Entgegenhaltungen beschäftigen sich mit Teilauspekten der Erfindung: DE-A-3 117 144, FR-A-2 569 776 und DE-A-4 200 606.

**[0009]** Des weiteren ist allgemein bekannt, daß man einen Verbrennungsmotor mit Hilfe von Kondensatoren starten kann.

**[0010]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zum leichteren Starten eines Verbrennungsmotors anzugeben sowie ein entsprechendes Startersystem bereitzustellen.

**[0011]** Diese Aufgabe löst die Erfindung verfahrensmäßig durch den Gegenstand nach Anspruch 1 und vorrichtungsmäßig durch den Gegenstand nach Anspruch 11. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind in jeweils abhängigen Ansprüchen beschrieben.

**[0012]** Danach wird bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zum Starten eines Verbrennungsmotors in einem Kraftfahrzeug die Kurbelwelle des Verbrennungsmotors mindestens auf eine zum Anspringen des Verbrennungsmotors notwendige Drehzahl (sog. Startdrehzahl) beschleunigt, wobei hierfür eine elektrische Maschine verwendet wird, deren Rotor direkt oder über eine dazwischen geschaltete Übersetzung auf die Kurbelwelle einwirkt. Ferner wird die Kurbelwelle kurz vor Beginn des Startvorganges, ausgelöst durch Öffnen der Zentralverriegelung des Kraftfahrzeugs, mit Hilfe der

elektrischen Maschine für den Startvorgang in eine vorgegebene Kurbelwinkelstellung bzw. in einen vorgegebenen Kurbelwinkel (nachfolgend "Startwinkel" genannt) gebracht und der Verbrennungsmotor aus diesem Startwinkel heraus gestartet, wobei die zum Starten erforderliche Energie zumindest teilweise einem in einem Zwischenkreis eines Wechselrichters der elektrischen Maschine angeordneten Kurzzeitspeicher entnommen wird. Der eigentliche Startvorgang des Verbrennungsmotors kann dann aus einem günstigen

Startwinkel beginnen und wird zusätzlich - nicht wie üblich vollständig aus einer Starterbatterie sondern - zumindest teilweise aus einem Kurzzeitspeicher gespeist, der die notwendige elektrische Startleistung wesentlich schneller als eine herkömmliche Batterie abgeben

kann. Im übrigen ist ein Kurzzeitspeicher, wie etwa ein Kondensatorsspeicher, wesentlich weniger temperaturanfällig als eine elektrochemische Batterie, so daß auch bei sehr niedrigen Temperaturen ein problemloses Starten möglich ist.

**[0013]** Die Aufladung des Kurzzeitspeichers kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Eine Möglichkeit besteht darin, daß der Kurzzeitspeicher erst jeweils vor dem Starten aus einer Starterbatterie aufgeladen wird.

Bevorzugt wird das den Einstellvorgang des Kurbelwellen-Startwinkels auslösende Kommando gleichzeitig als Signal zum Aufladen des Kurzzeitspeichers aus der Starterbatterie verwendet wird. Das Starten des Verbrennungsmotors kann dann ohne jede Wartezeit erfolgen.

**[0014]** Ein entsprechendes erfindungsgemäßes Startersystem für einen Verbrennungsmotor in einem Kraftfahrzeug umfaßt : eine elektrische Maschine, deren Rotor direkt oder über eine dazwischen geschaltete Übersetzung mit der Kurbelwelle des Verbrennungsmotors drehfest verbunden ist, um den Verbrennungsmotor mindestens auf eine zum Anspringen notwendige Drehzahl (Startdrehzahl) zu beschleunigen; Mittel zum Erfassen und/oder Ableiten des Kurbelwinkels des Verbrennungsmotors; eine Steuerungseinrichtung, welche die elektrische Maschine kurz vor Beginn des Startvorganges, ausgelöst durch Öffnen der Zentralverriegelung des Kraftfahrzeuges, so steuert, daß die Kurbelwelle des Verbrennungsmotors für den Startvorgang in einen vorgegebenen Startwinkel gebracht und die gesamte oder ein Teil der zum Starten erforderlichen Energie aus einem Kurzzeitspeicher entnommen wird, der in einem Zwischenkreis eines Wechselrichters der elektrischen Maschine angeordnet ist. Der erfindungsgemäß Kurzzeitspeicher kann bevorzugt auch eine Kombination aus elektrischen Kondensatorelementen und elektrochemischen Batterieelementen sein.

**[0015]** Bei der Erfindung wurde erkannt, daß die Stellung der Kurbelwelle bei Startbeginn von wesentlicher Bedeutung für das Startverhalten eines Verbrennungsmotors ist. Aufbauend hierauf liegt der Erfindung der Gedanke zugrunde, daß durch Einflußnahme auf den Kurbelwinkel vor dem eigentlichen Startvorgang sowie auf die Art der Startenergiezufuhr eine wesentliche Verbesserung des Startverhaltens eines Verbrennungsmotors erzielt werden kann. Mit Hilfe der elektrischen Maschine, z.B. ein sog. Kurbelwellenstarter mit einem direkt mit der Kurbelwelle drehfest verbundenen Rotor, gelingt es, die zur Einstellung eines gewünschten Startwinkels notwendigen Momente in beide Drehrichtungen der Kurbelwelle und mit großer Genauigkeit aufzubringen. Vermeidet man auf diese Weise eine ungünstige Kurbelwellenstellung zu Beginn des Starts, etwa wenn einer oder mehrere Zylinder eines Verbrennungsmotors gleich zu Beginn verdichten, so kann mit verringelter Startleistung gestartet werden. Vorrichtungsmäßig weist das Startersystem hierfür eine Steuerungseinrichtung auf, welche in Kenntnis des momentanen Kurbelwinkels den Rotor der elektrischen Maschine, ggf. unter Beachtung des Übersetzungsverhältnisses zwischen Rotor und Kurbelwelle, so steuert, daß die Kurbelwelle in den gewünschten Startwinkel gebracht wird.

**[0016]** Vorteilhaft ist der Einsatz des erfindungsgemäß Startersystems sowohl bei Ottomotoren als auch bei Dieselmotoren, z.B. Viertaktmotoren mit Saugrohreinspritzung oder mit Direkteinspritzung, die für die Verwendung in Personenkraftfahrzeugen ausgelegt

sind.

**[0017]** Bei einer bevorzugten erfindungsgemäßen Variante wird als Startwinkel derjenige Kurbelwinkel gewählt, bei welchem das von der elektrischen Maschine aufzubringende Startmoment zu Beginn des Startvorgangs geringer ist als bei bekannten Startersystemen. Bei einem z.B. im Viertaktverfahren arbeitenden Verbrennungsmotor nimmt der Zylinderdruck und damit die von einem Starter zu überwindende Kompression im Verlauf eines Verdichtungstaktes zu und erreicht sein Maximum etwa im Bereich des oberen Totpunktes. Wird nun bei einer bevorzugten Verfahrensvariante für einen Viertaktverbrennungsmotor der Kurbelwinkel für den nächsten Start am Ende des Verdichtungstaktes, vorzugsweise in einem Bereich unmittelbar nach dem oberen Totpunkt, eingestellt, so muß der Starter bei Startbeginn nur den relativ kompressionsschwachen Ansaugtakt des Verbrennungsmotors überwinden. Außerdem bleiben dem Starter nach Startbeginn fast zwei volle Umdrehungen, um zum Überwinden des nächsten Verdichtungstaktes genügend Startleistung aufzubauen. Dies ist insbesondere bei einem Kaltstart günstig.

**[0018]** Bei einer weiteren verfahrensmäßigen Variante wird als Startwinkel derjenige Kurbelwinkel gewählt, bei welchem die Stardauer, d.h. die Dauervom Startbeginn bis zum Anspringen des Verbrennungsmotors, bis auf ein Minimum verringert ist. Bei einem Viertaktverbrennungsmotor mit Saugrohreinspritzung ist dies vorzugsweise die Kurbelwinkelstellung zu Beginn des Ansaugtaktes, besonders bevorzugt im Überschneidungsbereich zwischen Ausstoß- und Ansaugtakt; bei einem Viertaktverbrennungsmotor mit Direkteinspritzung hingegen vorzugsweise die Kurbelwinkelstellung am Ende des Ansaugtaktes. Ist der Verbrennungsmotor außerdem mit einer herkömmlichen Sensorik bestehend aus induktivem Sensor und Zahnrad mit Bezugsmarke zur Erfassung des Kurbelwinkels ausgestattet, kann der Startwinkel-Einstellvorgang und damit die Startzeit auch dadurch verkürzt werden, daß der Startwinkel im Bereich unmittelbar vor der Bezugsmarke der Drehwinkelsensorik gewählt wird. Die Drehwinkelerfassung kann dann ohne Verzögerung gleich zu Beginn des Startvorgangs durchgeführt werden.

**[0019]** Wenn das Starten ohne jede Verzögerung erfolgen kann, so dient dies auch der Verkehrssicherheit und erhöht den Bedienungskomfort z.B. von Kraftfahrzeugen. Ferner ist die zum Anspringen eines Verbrennungsmotors insgesamt benötigte Energiemenge dabei geringer, was vorteilhaft eine kleinere Dimensionierung des Starterenergiespeichers erlaubt.

**[0020]** Die bisherige Darstellung der Erfindung gilt für Einzylinder- und Mehrzylindermotoren gleichermaßen, wenn man die Auswahl des Kurbelwellen-Startwinkels auf denjenigen Zylinder eines Mehrzylindermotors abstimmt, welcher zuerst gezündet wird. In der Regel ist die Reihenfolge, in der die Zylinder nacheinander zünden, vorgegeben. Nach dem erfindungsgemäß Verfahren ist aber auch eine Variante denkbar, bei welcher

zumindest bei der Auswahl des zuerst gezündeten Zylinders von einer vorgegebenen Zündfolge abgewichen wird und ein bestimmter Zylinder für die erste Zündung in Abhängigkeit des einzustellenden Startwinkels der Kurbelwelle ausgewählt wird.

**[0021]** Erfindungsgemäß wird der gewünschte Startwinkel erst kurz vor Beginn des Startvorgangs selbsttätig eingestellt, z.B. indem die elektrische Maschine die Kurbelwelle des stillstehenden Verbrennungsmotors in den gewünschten Startwinkel vorwärts oder rückwärts dreht. Damit ist ein unerwünschtes "Verstellens" des einmal eingestellten Startwinkels in der Zeit zwischen dem Einstellvorgang und dem Startvorgang ausgeschlossen. Besonders günstig ist es, wenn in Verbindung mit der letztgenannten Verfahrensvariante die zum Starterbetrieb erforderliche Energie zumindest teilweise einem Kondensatorspeicher entnommen wird.

**[0022]** Für die Einstellung des Starwinkels der Kurbelwelle wird der momentane Kurbelwinkel ermittelt, in der Steuerungseinrichtung mit dem Wert des vorgegebenen Kurbelwellen-Startwinkels verglichen und eine etwaige Änderung des Kurbelwinkels nochmals überwacht wird. Hierfür verwendet man bevorzugt eine in der elektrischen Maschine integrierte Winkelerfassung. Besonders bevorzugt ist dem Rotor der elektrischen Maschine ein geeigneter Drehwinkelsensor, z.B. ein induktiver oder optischer Drehwinkelgeber, zugeordnet. Der Drehwinkel der elektrischen Maschine kann aber auch aus dem magnetischen Rückfluß des Rotors im Stator der elektrischen Maschine ermittelt werden. Da der Rotor der elektrischen Maschine entweder direkt oder über eine Übersetzung mit der Kurbelwelle des Verbrennungsmotors verbunden ist, ergibt sich der Kurbelwinkel unmittelbar oder durch einfache Umrechnung unter Berücksichtigung des Übersetzungsverhältnisses.

**[0023]** Für das erfindungsgemäße Startersystem eignet sich grundsätzlich jede Art elektrischer Maschine, ob Gleichstrom-, Wechselstrom-, Drehstromsynchron-, oder Drehstromsynchrongmaschine, die in der Lage ist, die notwendigen Momente aufzubringen und gewünschte Kurbelwinkelinstellung präzise durchzuführen. Bevorzugt ist die elektrische Maschine des erfindungsgemäßen Startersystems eine als Starter/Generator fungierende elektrische Maschine, die bevorzugt permanent mit dem Verbrennungsmotor mitläuft. Besonders bevorzugt handelt es sich bei der elektrischen Maschine des erfindungsgemäßen Startersystems um eine wechselrichtergesteuerte Drehfeldmaschine.

**[0024]** Unter "Drehfeldmaschine" wird eine Maschine verstanden, in der ein magnetisches Drehfeld auftritt, das um 360° umläuft und dabei den Läufer mitnimmt. Der Wechselrichter empfängt die Signale aus der Steuerungseinrichtung und stellt Wechselströme mit frei einstellbarer Frequenz, Amplitude und Phase bereit. Eine solche Anordnung ist zum Aufbringen hoher Momente in beide Drehrichtungen der Kurbelwelle hervorragend geeignet.

**[0025]** Ausgestaltungen und Merkmale, die vorstehend oder nachfolgend im Zusammenhang mit dem Verfahren geschildert werden, gelten selbstverständlich auch als im Zusammenhang mit dem entsprechenden Startersystem offenbart (und umgekehrt).

**[0026]** Weitere Vorteile, Merkmale und Ausgestaltungen der Erfindung werden anhand von Ausführungsbeispielen und den angefügten schematischen Zeichnungen näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

- 5 Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Startersystems mit einem Verbrennungsmotor;
- 10 Fig. 2 ein schematisches Diagramm zur Darstellung des Motordrehzahlverlaufs in Abhängigkeit des Kurbelwinkels eines Viertaktverbrennungsmotors;
- 15 Fig. 3 ein Flußdiagramm einer ersten Verfahrensvariante zum Starten eines Verbrennungsmotors; und
- 20 Fig. 4 ein Flußdiagramm einer zweiten Verfahrensvariante zum Starten eines Verbrennungsmotors.

**[0027]** Das Startersystem gemäß Fig. 1 ist z.B. für ein Kraftfahrzeug, etwa einen Personenkraftwagen bestimmt. Es weist einen nach dem Viertaktverfahren arbeitenden Vierzylinderverbrennungsmotor 1 auf, der Drehmomente über eine Kurbelwelle 2, eine Kupplung 3 und weitere (nicht gezeigte) Teile eines Antriebsstranges auf die Antriebsräder des Kraftfahrzeuges abgibt. Beim vorliegenden Ausführungsbeispiel ist unmittelbar auf der Kurbelwelle 2 eine als Starter/Generator dienende elektrische Maschine 4, hier eine Asynchron-Drehstrommaschine, angeordnet. Sie weist einen direkt auf der Kurbelwelle 2 sitzenden und drehfest mit ihr verbundenen Rotor 5, sowie einen z.B. am Gehäuse des Verbrennungsmotors 1 abgestützten Stator 6 auf. Ein solche elektrische Maschine besitzt ein hohes Losbrechmoment für den Starterbetrieb.

**[0028]** Bei anderen (nicht gezeigten) Ausführungsformen ist der Rotor einer elektrischen Maschine, z.B. eines Gleichstrom-Reihenschlußmotors, über ein Übersetzungsgetriebe mit der Kurbelwelle 2 gekoppelt, ggf. über ein zwischengeschaltetes Einspurgetriebe.

**[0029]** Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 wird die (nicht dargestellte) Wicklung des Stators 6 der elektrischen Maschine 4 durch einen Wechselrichter 7 mit elektrischen Wechselströmen bzw. -spannungen praktisch frei einstellbarer Amplitude, Phase und Frequenz gespeist. Es handelt sich bevorzugt um einen Gleichspannungs-Zwischenkreis-Wechselrichter, der im wesentlichen aus einem maschinenseitigen Gleichspannungs-Wechselspannungsumrichter 7a, einem Gleichspannungs-Zwischenkreis 7b und einem bordnetzseitigen Gleichspannungswandler 7c aufgebaut ist. Letzterer ist mit einem Fahrzeubordnetz 8 und einem Bordnetz-Langzeitspeicher 9, z.B. einer herkömmlichen Blei-Schwefelsäure-Batterie, gekoppelt. In den Zwi-

schenkreis 7b ist ein Kurzzeitspeicher, hier ein Kondensatorspeicher 10 geschaltet.

**[0030]** Die elektrische Maschine 4 und der Wechselrichter 7 sind so ausgelegt, daß sie zum Einstellen einer gewünschten Kurbelwinkelstellung vor Startbeginn das erforderliche Drehmoment in beide Drehrichtungen der Kurbelwelle 2 und außerdem beim Starten die erforderliche Startleistung zum direkten Antreiben der Kurbelwelle 2 auf die erforderliche Startdrehzahl aufzubringen vermögen. Eine übergeordnete Steuerungseinrichtung 11 steuert den Startwinkeleinstellvorgang und den Startvorgang, indem sie den Wechselrichter 7, und zwar den Umrichter 7a und den Wandler 7c steuert. Von einem in der elektrischen Maschine 4 integrierten, z.B. innen an deren Gehäuse installierten und dem Rotor 5 zugeordneten induktiven Drehwinkelsensor 12 empfängt die Steuerungseinrichtung 11 den aktuellen Drehwinkel des Rotors 5. Der gemessene Rotorwinkel entspricht aufgrund der direkten Kopplung des Rotors 5 mit der Kurbelwelle 2 dem Kurbelwinkel der Kurbelwelle 2.

**[0031]** Erfindungsgemäß wird der Startvorgang in besonderer Weise vorbereitet: Nach Beendigung des Motorbetriebes, z.B. beim oder kurz nach dem Abschalten der Zündung eines Kraftfahrzeugs, steuert die Steuerungseinrichtung 11 die elektrische Maschine 4 über den Wechselrichter 7 so, daß die Kurbelwelle 2 in eine für den nächsten Start günstige Kurbelwinkelstellung gebracht wird. Hierbei überträgt die elektrische Maschine 4 wahlweise bremsende oder beschleunigende Momente auf die Kurbelwelle 2 des auslaufenden Motors 1, um den gewünschten Kurbelwinkel einzustellen. Bei stillstehendem Motor 1 kann die elektrische Maschine 4 auch so betrieben werden, daß sie die Kurbelwelle 2 vorwärts oder rückwärts in den gewünschten Kurbelwinkel dreht, um z.B. auf dem Weg des "geringsten aufzubringenden Moments" den gewünschten Kurbelwinkel einzustellen. Dies muß nicht zwangsläufig auch der "kürzeste" Weg sein.

**[0032]** Der "optimale" Kurbelwinkel, also der Startwinkel, zum Starten eines Verbrennungsmotors hängt u.a. ab vom Motortyp, Zylinderzahl und Zündfolge, und außerdem von dem angestrebten Startverhalten, ob z.B. für den nächsten Start ein geringes Startmoment zu Beginn des Startvorgangs oder eine verkürzte Startdauer gewünscht wird. Für einen wie in Fig. 1 dargestellten Vierzylinder-Viertaktverbrennungsmotor 1 liegt ein günstiger Startwinkel mit verringertem Startmoment in einem Bereich unmittelbar nach dem oberen Totpunkt des zuerst gezündeten Zylinders. Da bei einem Vierzylinder-Reihenmotor üblicherweise die beiden äußeren Zylinder im Gleichlauf zueinander, aber im Gegenlauf zu den beiden inneren Zylindern betrieben werden, liegt demnach der günstige Startwinkel unmittelbar nach dem oberen Totpunkt der beiden äußeren Zylinder des Verbrennungsmotors 1.

**[0033]** Der Vorteil dieses eingestellten Startwinkels ist, daß das zu Beginn des darauffolgenden Startvorgangs von der Startermaschine 4 aufzubringende Los-

brechmoment erheblich geringer ist als bei bekannten Startersystemen. Wird der Verbrennungsmotor 1 aus dieser eingestellten Kurbelwinkelstellung heraus gestartet, so setzen zumindest die beiden äußeren Zylinder des Verbrennungsmotors 1 der elektrischen Maschine 4 ein relativ geringes - vorwiegend reibungsbedingtes - Moment entgegen. Bis zum nächsten Verdichtungstakt (der beiden inneren Zylinder) kann die elektrische Maschine 4 dem System genügend (Start)energie

5 zum Überwinden der Kompression zuführen.

**[0034]** Das Diagramm in Fig. 2 soll veranschaulichen, wie der "optimale" Startwinkel z.B. mit verringertem

15 Startmoment für beliebige Motortypen und Antriebsanordnungen ermittelt werden kann. Fig. 2 zeigt schematisch die Abhängigkeit der Motordrehzahl  $n$  vom Kurbelwinkel  $\varphi$  bei konstantem Drehmoment der elektrischen Startermaschine. Der spezifische wellenförmige Verlauf

20 ist konstruktionsbedingt, insbesondere abhängig von Motortyp, Hubvolumen, Zylinderzahl, Lagerreibung, Verdichtungsverhältnis, etc. Die Bereiche a mit abnehmender Drehzahl  $n$  gefolgt von Bereichen b mit zunehmender Drehzahl  $n$  gehen einher mit den sich wiederholenden Verdichtungsphasen gefolgt von Verbrennungsphasen z.B. eines Viertaktmotors. In den Bereichen

25 geringster Drehzahl liegen demgemäß auch die Bereiche größter Kompression, denen eine kompressionsarme Arbeitsphase des Verbrennungsmotors folgt. Wählt man für den Kurbelwinkel die Werte  $\varphi_i$ , so entspricht dies einer "optimalen" Kurbelwellenstellung mit

30 verringertem Anlaufmoment. Im Falle eines Vierzylinder-Viertaktverbrennungsmotors liegen die Startwinkel  $\varphi_i$  um ca. 180° auseinander, da die beiden äußeren und die beiden inneren Zylinder jeweils synchron laufen. Ein entsprechendes Kennfeld ist z.B. in der Steuerungseinrichtung 11 in Fig. 1 gespeichert.

**[0035]** In dem Flußdiagramm gemäß Fig. 3 wird eine erste Verfahrensvariante zum Starten mit verringertem

40 Startmoment veranschaulicht: Im Schritt S1 erfolgt ein Kommando zum Einstellen des Kurbelwellen-Startwinkels beim bzw. kurz nach dem Abschalten des Verbrennungsmotors 1 (z.B. durch Ausschalten der Zündung im Kraftfahrzeug). Sodann erfolgt im Schritt S2 eine direkte

45 Messung des Kurbelwinkels oder eine Messung des Rotorwinkels der elektrischen Startermaschine 4 und eine Ableitung des Kurbelwinkels. Ferner ermittelt die Steuerungseinrichtung 11 den gewünschten "optimalen" Startwinkel der Kurbelwelle 2 und die ggf. erforderliche Kurbelwinkeländerung, um den gewünschten Startwinkel einzustellen. Sodann wird im Schritt S3 mit

50 Hilfe der elektrischen Maschine 4 die Kurbelwelle 2 in die für den nächsten Start gewünschte Kurbelwinkelstellung durch Bremsen oder Beschleunigen der Kurbelwelle in der Auslaufphase des Motors. Die Schritte S2 und S3 können während des Motorstillstands auch laufend wiederholt werden, um sicherzustellen, daß keine unerwünschte Änderung des Startwinkels bis zum nächsten Start erfolgt. Auf ein Startkommando im Schritt S4, welches den eigentlichen Starvorgang ein-

leitet, wird im Schritt S5 die Kurbelwelle 2 des Verbrennungsmotors 1 von der elektrischen Maschine 4 auf eine vorgegebene Startdrehzahl angetrieben. Im darauf folgenden Schritt S6 springt dann der Verbrennungsmotor 1 (nach Verstreichen der typischen Startdauer) an. Bei einem Verbrennungsmotor mit Direkteinspritzung kann man zwischen den Schritten S5 und S6 auch erst die Startdauer verstreichen lassen, bis der Kraftstoff eingespritzt wird, d.h. der Verbrennungsmotor 4 wird für eine bestimmte Zeitdauer ohne Kraftstoffbeimischung bis zum Erreichen und ggf. noch weiter bei der Startdrehzahl angetrieben.

**[0036]** Bei der Verfahrensvariante gemäß Fig. 4 wird im Schritt S1 das Kommando zum Einstellen des gewünschten Startwinkels erst kurz vor Beginn des nächsten Startvorgangs gegeben. Dieses kann bei einem Kraftfahrzeug z.B. durch Öffnen der Zentralverriegelung ausgelöst werden. Bei dieser Variante wird außerdem der Kondensatorspeicher 10 als Energiespeicher für die gesamte oder einen Teil der für den Starterbetrieb benötigten Energie verwendet. Ausgelöst durch das Einstellkommando im Schritt S1 wird deshalb vor allem bei längerem Motorstillstand der Kondensatorspeicher 10 für den nächsten Startvorgang aus der Batterie 9 aufgeladen (Schritt S2). Der zum sicheren Starten erforderliche Aufladungspegel des Kondensatorspeichers 10 kann auch in Abhängigkeit der Motor- und/oder Außen temperatur gewählt werden. Die darauffolgenden Schritte S3 bis S7 entsprechen dann im wesentlichen den Schritten S2 bis S6 des Verfahrens gemäß Fig. 3. Das vorliegende Verfahren ist lediglich dahingehend modifiziert, daß im Schritt S6 die gesamte oder ein Teil der für den Betrieb der elektrischen Maschine 4 benötigten Energie aus dem Kondensatorspeicher 10 stammt.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Starten eines Verbrennungsmotors (1) in einem Kraftfahrzeug, wobei:
  - a) kurz vor Beginn des Startvorganges, ausgelöst durch Öffnen der Zentralverriegelung des Kraftfahrzeugs, die Kurbelwelle (2) mit Hilfe einer elektrischen Maschine (4), deren Rotor (5) direkt oder über eine dazwischengeschaltete Übersetzung auf die Kurbelwelle (2) einwirkt, für einen späteren Startvorgang in einen vorgegebenen Kurbelwinkel (Startwinkel) gebracht wird,
  - b) auf ein Startkommando die Kurbelwelle (2) des Verbrennungsmotors (1) mindestens auf eine zum Anspringen des Verbrennungsmotors (1) notwendige Drehzahl (Startdrehzahl) beschleunigt wird, und
  - c) die gesamte oder ein Teil der zum Starten erforderlichen Energie einem in einem Zwi schenkreis (7b) eines Wechselrichters (7) der elektrischen Maschine (4) angeordneten Kurz zeitspeicher (10) entnommen und der Verbrennungsmotor (1) aus dem eingestellten Startwinkel heraus gestartet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** als Startwinkel derjenige Kurbelwinkel gewählt wird, bei welchem das Startmoment verringert ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei einem Viertaktverbrennungsmotor der Startwinkel am Ende des Verdichtungstak tes, vorzugsweise in einem Bereich unmittelbar nach dem oberen Totpunkt, gewählt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** als Startwinkel derjenige Kurbelwinkel gewählt wird, bei welchem die Startdauer ver ringert ist.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei einem Viertaktverbrennungsmotor mit Saugrohreinspritzung der Startwinkel zu Be ginn des Ansaugtaktes gewählt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei einem Viertaktverbrennungsmotor mit Direkteinspritzung der Startwinkel am Ende des Ansaugtaktes gewählt wird.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei einem Mehrzylinderverbrennungsmotor der Startwinkel mit Rücksicht darauf gewählt wird, welcher der mehreren Zylinder zuerst gezündet wird.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** ausgelöst durch ein Kommando zum Einstellen des Startwinkels der Kurzzeitspeicher (10) für den nächsten Startvorgang aus einer Batterie (9) aufgeladen wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** der zum sicheren Starten erforderliche Aufladungspegel des Kurzzeitspeichers (10) in Abhängigkeit der Motor- und/oder Außen temperatur gewählt wird.
10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Kurbelwinkel des Verbrennungsmotors (1) aus der Win kelstellung des Rotors (5) der elektrischen Maschine (4) abgeleitet wird.
11. Startersystem für einen Verbrennungsmotor (1) in

einem Kraftfahrzeug, mit:

- einer elektrischen Maschine (4), deren Rotor (5) direkt oder über eine dazwischengeschaltete Übersetzung mit der Kurbelwelle (2) des Verbrennungsmotors (1) verbunden ist, um die Kurbelwelle (2) mindestens auf eine zum Anspringen des Verbrennungsmotors (1) notwendige Drehzahl (Startdrehzahl) zu beschleunigen, -
- Mittel zum Erfassen und/oder Ableiten des Kurbelwinkels des Verbrennungsmotors (1),

#### **gekennzeichnet durch**

- eine Steuerungseinrichtung (11), welche die elektrische Maschine (4) kurz vor Beginn des Startvorganges, ausgelöst **durch** Öffnen der Zentralverriegelung des Kraftfahrzeugs, so steuert, daß die Kurbelwelle (2) für einen späteren Startvorgang in einen vorgegebenen Kurbelwinkel (Startwinkel) gebracht und die gesamte oder ein Teil der zum Starten erforderlichen Energie aus einem Kurzzeitspeicher (10) entnommen wird, der in einem Zwischenkreis (7b) eines Wechselrichters (7) der elektrischen Maschine (4) angeordnet ist.

12. Startersystem nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Steuerungseinrichtung (11) die Rotorwinkelerfassung der elektrischen Maschine (4) verwendet, um den Kurbelwinkel des Verbrennungsmotors (1) abzuleiten.

13. Startersystem nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, daß** dem Rotor (5) der elektrischen Maschine (4) ein integrierter Drehwinkelsensor zugeordnet ist.

14. Startersystem nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Verbrennungsmotor (1) ein Viertakt-Diesel- oder Ottomotor mit Saugrohreinspritzung oder mit Direkteinspritzung ist, der für die Verwendung in Personenkraftfahrzeugen ausgelegt ist.

15. Startersystem nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Steuerungseinrichtung (11) derart angelegt ist, daß die Einspritzung und Zündung des Kraftstoffes in den Brennraum des Verbrennungsmotors (1) erst nach Erreichen der Startdrehzahl erfolgt.

16. Startersystem nach einem der Ansprüche 11 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** die elektrische Maschine (4) als Starter/Generator ausgebildet ist.

17. Startersystem nach einem der Ansprüche 11 bis 16,

**dadurch gekennzeichnet, daß** die elektrische Maschine (4) eine wechselrichtergesteuerte Drehstrommaschine ist.

5 18. Startersystem nach einem der Ansprüche 11 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Kurzzeitspeicher (10) aus einer Kombination von elektrischen Kondensatorelementen und elektrochemischen Batterieelementen aufgebaut ist.

10

#### **Claims**

15 1. Method for starting a combustion engine (1) of a vehicle, comprising:

- a) shortly before the start of the starting operation, by opening the central locking of the vehicle, the crankshaft (2) being brought to a defined crank angle (starting angle) for a later starting operation by an electrical machine (4), the rotor (5) of which interacts directly or via intermediate gearing with the crankshaft (2),
- b) the crankshaft (2) of the combustion engine (1) being accelerated on a start command at least to a speed necessary for starting the combustion engine (1) (starting speed), and
- c) the whole or a part of the energy required for starting is taken from a short-term storage element (10) arranged in a link circuit (7b) of an inverter (7) of the electrical machine (4) and the combustion engine (1) is started from the set starting angle.

30 35 2. Method according to Claim 1, **characterised in that**, as a starting angle, that crank angle is chosen at which the starting torque is reduced.

40 3. Method according to Claim 2, **characterised in that**, in the case of a four-stroke combustion engine, the starting angle is chosen to be at the end of the compression stroke, preferably in an area immediately after the top dead centre.

45 4. Method according to Claim 1, **characterised in that**, as a starting angle, that crank angle is chosen at which the starting duration is reduced.

50 5. Method according to Claim 4, **characterised in that**, in the case of a four-stroke combustion engine with induction manifold injection, the starting angle is chosen to be at the beginning of the induction stroke.

55 6. Method according to Claim 4, **characterised in that**, in the case of a four-stroke combustion engine with direct injection, the starting angle is chosen to be at the end of the induction stroke.

7. Method according to one of the preceding claims, **characterised in that**, in the case of a multi-cylinder combustion engine, the starting angle is chosen taking into account which of the several cylinders is fired first.
8. Method according to one of the preceding claims, **characterised in that**, initiated by a command to set the starting angle, the short-term storage element (10) is charged from a battery (9) for the next starting operation.
9. Method according to Claim 8, **characterised in that** the charge level of the short-term storage element (10) required for reliable starting is chosen as a function of the engine and/or outside temperature.
10. Method according to one of the preceding claims, **characterised in that** the crank angle of the combustion engine (1) is derived from the angular position of the rotor (5) of the electrical machine (4).
11. Starter system for a combustion engine (1) of a vehicle, comprising:
- an electrical machine (4), the rotor (5) of which is connected to the crankshaft (2) of the combustion engine (1) directly or via intermediate gearing in order to accelerate the crankshaft (2) at least to a speed necessary for starting the combustion engine (1) (starting speed),
  - means for detecting and/or deriving the crank angle of the combustion engine (1),
  - a control device (11) which controls the electrical machine (4) shortly before the start of the starting operation, by opening the central locking of the vehicle, in such a way that the crankshaft (2) is brought to a defined crank angle (starting angle) for a later starting operation, and the whole or a part of the energy required for starting is taken from a short-term storage element (10), which is arranged in a link circuit (7b) of an inverter (7) of the electrical machine (4).
12. Starter system according to Claim 11, **characterised in that** the control device (11) uses the means for detecting the rotor angle of the electrical machine (4) to derive the crank angle of the combustion engine (1).
13. Starter system according to Claim 12, **characterised in that** an integrated rotation-angle sensor is assigned to the rotor (5) of the electrical machine (4).
14. Starter system according to one of Claims 11 to 13, **characterised in that** the combustion engine (1) is a four-stroke diesel or spark-ignition engine with induction manifold injection or with direct injection, which is designed for use in passenger-type motor vehicles.
15. Starter system according to Claim 14, **characterised in that** the control device (11) is configured in such a way that injection and ignition of the fuel in the combustion chamber of the combustion engine (1) takes place only after the starting speed has been reached.
16. Starter system according to one of Claims 11 to 15, **characterised in that** the electrical machine (4) is designed as a starter/generator.
17. Starter system according to one of Claims 11 to 16, **characterised in that** the electrical machine (4) is an inverter-controlled three-phase machine.
18. Starter system according to one of Claims 11 to 17, **characterised in that** the short-term storage element (10) is constructed from a combination of electrical capacitor elements and electrochemical battery elements.

## Revendications

30. 1. Procédé de démarrage d'un moteur à combustion interne (1) d'un véhicule, dans lequel:
- a) peu avant le début du processus de démarrage, déclenché par ouverture du verrouillage central, le vilebrequin (2) est placé à un angle de vilebrequin (angle de démarrage) prédéterminé, à l'aide d'une machine électrique (4), dont le rotor (5) agit, directement ou par l'intermédiaire d'une transmission interposée, sur le vilebrequin (2), pour un processus de démarrage ultérieur,
  - b) suite à un ordre de démarrage, le vilebrequin (2) du moteur à combustion (1) est accéléré au moins jusqu'à l'atteinte d'une vitesse de rotation (vitesse de rotation de démarrage) nécessaire pour le lancement du moteur à combustion (1), et
  - c) l'ensemble ou une partie de l'énergie nécessaire au démarrage est prélevé(e) d'un accumulateur à fonctionnement bref (10), disposé dans un circuit intermédiaire (7b) d'un convertisseur continu-alternatif (onduleur) (7) de la machine électrique (4), et le moteur à combustion interne (1) est démarré en partant de l'angle de démarrage ayant été réglé.
35. 2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'on choisit comme angle de démarrage l'an-
40. 50. 55.

- gle de vilebrequin pour lequel le couple au démarrage est diminué.
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que**, dans le cas d'un moteur à combustion à quatre temps, l'angle de démarrage est choisi à la fin de la course de compression, de préférence dans une plage angulaire faisant directement suite au point mort supérieur. 5
4. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'on choisit comme angle de démarrage l'angle de vilebrequin pour lequel la durée du démarrage est diminuée. 10
5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que**, dans le cas d'un moteur à combustion à quatre temps avec injection dans le collecteur d'aspiration, l'angle de démarrage est choisi du début de la course d'aspiration. 15
6. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que**, dans le cas d'un moteur à combustion à quatre temps à injection directe, l'angle de démarrage est choisi à la fin de la course d'aspiration. 20
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, dans le cas d'un moteur à combustion interne à plusieurs cylindres, l'angle de démarrage est choisi en considérant celui, parmi la pluralité de cylindres, qui va être allumé le premier. 25
8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, étant déclenchée par un ordre de réglage de l'angle de démarrage, l'accumulateur à fonctionnement bref (10) est chargé, à partir d'une batterie (9), pour satisfaire au processus de démarrage subséquent. 30
9. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le niveau de charge, nécessaire pour l'obtention d'un démarrage sûr, de l'accumulateur à fonctionnement bref (10) est choisi en fonction de la température du moteur et/ou de la température extérieure. 35
10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'angle de vilebrequin du moteur à combustion interne (1) est déduit de la position angulaire du rotor (5) de la machine électrique (4). 40
11. Système démarreur pour moteur à combustion interne (1) d'un véhicule, comportant: 45
- une machine électrique (4), dont le rotor (5) est relié, directement ou par l'intermédiaire d'une transmission interposée, au vilebrequin (2) du moteur à combustion interne (1), afin d'accélérer le vilebrequin (2), au moins jusqu'à atteindre une vitesse de rotation (vitesse de rotation de démarrage) nécessaire au démarrage du moteur à combustion interne (1),
  - des moyens pour détecter et/ou déduire l'angle de vilebrequin du moteur à combustion interne (1),
- caractérisé par**
- un dispositif de commande (11), commandant la machine électrique (4) peu avant le début du processus de démarrage, déclenché par ouverture du verrouillage central, de manière que le vilebrequin (2) soit placé à un angle de vilebrequin (angle de démarrage) prédéterminé pour un processus de démarrage ultérieur, et l'ensemble ou une partie de l'énergie nécessaire au démarrage étant prélevé(e) d'un accumulateur à fonctionnement bref (10), disposé dans un circuit intermédiaire (7b) d'un convertisseur continu-alternatif (onduleur) (7) de la machine électrique (4).
12. Système démarreur selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** le dispositif de commande (11) utilise la détection d'angle de rotor de la machine électrique (4) pour déduire l'angle de vilebrequin du moteur à combustion interne (1). 50
13. Système démarreur selon la revendication 12, **caractérisé en ce qu'un capteur d'angle de rotation intégré est associé au rotor (5) de la machine électrique (4).**
14. Système démarreur selon l'une des revendications 11 à 13, **caractérisé en ce que** le moteur à combustion (1) est un moteur à quatre temps, de type diesel ou à allumage commandé (cycle de Otto), muni d'une injection dans le collecteur d'aspiration ou d'une injection directe, conçu pour utilisation dans des voitures particulières. 55
15. Système démarreur selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** le dispositif de commande (11) est conçu de manière que l'injection et l'allumage du carburant dans la chambre de combustion du moteur à combustion interne (1) se fassent en une deuxième étape, après atteinte de la vitesse de démarrage.
16. Système démarreur selon l'une des revendications 11 à 15, **caractérisé en ce que** le moteur électrique (4) est réalisé sous la forme de démarreur/générateur.

17. Système démarreur selon l'une des revendications 11 à 16, **caractérisé en ce que** la machine électrique (4) est une machine à courant alternatif commandée par un onduleur.

5

18. Système démarreur selon l'une des revendications 11 à 17, **caractérisé en ce que** l'accumulateur à fonctionnement bref (10) est formé d'une combinaison d'éléments condensateurs électriques et d'éléments de batterie électrochimiques.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

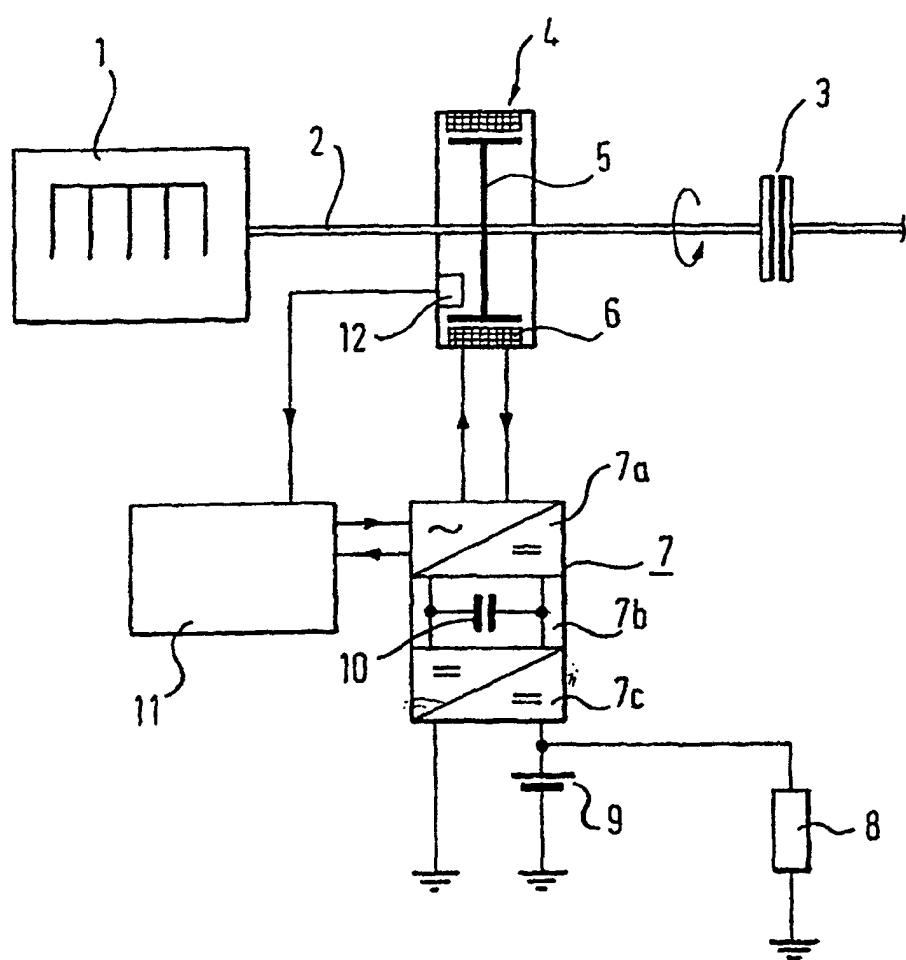


Fig. 2

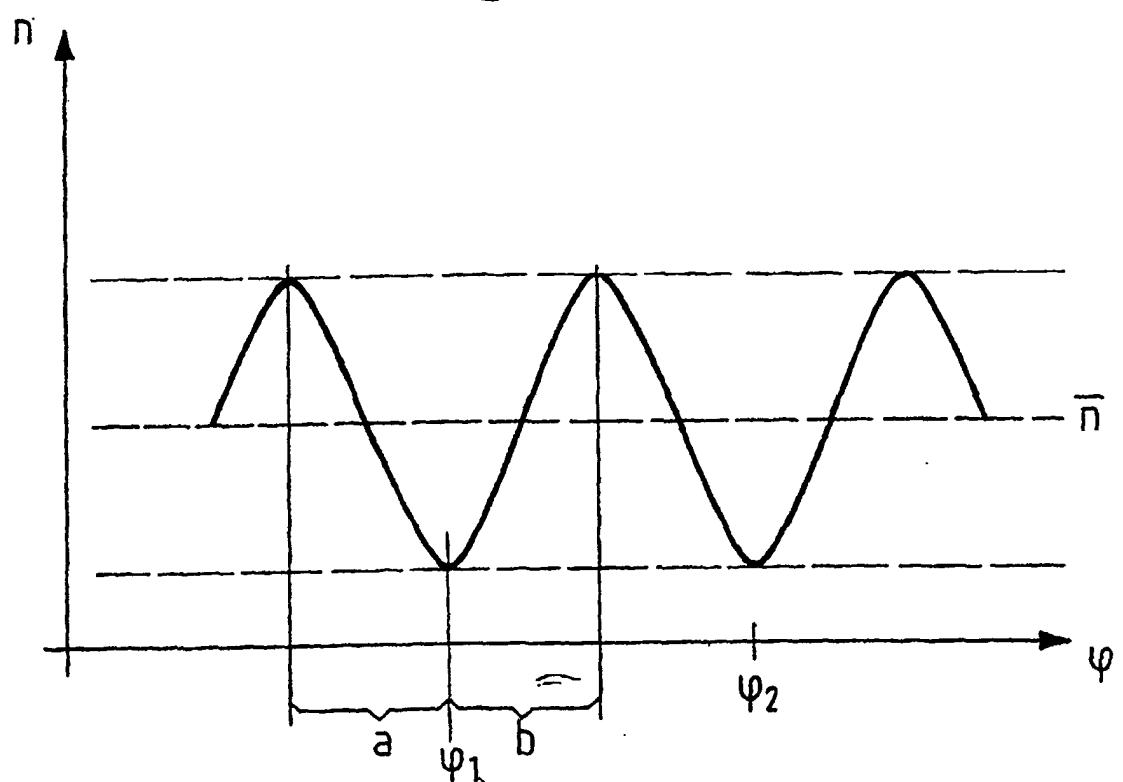


Fig. 3

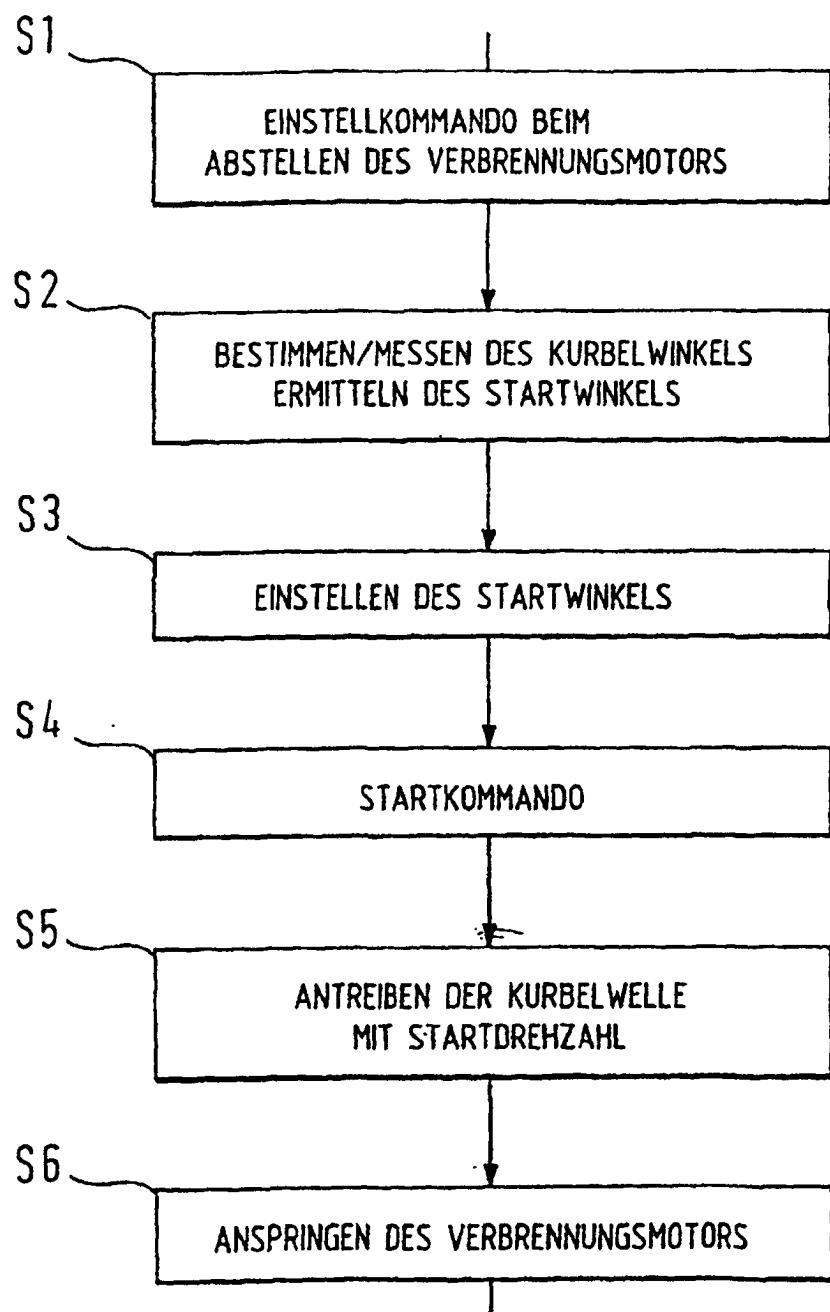


Fig. 4

