



---

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer mit einer Brennkraftmaschine gekoppelten elektrischen Maschine in einem Kraftfahrzeug, wobei die elektrische Maschine eine Ständerwicklung, eine Läuferwicklung, einen der Läuferwicklung zugeordneten Feldregler und einen der Ständerwicklung nachgeschalteten Stromrichter mit ansteuerbaren Schaltelementen aufweist, wobei ein Erregerstrom durch die Läuferwicklung in Abhängigkeit von einem Betriebsmodus der elektrischen Maschine vorgegeben wird, wobei die elektrische Maschine in einem ersten Generatorbetriebsmodus als Generator betrieben wird, um das Kraftfahrzeug abzubremesen, wobei die dabei rückgewonnene Bremsenergie gespeichert wird.

5 Beschreibung

Titel

Verfahren zum Betreiben einer mit einer Brennkraftmaschine gekoppelten elektrischen Maschine in einem Kraftfahrzeug

10

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer mit einer Brennkraftmaschine gekoppelten elektrischen Maschine in einem Kraftfahrzeug.

Stand der Technik

15

Als elektrische Maschinen werden in Kraftfahrzeugen häufig Klauenpolgeneratoren mit elektrischer Erregung eingesetzt. Der Strom durch die Läuferwicklung dient als Stellgröße zur Regelung der gewünschten Ausgangsspannung und wird von einem zugeordneten Feldregler vorgegeben. Die Regelung verhindert beispielsweise, dass durch die sehr unterschiedlichen Motordrehzahlen von dem Generator stark schwankende Spannungswerte geliefert würden, die gegebenenfalls die nachgeordnete Elektrik beschädigen könnten.

20

Es ist auch bekannt, elektrische Maschinen als Startergeneratoren einzusetzen, um einerseits den Verbrennungsmotor im Motorbetrieb der elektrischen Maschine zu starten ("anzulassen") und andererseits Strom für das Bordnetz und zum Laden der Kraftfahrzeugbatterie im Generatorbetrieb der elektrischen Maschine zu erzeugen.

25

30

Elektrische Maschinen, die auch zum Fahrzeug-Antrieb eingesetzt werden, sind aus dem Bereich der Hybrid-Fahrzeuge bekannt. Ein Ziel hierbei ist, den Verbrennungsmotor bei niedrigen Drehzahlen, bei denen dieser noch nicht sein volles Drehmoment liefert, zu unterstützen (sog. Boostbetrieb, Turboloch-Kompensation). Mit dem Begriff "Rekuperationssystem" werden Systeme be-

- 2 -

zeichnet, bei denen eine elektrische Maschine als Generator mit möglichst großem Drehmoment betrieben wird, um das Fahrzeug abzubremsen und die dabei rückgewonnene Bremsenergie zwischenspeichern. Üblicherweise werden für diese Zwecke permanenterregte Synchronmaschinen eingesetzt, die bei höheren Spannungen (üblicherweise >100V) betrieben werden. Dies führt zu einem komplexen Systemaufbau verbunden mit großen Änderungen im Triebstrang sowie aufwendigen Schutzmaßnahmen aufgrund der hohen Spannung. Neben einem hohen Integrationsaufwand führt ein derartiges System zu hohen Mehrkosten.

Es ist wünschenswert, einen Hybrid- und/oder Rekuperationsbetrieb auch mit herkömmlichen elektrischen Maschinen wirtschaftlich möglich zu machen.

#### Offenbarung der Erfindung

Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zum Betreiben einer mit einer Brennkraftmaschine gekoppelten elektrischen Maschine in einem Kraftfahrzeug mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 vorgeschlagen. Vorteilhaft ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

#### Vorteile Erfindung

Die Erfindung macht es möglich, eine herkömmliche elektrische Maschine (bspw. einen Klauenpolgenerator oder riemengetriebenen Startergenerator etc.) auch für Hybrid- und/oder Rekuperationszwecke einsatzfähig zu machen, indem eine besondere Art der Erregerstromvorgabe bereitgestellt wird. Insbesondere wird der Erregerstrom in Abhängigkeit vom Betriebsmodus der elektrischen Maschine unterschiedlich bereitgestellt, wobei insbesondere mehrere Generatorbetriebsmodi und/oder mehrere Motorbetriebsmodi unterschieden werden. Der Erregerstrom wird dabei so eingestellt, dass er für den jeweiligen Betriebsmodus möglichst optimal ist. Insbesondere ist die Erregerstromvorgabe nicht für alle Betriebsmodi gleich. Der Erregerstrom wird somit in wenigstens zwei Betriebsmodi gemäß jeweils einer anderen Vorschrift bereitgestellt, bspw. in dem ersten Generatorbetriebsmodus in Abhängigkeit von einem erwünschten Bremsmoment und in ei-

nem anderen Betriebsmodus in Abhängigkeit von der erwünschten Generatorspannung.

5 Durch den Einsatz herkömmlicher elektrischer Maschinen sind fast keine Modifikationen am Antriebsstrang notwendig. Der Wirkungsgrad der elektrischen Maschine kann erhöht werden. Erfolgt die Vorgabe als Regelung, kann der gewünschte Erregerstrom ("I<sub>Err</sub>") besonders genau beibehalten werden.

10 Als Betriebsmodus kann zunächst grob zwischen einem Motorbetrieb und einem Generatorbetrieb der elektrischen Maschine unterschieden werden. Daneben kann auch der Aus-Betrieb, in dem der Erregerstrom abgeschaltet ist, berücksichtigt werden.

15 Ein Motorbetrieb umfasst zweckmäßigerweise einen Startvorgang ("Anlassen"), einen Start/Stop-Betrieb und/oder einen elektrisch unterstützten Fahrbetrieb (sog. Boostmodus).

20 Die Art des Generatorbetriebs wird im Wesentlichen durch entsprechende Ansteuerung der Schaltelemente des Stromrichters gesteuert. Der Generatorbetrieb umfasst zweckmäßigerweise den Betrieb als Hochsetzsteller (HSS) mit Laden der Batterie, als Aktiver Gleichrichter (AGLR; hierbei werden die Schaltelemente im natürlichen Kommutierungszeitpunkt geschaltet, es ergibt sich ein ähnliches Verhalten wie beim konventionellen Dioden-Gleichrichter) mit Laden der Batterie, AGLR mit elektrischem Nullmoment und/oder AGLR mit elektrischem Bremsen.

25 Die Vorgabe des Erregerstroms erfolgt in einer Ausgestaltung vorzugsweise in Abhängigkeit von der I-U-Charakteristik der Kraftfahrzeugbatterie. Hierbei wird die Batterie zunächst mit einem definierten Sollstrom und anschließend mit einer definierten Sollspannung geladen. Die Vorgabe des Erregerstroms (I<sub>Err</sub>) erfolgt  
30 ebenso vorzugsweise in Abhängigkeit von Drehzahl (n<sub>G</sub>) und gefordertem Drehmoment (M<sub>Wunsch</sub>). Sie kann von weiteren Größen abhängen, wie z.B. Temperatur (T), Ständerspannung (U<sub>G</sub>) und/oder Ständerstrom (I<sub>G</sub>). Die Vorgabe des Erregerstroms erfolgt ebenso vorzugsweise in Abhängigkeit von Verbraucherspannungen und -strömen, die in das Bordnetz abgegeben werden.

5 Bevorzugterweise erfolgt die Vorgabe des Erregerstroms in Abhängigkeit von einem oder mehreren der nachfolgend erläuterten Betriebsmodi. Die hier gewählte Drehzahlschwelle von 3.000 rpm (=U/min) ist rein beispielhaft und abhängig von der sog. Angedrehzahl der elektrischen Maschine.

0. Modus (1. Motorbetriebsmodus): Verbrennungsmotor starten

10 Der Erregerstrom wird hier zweckmäßigerweise auf seinen maximal zulässigen Wert ( $I_{Err\_Grenz}$ ) eingestellt, um einen möglichst großen magnetischen Fluss zu erhalten, so dass die elektrische Maschine dem Verbrennungsmotor ein maximales Startmoment bei minimalem Phasenstrom zur Verfügung stellt. Es wird der maximale Phasenstrom ( $I_{Phase\_Max}$ ) geregelt.

15 1. Modus (1. Motorbetriebsmodus): Verbrennungsmotor starten (Start/Stop)

20 Der Erregerstrom wird hier zweckmäßigerweise auf seinen maximal zulässigen Wert ( $I_{Err\_Grenz}$ ) eingestellt, um einen möglichst großen magnetischen Fluss zu erhalten, so dass die elektrische Maschine dem Verbrennungsmotor ein maximales Startmoment bei minimalem Phasenstrom zur Verfügung stellt. Es wird der maximale Phasenstrom ( $I_{Phase\_Max}$ ) geregelt. Im Start-/Stopp-Betrieb kann während der Stopp-Phase ein kleiner Erregerstrom gehalten werden. Die hat den Vorteil, dass der darauf folgende Motorstart verzögerungsfrei erfolgen kann.

25 2. Modus (2. Motorbetriebsmodus): Momenten-Unterstützung des Verbrennungsmotors (Hybridbetrieb, Boostbetrieb)

30 In diesem Betriebsmodus erfolgt die Regelung sowohl über den Ständer- als auch den Erregerstrom als Steuergrößen, um ein gewünschtes Sollmoment einzustellen. Der Ständerstrom wird wie in der Literatur bekannt im läuferfesten dq-Koordinatensystem beschrieben, so dass sich die drei Steuergrößen  $I_d$ ,  $I_q$  und  $I_{Err}$  ergeben. Es wird der maximale Ständerstrom ( $I_G\_Max$ ) geregelt. Bei höheren Drehzahlen erreicht die elektrische Maschine ihre Spannungsgrenze und wird in der Feldschwächung betrieben. Diese Feldschwächung lässt sich bei der

- 5 -

vorliegenden fremderregten Maschine sowohl über die Ständerstromkomponente  $I_d$  (Vorkommutierungswinkel  $\alpha$  = Verschiebungswinkel zwischen Läufer- und Ständerfeld) als auch über den Erregerstrom im Läufer einstellen. Die Feldschwächung wird dabei betriebspunktabhängig so gewählt, dass das gewünschte Sollmoment mit dem optimalen Wirkungsgrad eingestellt werden kann. Der Zusammenhang zwischen den Steuergrößen und dem gewünschten Sollmoment ( $M_{Wunsch}$ ) wird vorzugsweise in Form eines Kennfeldes hinterlegt: ( $I_d, I_q, I_{Err}$ ) = f ( $M_{Wunsch}, \text{Drehzahl}$ ).

5

10

Eine Abhängigkeit von der Temperatur (T) und/oder der Generatordrehzahl ( $n_G$ ) und/oder der Ständerspannung (UG) kann vorgesehen sein.

Um einen maximal zulässige Batteriestrom nicht zu überschreiten, können die Steuergrößen zusätzlich noch vom Batteriestrom abhängig sein.

15

3. Modus (2. Generatorbetriebsmodus): Generatorischer Betrieb unterhalb einer Drehzahlschwelle von bspw. 3000 U/min (rpm)

20

Da der Generator in diesem Drehzahlbereich bei konventioneller Gleichrichtung keine Leistung abgeben kann, wird der Stromrichter in diesem Betriebsmodus als Hochsetzsteller betrieben. Als Steuergrößen dienen wie im Modus 2 die Größen  $I_d, I_q$  und  $I_{Err}$ . Der Erregerstrom ( $I_{Err}$ ) wird dabei wie im Modus 1 vorzugsweise auf seinen maximal zulässigen Wert eingestellt, die Regelung erfolgt über  $I_d$  und  $I_q$ . Es werden der maximale Phasenstrom ( $I_{Phase\_Max}$ ), der Ständerstrom (IG) und die Ständerspannung (UG) geregelt.

25

In einer weiteren Ausführungsform können geringe Teillasten auch mit einem geringeren Erregerstrom angesteuert werden. Die Steuergrößen werden wiederum zweckmäßigerweise in Form eines Kennfeldes hinterlegt:

30

( $I_d, I_q, I_{Err}$ ) = f ( $M_{Soll}, \text{Drehzahl}$ )

Auch hier sollten eine maximale Ladespannung bzw. ein maximaler Ladestrom der Batterie nicht überschritten werden, so dass die Steuergrößen auch von die-

sen Batterieparametern abhängen können. Vorzugsweise erfolgt das Laden der Batterie nur bis zu einem ersten Ladeschwellwert (state of charge - SOC).

5 4. Modus (3. Generatorbetriebsmodus): Generatorischer Betrieb oberhalb der Drehzahlschwelle von bspw. 3000 U/min

10 In diesem Drehzahlbereich wird die Maschine mit aktiver Gleichrichtung (AGLR) betrieben. Steuergröße ist hier ausschließlich der Erregerstrom, da die Ansteuerung des Ständers über die natürliche Kommutierung vorgegeben ist. Eine Abhängigkeit von der Temperatur (T) und/oder der Generator Drehzahl (nG) und/oder dem Ständerstrom (IG) und/oder der Ständerspannung (UG) kann vorgesehen sein. Es werden Ständerstrom (IG) und Ständerspannung (UG) geregelt.

15 Um die Batterie nach einer bestimmten Kennlinie zu laden, ist es möglich, Batteriestrom und/oder Batteriespannung als Sollgrößen vorzugeben:  
 $I_{Err} = f(U_{Soll}, \text{Drehzahl})$  bzw.  $I_{Err} = f(I_{Soll}, \text{Drehzahl})$

20 Vorzugsweise erfolgt das Laden der Batterie nur bis zu einem zweiten Ladeschwellwert. Weiter vorzugsweise ist der zweite Ladeschwellwert höher als der erste Ladeschwellwert.

5. Modus (4. Generatorbetriebsmodus): Leerlauf

25 In diesem Zustand wird kein Generatorstrom angefordert und der Erregerstrom wird so vorgegeben, dass der Ständerstrom Null ist. Dies ist insbesondere der Fall bei  $I_{Err} = 0$ . Dieser Modus wird beispielsweise genutzt, um den Verbrennungsmotor beim Starten oder Beschleunigen vom Generatormoment zu entlasten oder nach einer Rekuperationsphase die rückgewonnene Energie an das  
30 Bordnetz abzugeben. Dieser Zustand wird zweckmäßigerweise beibehalten, bis ein dritter Ladeschwellwert erreicht oder unterschritten wird.

6. Modus (1. Generatorbetriebsmodus): Elektrisches Bremsen

Hierbei wird abhängig vom gewünschten Bremsmoment des Motormanagements der Erregerstrom so vorgegeben, dass die maximale Bremsenergie eingesammelt wird. Diese wird gespeichert, insbesondere zum Laden der Batterie verwendet. Dabei wird die Batterie bis zu einem oberen Ladeschwellwert aufgeladen.

5 Der einzustellende Erregerstrom ergibt sich dann über ein Kennfeld der Form:  
 $I_{Err} = f(M_{Soll}, \text{Drehzahl})$ . Eine Abhängigkeit von der Temperatur (T) und/oder der Generatordrehzahl (nG) und/oder dem Ständerstrom (IG) und/oder der Ständerspannung (UG) kann vorgesehen sein.

10 Es werden Ständerstrom (IG) und Ständerspannung (UG) geregelt.

#### 7. Modus: "Motor Aus"

15 Optional kann in diesem Betriebsmodus der Erregerstrom ausgeschaltet werden. Auch dieser Zustand wird zweckmäßigerweise nur beibehalten, solange der dritte oder ein vierter Ladeschwellwert überschritten wird.

20 Eine bevorzugte Auswahl der in einem jeweiligen Betriebsmodus relevanten Parameter ist in der Tabelle in Figur 4 zusammengefasst. In dieser sind die oben beschriebenen acht Betriebsmodi (Zeile "Modus") aufgelistet.

25 In der Zeile "Anforderung" ist aufgelistet, welches System den Modus anfordert und welche Bedingungen vorherrschen müssen. Werden unterschiedliche Modi angefordert, wird der Modus mit dem niedrigsten Zahlenwert im Feld "Priorität" ausgewählt.

30 Vom Motormanagement(system) wird die Regelung bzw. Steuerung des Fahrerwunschs bzgl. Antriebs- und Bremsmoment und die Koordination von Motorstillstandsanforderungen durchgeführt.

Das Lademanagement(system) sorgt dafür, dass die Batterie über eine U-I-Charakteristik geladen wird (I-Charakteristik: konstantes Bremsmoment, konstanter Ladestrom U-Charakteristik: konstante Spannung). Darüber hinaus ist das Ziel, möglichst viel Bremsenergie einzusammeln und die Start/Stop- und Se-

geln-Anforderungen bei genügend Restenergie zu ermöglichen. Dazu werden die Anforderung entsprechend Priorität und Ladezustand der Batterie über die einzelnen Betriebsmodi gesteuert.

5 Wird die elektrische Maschine im motorischen Betrieb mit einer Spannung betrieben, die oberhalb der üblichen Bordnetzspannung von 12 V, jedoch unterhalb einer zulässigen Berührspannung von 60 V liegt, wird das von der Maschine abgegebene Drehmoment erhöht, ohne dass besonders aufwendige zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen notwendig würden. Dadurch, dass die Spannung deutlich höher ist als 12V, wird der zusätzliche (bei konventionellen Generatoren nicht  
10 vorgesehene) Modus 3 (Hochsetzsteller) verwendet. Dadurch, dass die Spannung deutlich geringer ist als bei bekannten Hybrid-Systemen, erreicht die Maschine bereits bei deutlich geringeren Drehzahlen ihre Spannungsgrenze und wird in Feldschwächung (Modus 2) betrieben.

15 Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät eines Kraftfahrzeugs, ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

20 Auch die Implementierung des Verfahrens in Form von Software ist vorteilhaft, da dies besonders geringe Kosten verursacht, insbesondere wenn ein ausführendes Steuergerät noch für weitere Aufgaben genutzt wird und daher ohnehin vorhanden ist. Geeignete Datenträger zur Bereitstellung des Computerprogramms sind insbesondere Disketten, Festplatten, Flash-Speicher, EEPROMs, CD-ROMs,  
25 DVDs u.a.m. Auch ein Download eines Programms über Computernetze (Internet, Intranet usw.) ist möglich.

Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

30 Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachfolgend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Die Erfindung ist anhand eines Ausführungsbeispiels in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

5

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Figur 1 zeigt eine Ausführungsform einer elektrischen Maschine mit Stromrichter mit ansteuerbaren Schaltelementen, wie er der Erfindung zugrunde liegen kann.

10

Figur 2 zeigt eine Ausführungsform eines Rekuperationssystems eines Kraftfahrzeugs mit einer elektrischen Maschine, insbesondere gemäß Figur 1.

15

Figur 3 zeigt einen Zusammenhang zwischen Betriebsmodus und Batterieladezustand gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

Figur 4 zeigt eine bevorzugte Auswahl der in einem jeweiligen Betriebsmodus relevanten Parameter für die oben beschriebenen acht Betriebsmodi.

20

Ausführungsform(en) der Erfindung

In Figur 1 ist eine elektrische Maschine, wie sie der vorliegenden Erfindung zugrunde liegen kann, schaltplanartig dargestellt und insgesamt mit 100 bezeichnet. Die elektrische Maschine weist eine Generatorkomponente 10 und eine Stromrichterkomponente 20 auf. Die Stromrichterkomponente wird im generatorischen Betrieb der Maschine üblicherweise als Gleichrichter, im motorischen Betrieb als Wechselrichter betrieben.

25

30

Die Generatorkomponente 10 ist lediglich schematisch in Form von sternförmig verschalteten Ständerwicklungen 11 und einer zu einer Diode parallel geschalteten Erreger- bzw. Läuferwicklung 12 dargestellt. Die Läuferwicklung wird durch einen Leistungsschalter 13, der mit einem Anschluss 24 der Stromrichterkomponente 20 verbunden ist, getaktet geschaltet. Die Ansteuerung des Leistungs-

schalters 13 erfolgt nach Maßgabe eines Feldreglers 15, wobei der Leistungsschalter 13 ebenso wie die zur Läuferwicklung 12 parallel geschaltete Diode in der Regel in einer anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (ASIC) des Feldreglers integriert sind.

5

Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung ist ein dreiphasiger Generator dargestellt. Im Prinzip ist die vorliegende Erfindung jedoch auch bei weniger- oder mehrphasigen Generatoren, beispielsweise fünfphasigen Generatoren einsetzbar.

10

Die Stromrichterkomponente 20 ist hier als B6-Schaltung ausgeführt und weist Schaltelemente 21 auf, die beispielsweise als MOSFET 21 ausgeführt sein können. Die MOSFET 21 sind, beispielsweise über Stromschienen, mit den jeweiligen Ständerwicklungen 11 des Generators verbunden. Ferner sind die MOSFET mit Anschlüssen 24, 24' verbunden und stellen bei entsprechender Ansteuerung bei generatorischem Betrieb der elektrischen Maschine einen Gleichstrom für ein Bordnetz inkl. Batterie 30 eines Kraftfahrzeugs zur Verfügung. Die Ansteuerung der Schaltelemente 21 erfolgt durch eine Ansteuereinrichtung 25 über Ansteuerkanäle 26, von denen aus Gründen der Übersicht nicht alle mit Bezugszeichen versehen sind. Die Ansteuereinrichtung 25 erhält über einen oder mehrere Phasenkanäle 27 jeweils die Phasenspannung der einzelnen Ständerwicklungen. Zur Bereitstellung dieser Phasenspannungen können weitere Einrichtungen vorgesehen sein, die jedoch der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt sind.

15

20

25

Die Ansteuereinrichtung 25 nimmt im (Synchron-)Gleichrichterbetrieb eine Auswertung der über die Phasenkanäle 27 bereitgestellten Phasenspannungen vor und bestimmt hieraus einen jeweiligen Ein- und Ausschaltzeitpunkt eines einzelnen MOSFET 21. Die Steuerung über Ansteuerkanäle 26 wirkt sich auf die Gate-Anschlüsse der MOSFET 21 aus.

30

Bekannte Feldregler, wie der im Rahmen dieser Ausführungsform vorgesehene Feldregler 15, weisen einen sogenannten Klemme-V-Anschluss 19 auf, der mit einer Phase der Ständerwicklung des Generators verbunden ist. Die Frequenz des Klemme-V-Signals bzw. des Phaseneingangssignals wird im Regler 15 aus-

gewertet und dient in Abhängigkeit von den Kenngrößen dieses Signals zur Aktivierung oder Deaktivierung des Reglerbetriebs und letztlich zur Ansteuerung des Leistungsschalters 13 über eine Ansteuerleitung 14. Das Phasensignal für den Phasensignaleingang 19 kann, wie dargestellt, auch durch die Ansteuereinrichtung 25 geführt werden.

Im Motorbetrieb wird die elektrische Maschine 100 verwendet, um allein oder in Kombination mit einem Verbrennungsmotor das Kraftfahrzeug anzutreiben. Vorzugsweise wird als Spannungsversorgung eine Batterie verwendet, die eine höhere Spannung (z.B. 40 V) aufweist als die übliche Bordnetzspannung von 12 V. Im Generatorbetrieb wird die elektrische Maschine 100 verwendet, um Energie zu erzeugen und ggf. das Kraftfahrzeug abzubremesen.

In Figur 2 ist ein Rekuperationssystem eines Kraftfahrzeugs, wie es der vorliegenden Erfindung zugrunde liegen kann, schaltplanartig dargestellt und insgesamt mit 200 bezeichnet. Das Rekuperationssystem 200 weist eine elektrische Maschine 201, insbesondere die elektrische Maschine 100 gemäß Figur 1 auf.

Das Rekuperationssystem 200 weist einen Bereich A mit höherer Spannung (z.B. 40 V) als die übliche Bordnetzspannung und einen Bereich B mit üblicher Bordnetzspannung (z.B. 12 V) auf. Die höhere Spannung liegt jedenfalls unter einer zulässigen Berührspannung (ca. 60 V), so dass keine aufwendigen Schutzmaßnahmen notwendig sind, die elektrische Maschine 201 jedoch ein erhöhtes Drehmoment abgeben kann. Die Bereiche A und B sind über einen DC/DC-Wandler 204 gekoppelt.

Im Bereich A ist eine erste als "Hochspannungs"-Batterie 202 ausgebildete Batterie angeordnet, die bspw. die Maschine 201 im Motorbetrieb versorgt. Mögliche Hochspannungsverbraucher 203 sind ebenfalls im Bereich A angeordnet.

Im Bereich B ist eine zweite als "Normalspannungs"-Batterie 205 ausgebildete Batterie angeordnet, die zur Versorgung des Bereichs B in Phasen dient, in denen die Maschine 201 nicht als Generator betrieben wird. Mögliche Verbraucher 206, 207 sind ebenfalls im Bereich B angeordnet.

Im Generatorbetrieb versorgt die Maschine 201 die Bereiche A und B und lädt die Batterien 202 und 205.

5 In Abhängigkeit vom Betriebsmodus der elektrischen Maschine erfolgt im Rahmen der Erfindung die Vorgabe des Erregerstroms.

10 In Figur 3 ist ein Zusammenhang zwischen den Betriebsmodi Mod 1 bis Mod 7 und dem Batterieladezustand SOC in % gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung für die vorne in der Tabelle aufgelisteten Betriebsmodi dargestellt. Sind mehrere Batterien vorhanden, wie bspw. in Figur 2 dargestellt, bezieht sich der Batterieladezustand zweckmäßigerweise auf die jeweils ausschlaggebende Batterie, d.h. die, die geladen wird, oder die, die elektrische Maschine antreibt.

15 Die Auswahl des zu verwendenden Betriebsmodus erfolgt zweckmäßigerweise so, dass die maximale Bremsenergie eingesammelt werden kann. Die Auswahl des zu verwendenden Betriebsmodus erfolgt insbesondere entsprechend Priorität und definierten Schwellwerten von Maschinendrehzahl, Wunschkmoment, 20 Temperatur und SOC. Der Erregerstrom wird dann dem ausgewählten Betriebsmodus entsprechend vorgegeben.

25 Aus Figur 3 gehen auch die beschriebenen Ladeschwellwerte hervor. Der erste Ladeschwellwert beträgt bspw. hier 40% (siehe untere Grenze Mod 3), der zweite 50% (siehe untere Grenze Mod 4) und der dritte ca. 37% (siehe untere Grenze Mod 5).

## 5 Ansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer mit einer Brennkraftmaschine gekoppelten elektrischen Maschine (100; 201) in einem Kraftfahrzeug, wobei die elektrische Maschine eine Ständerwicklung (11), eine Läuferwicklung (12), einen der Läuferwicklung (12) zugeordneten Feldregler (15) und einen der Ständerwicklung (11) nachgeschalteten Stromrichter (20) mit ansteuerbaren Schaltelementen (21) aufweist,  
wobei ein Erregerstrom durch die Läuferwicklung (12) abhängig vom momentanen Betriebsmodus der elektrischen Maschine vorgegeben wird,  
wobei die elektrische Maschine (100; 201) in einem ersten Generatorbetriebsmodus (Mod 6) als Generator betrieben wird, um das Kraftfahrzeug abzubremesen, wobei die dabei rückgewonnene Bremsenergie gespeichert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Erregerstrom in dem ersten Generatorbetriebsmodus (Mod 6) in Abhängigkeit von einem angeforderten Bremsmoment und/oder der Drehzahl der elektrischen Maschine vorgegeben wird.
3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Betriebsmodus der elektrischen Maschine (100; 201) in Abhängigkeit vom Ladezustand einer zu ladenden Batterie (202, 205) vorgegeben wird.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die elektrische Maschine (100; 201) als Motor betrieben wird, um ein Drehmoment an die Brennkraftmaschine abzugeben.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der Erregerstrom in einem ersten Motorbetriebsmodus (Mod 1) maximiert wird.

- 5 6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, wobei der Erregerstrom in einem zweiten Motorbetriebsmodus (Mod 2) in Abhängigkeit von mindestens einer der folgenden Größen vorgegeben wird: Drehzahl der elektrischen Maschine, Sollmomentenvorgabe, Ständerspannung, Ständerstrom, Temperatur in der elektrischen Maschine.
- 10 7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei in einem zweiten Generatorbetriebsmodus (Mod 3) bei einer Drehzahl der elektrischen Maschine (100; 201) unterhalb eines Drehzahlschwellwerts der Erregerstrom in Abhängigkeit vom Ladezustand einer zu ladenden Batterie (202, 205) so vorgegeben wird, dass die Batterie nicht über einen ersten Ladeschwellwert hinaus aufgeladen wird.
- 15 8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei in einem dritten Generatorbetriebsmodus (Mod 4) bei einer Drehzahl der elektrischen Maschine (100; 201) oberhalb eines Drehzahlschwellwerts der Erregerstrom in Abhängigkeit vom Ladezustand einer zu ladenden Batterie (202, 205) so vorgegeben wird, dass die Batterie nicht über einen zweiten Ladeschwellwert hinaus aufgeladen wird.
- 20 9. Verfahren nach Anspruch 7 und 8, wobei der zweite Ladeschwellwert höher als der erste Ladeschwellwert ist.
- 25 10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Erregerstrom in einem Generatorbetriebsmodus gemäß einer vorgegebenen I-U-Kennlinie einer zu ladenden Batterie (202, 205) vorgegeben wird.
- 30 11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei der Erregerstrom so vorgegeben wird, dass ein oberer Temperaturschwellwert der zu ladenden Batterie (202, 205) nicht überschritten wird.
12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Erregerstrom in einem vierten Generatorbetriebsmodus (Mod 5) so vorgegeben wird, dass bei Rotation der Läuferwicklung (12) kein Strom in die Ständerwicklung (11)

- 15 -

induziert wird.

- 5
13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei die elektrische Maschine nur in dem vierten Generatorbetriebsmodus (Mod 5) betrieben wird, wenn ein Ladezustand einer Batterie (202) zur Versorgung der elektrischen Maschine (100; 201) einen dritten unteren Ladeschwellwert überschreitet.
- 10
14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Erregerstrom in einem Abschaltbetriebsmodus (Mod 7) ausgeschaltet wird.
- 15
15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die elektrische Maschine (10) in einem Motorbetriebsmodus (Mod 1, Mod 2) mit einer Spannung oberhalb der üblichen Bordnetzspannung betrieben wird, vorzugsweise zwischen 12 V und 60 V, vorzugsweise mehr als 30 V.
16. Recheneinheit, die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen.



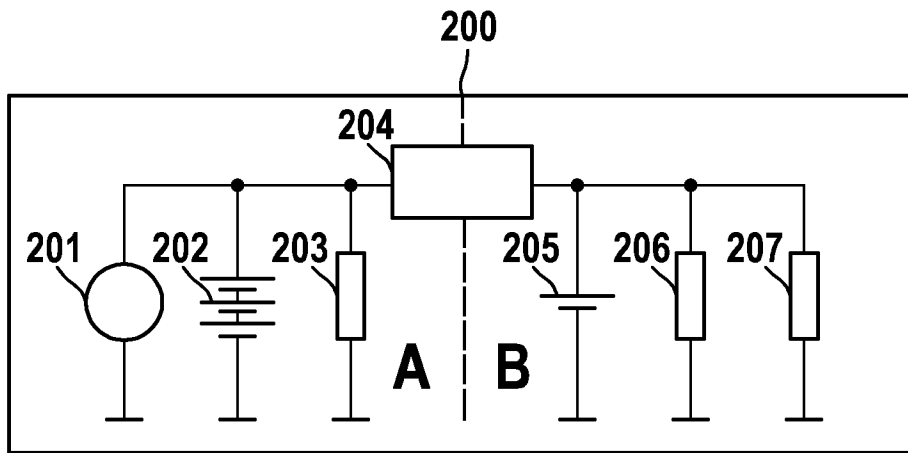


Fig. 2

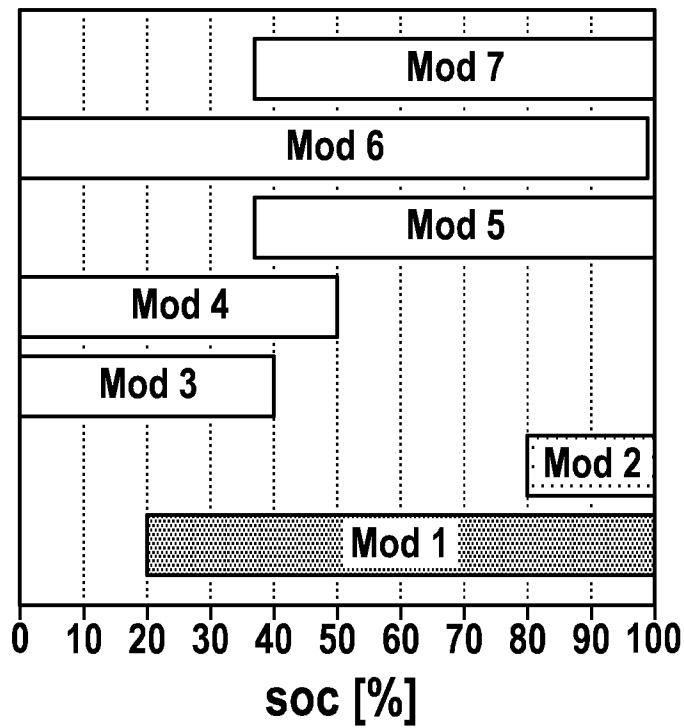


Fig. 3

Art	Motorbetrieb			Generatorbetrieb					Option Aus
	0	1	2	3	4	5	6	7	
Modus Nr									
umfasst von	1. Motorbetriebsmodus	1. Motorbetriebsmodus	2. Motorbetriebsmodus	2. Generatorbetriebsmodus	3. Generatorbetriebsmodus	4. Generatorbetriebsmodus	1. Generatorbetriebsmodus	Abschaltbetriebsmodus	
Priorität		1	7	6	5	4	2	3	
Modus	Start	Start/Stop	Boost	HSS	AGLR		AGLR elektrisch Bremsen	Segeln	
				Batterie, E-Last laden	Batterie, E-Last laden	AGLR elektrisch Nullmoment			
Anforderung	Motormanagement	Motor- & Lade- management	Motor- & Lade- management	Lade- management	Lade- management	Motor- & Lade- management	Motor- & Lade- management	Motor- & Lade- management	
	(n < nstart)	(n < nstart)	n_min < n < n_max	(n < 3000 rpm)	(n > 3000 rpm)	(Beschleunigung)	(Bremsen) & (n > nREKU)	(n > 3000 rpm)	
IErr = f(x)	IErr_Grenz	IErr_Grenz	nG, Id/Iq, T, UG	UI- Charakteristik (IErr_Grenz)	UI- Charakteristik (IG, nG, T, UG)	IErr = 0	UI- Charakteristik (IG, nG, T, UG)	IErr = 0	
				IG, UG	IG, UG	IG, UG	IG, UG		
Regelgröße	IPhase_Max	IPhase_Max	IG_Max	IG, UG	IG, UG		IG, UG		
				IPhase_Max					

Fig. 4