



(10) **DE 10 2014 208 985 A1** 2015.11.19

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 208 985.9**

(22) Anmeldetag: **13.05.2014**

(43) Offenlegungstag: **19.11.2015**

(51) Int Cl.: **H02P 9/00 (2006.01)**

B60R 16/03 (2006.01)

(71) Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

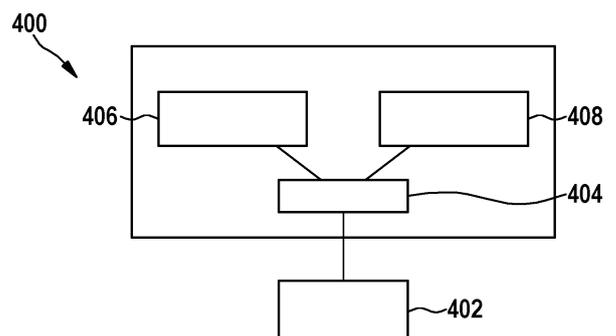
(72) Erfinder:

**Vitre, David, 70806 Kornwestheim, DE; Stiegler,
Sebastian, 71679 Asperg, DE; Magini, Fabio,
71282 Hemmingen, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Reduzierung der Ausgangsspannung eines Stromrichters einer elektrischen Maschine bei Überlast**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer mit einer Brennkraftmaschine gekoppelten elektrischen Maschine (100; 214) zum Versorgen eines Bordnetzes eines Kraftfahrzeugs, wobei die elektrische Maschine eine Ständerwicklung (11), eine Läuferwicklung (12) und einen der Ständerwicklung (11) nachgeschalteten Stromrichter (20) mit ansteuerbaren Schaltelementen (21) aufweist, wobei die elektrische Maschine generatorisch betrieben wird, wobei ein Sollwert einer Ausgangsspannung des Stromrichters (20) auf einen Wert unterhalb einer Nennspannung des Bordnetzes gesetzt wird, wenn eine eine Temperatur der elektrischen Maschine kennzeichnende Größe einen oberen Auslöseschwellwert erreicht oder überschreitet und wenn der Stromrichter (20) als Hochsetzsteller betrieben wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer mit einer Brennkraftmaschine gekoppelten elektrischen Maschine zum Versorgen eines Bordnetzes eines Kraftfahrzeugs und eine Recheneinheit zu dessen Durchführung.

Stand der Technik

[0002] In der Automobiltechnik werden Generatoren teilweise auch zum Starten des Verbrennungsmotors verwendet, zum Beispiel als Riemenstartergeneratoren oder als integrierte Startergeneratoren (Hybridtechnik). Da die Anforderungen an einen Kaltstart des Kraftfahrzeugs sehr hoch sind, wird, vor allem bei größeren Verbrennungsmotoren, auf den herkömmlichen Ritzelstarter im 14 V-Bordnetz dennoch nicht verzichtet. Der Startergenerator kann dazu verwendet werden, den Verbrennungsmotor, zum Beispiel im Start/Stop-Betrieb, zu starten, bei Boostfällen den Verbrennungsmotor zu entlasten und im Rekuperationsbetrieb einen elektrischen Speicher zu laden.

[0003] Die Funktionalität eines Hybridfahrzeugs erfordert mit ca. 8 bis 60 kW eine hohe elektrische Leistung, die auf der herkömmlichen 14 V-Ebene nicht sinnvoll bereitgestellt werden kann. Daher kann zusätzlich ein Hochvoltbordnetz mit einer Nennspannung von z.B. 48 V eingesetzt werden. Da noch nicht alle Verbraucher im Kraftfahrzeug für das Hochvolt-Bordnetz ausgelegt sind, wird neben dem Hochvolt-Bordnetz noch ein konventionelles 14 V-Bordnetz verwendet.

[0004] Im Generatorbetrieb, d.h. der Generator lädt den elektrischen Speicher des Hochvoltbordnetzes, wird der Startergenerator wie ein konventioneller Generator verwendet, der die Aufgabe hat, das Bordnetz zu versorgen und die Batterie auf einen Ladezustand zu bringen, der vom Batteriemangement gefordert ist.

[0005] Problematisch ist hierbei der Fall, wenn der Generator seine Verlustleistung, also Wärme, schlecht abführen kann, da der Verbrennungsmotor beispielsweise nahe der Leerlaufdrehzahl dreht und gleichzeitig sehr viele elektrische Verbraucher betrieben werden müssen. Zusätzlich kann diese Situation durch eine hohe Außentemperatur und/oder hohe Temperaturen im Motorraum verschärft werden. Dies kann zum Abregeln der Generatorleistung führen.

[0006] Damit in sämtlichen Betriebsfällen ausreichend Generatorleistung zur Verfügung steht, muss darauf geachtet werden, dass eine Abregelung der Generatorleistung verhindert wird. Dies kann zum Beispiel dadurch erreicht werden, dass eine höhere Generatorklasse gewählt wird. Hierdurch ist der Ge-

nerator jedoch für die meisten Betriebsfälle überdimensioniert, was sich negativ auf den Bauraum und Kosten auswirkt.

[0007] Möglich ist es auch, zur Lösung des beschriebenen Problems die Drehzahl zu erhöhen. Hierdurch steht mehr Kühlluft zur Verfügung und der Generator befindet sich in einem optimaleren Arbeitspunkt, d.h. bei gleicher Ausgangsleistung wird weniger Verlustleistung erzeugt. Nachteilig an einer Anhebung der Drehzahl ist jedoch, dass dies vom Fahrer oft als unangenehm empfunden wird.

[0008] In der DE 40 38 225 A1 wird für die Spannungsregelung in einem Bordnetz eines Kraftfahrzeugs eine zu hohe Bordnetzbelastung berücksichtigt. Die Spannungsregelung ist jedoch nicht auf eine Entlastung des Generators, sondern auf eine Aufladung der Batterie ausgelegt. Hierbei wird die Spannung kurzzeitig geringfügig reduziert, um den Ladezustand der Batterie zu ermitteln. Eine Entlastung des Bordnetzes wird erreicht, indem beispielsweise der Fahrer aufgefordert wird, nicht notwendige Verbraucher abzuschalten.

[0009] Es ist daher wünschenswert, ein Verfahren bereitzustellen, welches den Generator entlastet und die vorstehend beschriebenen Nachteile vermeidet.

Offenbarung der Erfindung

[0010] Erfindungsgemäß werden ein Verfahren zum Betreiben einer mit einer Brennkraftmaschine gekoppelten elektrischen Maschine zum Versorgen eines Bordnetzes eines Kraftfahrzeugs und eine Recheneinheit zu dessen Durchführung mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

Vorteile der Erfindung

[0011] Mit der Erfindung ist es möglich sicherzustellen, dass eine elektrische Maschine in einem Kraftfahrzeug auch bei hoher Belastung und geringer Drehzahl ausreichend Leistung zur Verfügung stellt, um sämtliche Verbraucher eines Bordnetzes mit Energie zu versorgen. Dies wird erreicht, indem ein Sollwert einer Ausgangsspannung eines Stromrichters, welcher einer Generatorkomponente (aufweisend Ständerwicklung und Läuferwicklung) der elektrischen Maschine nachgeschaltet ist, auf einen Wert unterhalb einer Nennspannung des Bordnetzes herabgesetzt wird, sobald eine die Temperatur der elektrischen Maschine kennzeichnende Größe einen oberen Auslöseschwellwert erreicht oder überschreitet und gleichzeitig der Stromrichter in einem Hochsetzstellermodus betrieben wird. Das Herabsetzen des Sollwerts der Ausgangsspannung des Stromrich-

ters führt besonders im Hochsetzstellermodus zu verringerten Verlusten im Stromrichter.

[0012] Während des Generatorbetriebs der elektrischen Maschine in einem Kraftfahrzeug ist insbesondere die Kombination aus zu hoher Temperatur und zu geringer Drehzahl problematisch, da in diesem Fall Verlustleistung besonders schlecht abgeführt werden kann. Durch die unzureichende Abführung von Verlustleistung kann es zu einer Überhitzung von Teilen der elektrischen Maschine kommen, was zu einem Abregeln oder gar zu einer Beschädigung führt. Es hat sich nun gezeigt, dass durch das Herabsetzen des Sollwerts der Ausgangsspannung insgesamt eine höhere Ausgangsleistung bei gleicher Verlustleistung bereitgestellt werden kann, was eine Überlastung reduziert. Bei den betreffenden Fällen mit geringer Drehzahl wird der Stromrichter zum Aufrechterhalten des Sollwerts der Bordnetzspannung üblicherweise als Hochsetzsteller betrieben. Es hat sich nun gezeigt, dass gerade hier durch Reduzieren der Ausgangsspannung die Schaltverluste reduziert werden können bzw. dass dann erst ein größerer Strom zur gleichen Verlustleistung führt. Dieser größere Strom erhöht jedoch die elektrische Leistung der Generatorkomponente stärker als deren Verlustleistung, so dass im Endeffekt eine höhere Ausgangsleistung zur Verfügung steht.

[0013] Es ist vorteilhaft, wenn der Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters nur dann auf einen Wert unterhalb einer Nennspannung des Bordnetzes herabgesetzt wird, wenn zusätzlich eine Drehzahl der elektrischen Maschine einen unteren Drehzahl-schwellwert erreicht oder unterschreitet. Liegt die Drehzahl nämlich oberhalb des unteren Drehzahl-schwellwerts, kann möglicherweise die Wärmeabfuhr weiterhin ausreichend sein, um die Maschine vor Überhitzung zu schützen. Ein geeigneter unterer Drehzahl-schwellwert liegt oberhalb der Leerlaufdrehzahl und wird anwendungsbezogen ausgewählt werden.

[0014] Um einen optimalen Betriebspunkt der elektrischen Maschine zu finden, ist es besonders zweckmäßig, den Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters iterativ herabzusetzen. Dadurch kann auch verhindert werden, dass die Ausgangsspannung des Stromrichters weiter herabgesetzt wird, als Umgebungsbedingungen, insbesondere Temperatur und Drehzahl, dies erfordern.

[0015] Vorteilhaft ist es auch, wenn die Ausgangsspannung des Stromrichters schrittweise oder stetig verändert wird. Dadurch können einerseits Sprünge in der Ausgangsspannung des Stromrichters vermieden und Komponenten, welche mit der Ausgangsspannung des Stromrichters versorgt werden, geschont werden, andererseits können schnelle Änderungen herbeigeführt werden.

[0016] Besonders bevorzugt ist es auch, den Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters als Funktion der eine Temperatur der elektrischen Maschine kennzeichnenden Größe vorzugeben. Da eine zu große Temperatur direkt zu ungünstigen Betriebsbedingungen führen kann, ist es sinnvoll, den Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters direkt an die Temperatur zu koppeln.

[0017] Hierbei ist es besonders zweckmäßig, die eine Temperatur der elektrischen Maschine kennzeichnende Größe in oder an der elektrischen Maschine selbst, z.B. in oder an der Ständerwicklung, der Läuferwicklung, dem Stromrichter, einem der ansteuerbaren Schaltelemente und/oder einem Kühlkörper zu erfassen. Typischerweise ist die Temperatur dieser Bauteile besonders kritisch für einen günstigen Betriebspunkt der elektrischen Maschine und des Stromrichters.

[0018] Zur Messung der eine Temperatur der elektrischen Maschine kennzeichnenden Größe kann beispielsweise ein Temperatursensor verwendet werden. Damit kann die eine Temperatur der elektrischen Maschine kennzeichnende Größe besonders einfach festgestellt werden. Alternativ kann ein Temperaturmodell der elektrischen Maschine eingesetzt werden, um die Temperatur anhand des Modells zu berechnen bzw. zu simulieren.

[0019] Es ist besonders zweckmäßig, das erfindungsgemäße Verfahren zur Versorgung eines Hochvoltbordnetzes, insbesondere eines Bordnetzes mit einer Nennspannung von mehr als 40 V zu verwenden. Hochvoltbordnetze werden vor allem in Zweispannungsbordnetzen von Hybridfahrzeugen verwendet. In Hybridfahrzeugen ist der Fall, dass die Brennkraftmaschine mit einer geringen Drehzahl betrieben und gleichzeitig die elektrische Maschine stark belastet wird z.B. für den Ladevorgang eines Hochvoltenergiespeichers gegeben..

[0020] Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät eines Kraftfahrzeugs, ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

[0021] 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, DVDs u.a.m. Auch ein Download eines Programms über Computernetze (Internet, Intranet usw.) ist möglich.

[0022] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

[0023] 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.

[0024] Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0025] Fig. 1a zeigt einen ersten Generator mit Stromrichter mit ansteuerbaren Schaltelementen, wie er der Erfindung zugrunde liegen kann,

[0026] Fig. 1b zeigt einen zweiten Generator mit Stromrichter mit ansteuerbaren Schaltelementen, wie er der Erfindung zugrunde liegen kann,

[0027] Fig. 2 zeigt ein Zweispannungsbordnetz, das mittels eines Verfahrens gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung betrieben werden kann,

[0028] Fig. 3 zeigt vier Grafiken, die den Zusammenhang zwischen Verlustleistung, Ausgangsleistung und Stromstärke einer elektrischen Maschine im Generatorbetrieb verdeutlichen,

[0029] Fig. 4 zeigt eine Ausführung der Erfindung in einem Blockschaltbild,

[0030] Fig. 5 zeigt eine bevorzugte Ausführung einer erfindungsgemäßen Regelung,

[0031] Fig. 6 zeigt eine andere bevorzugte Ausführung einer erfindungsgemäßen Regelung,

[0032] Fig. 7 zeigt eine andere bevorzugte Ausführung einer erfindungsgemäßen Regelung,

[0033] Fig. 8 zeigt eine andere bevorzugte Ausführung einer erfindungsgemäßen Regelung.

Ausführungsform(en) der Erfindung

[0034] In Fig. 1a ist eine als Startergenerator **100** ausgebildete elektrische Maschine schaltplanartig dargestellt. Der Startergenerator 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.

[0035] 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 Leistungsschalters **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.

[0036] Die Ausführungsform gemäß Fig. 1b weist eine alternative Beschaltung der Läuferwicklung **12** auf. Die Läuferwicklung ist hier in eine Brückenschaltung aus Leistungsschaltern **13'** mit Ansteuerleitung **14'** geschaltet, wodurch weitere Funktionen, wie z.B. Mehrquadrantenbetrieb möglich sind. Anstelle einiger der Leistungsschalter **13'** können auch Dioden eingesetzt werden.

[0037] In den Fig. 1a, Fig. 1b ist ein dreiphasiger Generator dargestellt. Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben einer mit einer Brennkraftmaschine gekoppelten elektrischen Maschine ist jedoch auch bei weniger- oder mehrphasigen Generatoren, beispielsweise fünfphasigen Generatoren einsetzbar.

[0038] 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 an Kühlkörpern **400** angeordnet, von denen nur einer angedeutet ist. Einer oder mehrere der Kühlkörper **400** können mit einem Temperatursensor **401** ausgestattet sein. 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 einen Gleichstrom für ein Bordnetz **30** eines Kraftfahrzeugs zur Verfügung. Die Ansteuerung der Schaltelemente **21** erfolgt über eine Ansteuereinrichtung **25** über Ansteuerkanäle **26**, von denen aus Gründen der Übersicht nicht alle mit Bezugszeichen versehen sind. Die Ansteuereinrichtung **25** erhält über 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.

[0039] 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.

[0040] 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** ausgewertet 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** (**Fig. 1a**). Das Phasensignal für den Phasensignaleingang **19** kann, wie dargestellt, auch durch die Ansteuereinrichtung **25** geführt werden.

[0041] In **Fig. 2** ist ein Zweispannungsbordnetz eines Kraftfahrzeugs dargestellt, das mittels eines Verfahrens gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung betrieben werden kann.

[0042] Das Zweispeicherbordnetz ist insgesamt mit **210** bezeichnet. Es umfasst zwei Teilnetze **211**, **212**, die mittels eines Gleichspannungswandlers **213** miteinander verbunden sind. In einem ersten Teilnetz **211** ist eine elektrische Maschine bzw. ein Startergenerator **214** wie in **Fig. 1** gezeigt, vorgesehen, der zur direkten Ladung eines ersten Energiespeichers **215**, beispielsweise eines Lithium-Ionen-Akkumulators und/oder eines Doppelschichtkondensators mit einer Generatorspannung U_1 eingerichtet ist. Der Startergenerator **214** ist drehmomentübertragend mit einer Brennkraftmaschine **220** gekoppelt.

[0043] Das erste Teilnetz **211** ist an einen Eingang des Gleichspannungswandlers **213** angeschlossen. Der erste Energiespeicher **215** kann beispielsweise zur Speicherung mittels des Startergenerators **214** rekuperierter Bremsenergie verwendet werden. Im Normalbetrieb kann der Startergenerator von der Brennkraftmaschine **220** angetrieben werden. Die Spannung U_1 im ersten Teilnetz kann einige zehn bis wenige hundert Volt betragen und hängt von der praktischen Umsetzung ab.

[0044] Ein zweites Teilnetz **212** des Zweispannungsbordnetzes **210** umfasst einen optionalen Startermotor **216** zum Starten der Brennkraftmaschine **220** des Kraftfahrzeugs und einen zweiten Energiespeicher **217**, beispielsweise einen herkömmlichen Blei-Säure-Akkumulator als Fahrzeugbatterie. Je nach Applikation kann die Startfunktion (auch für einen Kaltstart) von dem Startergenerator **214** übernommen werden. In diesem Fall ist kein Starter **216** vorhanden.

[0045] An das zweite Teilnetz **212** ist wenigstens ein Verbraucher **218** angeschlossen, bei dem es sich um einen üblichen in einem Kraftfahrzeug vorhandenen Verbraucher, beispielsweise ein Radio, die Beleuchtung, ein Infotainmentsystem usw. handeln kann. Das zweite Teilnetz **212** kann ebenfalls über den Startergenerator **214** und den zwischengeschalteten Gleichspannungswandler **213** mit Spannung versorgt werden. Das zweite Teilnetz kann mit einer Bordnetzspannung U_2 , z.B. mit 14 V, betrieben werden.

[0046] Stellt der Startergenerator **214** keine Spannung zur Verfügung, erfolgt eine Speisung des Bordnetzes, also des zweiten Teilnetzes **212** der **Fig. 1**, mittels der Energiespeicher **215** und **217**. Hierbei werden diese naturgemäß entladen.

[0047] Dreht sich die Brennkraftmaschine **220** nahe der Leerlaufdrehzahl und wird gleichzeitig der Startergenerator **214** stark belastet, beispielsweise durch angeschaltete Verbraucher oder das Aufladen des Energiespeichers **215** kann dies dazu führen, dass der Startergenerator überhitzt und infolgedessen abgeregelt wird. Wie erwähnt, rührt dies auch von signifikanten Schaltverlusten im Stromrichter aufgrund eines Hochsetzstellerbetriebs her. Dies wird nun gemäß im Rahmen der Erfindung vermieden, wie nachfolgend erläutert wird.

[0048] **Fig. 3** zeigt vier Funktionsgraphen 3a bis 3d, in welchen die Verlustleistung $P_{v, sr}$ des Stromrichters (Graph 3a) im Hochsetzstellerbetrieb, die Verlustleistung $P_{v, m}$ der elektrischen Maschine, (Graph 3b), die erzeugte Maschinenleistung $P_{el, m}$, (Graph 3c), sowie die abgegebene Gesamtleistung $P_{el, out}$, (Graph 3d), gegen die Stromstärke I in einer Ständerphase angetragen sind. Dabei wird von einer Leerlaufdrehzahl, welche z.B. $n \approx 1800$ rpm betragen kann, ausgegangen. Die Leistungsgrößen sind dabei in Watt, die Stromstärke in Ampere angegeben.

[0049] Für die Leistungsgrößen gilt der Zusammenhang:

$$P_{el, out} = P_{el, m} - P_{v, sr} - P_{v, m}$$

[0050] In Graph 3a ist $P_{v, sr}$ zu zwei verschiedenen Werten der Generatorspannung $U_1 = 48$ V, $U_2 = 32$ V angegeben. $P_{v, sr}$ zu $U_1 = 48$ V ist als gestrichelte Linie gezeigt, $P_{v, sr}$ zu $U_2 = 32$ V als durchgezogene Linie. Die Grafik verdeutlicht, dass bei einer Spannungsreduktion um 16 V, von 48 V auf 32 V, bei gleicher Stromstärke, zunächst 50 W Verlustleistung im Stromrichter weniger anfallen. Die gleiche Verlustleistung wird demnach erst mit einer um 5 A erhöhten Stromstärke erreicht, d.h. durch eine Reduktion der Ausgangsspannung lässt sich bei gleicher Verlustleistung im Stromrichter die Stromstärke erhöhen.

[0051] Graph 3b zeigt den Zusammenhang zwischen $P_{v,m}$ und I . Da die Verlustleistung der elektrischen Maschine spannungsunabhängig ist, ist nur ein Graph gezeigt. Sie entsteht hauptsächlich durch Ständer- und Läuferwicklung (Kupferverluste), Ständer- und Läuferbeschaffenheit (Eisenverluste) und magnetische Einflüsse.

[0052] Graph 3c zeigt den Zusammenhang zwischen $P_{el,m}$ und I . Da die erzeugte Leistung der elektrischen Maschine spannungsunabhängig ist, ist erneut nur ein Graph eingezeichnet.

[0053] Es ist klar zu erkennen, dass die erzeugte Maschinenleistung $P_{el,m}$ mit I schneller zunimmt als die Verlustleistung $P_{v,m}$ der Maschine. Zur übersichtlicheren Darstellung wurde in den **Fig. 3a** und **Fig. 3b** für die Hochachse, an welcher die Verlustleistung angetragen ist, eine andere Skala verwendet.

[0054] Die Steigung der Verlustleistung im Stromrichter beträgt 10 W/A (**Fig. 3a**) und die Steigung der Verlustleistung der elektrischen Maschine beträgt 7 W/A (**Fig. 3b**). Die Steigung der erzeugten Maschinenleistung (**Fig. 3c**) hingegen beträgt 50 W/A. Für die Steigung der abgegebenen Gesamtleistung ergibt das eine Steigung von 33 W/A.

[0055] Die Steigung der abgegebenen Gesamtleistung lässt sich entweder von der Kennlinie ablesen oder rechnerisch mit der Formel

$$\frac{\Delta P_{el,out}}{\Delta I} = \frac{\Delta P_{el,m}}{\Delta I} - \frac{\Delta P_{v,sr}}{\Delta I} - \frac{\Delta P_{v,m}}{\Delta I}$$

bestimmen. Durch Einsetzen erhält man

$$\frac{\Delta P_{el,out}}{\Delta I} = 50 \frac{W}{A} - 10 \frac{W}{A} - 7 \frac{W}{A} = 33 \frac{W}{A}$$

[0056] Die Kennlinien wurden für eine Drehzahl von $n \approx 1800$ rpm erstellt.

[0057] Graph 3d zeigt den Zusammenhang zwischen $P_{el,out}$ und I für beide Spannungen $U_1 = 48$ V und $U_2 = 32$ V. Es wird deutlich, dass die beiden Kennlinien zueinander lediglich parallel verschoben sind. Insbesondere sind beide Kennlinien linear und haben dieselbe Steigung 33 W/A (s. oben). Die Kennlinie zur reduzierten Ausgangsspannung ist gegenüber der Kennlinie zur Ausgangsspannung von 48 V um ca. 50 W nach oben verschoben, d.h. die abgegebene Gesamtleistung steigt bei gleicher Stromstärke durch eine Reduktion der von der elektrischen Maschine abgegebenen Ausgangsspannung um 16 V durch reduzierte Verluste im Stromrichter um 50 W. Wird die Stromstärke wie beschrieben um 5 A erhöht, kann ein Plus von über 200 W ($50 \text{ W} + 5 \text{ A} \times$

33 W/A) abgegebener Gesamtleistung (bei gleicher Verlustleistung im Stromrichter) erzielt werden.

[0058] Die Reduktion der Ausgangsspannung erscheint dem erwünschten Effekt, die Verluste zu reduzieren, zunächst gegenläufig, da zur Beibehaltung der Leistung der Strom erhöht werden muss, was üblicherweise höhere Verluste bedeutet. Jedoch wird der Stromrichter aufgrund der geringen Drehzahl des Generators in einem Hochsetzstellermodus betrieben, so dass die Spannungsreduktion zu deutlich verminderten Schaltverlusten $P_{v,sr}$ im Stromrichter führt. Wie oben erläutert, lässt sich bei einer Spannungsreduktion die vom Generator abgegebene Stromstärke um 5 A erhöhen, wenn die Verluste im Stromrichter gleich bleiben sollen. Da die Kennlinie der erzeugten Maschinenleistung, $P_{el,m}$, mit der Stromstärke I jedoch schneller zunimmt als die Summe der Verlustleistungen $P_{v,sr} + P_{v,m}$, steigt in Folge auch die abgegebene Gesamtleistung $P_{el,out}$ mit zunehmenden I an.

[0059] **Fig. 4** zeigt eine bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens **400** in einem Blockschaltbild. Die elektrische Maschine ist durch einen Block **402** dargestellt. Die elektrische Maschine steht in Verbindung mit einer Überwachung, dargestellt durch einen Block **404**. Die Überwachung **404** ist dazu eingerichtet, eine eine Temperatur der elektrischen Maschine kennzeichnende Größe S auf das Erreichen oder Überschreiten eines oberen Auslöseschwellwerts hin und die elektrische Maschine auf einen Hochsetzstellerbetrieb hin zu überwachen. Die eine Temperatur der elektrischen Maschine kennzeichnende Größe S kann beispielsweise die in oder an der elektrischen Maschine, der Ständerwicklung, der Läuferwicklung, dem Stromrichter, einem der ansteuerbaren Schaltelemente und/oder zugehörigen Kühlkörpern erfasste Temperatur sein. Die eine Temperatur der elektrischen Maschine kennzeichnende Größe S kann auch eine Größe sein, die auf Grundlage einer oder mehrerer Eingangsgrößen (wie die genannten Temperaturen) berechnet wird. Abhängig von den Ergebnissen der Überwachung **404** wird der Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters in einem Block **406** auf das normale Niveau der Spannung des Hochvoltbordnetzes (z.B. 48 V) oder in einem Block **408** auf einen reduzierten Wert gesetzt.

[0060] Die Einstellung des reduzierten Werts des Sollwerts der Ausgangsspannung des Stromrichters wird von einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Regelung, dargestellt durch den Block **408**, übernommen, für die nachfolgend anhand der **Fig. 5** bis **Fig. 8** unterschiedliche bevorzugte Ausführungsformen erläutert werden.

[0061] Die **Fig. 5** bis **Fig. 8** betreffen bevorzugte Möglichkeiten für den Übergang von der herkömmlichen Regelung des Sollwerts der Ausgangs-

spannung des Stromrichters zu bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Regelung. Die Figuren zeigen jeweils den Verlauf der Größe S über der Zeit t sowie den Verlauf des Sollwerts der Ausgangsspannung U_{b_soll} des Stromrichters über der Zeit t .

[0062] Fig. 5 zeigt dabei eine Regelung, bei der der Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters unmittelbar von U_{b_soll1} , insbesondere 48 V, auf einen reduzierten Wert U_{b_soll2} , z.B. 32 V, eingestellt wird, sobald die Größe S einen oberen Auslöseschwellwert S_{max} erreicht oder überschreitet. Damit sinken die Verluste in der elektrischen Maschine, was im gezeigten Beispiel auch ein weiteres Ansteigen von S verhindert.

[0063] Fig. 6 zeigt eine Ausgestaltung der Erfindung, bei der zwischen den Sollwerten U_{b_soll1} und U_{b_soll2} der Ausgangsspannung des Stromrichters nach Erreichen des oberen Auslöseschwellwertes S_1 durch die Größe S linear interpoliert wird. Somit wird zwischen den beiden Regelungen nicht hart umgeschaltet, sondern der Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters wird kontinuierlich entlang einer linear verlaufenden Rampe auf U_{b_soll2} reduziert. Es ist erkennbar, dass die Größe S aufgrund der reduzierten Verluste langsamer von S_1 zu S_2 zunimmt, sobald der Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters abnimmt.

[0064] Fig. 7 zeigt eine Regelung, bei der der Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters, wie in Fig. 6, schrittweise reduziert wird. Bei dieser Ausgestaltung der Erfindung gibt es k obere Auslöseschwellwerte, an welchen der Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters schrittweise reduziert wird, bis schließlich der Minimalwert des Sollwerts der Ausgangsspannung des Stromrichters, U_{b_soll2} , erreicht ist. In dieser Ausgestaltung der Erfindung wird der Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters an drei oberen Auslöseschwellwerten S_1 , S_2 , S_n der Größe S reduziert, es ist jedoch auch eine andere Zahl von oberen Auslöseschwellwerten denkbar. Wie in der Fig. 6 ist auch hier erkennbar, dass die Größe S langsamer wächst, sobald der Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters reduziert wird.

[0065] Fig. 8 zeigt eine Regelung, bei welcher der Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters als Funktion der Größe S eingestellt wird, sobald diese den oberen Auslöseschwellwert S_{max} erreicht. Dabei wird der Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters beispielsweise indirekt proportional zu S vorgegeben.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 4038225 A1 [0008]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer mit einer Brennkraftmaschine (**220**) gekoppelten elektrischen Maschine (**100**; **214**) zum Versorgen eines Bordnetzes eines Kraftfahrzeugs, wobei die elektrische Maschine (**100**; **214**) eine Ständerwicklung (**11**), eine Läuferwicklung (**12**) und einen der Ständerwicklung (**11**) nachgeschalteten Stromrichter (**20**) mit ansteuerbaren Schaltelementen (**21**) aufweist, wobei die elektrische Maschine (**100**; **214**) generatorisch betrieben wird, wobei ein Sollwert einer Ausgangsspannung des Stromrichters (**20**) auf einen Wert (Ub_soll2) unterhalb einer Nennspannung des Bordnetzes gesetzt wird, wenn eine eine Temperatur der elektrischen Maschine kennzeichnende Größe einen oberen Auslöseschwellwert (S_max; S_1) erreicht oder überschreitet und wenn der Stromrichter (**20**) als Hochsetzsteller betrieben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters (**20**) nur dann auf den Wert unterhalb der Nennspannung des Bordnetzes gesetzt wird, wenn eine Drehzahl der elektrischen Maschine einen unteren Drehzahlschwellwert erreicht oder unterschreitet.

3. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters (**20**) iterativ auf einen ersten bis n-ten Wert unterhalb der Nennspannung des Bordnetzes gesetzt wird, wenn die eine Temperatur der elektrischen Maschine kennzeichnende Größe (S) einen ersten bis n-ten oberen Auslöseschwellwert erreicht oder überschreitet, wobei n wenigstens 2 ist.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters (**20**) schrittweise oder stetig verändert wird.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Sollwert der Ausgangsspannung des Stromrichters (**20**) als Funktion der eine Temperatur der elektrischen Maschine kennzeichnenden Größe (S) vorgegeben wird.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die eine Temperatur der elektrischen Maschine kennzeichnende Größe (S) in oder an der elektrischen Maschine, der Ständerwicklung (**11**), der Läuferwicklung (**12**), dem Stromrichter (**20**), einem der ansteuerbaren Schaltelemente (**21**) und/oder einem Kühlkörper (**400**) erfasst wird.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die eine Temperatur der elektrischen Maschine kennzeichnende Größe mittels eines Temperatursensors (**401**) gemessen oder mittels eines Temperaturmodells berechnet wird.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Nennspannung des Bordnetzes mehr als 14 V, vorzugsweise mehr als 40 V, vorzugsweise höchstens 60 V beträgt.

9. Recheneinheit, die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen.

10. Computerprogramm, das eine Recheneinheit dazu veranlasst, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 durchzuführen, wenn es auf der Recheneinheit ausgeführt wird.

11. Maschinenlesbares Speichermedium mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm nach Anspruch 10.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

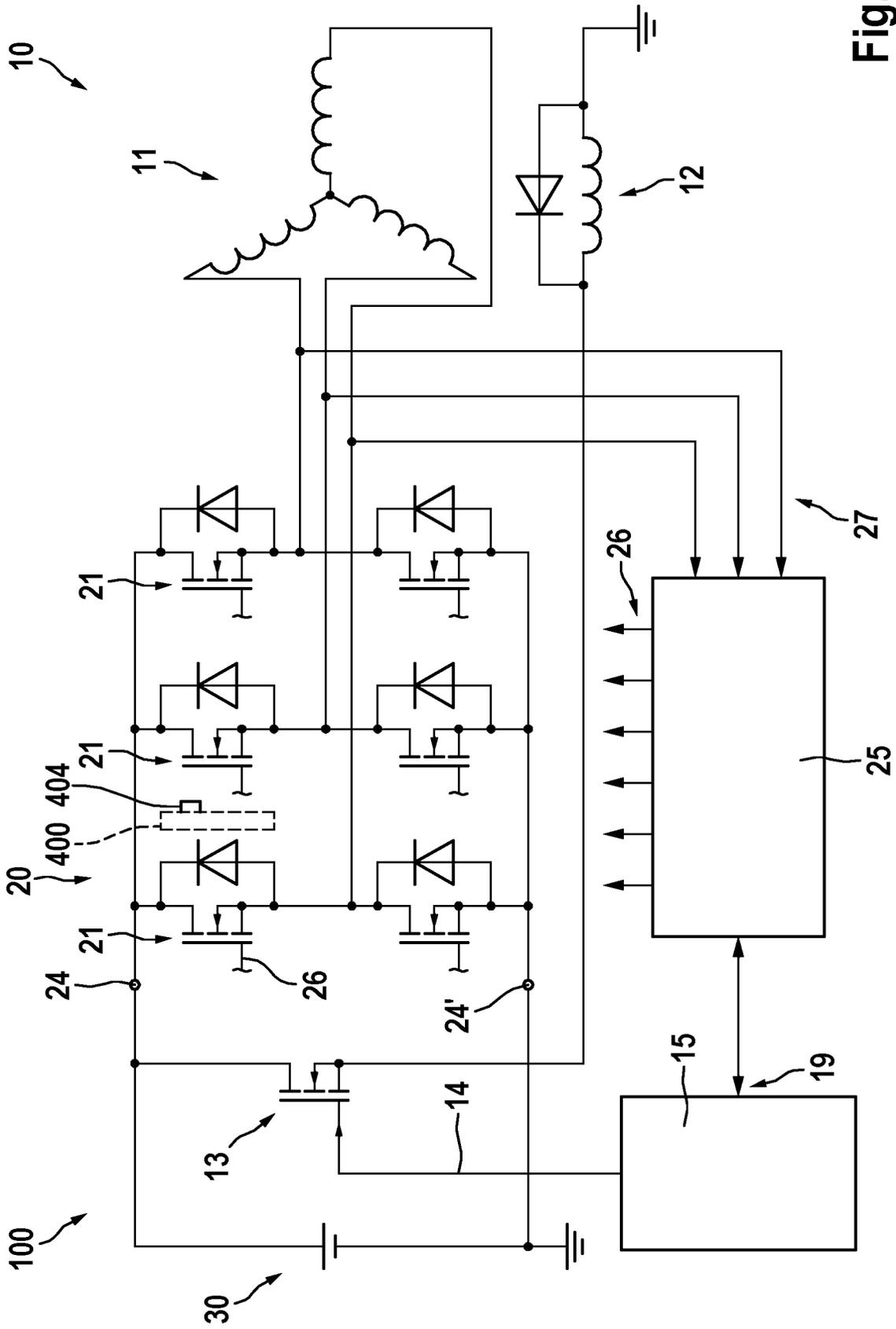


Fig. 1a

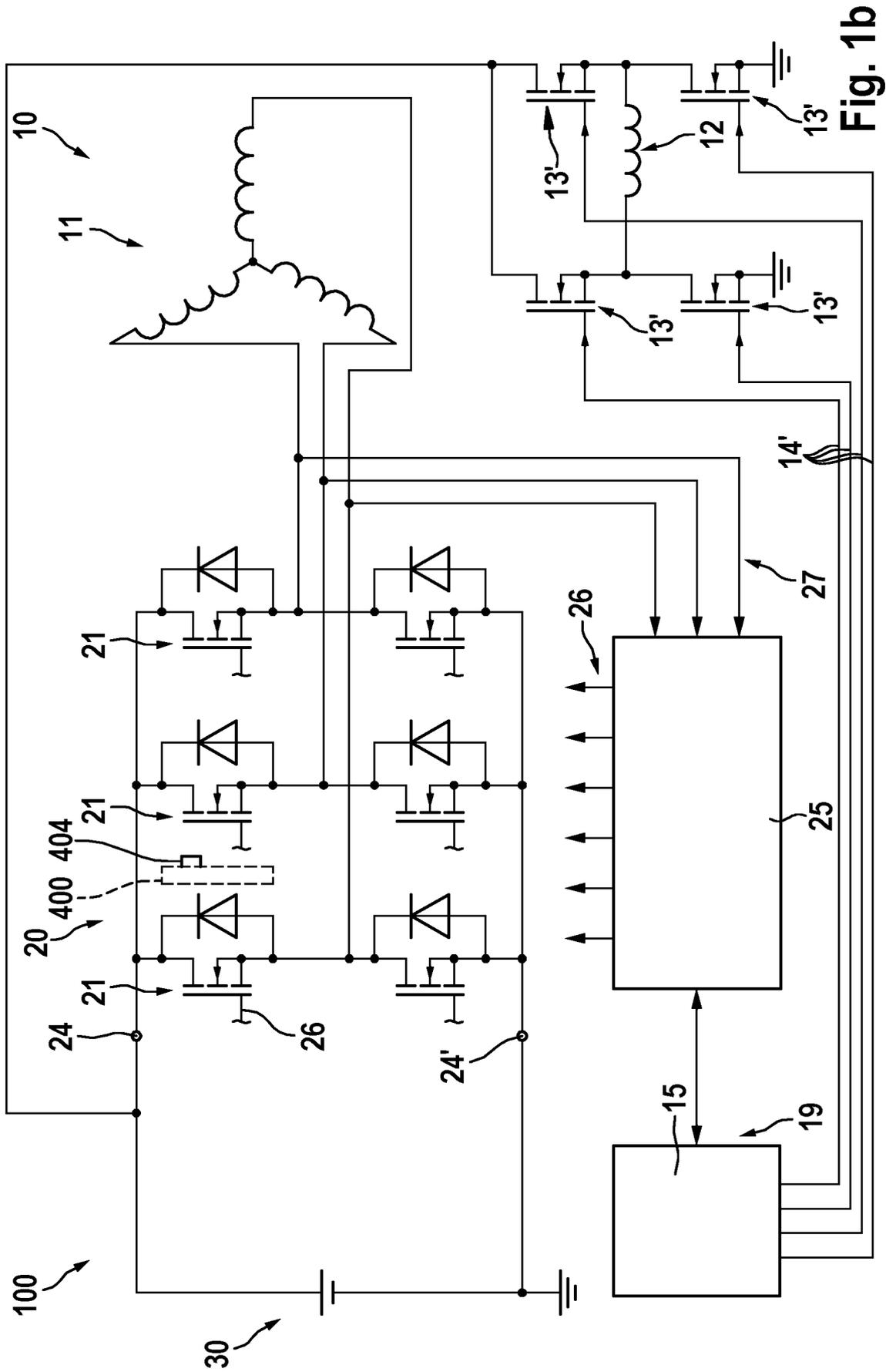


Fig. 1b

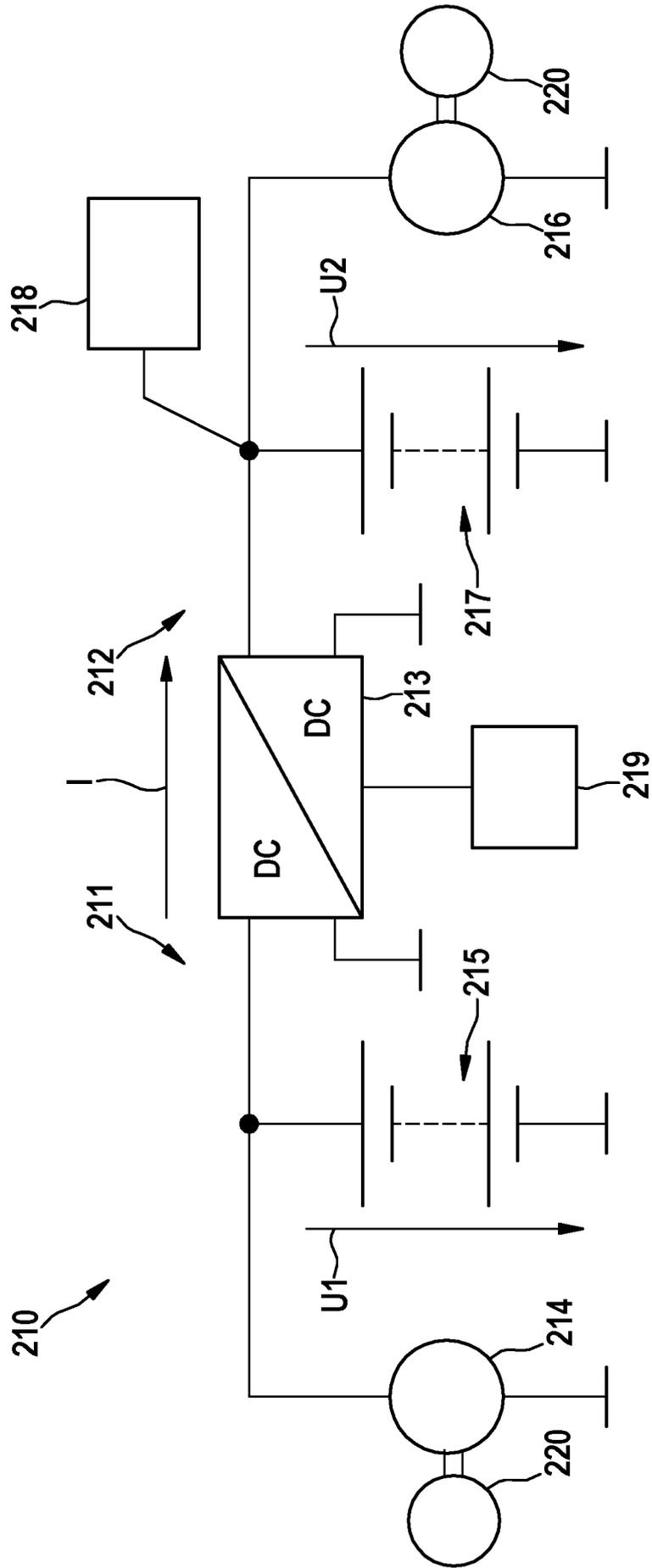


Fig. 2

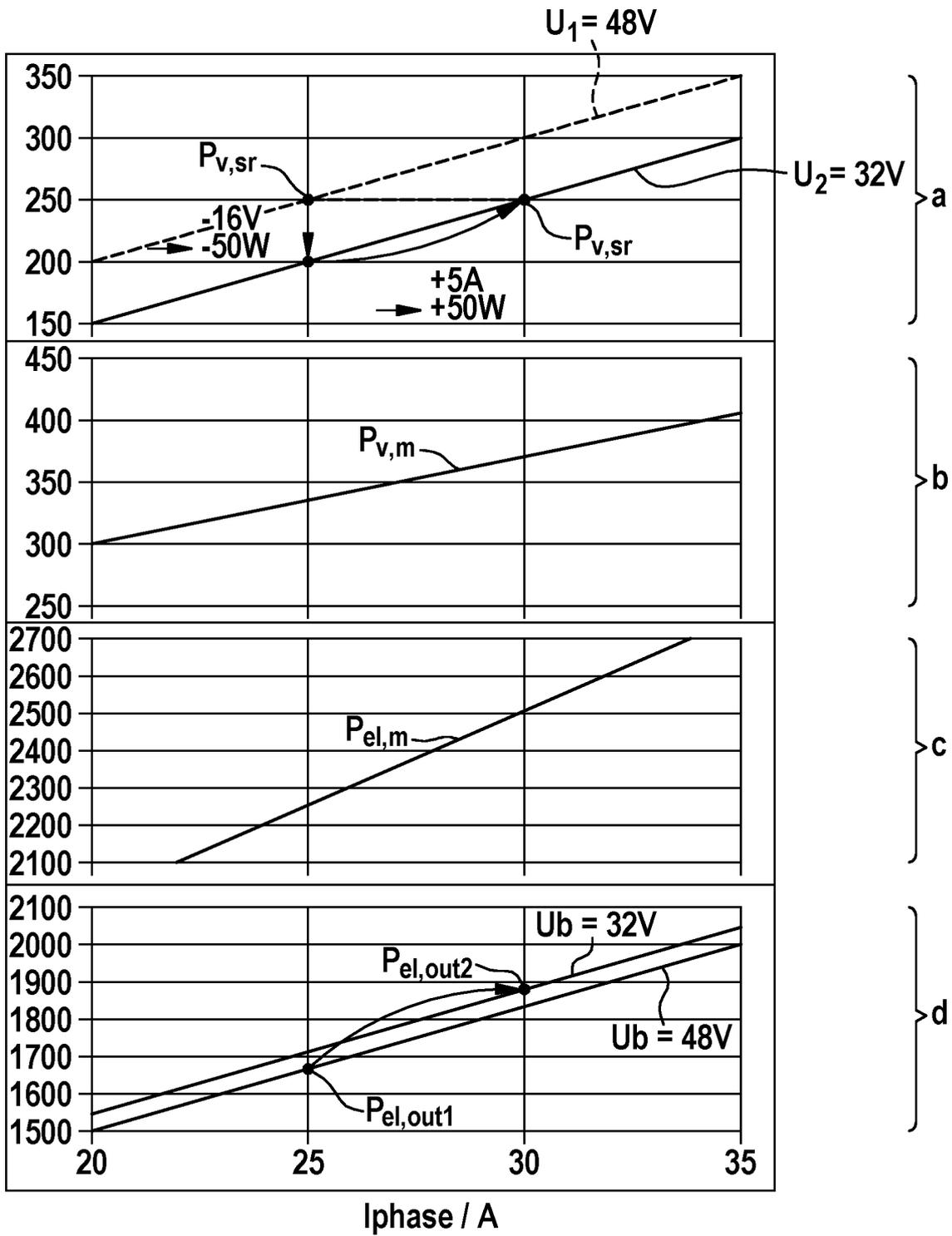


Fig. 3

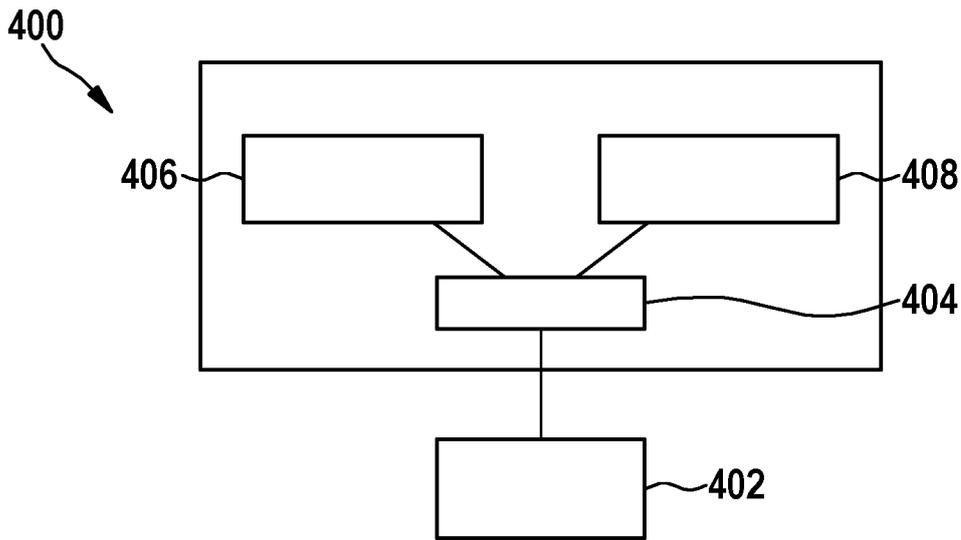


Fig. 4

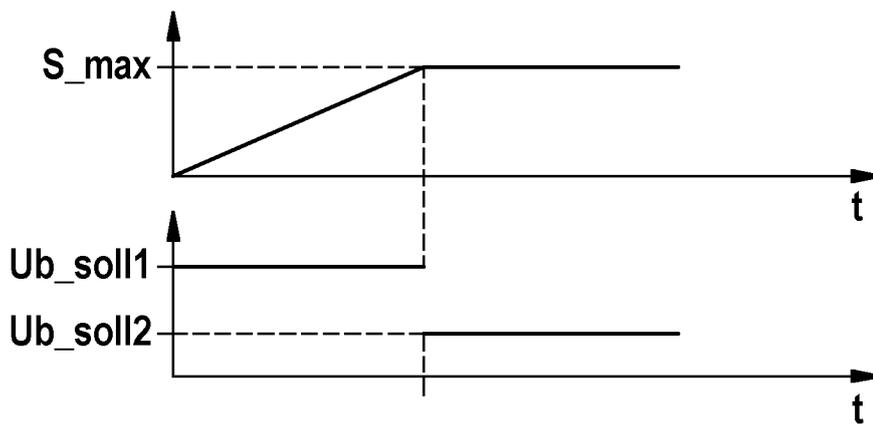


Fig. 5

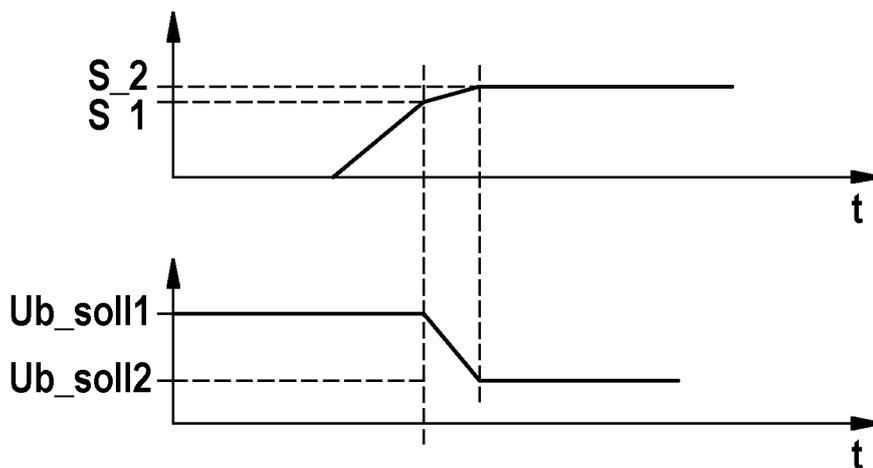


Fig. 6

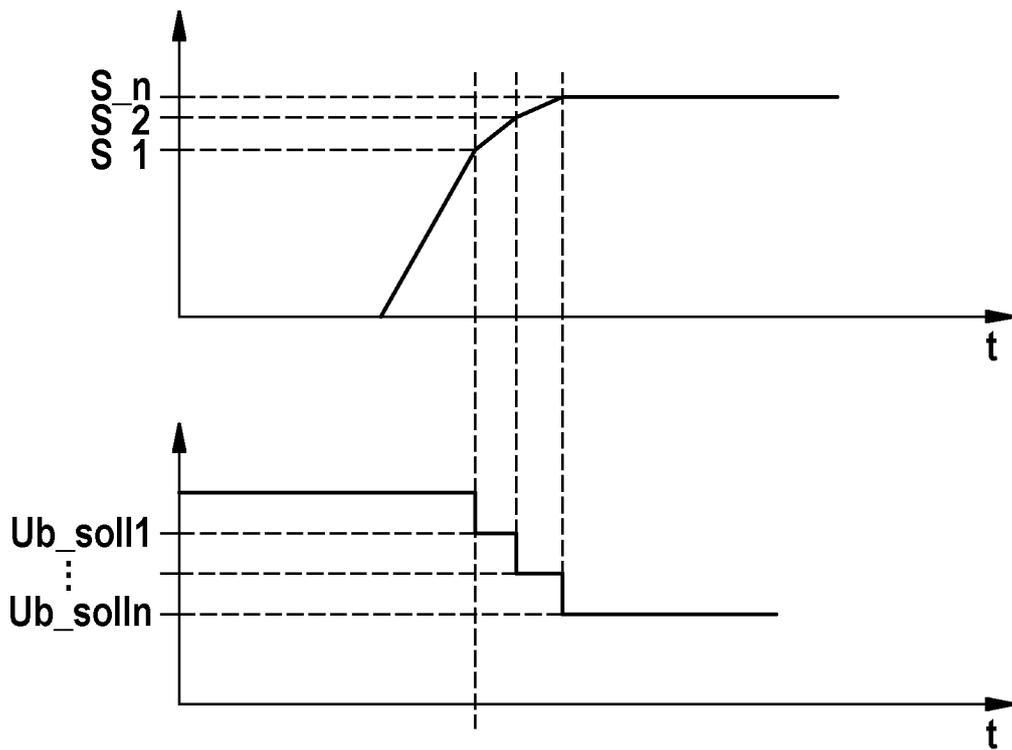


Fig. 7

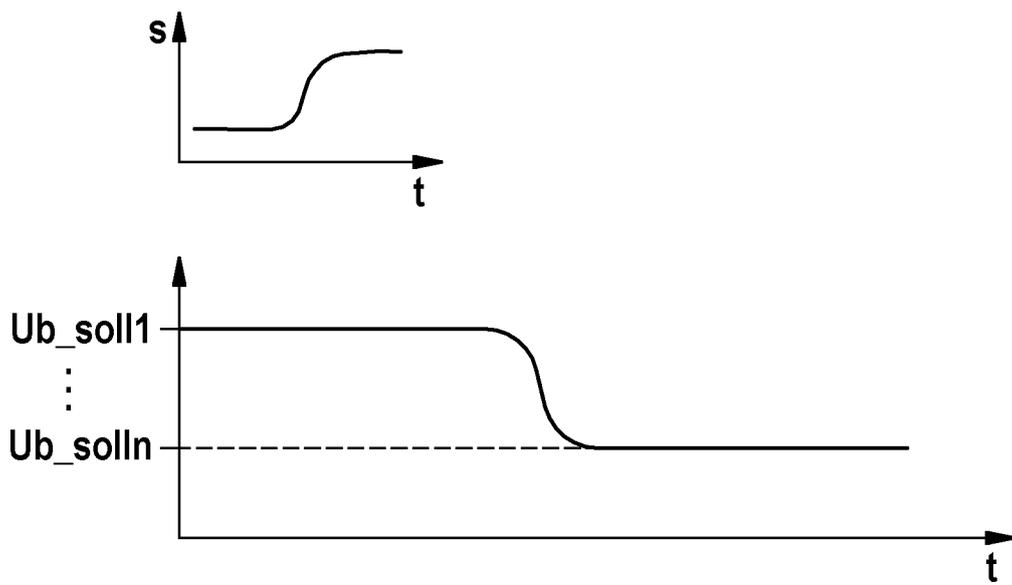


Fig. 8