(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2011 085 859 A1** 2013.05.08

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 085 859.8**
(22) Anmeldetag: **07.11.2011**
(43) Offenlegungstag: **08.05.2013**

(51) Int Cl.: ***H02P 1/46*** (2011.01)
H02P 27/02 (2012.01)

(71) Anmelder:
Siemens Aktiengesellschaft, 80333, München, DE

(72) Erfinder:
Benecke, Marcel, 39108, Magdeburg, DE

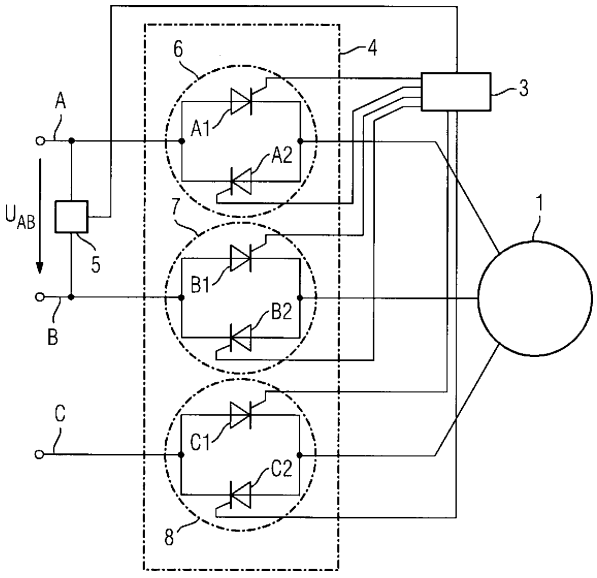
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 10 2010 008 814 A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Anordnung zum Betrieb von Synchronmotoren**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Betrieb einer Synchronmaschine (1) mittels eines drei Halbleitersteller (6, 7, 8) umfassenden dreiphasigen Drehstromstellers (4), der an ein Drehstromnetz angeschlossen wird, mit folgenden Schritten:
– Bestimmung der Phasendifferenz zwischen Polradspannung der Synchronmaschine (1) und Netzspannung des Drehstromnetzes,
– Bestimmung der Drehzahl des Rotors der Synchronmaschine,
– Bestimmung der Phasenlage des Drehstromnetzes,
– Bestimmung wenigstens eines Teils der Statorströme der Synchronmaschine (1),
– Bestimmung einer Entscheidungskennzahl anhand einer Vorausberechnung des Drehmomentverlaufs bei Anschaltung wenigstens zweier der Halbleitersteller (6, 7, 8) unter Berücksichtigung der aktuellen Werte für Phasendifferenz, Drehzahl, Statorstrom und Phasenlage,
– Bestimmung von wenigstens einem Schaltzeitpunkt anhand der Entscheidungskennzahl, wobei zu dem Schaltzeitpunkt die wenigstens zwei Halbleitersteller (6, 7, 8) angeschaltet werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb von Synchronmotoren und eine zugehörige Anordnung zum Betrieb von Synchronmotoren mit einem dreiphasigen Drehstromsteller, der an ein Drehstromnetz angeschlossen ist und Halbleitersteller, beispielsweise antiparallel geschaltete Thyristoren, umfasst. Dabei wird insbesondere der Anlauf des Synchronmotors behandelt.

[0002] Drehstromsynchronmotoren ohne Anlaufkäfig sind prinzipbedingt an die Frequenz des speisenden Drehstromnetzes gebunden. Ein Anlauf, also Hochfahren solcher Motoren ist daher nicht direkt am Netz möglich. Vielmehr ist zwischen dem Drehstromnetz und der Synchronmaschine eine Einrichtung nötig, die das Hochfahren erst ermöglicht. Hierzu wird üblicherweise ein Frequenzumrichter verwendet. Der Frequenzumrichter besteht aus einem Gleichrichter, einem Zwischenkreis(-kondensator) und einem Wechselrichter. Er wird verwendet, um einen Drehstrom mit einstellbarer Frequenz zu erzeugen.

[0003] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Anordnung anzugeben, mit denen bei sehr geringem Aufwand an leistungselektronischen Bauelementen ein Betrieb einer Synchronmaschine an einem Drehstromnetz ermöglicht wird. Dabei soll insbesondere das Anlaufen der Synchronmaschine ermöglicht werden.

[0004] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Eine weitere Lösung besteht in einer Anordnung gemäß dem Anspruch 7. Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0005] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betrieb einer Synchronmaschine mittels eines drei Halbleitersteller umfassenden dreiphasigen Drehstromstellers, der an ein Drehstromnetz angeschlossen wird, werden folgende Schritte durchgeführt:
Es erfolgt eine Bestimmung eines ersten Parameters in Form der Phasendifferenz zwischen Polradspannung der Synchronmaschine und Netzspannung des Drehstromnetzes. Dies kann beispielsweise durch Messung der Drehstromnetz-Spannung und Polradspannung und entsprechenden Vergleich erfolgen. Weiterhin wird eine Bestimmung der Drehzahl des Rotors der Synchronmaschine als zweiten Parameter durchgeführt. Als dritter Parameter wird die Phasenlage des Drehstromnetzes bestimmt. Mit anderen Worten wird ermittelt, wie weit der aktuelle Zeitpunkt vom letzten Nulldurchgang einer der Phasenspannungen entfernt liegt. Als vierter Parameter wird wenigstens ein Teil der Statorströme, bevorzugt alle drei Statorströme, ermittelt. Die aufgeführten Parameter können dabei durch andere, physikalisch äquivalente Parameter ersetzt werden.

[0006] Ausgehend von den vier Parametern wird eine Vorausberechnung des Drehmomentverlaufs für die Synchronmaschine für einen festlegbaren Zeitraum bei Anschaltung wenigstens zweier der Halbleitersteller unter Berücksichtigung der bestimmten Werte für Phasendifferenz, Drehzahl, Statorstrom und Phasenlage durchgeführt. Anhand der Vorausberechnung wird ein Schaltzeitpunkt bestimmt, an dem die wenigstens zwei Halbleitersteller angeschaltet werden. Zweckmäßig wird dazu die Entscheidungskennzahl mit einem festlegbaren Schwellwert verglichen, um einen Schaltzeitpunkt zu ermitteln. Bevorzugt ergibt sich dieser Zeitraum bei der Verwendung von Thyristoren im Drehstromsteller aus dem automatischen Verlöschen sämtlicher Thyristoren beim jeweiligen Nulldurchgang des Stroms.

[0007] Hierdurch wird vorteilhaft erreicht, dass nur zu solchen Schaltzeitpunkten eine Einschaltung der Halbleitersteller vorgenommen wird, zu denen ein insgesamt positiver Drehmomentverlauf erwartet wird, also ein insgesamt beschleunigendes Drehmoment. Bremsendes Drehmoment wird vermieden. Dabei ist aber eben nicht die Verwendung eines Frequenzumrichters nötig, sondern es wird lediglich der Drehstromsteller verwendet.

[0008] Dabei wird gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung anhand der Vorausberechnung ermittelt, ob der gegenwärtige Zeitpunkt als Schaltzeitpunkt verwendet wird. Mit anderen Worten wird anhand der ermittelten Parameter stets für den aktuellen Zeitpunkt, also jetzt, entschieden, ob die Halbleitersteller angeschaltet werden. Das Verfahren wird dann zweckmäßig regelmäßig in möglichst geringen zeitlichen Abständen, beispielsweise in Abständen von 1 ms, ausgeführt.

[0009] In einer Ausgestaltung der Erfindung wird ein maximal auftretender Strom berücksichtigt, der sich bei Anschaltung der Drehstromsteller ergibt. Alternativ oder zusätzlich ist es möglich, ein mittleres Drehmoment über die Anschaltzeit zu berücksichtigen.

[0010] In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung werden Drehmomentverläufe für die Anschaltung aller Halbleitersteller sowie für die Anschaltung der drei Paare von je zwei Halbleiterstellern vorausberechnet. Es ist auch möglich, nur einen Teil dieser vier verschiedenen Möglichkeiten zu berücksichtigen. Für alle diese Drehmomentverläufe wird die Vorausberechnung durchgeführt. Die Ergebnisse werden dann untereinander und beispielsweise mit einem Schwellwert verglichen und entschieden, ob ein Schaltzeitpunkt vorliegt oder nicht und in diesem Fall entschieden, welche Halbleitersteller angeschaltet werden.

[0011] Auf diese Weise werden die Möglichkeiten zur Anschaltung der Halbleitersteller deutlich erweitert, da auch der Betrieb nur zweier der Halbleitersteller gleichzeitig berücksichtigt wird. Zugleich kann auch dann, wenn bereits zwei der Halbleitersteller angeschaltet sind und Strom fließt, ständig geprüft werden, ob die Zuschaltung auch des dritten Halbleiterstellers den zu erwartenden Drehmomentverlauf verbessern würde.

[0012] Die erfindungsgemäße Anordnung zum Betrieb einer Synchronmaschine ist ausgestaltet zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens. Sie umfasst einen dreiphasigen Drehstromsteller, der an ein Drehstromnetz anschließbar ist und drei Halbleitersteller für die Phasen des Drehstromnetzes umfasst. Weiterhin umfasst die Anordnung:

– eine Einrichtung zur Bestimmung der Phasendifferenz zwischen Polradspannung der Synchronmaschine und Netzspannung des Drehstromnetzes,
– eine Einrichtung zur Bestimmung der Drehzahl des Rotors der Synchronmaschine,
– eine Einrichtung zur Bestimmung der Phasenlage des Drehstromnetzes,
– einer Einrichtung zur Bestimmung wenigstens eines Teils der Statorströme,
– einer Steuerungseinrichtung, ausgestaltet, aus den bestimmten Werten einen Drehmomentverlauf für die Synchronmaschine für einen festlegbaren Zeitraum bei Anschaltung wenigstens eines Teils der Halbleitersteller vorauszuberechnen und anhand der Vorausberechnung einen Schaltzeitpunkt zu ermitteln, zu dem die Halbleitersteller angeschaltet werden.

[0013] Der Drehstromsteller umfasst zumindest drei Halbleitersteller mit Halbleiterschaltelementen. Bei den Halbleiterschaltelementen kann es sich beispielsweise um Wechselstromsteller handeln. Die Wechselstromsteller können beispielsweise als Paare antiparallel geschalteter Thyristoren oder als Triacs realisiert sein. Es könnten aber auch IGBTs oder andere Typen von Halbleiterschaltern verwendet werden. Der Drehstromsteller ist an ein Drehstromnetz angeschlossen. Die Ständerwicklung des Synchronmotors ist dabei bevorzugt in Sternschaltung ohne Neutralleiter verschaltet. Die Wechselstromsteller werden zu bestimmten Zeitpunkten aktiviert bzw. gezündet, d.h. leitend geschaltet oder zur Leitung vorbereitet.

[0014] Bei der Einrichtung zur Bestimmung der Drehzahl des Rotors der Synchronmaschine kann es sich beispielsweise um eine Einrichtung zur Bestimmung des mechanischen Lagewinkels des Rotors handeln. Der mechanische Lagewinkel gibt zweckmäßig die Lage des Rotors in Bezug auf eine festlegbare raumfeste Position an. Der Lagewinkel erstreckt sich dabei zweckmäßigerweise von 0° bis 360°. Aus der zeitlichen Änderung des Lagewinkels wird auf die Drehzahl geschlossen.

[0015] Weiterhin wird die Phasenlage des Drehstromnetzes in wenigstens einer der Phasen der Ständerwicklung ermittelt. Hierbei können auch verschiedene Meßmethoden verwendet werden. Für das beschriebene Verfahren und die Einrichtung kommt es darauf an, den zeitlichen Abstand vom letzten Nulldurchgang der Spannung einer Phase zu ermitteln. Dieser Abstand kann als Winkel oder Zeit oder auf andere Weise dargestellt, ermittelt und verwendet werden.

[0016] Das beschriebene Verfahren wird insbesondere softwaremäßig realisiert. Bezogen auf die beschriebene Einrichtung weist diese insbesondere eine Steuereinheit auf, die ausgestaltet ist, das beschriebene Vorgehen umzusetzen. Es kann daher einfach in bestehenden Drehstromstellern ohne zusätzlichen Aufwand an Bauelementen implementiert werden. Dabei ist eine Erfassung der Rotordrehzahl nötig. Vorteilhaft ist es, wenn eine in der Synchronmaschine vorgesehene Steuereinheit, die heute zweckmäßig als Mikroprozessor realisiert ist, die Steuerung des Drehstromstellers übernimmt. In diesem Fall liegen Daten von beispielsweise einem in der Synchronmaschine integrierten Lagegeber bereits automatisch vor. Weiterhin kann eine solche Synchronmaschine bereits den Drehstromsteller umfassen, also als Gesamteinheit realisiert sein, die somit direkt an ein Drehstromnetz anschließbar ist.

[0017] Ein bevorzugtes, jedoch keinesfalls einschränkendes Ausführungsbeispiel für die Erfindung wird nunmehr anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei sind die Merkmale schematisiert dargestellt und sich entsprechende Merkmale sind mit gleichen Bezugszeichen markiert. Die Figuren zeigen dabei im Einzelnen:

[0018] Fig. 1 ein Ersatzschaltbild eines Drehstromstellers mit angeschlossener Synchronmaschine,

[0019] Fig. 2 ein Verlaufsdiagramm für Statorströme nach Einschaltung von Halbleiterstellern,

[0020] Fig. 3 ein Ablaufdiagramm für ein Verfahren zum Betrieb der Synchronmaschine.

[0021] In Fig. 1 ist eine Drehstrom-Synchronmaschine **1** über einen dreiphasigen Drehstromsteller **4** an die Phasen A, B, C eines Drehstromnetzes angeschlossen. Jeder der Phasen A, B, C ist ein Halbleitersteller **6**, **7**, **8** aus zwei antiparallel geschalteten Thyristoren A1, A2, B1, B2, C1, C2 zugeordnet. Die Zündelektroden der Thyristoren A1, A2, B1, B2, C1, C2 sind an eine Steuereinrichtung **3** angeschlossen, mit der die zum Zünden der Thyristoren A1, A2, B1, B2, C1, C2 erforderlichen Zündsignale bereitgestellt werden. Die Steuereinrichtung **3** ist durch einen Mikrocontroller realisiert. Zwischen zwei Phasen A, B, C des Netzes, beispielsweise zwischen den Klemmen A und B des Netzes in Fig. 1, ist eine Spannungsmesseinrichtung **5** geschaltet, an deren Ausgang die zwischen diesen beiden Klemmen A und B auftretende Netzspannung U_{AB} bereitsteht. Weitere, nicht gezeigte Spannungsmesseinrichtungen können ebenfalls für die anderen beiden Phasenpaare vorliegen.

[0022] In einer Ausführungsvariante sind die Steuereinrichtung **3** und der Drehstromsteller **4** eine von der Drehstrom-Synchronmaschine **1** separate Einheit, also als separate Motorsteuereinrichtung realisiert. In einer zweiten Ausführungsvariante sind die Steuereinrichtung **3** und der Drehstromsteller **4** Teil der Drehstrom-Synchronmaschine **1**. In diesem Fall sind zweckmäßig die Funktionen der Steuereinrichtung **3** in einen bereits vorhandenen Mikroprozessor in der Drehstrom-Synchronmaschine **1** integriert. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel dient die Steuereinrichtung **3** dazu, ein geeignetes Programm zu bearbeiten, mit dem softwaremäßig der Betrieb der Einrichtung erfolgen kann.

[0023] Zur Beschleunigung der Synchronmaschine aus dem Stillstand ist beschleunigendes Drehmoment erforderlich. Hierfür ist es notwendig, die Statorwicklung derart zu bestromen, dass positives Drehmoment (inneres Drehmoment) erzeugt wird, welches sowohl eine Beschleunigung der Maschine bewirkt, als auch das Gegenmoment der Last kompensiert. Das innere Drehmoment ist nach der Gleichung 1 neben den Strömen auch von der Rotorlage abhängig.

$$m_i = \frac{3}{2} p \cdot \psi_p \cdot \left(i_{1A} \cdot (-\sin \vartheta_R) + (i_{1B} - i_{1C}) \cdot \cos \vartheta_R \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \right)$$

[0024] Dabei ist m_i das innere Drehmoment, p die Polpaarzahl, i_n Statorströme **21**, **22**, **23**, ϑ_R die Rotorlage.

[0025] Um durch Zündung der Thyristoren zu einem bestimmten Zeitpunkt Statorströme **21**, **22**, **23** zu erzeugen, die einen günstigen Drehmomentverlauf liefern, werden die Statorströme **21**, **22**, **23** und das Drehmoment für bestimmte Parameterkonstellationen berechnet. Die verwendeten Parameter sind die Drehzahl, die Phasenlage der Netzspannung und der durch den Rotor induzierten Spannung sowie die vorhandenen Statorströme **21**, **22**, **23**. Dabei wird ein Verfahrensablauf wie in Fig. 3 dargestellt durchgeführt. Fig. 2 zeigt zugehörige beispielhafte Verläufe der Statorströme **21**, **22**, **23**, wobei ein erster bis achter Zeitpunkt **251** ... **258** markiert sind.

[0026] In einem ersten Schritt **31** werden die oben bezeichneten Parameter Drehzahl, die Phasenlage der Netzspannung und der durch den Rotor induzierten Spannung sowie die vorhandenen Statorströme **21**, **22**, **23** gemessen.

[0027] In einem zweiten Schritt **32** wird bestimmt, ob die Thyristoren A1, A2, B1, B2, C1, C2 in den Halbleiterstellern **6**, **7**, **8** noch alle gezündet sind, indem der gemessene Stromfluss betrachtet wird. Sind noch alle Statorströme ungleich Null, so wird zurückgekehrt zu Schritt **31**. In den Stromverläufen, die in Fig. 2 dargestellt sind, ist dies beispielsweise zwischen dem dritten Zeitpunkt **253** und dem vierten Zeitpunkt **254** der Fall. Eine weitere Zündung kann hier nicht erfolgen und eine Abschaltung der Thyristoren A1, A2, B1, B2, C1, C2 ist prinzipbedingt nicht möglich. Daher kann die Steuerung hier nicht eingreifen. Im Zeitbereich zwischen dem siebten und achten Zeitpunkt **257**, **258** wird ebenfalls zum ersten Schritt **31** zurückgekehrt.

[0028] Ansonsten wird aus den gemessenen Parametern unter der Voraussetzung der Anschaltung aller Halbleitersteller **6**, **7**, **8** der sich ergebende Drehmomentverlauf berechnet. Da in den Halbleiterstellern **6**, **7**, **8** dieses Beispiels Thyristoren A1, A2, B1, B2, C1, C2 verwendet werden, ergibt sich für die Berechnung durch das automatische Verlöschen der Thyristoren A1, A2, B1, B2, C1, C2 ein endlicher Berechnungs-Zeitraum, bis

alle Ströme und das Drehmoment Null werden. Ist der aktuelle Zeitpunkt beispielsweise im Bereich nicht allzu weit nach dem dritten Zeitpunkt **253**, so ergibt sich automatisch ein Berechnungs-Zeitraum bis zum fünften Zeitpunkt **255**.

[0029] Aus dem Drehmomentverlauf für den gesamten Berechnungs-Zeitraum wird durch Betrachtung des durchschnittlichen Drehmoments eine Entscheidungskennzahl ermittelt. Konkret wird im vorliegenden Beispiel errechnet, ob das durchschnittliche sich ergebende Drehmoment größer als Null ist, also im Mittel eine Beschleunigung zu erwarten ist. Zusätzlich wird hierzu geprüft, ob im Drehmomentverlauf ein negativer Schwellwert für das Drehmoment nicht unterschritten wird.

[0030] In einem dritten Schritt **33** wird bestimmt, ob noch Thyristoren A1, A2, B1, B2, C1, C2 gezündet sind, indem wiederum der gemessene Stromfluss betrachtet wird. Ist derzeit kein Thyristor gezündet, so wird aus den Parametern der sich ergebende Drehmomentverlauf berechnet, allerdings jetzt unter der Voraussetzung der Anschaltung von nur je zwei der drei Halbleitersteller **6**, **7**, **8**. Es ergeben sich drei verschiedene Drehmomentverläufe, für die jeweils eine Entscheidungskennzahl ermittelt wird analog zum zweiten Schritt **32**. Ein Beispiel für eine solche Zündung der Thyristoren A1, A2, B1, B2, C1, C2 ist im Bereich zwischen dem ersten und zweiten Zeitpunkt **251**, **252** sowie zwischen dem sechsten und siebten Zeitpunkt **256**, **257** gegeben.

[0031] In einem vierten Schritt **34** wird ein Vergleich der Entscheidungskennzahlen untereinander und mit einem Schwellwert vorgenommen und somit entschieden, ob eine Zündung vorgenommen wird und wenn ja, welche Kombination von Halbleiterstellern **6**, **7**, **8** angeschaltet wird. Wird eine Kombination von Halbleiterstellern **6**, **7**, **8** angeschaltet ermittelt, deren Zündung zu einem brauchbaren Drehmomentverlauf führt, so wird die entsprechende Ansteuerung der Thyristoren A1, A2, B1, B2, C1, C2 vorgenommen. Daraufhin wird zum ersten Schritt **31** zurückgekehrt.

[0032] Die Berechnung wird im vorliegenden Beispiel in zeitlichen Abständen von ca. 1 ms durchgeführt. Durch die ständige Neuberechnung auch im Verlauf des Stromflusses, der sich nach einer Zündung von zwei der drei Halbleitersteller **6**, **7**, **8** ergibt, kann auch eine nachträgliche Anschaltung des dritten der Halbleitersteller **6**, **7**, **8** erfolgen, wenn diese einen verbesserten Drehmomentverlauf erwarten lässt als das Belassen bei zwei angeschalteten Halbleiterstellern **6**, **7**, **8**. Dies ist beispielhaft beim siebten Zeitpunkt **257** der Fall. Zu diesem Zeitpunkt ermittelt die Steuereinrichtung **3**, dass eine Zuschaltung des verbleibenden Halbleiterstellers **6**, **7**, **8** vorteilhaft für die Beschleunigung der Synchronmaschine **1** ist. Die Zuschaltung wird daraufhin vorgenommen und es ergibt sich ein dreiphasiger Stromfluss für die verbleibende Zeit bis zum achten Zeitpunkt **258**.

[0033] Ist die Nenndrehzahl der Synchronmaschine **1** erreicht, so ist eine Überführung in einen netzsynchronen Betrieb sinnvoll. Hierzu wird im vorliegenden Beispiel ein zusätzlicher Referenzwert m_{ref} berechnet, der bei der Steuerung der Halbleitersteller **6** ... **8** berücksichtigt wird. Der Wert m_{ref} ist dabei die Summe aus Teilwerten m_{speed} und m_{pre}. m_{speed} wiederum berechnet sich aus dem relativen Abstand Δn der aktuellen Drehzahl n_{ist} von der Nenndrehzahl n_{synch} sowie Maschinenkonstanten. Zusätzlich wird m_{speed} Filterung bezüglich maximaler und minimaler Werte unterzogen.

$$m_{speed} = K_m \cdot \frac{\Delta n}{n_{synch}}$$

[0034] m_{pre} berechnet sich wie folgt:

$$m_{pre} = \left(1 - \frac{\Delta n}{n_{synch}}\right) \cdot \sin(\Delta \vartheta)$$

[0035] Auch m_{pre} wird noch mit Maschinenkonstanten verrechnet und enthält wiederum den relativen Abstand Δn der aktuellen Drehzahl n_{ist} von der Nenndrehzahl n_{synch}. Die Summe m_{ref} wird in der Steuereinrichtung **3** als Obergrenze für das zu erzeugenden Drehmoment gewertet. Ist der Wert m_{ref} beispielsweise kleiner als Null, soll keinerlei positives Drehmoment erzeugt werden. Da die Steuereinrichtung **3** negative Drehmomente ohnehin nicht erzeugt, findet bei negativem m_{ref} keinerlei Zündung der Thyristoren A1, A2, B1, B2, C1, C2 statt. Dadurch wird bei Drehzahlen oberhalb der Nenndrehzahl eine weitere Beschleunigung verhindert.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Synchronmaschine (**1**) mittels eines drei Halbleitersteller (**6**, **7**, **8**) umfassenden dreiphasigen Drehstromstellers (**4**), der an ein Drehstromnetz angeschlossen wird, mit folgenden Schritten:
– Bestimmung der Phasendifferenz zwischen Polradspannung der Synchronmaschine (**1**) und Netzspannung des Drehstromnetzes,
– Bestimmung der Drehzahl des Rotors der Synchronmaschine,
– Bestimmung der Phasenlage des Drehstromnetzes,
– Bestimmung wenigstens eines Teils der Statorströme (**21**, **22**, **23**) der Synchronmaschine (**1**),
– Vorausberechnung des Drehmomentverlaufs für die Synchronmaschine (**1**) für einen festlegbaren Zeitraum bei Anschaltung wenigstens zweier der Halbleitersteller (**6**, **7**, **8**) unter Berücksichtigung der bestimmten Werte für Phasendifferenz, Drehzahl, Statorstrom und Phasenlage,
– Bestimmung von einem Schaltzeitpunkt anhand der Vorausberechnung, wobei zu dem Schaltzeitpunkt die wenigstens zwei Halbleitersteller (**6**, **7**, **8**) angeschaltet werden.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem anhand der Vorausberechnung ermittelt wird, ob der gegenwärtige Zeitpunkt als Schaltzeitpunkt verwendet wird.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, bei dem aus der Vorausberechnung eine Entscheidungskennzahl bestimmt wird, und die Entscheidungskennzahl mit einem festlegbaren Schwellwert verglichen wird, um den Schaltzeitpunkt zu ermitteln.

4. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem ein maximal im Zeitraum auftretender Strom mitberechnet und berücksichtigt wird, der sich bei Anschaltung der wenigstens zwei Halbleitersteller (**6**, **7**, **8**) für die ermittelte Phasendifferenz, Phasenlage, Statorstrom (**21**, **22**, **23**) und Drehzahl ergibt.

5. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem eine Vorausberechnung der Drehmomentverläufe sowohl für die Anschaltung aller Halbleitersteller (**6**, **7**, **8**) als auch für die Anschaltung der drei Paare von je zwei Halbleiterstellern (**6**, **7**, **8**) durchgeführt wird.

6. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem anhand der Phasendifferenz und der Drehzahl ein maximaler Drehmomentwert bestimmt wird und der maximale Drehmomentwert so berücksichtigt wird, dass keine Anschaltung der Halbleitersteller (**6**, **7**, **8**) vorgenommen wird, wenn die Vorausberechnung ein zu erwartendes Drehmoment oberhalb des maximalen Drehmomentwerts ergibt.

7. Anordnung zum Betrieb einer Synchronmaschine (**1**), ausgestaltet zur Durchführung eines Verfahrens gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, mit
– einem dreiphasigen Drehstromsteller (**6**, **7**, **8**), der an ein Drehstromnetz anschließbar ist und drei Halbleitersteller (**6**, **7**, **8**) für die Phasen (A, B, C) des Drehstromnetzes umfasst,
– einer Einrichtung zur Bestimmung der Phasendifferenz zwischen Polradspannung der Synchronmaschine und Netzspannung des Drehstromnetzes,
– einer Einrichtung zur Bestimmung der Drehzahl des Rotors der Synchronmaschine,
– einer Einrichtung zur Bestimmung der Phasenlage des Drehstromnetzes,
– einer Einrichtung zur Bestimmung wenigstens eines Teils der Statorströme,
– einer Steuerungseinrichtung, ausgestaltet, aus den bestimmten Werten einen Drehmomentverlauf für die Synchronmaschine (**1**) für einen festlegbaren Zeitraum bei Anschaltung wenigstens eines Teils der Halbleitersteller (**6**, **7**, **8**) vorauszuberechnen und anhand der Vorausberechnung einen Schaltzeitpunkt zu ermitteln, zu dem die Halbleitersteller (**6**, **7**, **8**) angeschaltet werden.

8. Anordnung gemäß Anspruch 7, bei der die Halbleitersteller (**6**, **7**, **8**) Thyristoren (A1, A2, B1, B2, C1, C2) umfassen.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

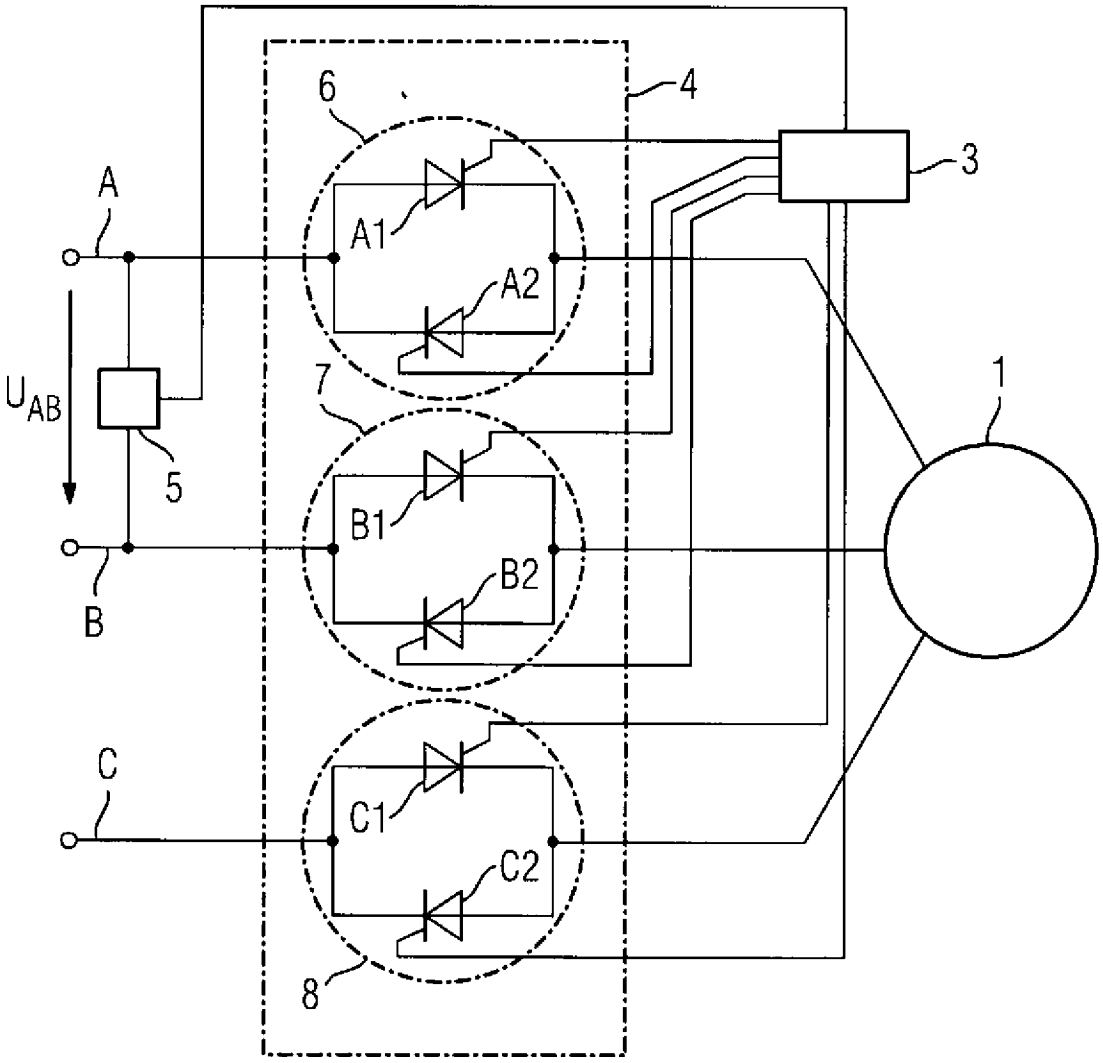


FIG 2

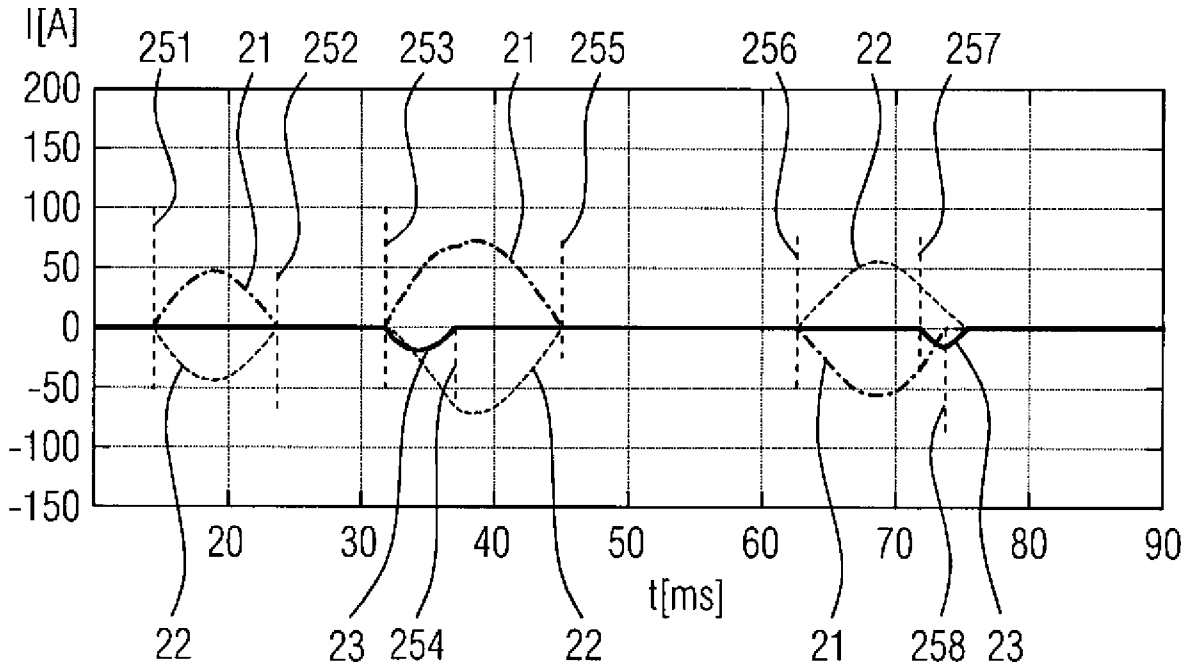

I[A]
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
251
21
252
253
21
255
256
22
257
20
30
40
50
60
70
80
90
t[ms]
22
23
254
22
21
258
23

FIG 3

