



(10) **DE 10 2012 201 097 A1** 2013.08.01

Offenlegungsschrift

(51) Int Cl.: **H02H 9/04** (2012.01)

B60R 16/03 (2012.01)

B60R 16/03 (2012.01)

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 40 16 573 C1

DE 44 32 520 C1

DE 10 2008 043 402 A1

US 2005 / 0 017 694 A1

US 2008 / 0 007 883 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Überspannungsschutzvorrichtung für einen elektrischen Antrieb**

Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft eine Überspannungsschutzvorrichtung für einen elektrischen Antrieb, insbesondere einen Antrieb für ein Kraftfahrzeug. Die Überspannungsschutzvorrichtung ist ausgebildet, mit einem Bordnetz eines Kraftfahrzeuges verbunden zu werden. Die Überspannungsschutzvorrichtung ist ausgebildet, eine in dem Bordnetz durch ein Abschalten eines Verbrauchers erzeugte Überspannung abzubauen.

[0002] Bei aus dem Stand der Technik bekannten Überspannungsschutzvorrichtungen in Kraftfahrzeugen wurde das Problem erkannt, dass diese Schutzvorrichtungen, beispielsweise gebildet durch Halbleiterbauelemente, selbst durch eine im Bordnetz auftretende Überspannung zerstört werden können. Mit der Zerstörung der Überspannungsschutzvorrichtung werden dann mit dem Bordnetz verbundene hinsichtlich einer Überspannung empfindliche Verbraucher zerstört.

Offenbarung der Erfindung

[0003] Erfindungsgemäß ist die Überspannungsschutzvorrichtung der eingangs genannten Art mit einer Steuereinheit für eine elektronisch kommutierte elektrische Maschine verbunden. Die Überspannungsschutzvorrichtung weist einen Eingang für eine Bordnetzspannung auf und ist ausgebildet, ein Überschreiten eines vorbestimmten Spannungswertes zu erfassen und in Abhängigkeit des Überschreitens des Spannungswertes ein Überspannungssignal zu erzeugen. Die Steuereinheit ist ausgebildet, die elektrische Maschine in Abhängigkeit des Überspannungssignals vom generatorischen Betrieb wenigstens teilweise in einen verlustbehafteten Betrieb oder in einen motorischen Betrieb zu überführen. So kann vorteilhaft in der elektrischen Maschine eine elektrische Leistung sehr schnell im verlustbehafteten Betrieb in Verlustwärme, oder im motorischen Betrieb in ein mechanisches Moment umgesetzt werden. Bevorzugt kann die elektrische Maschine nach einem Normalisieren der Bordnetzspannung wieder im generatorischen Betrieb, insbesondere im reinen generatorischen Betrieb, betrieben werden.

[0004] Die mittels der Überspannung in das Bordnetz eingespeiste elektrische Energie kann so vorteilhaft aus dem Bordnetz abgebaut werden.

[0005] In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Überspannungsschutzvorrichtung, im Folgenden auch Schutzvorrichtung genannt, wenigstens einen mit dem Eingang verbundenen Halbleiterschalterschalter auf. Der Halbleiterschalterschalter ist ausgebildet, in Abhängigkeit eines vorbestimmten Span-

nungswertes, von dem Eingang einen Strom über den Halbleiterschalterschalter zu einem Masseanschluss hin zu erzeugen und so – insbesondere mittels Abführen von elektrischen Ladungen – die Bordnetzspannung zu verringern.

[0006] Der Halbleiterschalterschalter ist beispielsweise durch wenigstens eine Zenerdiode, eine Reihenschaltung wenigstens einer Zenerdiode mit wenigstens einer Halbleiterdiode, durch eine TVS-Diode (TVS = Transient-Voltage-Suppression), wenigstens einen mittels einer Zenerdiode gesteuerten Feldeffekttransistor oder durch wenigstens einen Varistor gebildet. Eine Reaktionszeit des Halbleiterschalterschalters beträgt bevorzugt zwischen einer und zehn Nanosekunden.

[0007] In einer anderen Ausführungsform weist der Halbleiterschalterschalter einen Feldeffekttransistor auf, dessen Schaltstrecke ausgebildet ist, den Anschluss für die Bordnetzspannung mit einem Masseanschluss zu verbinden. Der Feldeffekttransistor ist steueranschlusseitig mit einem Spannungsregler mit einem Komparator verbunden, wobei der Spannungsregler neben einer den vorbestimmten Spannungswert repräsentierenden Sollwertspannung eine über der Schaltstrecke des Feldeffekttransistors abfallende Spannung als Eingangsregelgröße bezieht.

[0008] In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Steuereinheit ausgebildet, die elektrische Maschine zum Erzeugen eines magnetischen Drehfeldes anzu- steuern und in Abhängigkeit des Überspannungssignals einen Phasenwinkel einer Ansteuerung zu ändern und die elektrische Maschine so wenigstens teilweise im verlustbehafteten Betrieb und/oder im Motorbetrieb zu betreiben.

[0009] Dadurch kann vorteilhaft eine elektrische Energie im motorischen Betrieb verbraucht werden und so dem Bordnetz entzogen werden.

[0010] In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Steuereinheit ausgebildet, in Abhängigkeit des Überspannungssignals einen Phasenwinkel einer Ansteuerung, insbesondere eine Winkeldifferenz zwischen einem Rotorwinkel und einem von einem Stator der elektrischen Maschine erzeugten Drehfeld zu verringern. Bevorzugt ist die Steuereinheit ausgebildet, die Winkeldifferenz zwischen weniger als 90 Grad und 0 Grad einzustellen.

[0011] In dieser Ausführungsform kann mittels der Winkeldifferenz vorteilhaft eine Verlustleistung einer in der Leistungsstufe der Steuereinheit verbrauchten Leistung eingestellt werden. Bei einer Winkeldifferenz von 90 Grad wird die elektrische Maschine vollständig im generatorischen Betrieb betrieben. Bei einem Phasenwinkel von Null Grad wird die elektrische Maschine weder im generatorischen noch

im motorischen Betrieb betrieben. Die von der elektrischen Maschine verbrauchte elektrische Leistung wird als Verlustleistung in der elektrischen Maschine oder zusätzlich der Leistungsendstufe verbraucht.

[0012] Bevorzugt ist die Steuereinheit ausgebildet, in Abhängigkeit des Überspannungssignals eine Winkeldifferenz zwischen einem Rotorwinkel und einem von einem Stator der elektrischen Maschine erzeugten Drehfeld verschwinden zu lassen. In dieser Ausführungsform beträgt die vorab erwähnte Winkeldifferenz Null Grad. So kann vorteilhaft – auch während eines längeren Zeitintervalls – die elektrische Maschine als elektrischer Verbraucher genutzt werden, um die durch Überspannung in das Bordnetz eingebrachte elektrische Energie zu verbrauchen und die Bordnetzspannung so zu verringern.

[0013] Bevorzugt ist die Steuereinheit ausgebildet, in Abhängigkeit des Überspannungssignals eine Winkeldifferenz zwischen einem Rotorwinkel und einem von einem Stator der elektrischen Maschine erzeugten Drehfeld derart zu ändern, dass die elektrische Maschine vom Generatorbetrieb in den vollständigen Motorbetrieb überführt werden kann.

[0014] Die elektrische Maschine kann so – bevorzugt in einem vorbestimmten Zeitintervall – bis hin zum Absinken der Bordnetzspannung unter den vorbestimmten Spannungswert – mittels Erzeugen eines Drehmomentes die im Bordnetz überschüssige elektrische Energie verbrauchen.

[0015] In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Steuereinheit ausgebildet, die elektrische Maschine mittels eines Pulsweitenmodulators pulswertenmoduliert anzusteuern. Die Steuereinheit ist weiter bevorzugt ausgebildet, ein von dem Pulsweitenmodulator der Steuereinheit erzeugtes Ansteuermuster in Abhängigkeit des Überspannungssignals zu invertieren.

[0016] Durch das Invertieren, welches einer Spiegelung des mittels des Pulsweitenmodulators erzeugten Ansteuersignals an einer Zeitachse entspricht, kann die elektrische Maschine vorteilhaft sehr schnell, insbesondere ohne zusätzliche Rechenalgorithmen durchzuführen, den Phasenwinkel der Ansteuerung um 180 Grad versetzen. Befindet sich der Phasenwinkel zum Ansteuern der elektrischen Maschine vor einem Erzeugen des Überspannungssignals beispielsweise bei 90 Grad, sodass die elektrische Maschine sich vollständig im generatorischen Betrieb befindet, so wird die elektrische Maschine nach einem Erzeugen des Überspannungssignals in Abhängigkeit des Überspannungssignals vollständig in den motorischen Betrieb überführt. Die bloße Invertierung des pulswertenmodulierten Ansteuersignals erfordert vorteilhaft keinen aufwendigen Rechenalgorithmus.

[0017] Das invertierte pulswertenmodulierte Ansteuermuster kann so vorteilhaft mittels des Inverters, insbesondere mittels einer zum Invertieren des pulswertenmodulierten Ansteuermusters ausgebildeten Transistorschaltung, erzeugt werden. In einer anderen Ausführungsform ist die Steuereinheit ausgebildet, das invertierte Ansteuermuster – beispielsweise gesteuert durch einen Rechenalgorithmus – zu erzeugen.

[0018] Bevorzugt ist die Steuereinheit ausgebildet, in Abhängigkeit des Überspannungssignals einen Erregerstrom durch eine Erregerspule der elektrischen Maschine über einen mit der Erregerspule verbundenen Halbleiterbauelement, insbesondere einen Halbleiterschalter oder eine Diode, abzubauen. Durch den Kurzschluss oder das Umpolen der Erregerspule kann vorteilhaft der Erregerstrom reduziert werden, sodass mittels der so gebildeten Schnellentregung der elektrischen Maschine die Bordnetzspannung vorteilhaft abgesenkt werden kann.

[0019] Mittels der so gebildeten Schnellentregung der elektrischen Maschine kann vorteilhaft eine Stufe der Überspannungsschutzvorrichtung gebildet sein, welche – gesteuert durch das Überspannungssignal – nach der vorab beschriebenen Änderung des Phasenwinkels der Maschinenansteuerung wirken kann. So können vorteilhaft die mittels der Änderung des Phasenwinkels zum Verbrauchen von elektrischer Leistung geschalteten Komponenten der elektrischen Maschine, insbesondere die Leistungsendstufe oder die Statorspulen, nicht durch die in den Komponenten erzeugte Verlustwärme zerstört werden.

[0020] Weiter vorteilhaft kann der zuvor erwähnte Halbleiterschalterschalter nach Aktivierung der Schnellentregung nicht durch Überwärmung zerstört werden.

[0021] In einer bevorzugten Ausführungsform der Überspannungsschutzvorrichtung weist die Überspannungsschutzvorrichtung wenigstens einen Halbleiterschalterschalter auf. Bevorzugt kann der Halbleiterschalterschalter in einer mehrstufig ausgebildeten Überspannungsschutzvorrichtung in einer zeitlichen Reihenfolge eines mehrstufigen Eingreifens als erste Stufe des mehrstufigen Schutzes wirken. Während der Aktivierung des Halbleiterschalterschalters kann von der Schutzvorrichtung das Überspannungssignal erzeugt werden.

[0022] Weiter kann während des zeitlichen Überspannungsschutzverlaufes der Phasenwinkel der Maschinenansteuerung geändert werden. Nach dem Ändern des Phasenwinkels, beispielsweise der zuvor beschriebenen Phasenumkehr vom generatorischen in den motorischen Betrieb der elektrischen Maschine mittels Invertierung des pulswertenmodulierten Ansteuermusters kann weiter elektrische En-

ergie dem Bordnetz entzogen werden, sodass die zuvor erwähnten Halbleiterschutzscharter nicht mehr vollständig die elektrische Energie in Verlustwärme umsetzen müssen. Das Ändern des Phasenwinkels kann eine auf die erste Stufe folgende, insbesondere eine zweite oder dritte Stufe, eines vorab erwähnten mehrstufigen Eingreifens bilden.

[0023] In einer dritten Stufe des zeitlichen Schutzverlaufes kann dann die zuvor erwähnte Schnellentregung der elektrischen Maschine den weiteren Schutz übernehmen, sodass der wenigstens eine Halbleiterschutzscharter und die durch die Änderung des Phasenwinkels durch Verlustwärme erwärmten Komponenten der elektrischen Maschine und/oder der Steuereinheit nicht durch zu hohe Erwärmung zerstört werden können. Die Steuereinheit ist bevorzugt ausgebildet, die so gebildeten Stufen in Abhängigkeit des Überspannungssignals zu aktivieren, welche daraufhin zeitlich nacheinander zum Abbau der Überspannung eingreifen können.

[0024] Anders als in der zuvor erwähnten Ausführungsform, bei der die Steuereinheit ausgebildet ist, die Erregerspule der elektrischen Maschine kurzzuschließen, ist die Steuereinheit in der anderen Ausführungsform ausgebildet, in Abhängigkeit des Überspannungssignals die Erregerspule der elektrischen Maschine über einen mit der Erregerspule verbundenen Halbleiterschalter, insbesondere eine H-Brücke, auch Vollbrücke genannt, umzupolen.

[0025] Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Betreiben eines Überspannungsschutzes für ein Fahrzeugbordnetz mit einer elektrischen Maschine.

[0026] In einem Verfahrensschritt wird während eines generatorischen Betriebes der elektrischen Maschine ein Überschreiten eines vorbestimmten Spannungswertes einer Bordnetzspannung erfasst und ein das Überschreiten repräsentierendes Überspannungssignal erzeugt. Das Überschreiten der Bordnetzspannung wird beispielsweise durch einen Lastabwurf eines elektrischen Verbrauchers verursacht.

[0027] Weiter bevorzugt wird in Abhängigkeit des Überspannungssignals eine Schnellentregung eines Erregermagnetfeldes der elektrischen Maschine eingeleitet.

[0028] Bevorzugt wird in einem weiteren Schritt ein zeitliches Ansteigen der Bordnetzspannung erfasst und in Abhängigkeit des Spannungsanstieges ein Phasenwinkel einer Ansteuerung der elektrischen Maschine derart geändert, dass die elektrische Maschine vom generatorischen Betrieb wenigstens teilweise oder vollständig in den motorischen Betrieb überführt wird.

[0029] Weiter wird bei dem Verfahren bei Überschreiten eines vorbestimmten Spannungsschwellwertes der Bordnetzspannung ein Halbleiterschutzscharter aktiviert, welcher ausgebildet ist, in Abhängigkeit des Überschreitens des Spannungsschwellwertes einen Anschluss der Bordnetzspannung mit einem Masseanschluss niederohmig zu verbinden und so elektrische Energie aus dem Bordnetz abzubauen.

[0030] Der Halbleiterschutzscharter ist bevorzugt durch eine TVS-Diode oder einen mittels einer Zenerdiode gesteuerten Feldeffekttransistor gebildet.

[0031] Bevorzugt wird die elektrische Maschine durch ein Invertieren eines pulswidenmodulierten Ansteuermusters vom generatorischen in den motorischen Betrieb überführt.

[0032] Die Erfindung wird nun im Folgenden anhand von Figuren und weiteren Ausführungsbeispielen beschrieben. Weitere vorteilhafte Ausführungsvarianten ergeben sich aus den in den Figuren und den abhängigen Ansprüchen beschriebenen Merkmalen.

[0033] [Fig. 1](#) zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel für einen elektrischen Antrieb mit einer dreistufig ausgebildeten Überspannungsschutzvorrichtung;

[0034] [Fig. 2](#) zeigt ein mittels Pulsweitenmodulation erzeugtes Ansteuermuster zum Ansteuern einer mit einem Stator verbundenen Leistungsendstufe zum Erzeugen eines magnetischen Drehfeldes;

[0035] [Fig. 3](#) zeigt schematisch einen Verlauf eines mittels des in [Fig. 2](#) dargestellten Ansteuermusters erzeugten Magnetfeldvektors im generatorischen und im motorischen Betrieb;

[0036] [Fig. 4](#) zeigt einen Phasenwinkel einer Ansteuerung des in [Fig. 1](#) dargestellten Elektrischen Antriebs, wobei der Phasenwinkel vom generatorischen in einen neutralen Betrieb und von dort weiter bis hin zu einem motorischen Betrieb geändert wird;

[0037] [Fig. 5](#) zeigt ein Diagramm in dem zeitabhängige Spannungsverläufe einer Bordnetzspannung dargestellt sind, wobei die Spannungsverläufe jeweils zueinander verschiedenen Schutzgraden entsprechen, wobei ein Schutzgrad keinen Überspannungsschutz oder zwischen einer und drei Schutzstufen aufweist.

[0038] [Fig. 1](#) zeigt ein Ausführungsbeispiel für einen elektrischen Antrieb 1. Der elektrische Antrieb 1 umfasst eine elektrische Maschine mit einem Stator 3 und einem Rotor 5. Der Stator 3 weist in diesem Ausführungsbeispiel drei Statorspulen, nämlich eine Statorspule 7, eine Statorspule 8 und eine Statorspule 9 auf. Der Stator 3 kann in einer anderen Ausführungs-

form des Antriebs auch mehr als drei Statorspulen, beispielsweise fünf oder zehn Statorspulen aufweisen.

[0039] Der elektrische Antrieb **1** weist auch eine Leistungsstufe **10** und eine Überspannungsschutzvorrichtung **2** auf.

[0040] Der elektrische Antrieb **1** weist auch eine Verarbeitungseinheit **12** als Steuereinheit der elektrischen Maschine auf, welche ausgebildet ist, die Leistungsstufe **10** zum Bestromen der Statorspulen des Stators **3** und so zum Erzeugen eines magnetischen Drehfeldes anzusteuern. Dazu weist die Verarbeitungseinheit **12** einen Pulsweitenmodulator **13** auf. Der Pulsweitenmodulator **13** ist ausgebildet, Steuersignale zum Ansteuern von Steueranschlüssen von Halbleiterschaltern der Leistungsstufe **10** zu erzeugen und ausgangsseitig auszugeben. Die Verarbeitungseinheit **12** ist beispielsweise durch einen Mikroprozessor, einen Mikrocontroller, ein FPGA (FPGA = Field-Programmable-Gate-Array) oder ein ASIC (ASIC = Application-Specific-Integrated-Circuit) gebildet. Die Verarbeitungseinheit **12** ist ausgangsseitig über eine in diesem Ausführungsbeispiel mehrkanalige Verbindung **37** mit der Leistungsstufe **10** verbunden. Die Leistungsstufe **10** ist ausgangsseitig über eine mehrkanalige Verbindung **39** mit dem Stator, und dort mit den Statorspulen **7**, **8** und **9** verbunden. Die Statorspulen **7**, **8** und **9** können beispielsweise in einer Sternanordnung miteinander verbunden sein.

[0041] Die Verarbeitungseinheit **12** ist eingangsseitig mit einem Anschluss **25** für eine Bordnetzspannung verbunden. Die Verarbeitungseinheit **12** ist ausgebildet, in Abhängigkeit einer vom Anschluss **25** empfangenen Bordnetzspannung einen Phasenwinkel der Ansteuerung zum Erzeugen des magnetischen Drehfeldes in Abhängigkeit der Rotorposition des Rotors **5** zu ändern. Die Verarbeitungseinheit **12** kann beispielsweise dazu einen Analog-Digitalwandler aufweisen, welcher ausgebildet ist, die Bordnetzspannung in ein digitales Ausgangssignal zu wandeln. Die Verarbeitungseinheit **12** ist eingangsseitig auch über eine Verbindung **33** mit einem Halbleiterschaltzschalter **16** verbunden.

[0042] Der Halbleiterschaltzschalter **16** weist in diesem Ausführungsbeispiel einen Feldeffekttransistor **19** auf, dessen Steueranschluss mit einem Ausgang eines Spannungsteiles, gebildet aus einem Widerstand und wenigstens einer Diode, in diesem Ausführungsbeispiel einer Zenerdiode **20** und einer zusätzlichen Zenerdiode **20** in Reihe geschaltete Halbleiterdiode **21**, gebildet ist.

[0043] Der Sourceanschluss des Feldeffekttransistors **19** ist mit einem Masseanschluss **27** verbunden, der Drainanschluss des Feldeffekttransistor **19** ist mit

dem Anschluss **25** für die Bordnetzspannung verbunden. Der Feldeffekttransistor **19** ist ausgebildet, in Abhängigkeit einer vorbestimmten Spannung, insbesondere einem Spannungsschwellwert – gesteuert durch die Zenerdiode **20** und die Halbleiterdiode **21** – den Anschluss **25** mit dem Masseanschluss **27** niederohmig zu verbinden. So kann der Halbleiterschaltzschalter **16** wenigstens für eine kurze Zeit, solange der Feldeffekttransistor **19** nicht zu sehr erwärmt wird, eine durch Überspannung in das Bordnetz eingebrachte elektrische Energie durch Entladen abbauen und in Verlustwärme wandeln.

[0044] Die Halbleiterschaltzvorrichtung **16** weist in diesem Ausführungsbeispiel auch einen Komparator **18** auf. Der Komparator ist eingangsseitig über einen Spannungsteiler mit dem Anschluss **25** für die Bordnetzspannung und über einen weiteren Anschluss des Spannungsteilers mit dem Masseanschluss **27** verbunden. Der Komparator **18** ist ausgebildet, in Abhängigkeit eines vorbestimmten Spannungsschwellwertes ein Überspannungssignal **30** zu erzeugen und dieses ausgangsseitig auszugeben. Der Spannungsschwellwert zum Erzeugen des Überspannungssignals **30** ist in diesem Ausführungsbeispiel kleiner ausgebildet als der vorbestimmte Spannungswert, bei dessen Überschreiten durch die Bordnetzspannung der Feldeffekttransistor **19** – insbesondere im Linearbetrieb – niederohmig durchgeschaltet wird. Die passiven Halbleiterbauelemente des Halbleiterschaltzschalters **16** stellen in diesem Ausführungsbeispiel eine erste Stufe eines mehrere Stufen aufweisenden Schutzsystems dar. Die erste Stufe des Schutzsystems bestimmt in diesem Ausführungsbeispiel durch den Spannungsschwellwert des Komparators **18** die Aktivierung der zweiten und dritten Stufe. So kann mittels des Komparators **18** eine ansteigende Bordnetzspannung, welche beispielsweise mit einem Spannungsanstieg von beispielsweise 100 Volt pro Millisekunde aufweist, von dem Komparator **18** bei einem vorbestimmten Spannungsschwellwert, beispielsweise 60 Volt, das Überspannungssignal **30** erzeugt und ausgangsseitig ausgegeben werden.

[0045] Die Reaktionszeit – beispielsweise verursacht durch eine Filterzeit eines Digitalfilters der Verarbeitungseinheit – des Komparators beträgt beispielsweise fünf Mikrosekunden.

[0046] Die Verarbeitungseinheit **12** ist ausgebildet, als zweite Stufe des Überspannungsschutzes in Abhängigkeit des Überspannungssignals **30** eine Schnellentregung der elektrischen Maschine, insbesondere der Erregerspule **11** einzuleiten. Dazu ist die Verarbeitungseinheit **12** ausgangsseitig über eine Verbindungsleitung **35** mit einer Versorgungs- und Schnellentregungseinheit **14** der Erregerspule **11** verbunden. Die Versorgungs- und Schnellentregungseinheit **14** weist in diesem Ausführungsbeispiel eine Vollbrücke umfassend zwei steuerbar ausge-

bildete Halbleiterschalter **114** und **116** und zwei Dioden **110** und **112** auf. Die Erregerspule **11**, welche ausgangsseitig über eine Verbindungsleitung **36** mit der Versorgungs- und Schnellentregungseinheit **14** verbunden ist, ist in dem Schalt diagramm der Versorgungs- und Schnellentregungseinheit **14** gestrichelt als Erregerspule **11'** dargestellt. Im Normalbetrieb wird die Erregerspule **11** über die Halbleiterschalter **114** und **116**, in diesem Ausführungsbeispiel Feldeffekttransistoren, bestromt. Der Feldeffekttransistor **114** bildet einen Low-Side-Transistor, der während des Normalbetriebs dauerhaft durchgeschaltet sein kann, wobei der Transistor **116** einen High-Side-Transistor bildet, der von der Verarbeitungseinheit **12** und dort vom Pulsweitenmodulator **13** mit einem Pulsmuster angesteuert werden kann. In einer anderen Ausführungsform ist der High-Side-Transistor **116** dauerhaft durchgeschaltet, die Diode **110** wirkt dann als Freilaufdiode, wobei der Low-Side-Transistor gepulst angesteuert werden kann. Die Versorgungs- und Schnellentregungseinheit **14** ist ausgebildet, in Abhängigkeit eines eingangsseitig über die Verbindungsleitung **35** empfangenen Überspannungssignals die Halbleiterschalter, in diesem Ausführungsbeispiel Feldeffekttransistoren zu sperren, sodass der Stromfluss durch die Erregerspule **11** bei geöffneten Halbleiterschaltern **114** und **116** über die Dioden **110** und **112** und eine anliegende Bordnetzspannung schnell abgebaut werden kann.

[0047] Mit dem Anschluss **25** ist in diesem Ausführungsbeispiel auch ein Zwischenkreiskondensator **17** verbunden, dessen weiterer Anschluss mit dem Masseanschluss **27** verbunden ist. Der zuvor erwähnte Spannungsanstieg wird in diesem Ausführungsbeispiel auch durch den Zwischenkreiskondensator **17** durch eine weitere Ladungsaufnahme in den Zwischenkreiskondensator **17** begrenzt.

[0048] Die Verarbeitungseinheit **12** ist in diesem Ausführungsbeispiel ausgebildet, einen Spannungsanstieg der eingangsseitig empfangenen Bordnetzspannung zu erfassen und in Abhängigkeit des Spannungsanstiegs, insbesondere einer zeitlichen Änderung der Bordnetzspannung den Phasenwinkel der Ansteuerung der Leistungsendstufe **10** und somit auch des Stators **3** zu ändern. In diesem Ausführungsbeispiel ist die Verarbeitungseinheit **12** ausgebildet, in Abhängigkeit des Spannungsanstiegs das vom Pulsweitenmodulator **13** erzeugte Ansteuermuster zu invertieren. Dadurch wird die elektrische Maschine, insbesondere der Stator **3** und der Rotor **5** vom generatorischen in den motorischen Betrieb überführt. So kann vorteilhaft verhindert werden, dass der Halbleiterschalterschalter **16**, welcher ab dem bereits erwähnten vorbestimmten Spannungswert niederohmig leitend wird, durch die in diesem umgesetzte Verlustwärme zerstört werden kann.

[0049] Eine Filterung des Bordnetzspannungssignals und eine Auswertung bis hin zu einer Entscheidung zum Einleiten der Phasenumkehr, insbesondere durch Invertieren des Ansteuermusters, benötigt eine Rechenzeit, wobei die Verarbeitungseinheit **12** ausgebildet ist, die Phasenumkehr einzuleiten, bevor der Halbleiterschalterschalter **16** durch Erwärmung zerstört worden ist.

[0050] Ein zeitlicher Verlauf der Spannungsverläufe und die Wirkungsweise der Verarbeitungseinheit, des Halbleiterschalterschalters **16** und der Versorgungs- und Schnellentregungseinheit **14** sind im Folgenden in [Fig. 5](#) dargestellt.

[0051] [Fig. 2](#) zeigt ein Ansteuermuster zum Ansteuern der in [Fig. 1](#) bereits gezeigten Leistungsendstufe **10** zum Erzeugen eines magnetischen Drehfeldes durch den Stator **3** der elektrischen Maschine. Das Ansteuermuster ist in einem Diagramm dargestellt. Das Diagramm weist eine Zeitachse **40** und eine Amplitudenachse **41** auf. Dargestellt ist ein Ansteuersignal **43** für den generatorischen Betrieb der Statorspule **7**, ein Ansteuersignal **45** für den generatorischen Betrieb der Statorspule **8** und ein Ansteuersignal **47** für den generatorischen Betrieb der Statorspule **9**.

[0052] Dargestellt ist ein zu dem Ansteuersignal **43** inverses Ansteuersignal **42** für den motorischen Betrieb der Statorspule **7**, ein zu dem Ansteuersignal **45** inverses Ansteuersignal **44** für den motorischen Betrieb der Statorspule **8** und ein zu dem Ansteuersignal **47** inverses Ansteuersignal **46** für den motorischen Betrieb der Statorspule **9**. Das Invertieren der Ansteuersignale der Statorspule und Erzeugen von invertierten Ansteuersignalen benötigt beispielsweise eine Verarbeitungszeit von fünf Mikrosekunden. Damit ist die Invertierung des Phasenwinkels deutlich schneller als ein Errechnen von einem geänderten Phasenwinkel durch die Verarbeitungseinheit **12**. Das Errechnen des geänderten Phasenwinkel benötigt beispielsweise eine Verarbeitungszeit von einer Millisekunde.

[0053] Dargestellt sind Zeitintervalle **51**, **52**, **53**, **54**, **55** und **56**, welche jeweils aufeinanderfolgend aneinander anschließen. Zu einem Beginn eines jeden Zeitintervalls wird das Ansteuermuster, und damit der Bestromungszustand des Stators **3** geändert.

[0054] [Fig. 3](#) zeigt den in [Fig. 1](#) bereits dargestellten Rotor **5**. Dargestellt sind entlang eines Rotorumlafs des Rotors **5** auch Phasenwinkel U, V und W, wobei der Phasenwinkel U der Statorspule **7**, der Phasenwinkel V der Statorspule **8** und der Phasenwinkel W der Statorspule **9** entspricht.

[0055] Dargestellt sind auch Feldvektoren, welche jeweils einem in [Fig. 2](#) dargestellten Beschaltungs-

zustand des Stators entsprechen. Dargestellt ist ein Feldvektor **62** von einem Magnetfeld, welches während des Zeitintervalls **52** von dem Stator erzeugt wird. Dargestellt ist auch ein Feldvektor **63**, welcher dem Zeitintervall **53** entspricht, ein Feldvektor **65**, welcher dem Zeitintervall **55** entspricht und ein Feldvektor **66**, welcher dem Zeitintervall **56** entspricht. Die Feldvektoren **62**, **63**, **65** und **66** repräsentieren dabei einen Richtungsverlauf des von dem Stator erzeugten Magnetfeldes durch das in [Fig. 2](#) dargestellte Ansteuermuster. Dargestellt sind in [Fig. 3](#) Feldvektoren **72**, **73**, **75** und **76**, deren Magnetfeld jeweils im generatorischen Betrieb der elektrischen Maschine in [Fig. 1](#) erzeugt wurde.

[0056] Dargestellt sind auch Feldvektoren **62**, **63**, **65** und **66**, welche dabei beispielhaft dem motorischen Betrieb der elektrischen Maschine in [Fig. 1](#) entsprechen.

[0057] Die dem generatorischen Betrieb entsprechenden Ansteuersignale in [Fig. 2](#) sind die Signale **43**, **45** und **47**. Der Feldvektor **72** entspricht dem Feldverlauf in dem Zeitintervall **52**, der Feldvektor **73** dem Feldverlauf im Zeitintervall **53**, der Feldvektor **75** dem Feldverlauf im Zeitintervall **55** und der Feldvektor **76** dem Feldverlauf im Zeitintervall **56**. Die Richtung der Feldvektoren im generatorischen und im motorischen Betrieb sind im selben Zeitintervall zueinander entgegengesetzt gerichtet.

[0058] [Fig. 4](#) zeigt den in [Fig. 3](#) bereits dargestellten Rotor **5** zusammen mit den Rotorwinkeln U, V und W. Dargestellt ist ein Phasenwinkel **100** mittels eines Vektors, welcher zu einer Feldachse **106** des Erregerfeldes des Rotors **5** orthogonal verläuft. Die Feldachse **106** repräsentiert einen Rotorwinkel des Rotors **5**.

[0059] Der Phasenwinkel **100** verläuft in Drehrichtung des Rotors **5** 90 Grad zum Rotorfeld nacheilend, sodass die elektrische Maschine sich im reinen generatorischen Betrieb befindet. Dargestellt ist auch Phasenwinkel **102** einer Ansteuerung, bei welcher die Phasenwindeldifferenz zwischen dem Feld des Rotors **5** und dem Feld des Stators **3** verschwindet, das heißt null Grad beträgt. Die elektrische Maschine befindet sich vollständig im verlustbehafteten Betrieb. Die elektrische Maschine kann in diesem Betriebszustand keine mechanische Leistung aufnehmen oder abgeben, sodass mittels der elektrischen Maschine die aufgenommene elektrische Energie in Wärme umgesetzt werden kann.

[0060] Dargestellt ist auch ein Phasenwinkel **104**, welcher entgegengesetzt zum Phasenwinkel **100** verläuft. Die elektrische Maschine befindet sich im Falle einer Ansteuerung mit dem Phasenwinkel **104** im motorischen Betrieb. Das Statorfeld eilt im Falle

des Phasenwinkels **104** dem Rotorfeld um 90 Grad voraus.

[0061] Die Veränderung des Phasenwinkels vom generatorischen Betrieb, repräsentiert durch den Phasenwinkel **100** zum Phasenwinkel **102** kann beispielsweise durch die in [Fig. 1](#) dargestellte Verarbeitungseinheit **12** in einer Regelung in Abhängigkeit des von der Verarbeitungseinheit **12** erfassten Spannungsanstieges, insbesondere der Änderung der Spannung pro Zeit erfolgen. Beispielsweise kann die Verarbeitungseinheit **12** den Phasenwinkel der Ansteuerung – ausgehend vom generatorischen Betrieb – derart ändern, dass die Phasenwindeldifferenz mit größer werdendem Spannungsanstieg verkleinert wird. So wird mit der Vergrößerung des Spannungsanstiegs der generatorische Betrieb weiter zurückgenommen, bis hin zum Phasenwinkel **102**, bei dem kein generatorischer Betrieb mehr vorliegt und sich die elektrische Maschine nur noch im verlustbehafteten Betrieb befindet.

[0062] Die Verarbeitungseinheit **12** in [Fig. 1](#) kann dazu beispielsweise einen Diskriminator aufweisen, welcher ausgebildet ist, den Phasenwinkel in Abhängigkeit des Spannungsanstiegs einzustellen. Wird beispielsweise bei einem sehr steilen Spannungsanstieg eine weitere Energieaufnahme durch die elektrische Maschine von der Verarbeitungseinheit **12** bestimmt, so kann die Verarbeitungseinheit **12** den Phasenwinkel weiter in Richtung des Phasenwinkels **104**, bis hin zur Richtung des Phasenwinkels **104** verschieben. Somit kann in Abhängigkeit des Spannungsanstiegs der Bordnetzspannung der Anteil des motorischen Betriebs der elektrischen Maschine, und damit der Anteil einer Abgabe einer mechanischen Leistung durch die Verarbeitungseinheit **12** in [Fig. 1](#) bestimmt werden. Die Verarbeitungseinheit **12** kann die Änderung des Phasenwinkels beispielsweise bis hin zu einem Zeitpunkt durchführen, bei dem die Bordnetzspannung am Anschluss **25** einen vorbestimmten Spannungswert, beispielsweise 50 Volt unterschreitet. Hat die weiter abnehmende Bordnetzspannung beispielsweise ihren Normalwert, beispielsweise 48 Volt, wieder erreicht, so kann durch die Verarbeitungseinheit **12** das Überspannungssignal über die Verbindungsleitung **35** unterbrochen, insbesondere nicht mehr erzeugt werden, sodass die Schnellentregung durch die Versorgungs- und Schnellentregungseinheit **14** gestoppt wird und die Erregerspule **11** wieder im normalen Betrieb zur Felderzeugung weiter betrieben wird.

[0063] Der vorab beschriebene Abbau der Überspannung im Bordnetz benötigt auf diese Weise beispielsweise zwischen 60 und 100 Millisekunden, wodurch beispielsweise ein Betrieb eines Elektrofahrzeugs nicht gestört werden kann und das Elektrofahrzeug wegen der Trägheit aller bewegten Massen ruckfrei weiterfahren kann.

[0064] Fig. 5 zeigt ein Diagramm, in welchem Spannungsverläufe der Bordnetzspannung dargestellt sind, welche beispielsweise am Anschluss 25 in Fig. 1 von dem Halbleiterschuttschalter 16 und von der Verarbeitungseinheit 12 erfasst werden kann. Das Diagramm weist eine Zeitachse 80 und eine Amplitudenachse 81 für die Bordnetzspannung auf. Zu einem Zeitpunkt 90 findet in dem Bordnetz ein Lastabwurf, auch Load-Dump genannt, statt. Dargestellt ist ein Spannungsverlauf 82, welcher den Spannungsverlauf der Bordnetzspannung repräsentiert, wenn der elektrische Antrieb in Fig. 1 keinen Halbleiterschuttschalter 16 keine durch die Verarbeitungseinheit 12 erzeugte Phasenwinkeländerung und keine Schnellentregung durch die Versorgungs- und Schnellentregungseinheit 14 aufweist. Dargestellt ist auch ein Spannungswert 95, welche einen Schwellwert für eine Zerstörung von elektronischen Bauelementen, beispielsweise von elektronischen Bauelementen, welche mit dem Bordnetz verbunden und von diesem versorgt werden, repräsentiert. Die elektronischen Bauelemente können beispielsweise eine Servolenkung, ein Klimakompressor eine Wasserpumpe sein. Die in Fig. 1 dargestellte Verarbeitungseinheit 12, die Leistungsendstufe 10 und der Zwischenkreiskondensator 12 bilden ebenfalls ein Ausführungsbeispiel für ein elektronisches Bauelement, welches bei einer Betriebsspannung oberhalb des Spannungswertes 95 zerstört werden kann.

[0065] Dargestellt ist auch ein Spannungsverlauf 83, welcher einem elektrischen Antrieb mit einem Halbleiterschuttschalter umfassend wenigstens eine Zenerdiode oder einer Supressordiode, auch TVS-Diode genannt, repräsentiert. Die Zenerdioden beziehungsweise Supressordioden können die Bordnetzspannung noch bis zu einem Zeitpunkt von etwa 150 Mikrosekunden nach dem Zeitpunkt 90 unterhalb des Spannungswertes 95 konstant halten, wobei die Zenerdioden zum Zeitpunkt 93 zerstört werden. Die Bordnetzspannung steigt dann wieder an, in diesem Ausführungsbeispiel bis zu 200 Volt. Die zuvor erwähnten elektronischen Bauelemente werden dann auch zerstört.

[0066] Dargestellt ist auch ein Spannungsverlauf 84, welcher einem elektrischen Antrieb nach einem Lastabwurf zum Zeitpunkt 90 entspricht, wobei der elektrische Antrieb wenigstens einen Halbleiterschuttschalter mit Zenerdioden und einen Zwischenkreiskondensator aufweist. Der Zwischenkreiskondensator kann zwischen dem Zeitpunkt 93 und einem Zeitpunkt 94 noch Energie aufnehmen, so dass eine Anstiegsgeschwindigkeit der Bordnetzspannung und so eine Aktivierung des Halbleiterschuttschalters verzögert wird. Zum Zeitpunkt 94 werden dann die Zenerdioden und/oder Feldeffekttransistoren des Halbschalterschalters auch durch Erwärmung zerstört. Die Bordnetzspannung steigt im weiteren zeitlichen

Verlauf weiter bis auf 200 Volt an und fällt dann mit Entladung des Kondensators wieder ab.

[0067] Dargestellt ist auch ein Spannungsverlauf 85, welcher einem elektrischen Antrieb mit einem Halbleiterschuttschalter umfassend wenigstens eine Zenerdiode, mit einer Verarbeitungseinheit wie der Verarbeitungseinheit 12 in Fig. 1, welcher ausgebildet ist, eine Schnellentregung einzuleiten, wobei der Antrieb einen Zwischenkreiskondensator aufweist, entspricht. Die Schnellentregung wird beispielsweise 200 Mikrosekunden nach deren Aktivierung wirksam. Sichtbar ist, dass auch im Falle des Spannungsverlaufs 85 bei einem Zeitpunkt 94 die Feldeffekttransistoren des Halbleiterschuttschalters zerstört werden, was einen Spannungsanstieg der Bordnetzspannung bewirkt. Erst bei einem Zeitpunkt 96, etwa bei vier bis fünf Millisekunden nach dem Zeitpunkt 90 des Lastabwurfs, wird die Schnellentregung der elektrischen Maschine sichtbar wirksam, was sich in einem stärkeren Spannungsabfall im Vergleich zum Spannungsverlauf 84 zeigt.

[0068] Dargestellt ist auch ein Spannungsverlauf 86, welcher dem in Fig. 1 dargestellten elektrischen Antrieb mit der Überspannungsschutzvorrichtung 2 entspricht, welche im Falle des Spannungsverlaufes 86 keinen Halbleiterschuttschalter, insbesondere keinen Feldeffekttransistor 19, keine Zenerdiode 20 und keine Diode 21 aufweist. Der Halbleiterschuttschalter 16 weist im Falle der einen Spannungsverlauf repräsentierenden Kurve 86 nur den Komparator 18 auf, welcher in einem Zeitintervall 91 das Überspannungssignal 30 zum Einleiten eines Phaseneingriffs durch die Verarbeitungseinheit 12 erzeugt.

[0069] Sichtbar ist eine Spannungsspitze, repräsentiert durch den Transienten im Bereich des Zeitpunktes 89 des Spannungsverlaufes 86, welcher von parasitären Induktivitäten zwischen dem Zwischenkreiskondensator und dem Halbleiterschuttschalter in Abhängigkeit der sprunghaften Phasenumkehr vom generatorischen in den motorischen oder verlustbehafteten Betrieb erzeugt wird. Die Bordnetzspannung überschreitet nur kurzzeitig – beispielsweise während eines Zeitintervalls von einer Mikrosekunde – den Spannungswert 95, welcher eine Zerstörgrenze von elektronischen Bauelementen repräsentiert. Zum Zeitpunkt 200 Mikrosekunden unterschreitet der Spannungsverlauf wieder den Spannungswert 95 und fällt dann weiter ab, bis hin zu einem in diesem Diagramm nicht dargestellten Normalniveau, beispielsweise 48 Volt.

[0070] Dargestellt ist auch ein Spannungsverlauf 87, welcher durch die in Fig. 1 dargestellte Überspannungsschutzvorrichtung 2 des Antriebs 1 bewirkt wird.

[0071] Zum Zeitpunkt **90** findet der bereits erwähnte Lastabwurf eines elektrischen Verbrauchers, der mit dem Bordnetz verbunden ist, statt. Zum Zeitpunkt **88** wird von dem in **Fig. 1** dargestellten Komparator **18** des Halbleiterschutzeschalters **16** bei Überschreiten des vorbestimmten Spannungswertes **97** – in diesem Ausführungsbeispiel 60 Volt – das Überspannungssignal **30** erzeugt. Im Zeitintervall **91** wird eine zeitliche Spannungsänderung der Bordnetzspannung durch die Verarbeitungseinheit erfasst. Zum Zeitpunkt **89** wird durch die Verarbeitungseinheit **12** in Abhängigkeit des Spannungsanstieges die Phasenänderung des Phasenwinkels gestartet. In einer anderen Ausführungsform wird zum Zeitpunkt **89** ein Phasenkurzschluss der Phase gestartet.

[0072] Die zuvor beschriebene Spannungsspitze im Bereich des Zeitpunktes 100 Mikrosekunden des Spannungsverlaufes **86** wird durch die Halbleiterschutzelemente des Halbleiterschutzeschalters **16**, in diesem Ausführungsbeispiel durch den Feldeffekttransistor **19**, gesteuert durch die Zenerdiode **20** und die Halbleiterdiode **21**, beim Überschreiten eines vorbestimmten Spannungswertes **92** bewirkt. Der Spannungsverlauf der Bordnetzspannung überschreitet im weiteren Verlauf, beginnend vom Zeitpunkt **90** des Lastabwurfs an, die Zerstörgrenze der elektronischen Bauelemente, insbesondere den Spannungswert **95** nicht.

Patentansprüche

1. Überspannungsschutzvorrichtung (2) für einen elektrischen Antrieb, welche ausgebildet ist, mit einem Bordnetz eines Fahrzeuges verbunden zu werden und ausgebildet ist, eine in dem Bordnetz durch ein Abschalten eines Verbrauchers erzeugte Überspannung abzubauen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Überspannungsschutzvorrichtung (2) mit einer Steuereinheit (12) für eine elektronisch kommutierte elektrische Maschine (3, 5) verbunden ist und die Überspannungsschutzvorrichtung (2) einen Eingang (25) für eine Bordnetzspannung aufweist und ausgebildet ist, ein Überschreiten eines vorbestimmten Spannungswertes (97) zu erfassen und in Abhängigkeit des Spannungswertes (97) ein Überspannungssignal (30) zu erzeugen, wobei die Steuereinheit (12) ausgebildet ist, die elektrische Maschine (3, 5) vom generatorischen Betrieb (100) in einen wenigstens teilweise verlustbehafteten Betrieb (102) oder in einen motorischen Betrieb (104) zu überführen.

2. Überspannungsschutzvorrichtung (2) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Überspannungsschutzvorrichtung (2) wenigstens einen mit dem Eingang (25) verbundenen Halbleiterschutzeschalter (16) aufweist, welcher ausgebildet ist, in Abhängigkeit eines vorbestimmten Spannungswertes (97) von dem Eingang (25) einen Strom über

den Halbleiterschutzeschalter (16) zu einem Masseanschluss (27) hin zu erzeugen und so die Bordnetzspannung (81) zu verringern.

3. Überspannungsschutzvorrichtung (2) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (12) ausgebildet ist, die elektrische Maschine (3, 5) zum Erzeugen eines magnetischen Drehfeldes anzusteuern und in Abhängigkeit des Überspannungssignals (30) einen Phasenwinkel (100, 102, 104) einer Ansteuerung zu ändern, und die elektrische Maschine (3, 5) so wenigstens teilweise im verlustbehafteten Betrieb (102) und/oder im motorischen Betrieb (104) zu betreiben.

4. Überspannungsschutzvorrichtung (2) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (12) ausgebildet ist, in Abhängigkeit des Überspannungssignals (30) einen Phasenwinkel einer Ansteuerung, insbesondere eine Winkeldifferenz (100) zwischen einem Rotorwinkel (106) und einem von einem Stator (3) der elektrischen Maschine erzeugten Drehfeld zu verringern.

5. Überspannungsschutzvorrichtung (2) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (12) ausgebildet ist, in Abhängigkeit des Überspannungssignals (30) eine Winkeldifferenz (102) zwischen einem Rotorwinkel (106) und einem von einem Stator (3) der elektrischen Maschine erzeugten Drehfeld verschwinden zu lassen.

6. Überspannungsschutzvorrichtung (2) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (12) ausgebildet ist, in Abhängigkeit des Überspannungssignals eine Winkeldifferenz zwischen einem Rotorwinkel und einem von einem Stator der elektrischen Maschine erzeugten Drehfeld derart zu ändern, dass die elektrische Maschine vom Generatorbetrieb (100) in den vollständigen Motorbetrieb (104) überführt werden kann.

7. Überspannungsschutzvorrichtung (2) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (12) ausgebildet ist, die elektrische Maschine mittels des Pulsweitenmodulators (13) pulsweitenmoduliert anzusteuern und die Steuereinheit (12) ausgebildet ist, ein von einem Pulsweitenmodulator (13) der Steuereinheit (12) erzeugtes Ansteuermuster (43, 45, 47) in Abhängigkeit des Überspannungssignals zu invertieren (42, 44, 46).

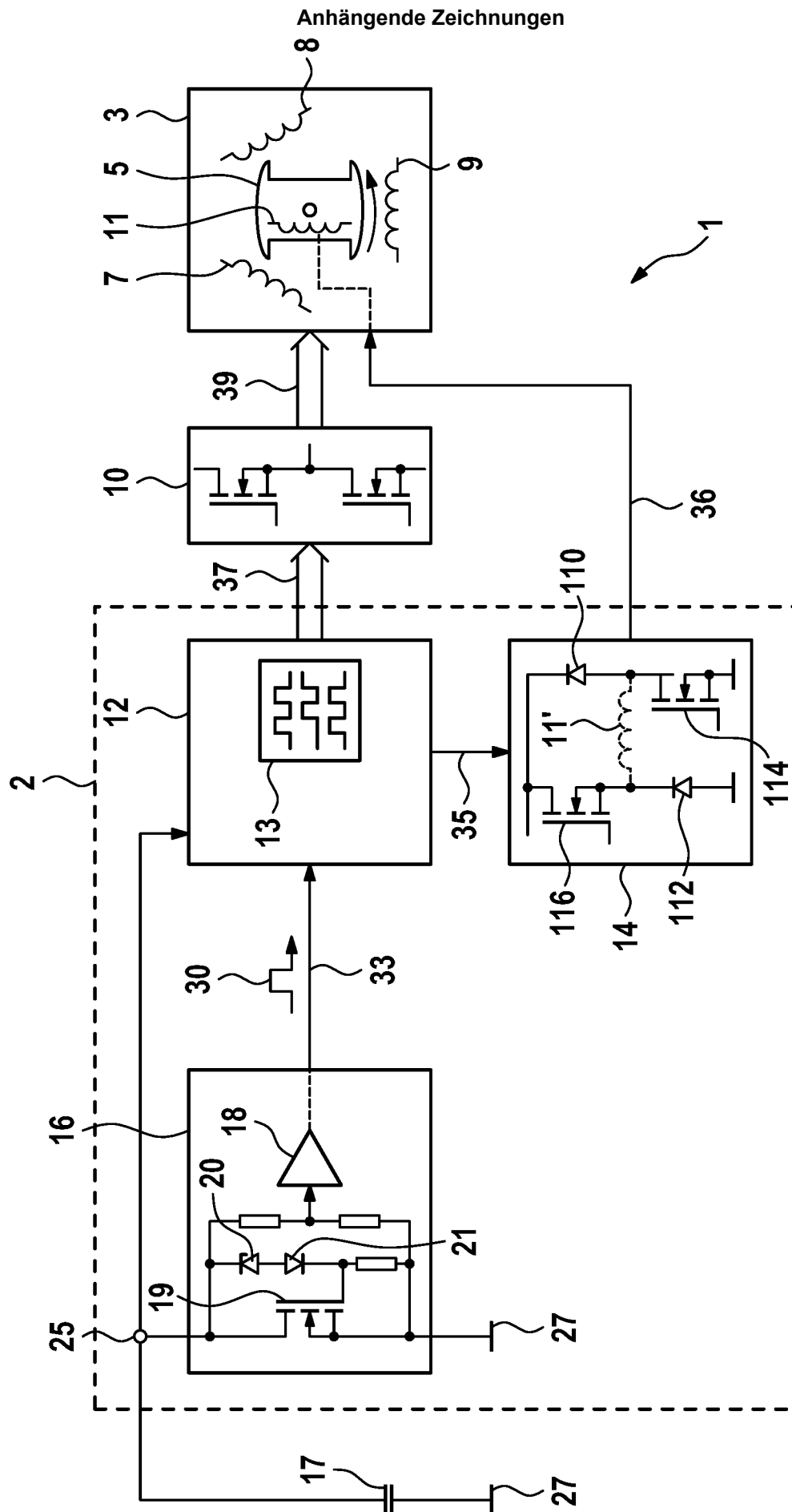
8. Überspannungsschutzvorrichtung (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (12) ausgebildet ist, in Abhängigkeit des Überspannungssignals (30) einen Erregerstrom durch eine Erregerspule (11) der elektrischen Maschine (3, 5) über einen mit der Erregerspule verbundenen Halbleiterbauelement abzubauen.

9. Überspannungsschutzvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (12) ausgebildet ist, in Abhängigkeit des Überspannungssignals (30) eine Erregerspule (11) der elektrischen Maschine (3, 5) über einen mit der Erregerspule (11) verbundenen Halbleiterschalter (14), insbesondere eine H-Brücke, umzupolen.

10. Verfahren zum Betreiben eines Überspannungsschutzes für ein Fahrzeugbordnetz mit einer elektrischen Maschine, bei dem in einem Verfahrensschritt während eines generatorischen Betriebes der elektrischen Maschine ein Überschreiten eines vorbestimmten Spannungswertes (97) einer Bordnetzspannung (81) erfasst und ein das Überschreiten repräsentierendes Überspannungssignal (30) erzeugt wird, wobei in Abhängigkeit des Überspannungssignals (30) eine Schnellentregung eines Erregermagnetfeldes der elektrischen Maschine eingeleitet wird, und in einem weiteren Schritt ein zeitliches Ansteigen der Bordnetzspannung (81) erfasst und in Abhängigkeit des Spannungsanstieges ein Phasenwinkel (100, 102, 104) einer Ansteuerung der elektrischen Maschine derart geändert wird, dass die elektrische Maschine durch ein Invertieren eines pulswertenmodulierten Ansteuermusters vom generatorischen Betrieb (100) in den motorischen Betrieb (104) überführt wird.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



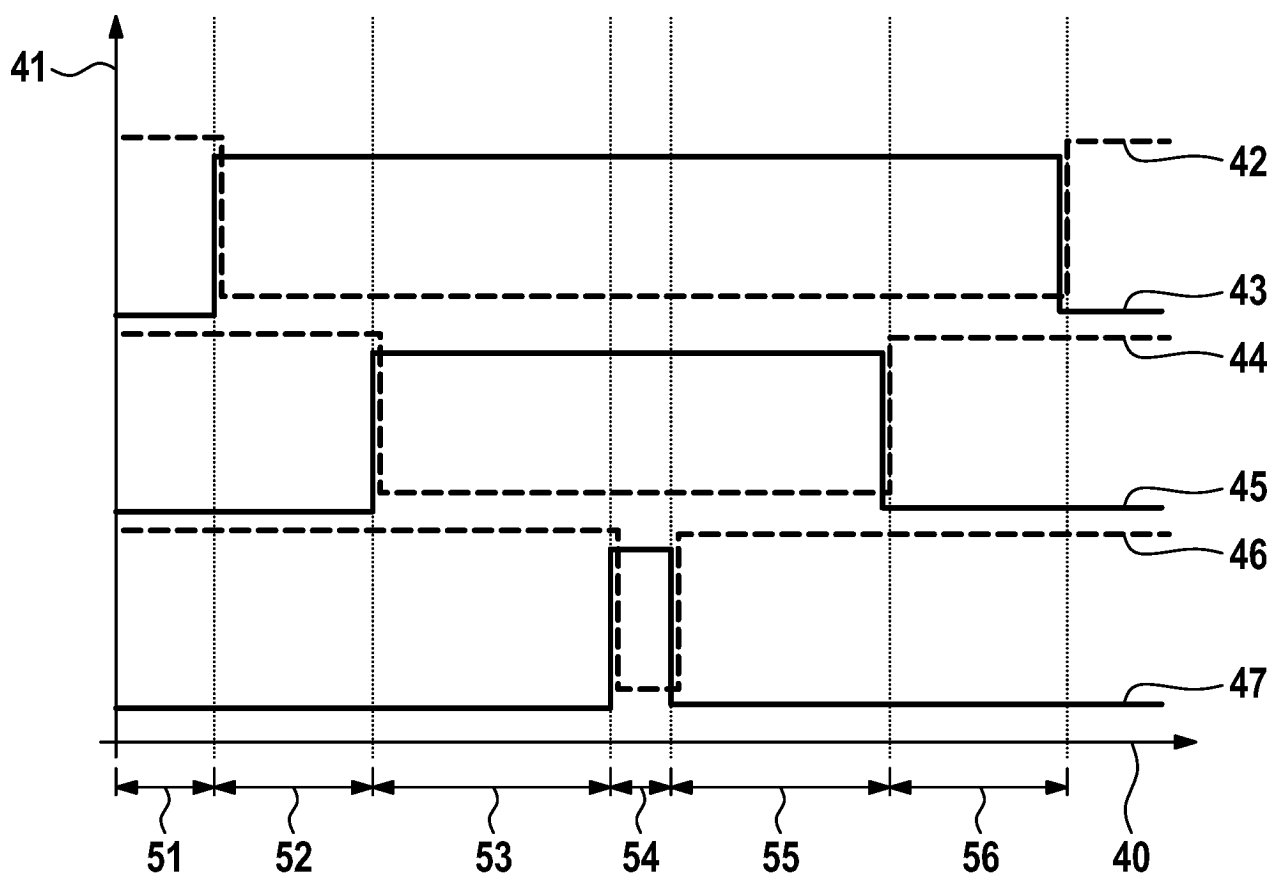


FIG. 2

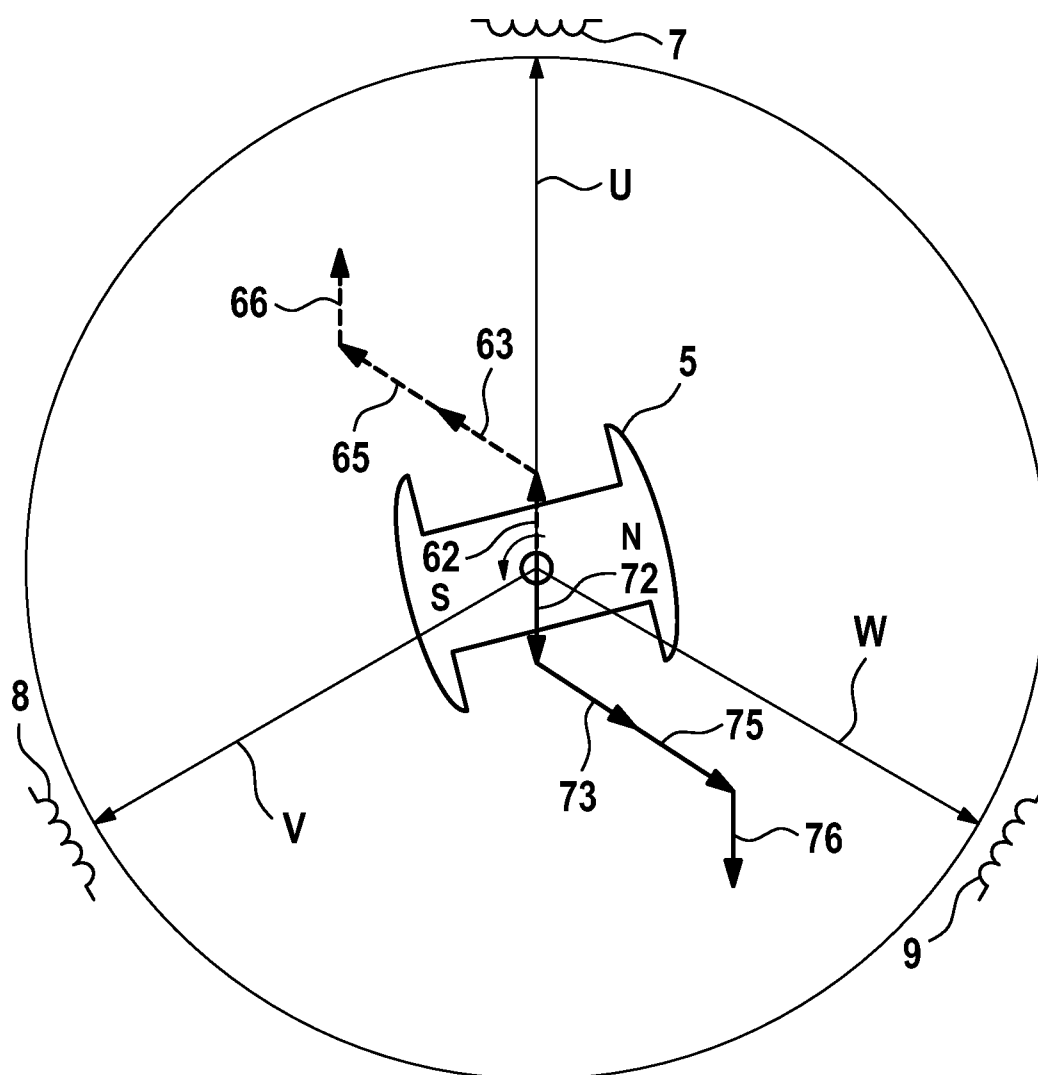


FIG. 3

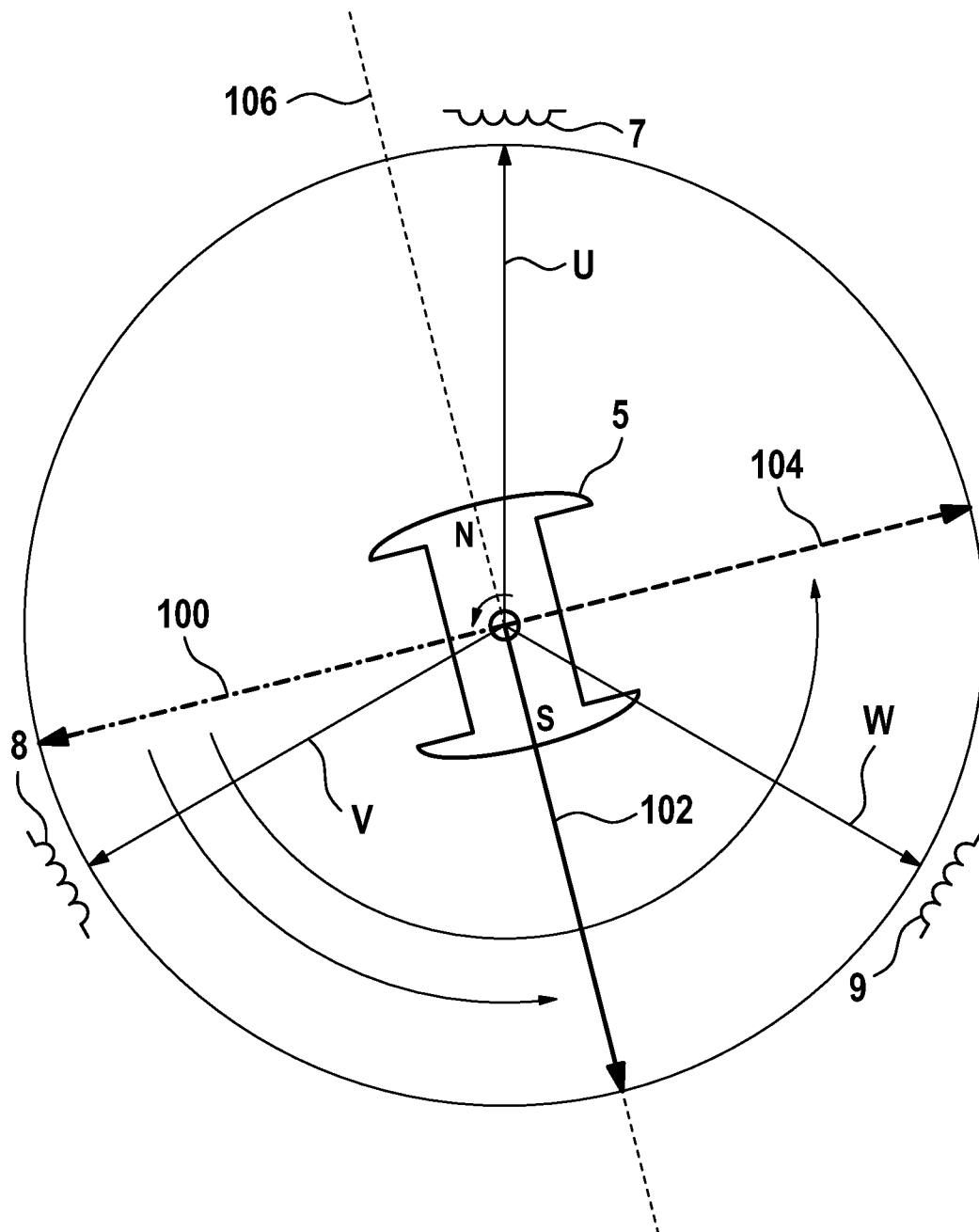


FIG. 4

