



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der  
 (87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2011/122105**  
 in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)  
 (21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2011 100 226.2**  
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2011/052400**  
 (86) PCT-Anmeldetag: **04.02.2011**  
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **06.10.2011**  
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
 in deutscher Übersetzung: **31.10.2012**

(51) Int Cl.: **H02P 21/00 (2012.01)**  
**H02P 27/04 (2012.01)**

(30) Unionspriorität:  
**2010-081515**                      **31.03.2010**    **JP**

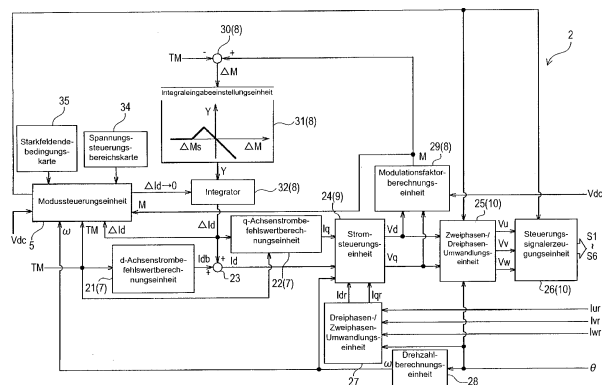
(74) Vertreter:  
**KRAMER - BARSKE - SCHMIDTCHEN, 80687, München, DE**

(71) Anmelder:  
**Aisin AW Co., Ltd., Anjo-shi, Aichi-ken, JP**

(72) Erfinder:  
**Saha, Subrata, Anjo-shi, Aichi, JP; HE, Peng, Anjo-shi, JP; Iwatsuki, Ken, Anjo-shi, Aichi, JP**

(54) Bezeichnung: **Steuerungsvorrichtung einer Motorantriebsvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Offenbart ist eine Steuerungsvorrichtung einer Motorantriebsvorrichtung, die in der Lage ist, eine Starkfeldsteuerung geeignet zu beenden, in einer Struktur, die die Starkfeldsteuerung und die Rechteckwellensteuerung durchführt, basierend auf einem Spannungsindex, beispielsweise einem Modulationsfaktor. Eine Spannungswellenformsteuerungseinheit 10 führt eine PWM-Steuerung durch, wenn ein Spannungsindex M, der die Größe der Spannungsbefehlswerte Vd und Vq bezüglich einer DC-Spannung Vdc angibt, kleiner ist als ein vorbestimmter Rechteckwellenschwellenwert, und führt die Rechteckwellensteuerung durch, wenn der Spannungsindex M gleich oder größer ist als ein Rechteckwellenschwellenwert. Eine Feldeinstellungseinheit 8 führt die Starkfeldsteuerung bei der Bedingung durch, dass der Spannungsindex M gleich oder größer ist als der vorbestimmte Starkfeldschwellenwert, der kleiner ist als der Rechteckwellenschwellenwert. Eine Modussteuerungseinheit 5 beendet die Starkfeldsteuerung, die von der Feldeinstellungseinheit 8 durchgeführt wird, bei der Bedingung, dass ein Feldeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  gleich oder größer ist als ein Einstellungsbefehlschwellenwert  $\Delta IdT$ , der basierend auf einem Zieldrehmoment TM und einem Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $RV/\omega$  bestimmt wird, in einer Richtung, in der der Feldfluss verstärkt wird.



**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Steuerungsvorrichtung, die eine Motorantriebssteuerung steuert, die eine DC/AC-Umwandlungseinheit enthält, die eine DC-Spannung in eine AC-Spannung umwandelt und die AC-Spannung an einen AC-Motor liefert.

## TECHNISCHER HINTERGRUND

**[0002]** Motorantriebsvorrichtungen werden allgemein verwendet, bei denen ein Wechselrichter eine DC-Spannung von einer DC-Leistungsversorgung in eine AC-Spannung umwandelt, um einen AC-Motor anzutreiben. In der Motorantriebsvorrichtung werden eine Maximumdrehmomentsteuerung und eine Sinuswellen-PWM(Pulsbreitenmodulation)-Steuerung basierend auf einer Vektorsteuerung im Allgemeinen durchgeführt, um eine sinuswellenförmige AC-Spannung an Spulen zu liefern, die jeder Phase in dem AC-Motor entsprechen, um effektiv das Drehmoment zu erzeugen. In dem Motor nimmt jedoch eine induzierte Spannung zu und eine AC-Spannung (im Folgenden bezeichnet als „notwendige Spannung“), die zum Antreiben des Motors erforderlich ist, nimmt ebenfalls zu, wenn die Drehzahl zunimmt. Wenn die notwendige Spannung größer als eine maximale AC-Spannung ist (im Folgenden als „maximale Ausgangsspannung“ bezeichnet), die von dem Wechselrichter ausgegeben werden kann, ist es schwierig, den notwendigen Strom an die Spule zu liefern und den Motor entsprechend zu steuern. Eine Schwachfeldsteuerung zum Schwächen des Feldflusses des Motors wird durchgeführt, um die induzierte Spannung zu reduzieren. Wenn die Schwachfeldsteuerung durchgeführt wird, ist es schwierig, die maximale Drehmomentsteuerung durchzuführen. Folglich wird das maximale Drehmoment, das ausgegeben werden kann, reduziert, und ebenso wird der Wirkungsgrad reduziert.

**[0003]** Um die oben genannten Probleme zu lösen, offenbart die folgende Patentliteratur 1 die Technik einer Steuerungsvorrichtung einer Motorantriebsvorrichtung, die der Reihe nach einen Steuerungsmodus von einer Sinuswellen-PWM-Steuerung zu einer Übermodulation-PWM-Steuerung und Rechteckwellensteuerung ändert, wenn die Drehzahl des Motors zunimmt und die induzierte Spannung zunimmt. Bei der Sinuswellen-PWM-Steuerung beträgt die obere Grenze eines Modulationsfaktors, der das Verhältnis des Effektivwerts einer Fundamentalwellenkomponente einer AC-Spannungswellenform zu einer DC-Leistungsversorgungsspannung (Systemspannung) angibt, gleich 0,61. Im Gegensatz dazu ist es möglich, den Modulationsfaktor bei der Übermodulations-PWM-Steuerung auf den Bereich von

0,61 bis 0,78 zu erhöhen, und der maximale Modulationsfaktor beträgt bei der Rechteckwellensteuerung 0,78. Die Steuerungsvorrichtung, die in der Patentliteratur 1 offenbart ist, führt folglich die Übermodulation-PWM-Steuerung oder die Rechteckwellensteuerung durch, um die Amplitude der Fundamentalwellenkomponente der AC-Spannungswellenform, die von dem AC-Motor geliefert wird, zu erhöhen (den Modulationsfaktor zu erhöhen), wodurch die DC-Spannung effektiv verwendet wird und die Drehzahlregion aufgeweitet wird, in der die maximale Drehmomentsteuerung durchgeführt werden kann, verglichen zu der Struktur, bei der nur die Sinuswellen-PWM-Steuerung durchgeführt wird. Wenn die notwendige Spannung des Motors kleiner ist als die maximale Ausgangsspannung, werden die Sinuswellen-PWM-Steuerung oder die Übermodulations-PWM-Steuerung und die Maximumdrehmomentsteuerung durchgeführt. Wenn die notwendige Spannung des Motors die maximale Ausgangsspannung erreicht, werden die Rechteckwellensteuerung und die Schwachfeldsteuerung durchgeführt.

**[0004]** Bei der Steuerungsvorrichtung, die in der Patentliteratur 1 offenbart ist, wird jedoch die PWM-Steuerung in dem Betriebsbereich durchgeführt, bei dem die Maximumdrehmomentsteuerung durchgeführt werden kann. Bei der PWM-Steuerung erhöht sich jedoch die Anzahl an Zeitpunkten, zu denen die Schaltbauteile des Wechselrichters ein- und ausgeschaltet werden. Als Ergebnis tritt leicht ein großer Schaltverlust auf. Um den Wirkungsgrad des Motors weiter zu verbessern, ist es effektiv, den Schaltverlust zu verhindern. Bei der Rechteckwellensteuerung ist es möglich, die Anzahl von Zeitpunkten, zu denen Schaltbauteile ein- oder ausgeschaltet werden, signifikant zu reduzieren, im Vergleich zu der PWM-Steuerung. Folglich ist es möglich, den Schaltverlust zu verhindern. Die folgende Patentliteratur 2 offenbart eine Technik, bei der ein Feldeinstellungsbefehlswert in einer Richtung bestimmt wird, in der der Feldfluss des AC-Motors verstärkt wird, selbst in dem Betriebsbereich, in dem die PWM-Steuerung durchgeführt werden kann, um den Modulationsfaktor zu maximieren, wodurch die Rechteckwellensteuerung (Ein-Puls-Antrieb) durchgeführt wird. Gemäß dieser Technik nimmt die Größe des Stroms, der durch den Motor fließt, zu. In diesem Fall erhöht sich der Verlust des Motors leicht, jedoch ist es möglich, den Schaltverlust des Wechselrichters zu reduzieren. Folglich ist es möglich, die Gesamteffizienz bzw. den Wirkungsgrad des Systems zu verbessern.

## Zitatliste

## Patentliteratur

**[0005]**

[PTL 1] JP-A-2006-311770

[PTL 2] JP-A-2008-079399

## OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

## Das durch die Erfindung zu lösende Problem

**[0006]** Während der Rechteckwellensteuerung wird jedoch der Modulationsfaktor auf den maximalen Wert gehalten. In der Struktur, bei der die Rechteckwellensteuerung und die PWM-Steuerung durch den Modulationsfaktor geschaltet werden, selbst wenn der Betriebszustand des AC-Motors geändert wird, ist es schwierig, die Rechteckwellensteuerung zu beenden. Selbst wenn die Drehzahl des AC-Motors reduziert wird, oder das Zieldrehmoment reduziert wird, ist folglich eine alleinige Erhöhung des Feldeinstellungsbefehls werts in der Richtung, in der der Feldfluss verstärkt wird, nicht ausreichend, um die Rechteckwellensteuerung zu beenden. Wenn der Feldeinstellungsbefehls wert zunimmt, wird die Effizienz reduziert, oder wenn die Rechteckwellensteuerung in dem Bereich durchgeführt wird, in dem die Drehzahl gering ist, tritt beispielsweise leicht eine Oszillation im Ausgangsdrehmoment des AC-Motors auf. Die Patentliteratur 2 offenbart jedoch keine Technik zum geeigneten Beenden der Rechteckwellensteuerung und der Starkfeldsteuerung in der Struktur, bei der die Rechteckwellensteuerung durchgeführt wird durch die Starkfeldsteuerung, die den Feldfluss verstärkt.

**[0007]** Folglich soll eine Steuerungsvorrichtung einer Motorantriebsvorrichtung geschaffen werden, die in der Lage ist, die Starkfeldsteuerung geeignet in der Struktur zu beenden, die die Starkfeldsteuerung und die Rechteckwellensteuerung basierend auf einem Spannungsindex durchführt, beispielsweise der Modulationsfaktor.

## Mittel zum Lösen des Problems

**[0008]** Um die Aufgabe zu lösen wird gemäß einem Aspekt der Erfindung eine Steuerungsvorrichtung bereitgestellt, die eine Motorantriebsvorrichtung steuert, die eine DC/AC-Umwandlungseinheit enthält, die eine DC-Spannung in eine AC-Spannung umwandelt und die AC-Spannung an einen AC-Motor liefert. Die Steuerungsvorrichtung enthält: Eine Strombefehlsbestimmungseinheit, die einen Basisstrombefehls wert bestimmt, der ein Befehls wert eines Stroms ist, der von der DC/AC-Umwandlungseinheit an den AC-Motor geliefert wird, basierend auf einem Zieldrehmoment des AC-Motors; eine Feldeinstellungseinheit, die einen Feldeinstellungsbefehls wert bestimmt, der ein Einstellungswert des Basisstrombefehls werts ist; eine Spannungsbefehlsbestimmungseinheit, die einen Spannungsbefehls wert bestimmt, der ein Befehls wert einer Spannung ist, die von der DC/AC-Umwandlungseinheit an den AC-Motor geliefert wird, basierend auf einem eingestellten Strombefehls wert, der erlangt wird durch Einstellen des Basisstrombefehls werts mit dem Feld-

einstellungsbefehls wert, und einer Drehzahl des AC-Motors; und eine Spannungswellenformsteuerungseinheit, die die DC/AC-Umwandlungseinheit basierend auf dem Spannungsbefehls wert steuert, um eine Spannungswellenformsteuerung durchzuführen, umfassend mindestens eine Pulsbreitenmodulationssteuerung und eine Rechteckwellensteuerung; und eine Modussteuerungseinheit, die die Feldeinstellungseinheit und die Spannungswellenformsteuerungseinheit steuert. Die Spannungswellenformsteuerungseinheit führt die Pulsbreitenmodulationssteuerung durch, wenn ein Spannungsindex, der die Größe des Spannungsbefehls werts in Bezug auf die DC-Spannung angibt, kleiner ist als ein vorbestimmter Rechteckwellenschwellenwert, und führt die Rechteckwellensteuerung durch, wenn der Spannungsindex gleich oder größer ist als der Rechteckwellenschwellenwert. Die Feldeinstellungseinheit ist konfiguriert zum Durchführen einer Feldsteuerung, umfassend mindestens die Starkfeldsteuerung, die den Feldeinstellungsbefehls wert derart bestimmt, dass der Basisstrombefehls wert eingestellt wird, um einen Feldfluss des AC-Motors zu verstärken, und eine Normalfeldsteuerung, die den Feldeinstellungsbefehls wert derart bestimmt, dass der Basisstrombefehls wert nicht eingestellt wird, und führt die Starkfeldsteuerung bei der Bedingung durch, dass der Spannungsindex gleich oder größer ist als ein vorbestimmter Starkfeldschwellenwert, der kleiner ist als der Rechteckwellenschwellenwert. Die Modussteuerungseinheit beendet die Starkfeldsteuerung, die durch die Feldeinstellungseinheit durchgeführt wird, bei der Bedingung, dass der Feldeinstellungsbefehls wert gleich oder größer ist als ein Einstellungsbefehls wert, der basierend auf dem Zieldrehmoment und einem Spannungs/Drehzahl-Verhältnis basiert, das die Beziehung der DC-Spannung zu der Drehzahl des AC-Motors angibt, in einer Richtung, in der der Feldfluss verstärkt ist.

**[0009]** Gemäß dieser Struktur wird die Starkfeldsteuerung durchgeführt basierend auf dem Spannungsindex, der die Größe des Spannungsbefehls werts bezüglich der DC-Spannung angibt. Wenn die Starkfeldsteuerung durchgeführt wird, nimmt der Spannungsindex zu, um die Spannungswellenformsteuerung in die Rechteckwellensteuerung zu ändern. Es ist folglich möglich, den Betriebsbereich aufzuweiten, in dem die Rechteckwellensteuerung des AC-Motors durchgeführt wird, und den Schaltverlust der DC/AC-Umwandlungseinheit zu reduzieren. Im Ergebnis ist es möglich, die Effizienz bzw. den Wirkungsgrad zu verbessern. In diesem Fall bestimmt darüber hinaus die Feldeinstellungseinheit geeignet den Feldeinstellungsbefehls wert, um die Intensität des Starkfelds zu ändern. In dieser Weise ist es möglich, ein Drehmoment, das dem Zieldrehmoment entspricht, an den AC-Motor geeignet auszugeben, ungeachtet der Drehzahl des AC-Motors. Gemäß dieser Struktur endet die Starkfeldsteuerung bei der Be-

dingung, dass der Feldeinstellungsbefehlswert gleich oder größer ist als der Einstellungsbefehlsschwellenwert, der auf der Basis des Zieldrehmoments und der Spannung/Drehzahl-Beziehung in der Richtung bestimmt wird, in der der Feldfluss verstärkt ist. Folglich ist es möglich, die Starkfeldsteuerung geeignet zu beenden, bevor der Wirkungsgrad reduziert wird aufgrund einer Zunahme des Feldeinstellungsbefehls-werts. Es ist also möglich geeignet die Starkfeldsteuerung zu beenden gemäß der Beziehung zwischen einer Zunahme des Verlusts des Motors aufgrund einer Zunahme des Feldeinstellungsbefehls-werts, und einer Reduktion der Schaltverluste aufgrund der Ausführung der Rechteckwellensteuerung. Folglich ist es möglich, eine Reduzierung des Gesamtwirkungsgrads des Systems, das den AC-Motor und die Motorantriebsvorrichtung enthält, zu verhindern. In diesem Fall ist es möglich, einen geeigneten Befehlsschwellenwert zu setzen, der dem Zieldrehmoment und dem Spannungs/Drehzahl-Verhältnis entspricht, indem der Einstellungsbefehlsschwellenwert verwendet wird, der basierend auf dem Zieldrehmoment und dem Spannungs/Geschwindigkeits-Verhältnis bestimmt wird.

**[0010]** In einem Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus, bei dem die Starkfeldsteuerung und die Rechteckwellensteuerung durchgeführt werden, wenn die Starkfeldsteuerung beendet wird, kann die Modussteuerungseinheit allmählich den Feldeinstellungsbefehlswert in eine Richtung ändern, in der die Größe der Einstellung des Feldflusses reduziert ist, um allmählich den Spannungsindex zu reduzieren, wodurch der Steuerungsmodus über einen Starkfeld/Pulsbreitenmodulations-Steuerungsmodus, bei dem die Starkfeldsteuerung und die Pulsbreitenmodulationsteuerung durchgeführt werden, in einen Normalfeld/Pulsbreitenmodulations-Steuerungsmodus geändert wird, bei dem die Normalfeldsteuerung und die Pulsbreitenmodulationssteuerung durchgeführt werden.

**[0011]** Gemäß dieser Struktur, wenn die Starkfeldsteuerung von dem Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus endet, wird der Steuerungsmodus über den Starkfeld/Pulsbreitenmodulations-Steuerungsmodus, in dem die Starkfeldsteuerung und die Pulsbreitenmodulationssteuerung durchgeführt werden, in den Normalfeld/Pulsbreitenmodulations-Steuerungsmodus geändert. Wenn die Starkfeldsteuerung endet, ist es folglich möglich, eine schnelle Änderung des Feldeinstellungsbefehls-werts und des Spannungsindex zu verhindern. Als Ergebnis ist es möglich, eine abrupte Änderung des Stroms, der durch die Spule des AC-Motors fließt, oder ein Überschwingen, und das Auftreten der Oszillation des Ausgangsdrehmoments des AC-Motors zu verhindern.

**[0012]** Wenn der Verlust des AC-Motors und der Motorantriebsvorrichtung in einem Normalfeld/Pulsbreitenmodulations-Steuerungsmodus, der die Normalfeldsteuerung und die Pulsbreitenmodulationssteuerung ausführt, ein normaler Verlust ist, und der Verlust des AC-Motors und der Motorantriebsvorrichtung in einem Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus, der die Starkfeldsteuerung und die Rechteckwellensteuerung durchführt, ein starker Feldverlust ist, ist die obere Grenze des Bereichs des Feldeinstellungsbefehls-werts, bei der der Starkfeldverlust kleiner ist als der normale Verlust in der Richtung, in der der Feldfluss verstärkt ist, der Einstellungsbefehlsschwellenwert.

**[0013]** Gemäß dieser Struktur ist es möglich, den Einstellungsbefehlsschwellenwert geeignet derart zu setzen, dass die Starkfeldsteuerung bei der Bedingung endet, dass der Feldeinstellungsbefehls-wert die obere Grenze des Bereichs ist, bei der der Starkfeldverlust kleiner ist als der normale Verlust, also der Bereich, in dem der Verlust in dem Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus kleiner ist als der in dem Normalfeld/Pulsbreitenmodulations-Steuerungsmodus, gemäß dem Starkfeldverlust und dem normalen Verlust, die in Abhängigkeit von dem Zieldrehmoment und dem Spannungs/Drehzahl-Verhältnis schwanken. In dieser Weise ist es möglich, die Starkfeldsteuerung zu beenden, wenn eine Reduzierung der Effizienz aufgrund einer Zunahme des Verlusts des Motors, der durch eine Erhöhung des Feldeinstellungsbefehls-werts verursacht wird, größer ist als eine Zunahme der Effizienz durch eine Reduzierung des Schaltverlusts aufgrund des Ausführens der Rechteckwellensteuerung. Folglich ist es möglich, die Wirkung des Verbesserns der Effizienz aufgrund einer Reduktion des Schaltverlusts zu maximieren, und den gesamten Wirkungsgrad des Systems, das den AC-Motor und die Motorantriebsvorrichtung enthält, zu verbessern.

**[0014]** Die Modussteuerungseinheit kann beides bestimmen, eine Bedingung, dass der Feldeinstellungsbefehls-wert gleich oder größer ist als der Einstellungsbefehlsschwellenwert, und eine Bedingung, dass die Drehzahl kleiner ist als ein vorbestimmter Drehzahlschwellenwert, und kann die Starkfeldsteuerung, wenn mindestens eine der Bedingungen erfüllt ist, beenden.

**[0015]** Gemäß dieser Struktur werden die Bedingung, dass der Feldeinstellungsbefehls-wert gleich oder größer ist als der Einstellungsbefehlsschwellenwert, und die Bedingung, dass die Drehzahl kleiner ist als der Drehzahlschwellenwert, bestimmt, und die Starkfeldsteuerung endet, wenn mindestens eine der Bedingungen erfüllt ist. Folglich ist es möglich, die Starkfeldsteuerung geeignet zu beenden, bevor die Drehzahl des AC-Motors auf weniger als eine Drehzahl reduziert wird, die geeignet ist zum Durchfüh-

ren der Rechteckwellensteuerung. Als Ergebnis ist es möglich, beispielsweise das Auftreten einer Oszillation des Ausgangsdrehmoments des AC-Motors zu verhindern, indem die Rechteckwellensteuerung in dem Bereich durchgeführt wird, in dem die Drehzahl gering ist.

**[0016]** Der Drehzahlschwellenwert kann basierend auf dem Zieldrehmoment und der DC-Spannung bestimmt werden. Gemäß dieser Struktur ist es möglich, einen geeigneten Drehzahlschwellenwert entsprechend dem Zieldrehmoment und der DC-Spannung zu setzen.

**[0017]** Die Drehzahl, bei der der Spannungsindex der Starkfeldschwellenwert während der Normalfeldsteuerung ist, kann als Drehzahlschwellenwert basierend auf dem Zieldrehmoment und der DC-Spannung gesetzt werden.

**[0018]** Gemäß dieser Struktur ist es möglich, den Drehzahlschwellenwert geeignet derart zu setzen, dass die Starkfeldsteuerung bei der Bedingung endet, dass der Spannungsindex im Wesentlichen kleiner ist als der Starkfeldschwellenwert, gemäß dem Spannungsindex, der in Abhängigkeit von dem Zieldrehmoment und der DC-Spannung schwankt, während der Normalfeldsteuerung. In dieser Weise ist es möglich, die Endbedingung der Starkfeldsteuerung derart zu setzen, dass sie identisch ist zu der Startbedingung der Starkfeldsteuerung. Darüber hinaus ist es möglich, die Endbedingung der Starkfeldsteuerung basierend auf der Drehzahl zu bestimmen, entsprechend dem Zieldrehmoment sowie der DC-Spannung. Folglich ist es möglich, einfach und geeignet die Starkfeldsteuerung zu beenden.

**[0019]** Die Modussteuerungseinheit kann die Feldeinstellungseinheit steuern, um die Starkfeldsteuerung nicht durchzuführen, wenn das Zieldrehmoment des AC-Motors jenseits eines vorbestimmten Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereichs ist.

**[0020]** In der Rechteckwellensteuerung erhöht sich leicht die Größe der harmonischen Komponenten, die andere sind als eine Fundamentalwellenkomponente, die in dem Strom enthalten sind, der durch die Spule fließt. Folglich ist es in einigen Fällen nicht geeignet, die Starkfeldsteuerung durchzuführen, um den Steuerungsmodus in den Rechteckwellensteuerungsmodus zu ändern, in Abhängigkeit von dem Zieldrehmoment des AC-Motors. Gemäß dieser Struktur, da der Drehmomentbereich, in dem die Starkfeldsteuerung erlaubt ist, begrenzt ist, ist es möglich, die Starkfeldsteuerung nur in dem Zustand durchzuführen, bei dem eine Änderung in die Rechteckwellensteuerung geeignet ist, und die Rechteckwellensteuerung geeignet durchzuführen.

**[0021]** Wenn die Starkfeldsteuerung beendet wird, kann die Modussteuerungseinheit die Feldeinstellungseinheit steuern, um den Feldeinstellungsbefehlswert von dem gegenwärtigen Wert mit konstanter Änderungsrate auf Null zu ändern.

**[0022]** Gemäß dieser Struktur, wenn die Starkfeldsteuerung endet, wird der Feldeinstellungsbefehlswert derart geändert, um auf Null mit konstanter Änderungsrate reduziert zu werden. Folglich ist es möglich, den Spannungsindex allmählich zu reduzieren. In dieser Weise, während der Spannungsindex allmählich von dem Rechteckwellenschwellenwert reduziert wird, ist es möglich, den Starkfeld/Pulsbreitenmodulations-Steuerungsmodus geeignet durchzuführen. Folglich ist es möglich, eine schnelle Änderung des Feldeinstellungsbefehlswerts und des Spannungsindex zu verhindern, wenn die Starkfeldsteuerung endet. Als Ergebnis ist es möglich, eine schnelle Änderung des Stroms zu verhindern, der durch die Spule des AC-Motors fließt, oder ein Überschwingen zu verhindern, sowie das Auftreten von Oszillation des Ausgangsdrehmoments des AC-Motors.

**[0023]** Die Spannungsbefehlsbestimmungseinheit kann eine Rückkopplungssteuerung bzw. Regelung für den eingestellten Strombefehlswert basierend auf dem tatsächlichen Stromwert durchführen, der der tatsächliche Wert des Stroms ist, der von der DC/AC-Umwandlungseinheit an den AC-Motor geliefert wird, wodurch der Spannungsbefehlswert bestimmt wird.

**[0024]** Gemäß dieser Struktur wird eine Stromrückführungssteuerung bzw. Stromregelung durchgeführt basierend auf der Abweichung zwischen dem tatsächlichen Stromwert, der beispielsweise durch einen Stromsensor detektiert wird, und dem Strombefehlswert, der mit dem Feldeinstellungsbefehlswert eingestellt ist, um geeignet den Spannungsbefehlswert zu bestimmen.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0025]** [Fig. 1](#) ist ein Schaltungsdiagramm, das die Struktur einer Motorantriebsvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

**[0026]** [Fig. 2](#) ist ein Funktionsblockdiagramm, das eine Steuerungsvorrichtung gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

**[0027]** [Fig. 3](#) ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Spannungssteuerungsbereichskarte gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

**[0028]** [Fig. 4](#) ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer d-Achsenbasisstrombefehlswertkarte gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

**[0029]** Fig. 5 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer q-Achsenstrombefehlswertkarte gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

**[0030]** Fig. 6 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Umwandlungskarte zeigt, die in der Integraleingabe-einstellungseinheit gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung verwendet wird.

**[0031]** Fig. 7 ist ein schematisches Diagramm, das ein Verfahren zum Berechnen eines Drehzahlschwellenwerts gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

**[0032]** Fig. 8 ist ein schematisches Diagramm, das ein Verfahren zum Berechnen eines Einstellungsbefehlsschwellenwerts gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

**[0033]** Fig. 9 ist ein Flussdiagramm, das den Betriebsfluss der Steuerungsvorrichtung gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

**[0034]** Fig. 10 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Änderung eines d-Achsenstrombefehlswerts und eines q-Achsenstrombefehlswerts aufgrund einer Änderung eines Zieldrehmoments und einer Drehzahl in der Steuerungsvorrichtung gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

#### BESTE AUSFÜHRUNGSFORMEN DER ERFINDUNG

**[0035]** Zuerst werden beispielhafte Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Wie in Fig. 1 gezeigt wird in diesem Ausführungsbeispiel als ein Beispiel ein Fall beschrieben, bei dem eine Motorantriebsvorrichtung 1 einen Synchronmotor 4 mit internem Dauermagneten (IPMSM: Im Folgenden einfach als „Motor 4“ bezeichnet), antreibt, der ein AC-Motor ist, der durch Dreiphasenwechselstrom betrieben wird. Der Motor 4 ist derart aufgebaut, dass er als Leistungsgenerator, falls notwendig, arbeitet. Der Motor 4 wird als eine Antriebsquelle verwendet für beispielsweise ein Elektrofahrzeug oder ein Hybridfahrzeug. Die Motorantriebsvorrichtung 1 enthält einen Wechselrichter 6, der eine DC-Spannung  $V_{dc}$  in eine AC-Spannung umwandelt und die AC-Spannung an den Motor 4 liefert. In diesem Ausführungsbeispiel, wie in Fig. 2 gezeigt, steuert eine Steuerungsvorrichtung 2 die Motorantriebsvorrichtung 1, um eine Stromrückführungssteuerung bzw. Regelung des Motors 4 durchzuführen, indem ein Vektorsteuerungsverfahren verwendet wird. In diesem Fall kann die Steuerungsvorrichtung 2 eine Pulsbreitenmodulations(im Folgenden als „PWM“-Steuerung durchführen und eine Rechteckwellensteuerung als Spannungswellenformsteuerung. Darüber hinaus kann die Steuerungsvorrichtung 2 als Feldeinstel-

lungssteuerung eine Normalfeldsteuerung durchführen, die nicht die Basisstrombefehlswerte  $I_{db}$  und  $I_{qb}$  einstellt, die basierend auf dem Zieldrehmoment  $T_M$  bestimmt werden, eine Schwachfeldsteuerung, die die Basisstrombefehlswerte  $I_{db}$  und  $I_{qb}$  derart einstellt, dass der Feldfluss des Motors 4 geschwächt wird, und eine Starkfeldsteuerung, die die Basisstrombefehlswerte  $I_{db}$  und  $I_{qb}$  derart einstellt, dass der Feldfluss des Motors 4 verstärkt wird. Die Steuerungsvorrichtung 2 ist dadurch gekennzeichnet, dass sie geeignet die Starkfeldsteuerung gemäß Betriebsbedingungen des Motors 4 beendet, bei einer Struktur, bei der die Starkfeldsteuerung und die Rechteckwellensteuerung basierend auf einem Modulationsfaktor  $M$ , der ein Spannungsindex ist, durchgeführt werden. Als nächstes werden die Motorantriebsvorrichtung 1 und die Steuerungsvorrichtung 2 der Motorantriebsvorrichtung 1 gemäß diesem Ausführungsbeispiel im Einzelnen beschrieben.

#### 1. Struktur der Motorantriebsvorrichtung

**[0036]** Zuerst wird die Struktur der Motorantriebsvorrichtung 1 gemäß diesem Ausführungsbeispiel unter Bezugnahme auf Fig. 1 beschrieben. Die Motorantriebsvorrichtung 1 enthält den Wechselrichter 6, der die DC-Spannung  $V_{dc}$  in eine AC-Spannung umwandelt, und die AC-Spannung an den Motor 4 liefert. Darüber hinaus enthält die Motorantriebsvorrichtung 1 eine DC-Leistungsversorgung 3, die die DC-Spannung  $V_{dc}$  erzeugt, und einen Glättungskondensator  $C_1$ , der die DC-Spannung  $V_{dc}$  von der DC-Leistungsversorgung 3 glättet. Beispielsweise können verschiedene Arten von Sekundärbatterien bzw. Akkus, wie beispielsweise ein Nickel-Hydrid-Akku, ein Lithiumionen-Akku, Kondensatoren, Kombinationen davon als DC-Leistungsversorgung 3 verwendet werden. Die DC-Spannung  $V_{dc}$ , die die Spannung der DC-Leistungsversorgung 3 ist, wird durch einen Spannungssensor 41 detektiert und an die Steuerungsvorrichtung 2 ausgegeben.

**[0037]** Der Wechselrichter 6 ist eine Vorrichtung zum Umwandeln der DC-Spannung  $V_{dc}$  in eine AC-Spannung und zum Liefern der AC-Spannung an den Motor 4, und entspricht einer DC/AC-Umwandlungseinheit gemäß der Erfindung. Der Wechselrichter 6 enthält eine Mehrzahl von Sätzen von Schaltbauteilen  $E_1$  bis  $E_6$  und Dioden  $D_1$  bis  $D_6$ . Der Wechselrichter 6 enthält ein Paar von Schaltbauteilen für jede Phase (drei Phasen, beispielsweise U-Phase, V-Phase und W-Phase) des Motors 4, speziell ein Paar von einem oberen Zweigbauteil  $E_1$  für eine U-Phase und einem unteren Zweigbauteil  $E_2$  für eine U-Phase, ein Paar von einem oberen Zweigbauteil  $E_3$  für eine V-Phase und einem unteren Zweigbauteil  $E_4$  für eine V-Phase, und ein Paar aus einem oberen Zweigbauteil  $E_5$  für eine W-Phase und einem unteren Zweigbauteil  $E_6$  für eine W-Phase. In diesem Beispiel werden IGBTs (Bipolartransistoren mit isoliertem Gate)

als Schaltbauteile E1 bis E6 verwendet. Die Emittter der oberen Zweigbauteile E1, E3 und E5 für jede Phase und die Kollektoren der unteren Zweigbauteile E2, E4 und E6 für jede Phase sind mit Spulen für jede Phase des Motors **4** verbunden. Die Kollektoren der oberen Zweigbauteile E1, E3 und E5 für jede Phase sind mit einer Systemspannungsleitung **51** verbunden, und die Emittter der unteren Zweigbauteile E2, E4 und E6 für jede Phase sind mit einer negativen Leitung **52** verbunden. Darüber hinaus sind Dioden D1 bis D6, die als Freilaufdioden dienen, parallel zu den Schaltbauteilen E1 bis E6 geschaltet. Verschiedene Arten von Leistungstransistoren, beispielsweise Bipolartransistoren, Feldeffekttransistoren und MOS-Transistoren, die andere sind als IGBTs, können als Schaltbauteile E1 bis E6 verwendet werden.

**[0038]** Die Schaltbauteile E1 bis E6 werden durch Schaltsteuerungssignale S1 bis S6 ein- oder ausgeschaltet, die von der Steuerungsvorrichtung **2** jeweils ausgegeben werden. In dieser Weise wandelt der Wechselrichter **6** die DC-Spannung  $V_{dc}$  in eine AC-Spannung und liefert die AC-Spannung an den Motor **4** derart, dass der Motor **4** ein Drehmoment ausgibt, das einem Zieldrehmoment  $T_M$  entspricht. In diesem Fall führt jedes der Schaltbauteile E1 bis E6 eine Schaltoperation entsprechend einer PWM-Steuerung oder einer Rechteckwellensteuerung durch, was nachfolgend beschrieben wird, in Antwort auf die Schaltsteuerungssignale S1 bis S6. In diesem Ausführungsbeispiel sind die Schaltsteuerungssignale S1 bis S6 Gateansteuersignale zum Antreiben bzw. Ansteuern der Gates der Schaltbauteile E1 bis E6. Wenn der Motor **4** als ein Leistungs-generator arbeitet, wandelt der Wechselrichter **6** die erzeugte AC-Spannung in eine DC-Spannung und liefert die DC-Spannung an die Systemspannungsleitung **51**. Ströme, die jeder entsprechen, fließen durch die Spulen für jede des Motors **4**, speziell ein U-Phasenstrom  $I_{ur}$ , ein V-Phasenstrom  $I_{vr}$  und ein W-Phasenstrom  $I_{wr}$  werden durch einen Stromsensor **42** detektiert und an die Steuerungsvorrichtung **2** ausgegeben.

**[0039]** Die Magnetpolposition  $\theta$  eines Rotors des Motors **4** wird zu jedem Zeitpunkt durch einen Drehsensor **43** detektiert und an die Steuerungsvorrichtung **2** ausgegeben. Der Drehsensor **43** ist beispielsweise ein Resolver oder Drehmelder. Die Magnetpolposition  $\theta$  gibt den Drehwinkel des Rotors als elektrischen Winkel an. Das Zieldrehmoment  $T_M$  des Motors **4** wird als Anforderungssignal von einer anderen Steuerungsvorrichtung (nicht gezeigt), beispielsweise einer Fahrzeugsteuerungsvorrichtung, in die Steuerungsvorrichtung **2** eingegeben. Das Zieldrehmoment  $T_M$  ist also ein Befehlswert (Drehmomentbefehlswert) des Ausgangsdrehmoments des Motors **4**.

## 2. Struktur der Steuerungsvorrichtung

**[0040]** Als nächstes wird die Struktur der in [Fig. 1](#) gezeigten Steuerungsvorrichtung **2** im Einzelnen unter Bezugnahme auf die [Fig. 2](#) bis [Fig. 7](#) beschrieben. In der folgenden Beschreibung ist jede funktionale Einheit der Steuerungsvorrichtung **2** durch Hardware oder/und Software (Programm) ausgebildet, um verschiedene Arten von Verarbeitungen für Eingangsdaten durchzuführen, indem eine Logikschaltung, beispielsweise ein Mikrocomputer, als ein Kernbauteil verwendet wird. Wie oben beschrieben werden das Zieldrehmoment  $T_M$  und die Magnetpolposition  $\theta$  in die Steuerungsvorrichtung **2** eingegeben. Darüber hinaus werden der U-Phasenstrom  $I_{ur}$ , der V-Phasenstrom  $I_{vr}$  und der W-Phasenstrom  $I_{wr}$  in die Steuerungsvorrichtung **2** eingegeben. Wie in [Fig. 2](#) gezeigt führt die Steuerungsvorrichtung **2** eine Stromrückführungssteuerung bzw. Regelung durch, indem ein Vektorsteuerungsverfahren verwendet wird, basierend auf dem Zieldrehmoment  $T_M$ , der Magnetpolposition  $\theta$ , der Drehzahl  $\omega$  des Motors **4**, die aus der Magnetpolposition  $\theta$  berechnet wird, und den drei Phasenströmen  $I_{ur}$ ,  $I_{vr}$  und  $I_{wr}$ , wodurch Spannungsbefehlswerte  $V_d$  und  $V_q$  bestimmt werden, die die Befehlswerte der Spannung sind, die an den Motor **4** angelegt wird. Die Steuerungsvorrichtung **2** erzeugt die Schaltsteuerungssignale S1 bis S6 zum Antreiben des Wechselrichters **6** basierend auf den Spannungsbefehlswerten  $V_d$  und  $V_q$  und gibt die erzeugten Spannungssteuerungssignale S1 bis S6 aus, um das Antreiben des Motors **4** durch den Wechselrichter **6** zu steuern.

### 2-1. Steuerungsmodus

**[0041]** In diesem Ausführungsbeispiel kann die Steuerungsvorrichtung **2** die PWM-Steuerung und die Rechteckwellensteuerung als Spannungswellenformsteuerung durchführen, die den Wechselrichter **6** basierend auf den Spannungsbefehlswerten  $V_d$  und  $V_q$  steuert. Darüber hinaus kann die Steuerungsvorrichtung **2** die Normalfeldsteuerung, Starkfeldsteuerung und Schwachfeldsteuerung als Feldsteuerung durchführen, die einen d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  bestimmt, der als ein Feldeinstellungsbefehlswert bezüglich der Basisstrombefehlswerte  $I_{db}$  und  $I_{qb}$  dient, wodurch der Feldfluss des Motors **4** eingestellt wird. Die Steuerungsvorrichtung **2** führt selektiv irgendeinen von einer Mehrzahl von Steuerungsmodi durch, indem die Spannungswellenformsteuerung und die Feldsteuerung kombiniert werden.

**[0042]** Bei der PWM-Steuerung wird das Ein- oder Ausschalten jedes der Schaltbauteile E1 bis E6 des Wechselrichters **6** basierend auf Dreiphasenwechselströmen  $V_u$ ,  $V_v$  und  $V_w$  gesteuert, die auf den Spannungsbefehlswerten  $V_d$  und  $V_q$  basieren (siehe [Fig. 2](#)). Speziell wird das Tastverhältnis jedes Impul-

ses derart gesteuert, dass PWM-Wellenformen, die U-, V- und W-Phasenspannungswellenformen sind, die von dem Wechselrichter **6** ausgegeben werden, als Impulse gesetzt werden, die eine Periode mit hohem Pegel haben, für die die oberen Zweigbauteile E1, E3 und E5 eingeschaltet sind, und eine Periode mit niedrigem Pegel, für die die unteren Zweigbauteile E2, E4 und E6 eingeschaltet sind, und eine Fundamentalwellenkomponente der PWM-Wellenform hat eine im Wesentlichen Sinuswellenform für eine vorbestimmte Periode. In diesem Ausführungsbeispiel enthält die PWM-Steuerung zwei Steuerungsverfahren, beispielsweise eine normale PWM-Steuerung und eine Übermodulations-PWM-Steuerung.

**[0043]** Die normale PWM-Steuerung ist eine PWM-Steuerung, bei der die Amplituden der AC-Spannungswellenformen  $V_u$ ,  $V_v$  und  $V_w$  kleiner sind als die einer Trägerwellenform. Die Sinuswellen-PWM-Steuerung ist ein repräsentatives Beispiel der normalen PWM-Steuerung. In diesem Ausführungsbeispiel wird eine Raumvektor-PWM-Steuerung (im Folgenden als „SVPWM-Steuerung“ bezeichnet) verwendet, die eine neutrale Vorspannung an die Fundamentalwelle jeder Phase in der Sinuswellen-PWM-Steuerung anlegt. In der SVPWM-Steuerung wird eine PWM-Wellenform direkt durch eine digitale Operation erzeugt, ohne einen Vergleich mit dem Träger. In diesem Fall sind die Amplituden der AC-Spannungswellenformen  $V_u$ ,  $V_v$  und  $V_w$  auch kleiner als die einer virtuellen Trägerwellenform. In der Erfindung wird angenommen, dass das Steuerungsverfahren, das die PWM-Wellenform ohne Verwendung eines Trägers erzeugt, auch in der normalen PWM-Steuerung oder der Übermodulations-PWM-Steuerung enthalten ist, da die Amplitude der PWM-Wellenform mit der der virtuellen Trägerform verglichen wird. Wenn das Verhältnis bzw. die Beziehung des Effektivwerts der Fundamentalwellenkomponente der Spannungswellenform, die von dem Wechselrichter **6** ausgegeben wird, bezüglich der DC-Spannung  $V_{dc}$  gleich einem Modulationsfaktor  $M$  ist (siehe Formel (4), die nachfolgend beschrieben wird), kann der Modulationsfaktor  $M$  in dem Bereich von „0 bis 0,707“ in der SVPWM-Steuerung, die als normale PWM-Steuerung dient, geändert werden.

**[0044]** Die Übermodulations-PWM-Steuerung ist eine PWM-Steuerung, bei der die Amplituden der AC-Spannungswellenformen  $V_u$ ,  $V_v$  und  $V_w$  größer sind als die der Trägerwellenform (Dreieckwelle). Bei der Übermodulations-PWM-Steuerung ist das Tastverhältnis jedes Pulses in einem Bergbereich der Fundamentalwellenkomponente jedes Pulses groß, und ist in dem Talbereich der Fundamentalwellenkomponente klein, verglichen zu der normalen PWM-Steuerung, wodurch die Wellenform der Fundamentalwellenkomponente der Spannungswellenform, die von dem Wechselrichter **6** ausgegeben wird, derart verzerrt wird, dass die Amplitude größer ist als die bei

der normalen PWM-Steuerung. In der Übermodulations-PWM-Steuerung kann der Modulationsfaktor  $M$  in dem Bereich von „0,707 bis 0,78“ geändert werden.

**[0045]** Die Rechteckwellensteuerung ist eine Dreh-synchronisationssteuerung, bei der die Schaltbauteile E1 bis E6 einmal für eine Periode des elektrischen Winkels des Motors **4** ein- und ausgeschaltet werden, und der Puls jeder Phase wird einmal für ein halbe Periode des elektrischen Winkels ausgegeben. Die Rechteckwellensteuerung wird also derart durchgeführt, dass U-, V- und W-Phasen Spannungswellenformen, die von dem Wechselrichter **6** ausgegeben werden, Rechteckwellen werden, in denen die Periode mit hohem Pegel und die Periode mit niedrigem Pegel abwechselnd auftreten für eine Periode, und das Verhältnis der Periode mit hohem Pegel zu der Periode mit niedrigem Pegel gleich 1:1 ist. In diesem Fall werden die Ausgangsspannungswellenformen für jede Phase mit einer Phasendifferenz von  $120^\circ$  zueinander ausgegeben. In dieser Weise wird in der Rechteckwellensteuerung eine Spannung mit einer Rechteckwellenform an den Wechselrichter **6** ausgegeben. In der Rechteckwellensteuerung ist der Modulationsfaktor  $M$  auf „0,78“ festgelegt, was einen maximalen Modulationsfaktor  $M_{max}$  darstellt. Wenn der Modulationsfaktor  $M$  den maximalen Modulationsfaktor  $M_{max}$  erreicht, wird also die Rechteckwellensteuerung durchgeführt. In diesem Ausführungsbeispiel wird folglich ein Rechteckwellenschwellenwert  $M_b$ , der der Schwellenwert des Modulationsfaktors  $M$  zur Durchführung der Rechteckwellensteuerung ist, auf den maximalen Modulationsfaktor  $M_{max}$  gesetzt.

**[0046]** Wie oben beschrieben enthält die Feldsteuerung gemäß diesem Ausführungsbeispiel die Normalfeldsteuerung, die Starkfeldsteuerung und die Schwachfeldsteuerung. Die Strombefehlsbestimmungseinheit **7** bestimmt Basisstrombefehlswerte  $I_{db}$  und  $I_{qb}$ , die die Befehlswerte des Stroms sind, der von dem Wechselrichter **6** an den Motor **4** geliefert wird, basierend auf dem Zieldrehmoment  $T_M$  des Motors **4**, wie nachfolgend beschrieben wird. Bei der Feldsteuerung wird der Feldfluss des Motors **4** durch einen Feldeinstellungsbefehlswert (d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$ ) eingestellt, um die bestimmten Basisstrombefehlswerte  $I_{db}$  und  $I_{qb}$  einzustellen. Speziell bestimmt die Strombefehlsbestimmungseinheit **7** den d-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{db}$  und q-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{qb}$  als die Basisstrombefehlswerte basierend auf dem Zieldrehmoment  $T_M$ . In einem Stromvektorsteuerungsverfahren wird die d-Achse auf die Flussrichtung des Felds gesetzt, und die q-Achse wird auf eine Richtung gesetzt, die um einen elektrischen Winkel von  $\pi/2$  zu der Richtung des Felds verläuft. Folglich ist es möglich, den Feldfluss des Motors **4** einzustellen durch ein geeignetes Bestimmen des d-Achsenstromeinstellungsbefehlswerts  $\Delta I_d$  zum Einstellen des d-Ach-



senbasisstrombefehlswert  $I_{db}$  als Feldeinstellungsbefehlswert.

**[0047]** Die Strombefehlsbestimmungseinheit **7** bestimmt die Basisstrombefehlswerte  $I_{db}$  und  $I_{qb}$  derart, dass die Maximumdrehmomentsteuerung durchgeführt wird, was nachfolgend beschrieben wird. Die Maximumdrehmomentsteuerung stellt die Phase des Stroms derart ein, dass das Ausgangsdrehmoment des Motors **4** für den gleichen Strom das Maximum ist. Bei der Maximumdrehmomentsteuerung ist es möglich, am Effektivsten das Drehmoment für den Strom, der durch die Ankerspule des Motors **4** fließt, zu erzeugen. Die Phase des Stroms ist eine Phase in Bezug auf die q-Achse des resultierenden Vektors des d-Achsenstrombefehlswertes und des q-Achsenstrombefehlswertes. Die Normalfeldsteuerung ist eine Feldsteuerung, bei der die Basisstrombefehlswerte  $I_{db}$  und  $I_{qb}$ , die durch die Strombefehlsbestimmungseinheit **7** bestimmt werden, nicht eingestellt werden. In der Normalfeldsteuerung ist also der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  auf Null gesetzt ( $\Delta I_d = 0$ ), derart, dass der d-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{db}$  nicht eingestellt wird. Folglich führt in diesem Ausführungsbeispiel die Steuerungsvorrichtung **2** die Maximumdrehmomentsteuerung durch, während die Normalfeldsteuerung durchgeführt wird. Mit anderen Worten, die Normalfeldsteuerung gemäß diesem Ausführungsbeispiel ist die Maximumdrehmomentsteuerung.

**[0048]** Die Starkfeldsteuerung ist eine Feldsteuerung, die die Basisstrombefehlswerte  $I_{db}$  und  $I_{qb}$  derart einstellt, dass der Feldfluss des Motors **4** stärker wird als bei der Normalfeldsteuerung (Maximumdrehmomentsteuerung). In der Starkfeldsteuerung wird also die Phase des Stroms derart eingestellt, dass der magnetische Fluss von der Ankerspule in eine Richtung erzeugt wird, in der der Feldfluss des Motors **4** verstärkt wird. In der Starkfeldsteuerung ist der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  derart gesetzt, dass die Phase des Stroms der in der Normalfeldsteuerung naheilt. In der Starkfeldsteuerung ist speziell der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  auf einen positiven Wert ( $\Delta I_d > 0$ ) gesetzt, so dass der d-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{db}$  in positiver Richtung geändert wird (zunimmt).

**[0049]** Die Schwachfeldsteuerung ist eine Feldsteuerung, die die Basisstrombefehlswerte  $I_{db}$  und  $I_{qb}$  derart einstellt, dass der Feldfluss des Motors **4** schwächer ist als bei der Normalfeldsteuerung (Maximumdrehmomentsteuerung). In der Schwachfeldsteuerung wird also die Phase des Stroms derart eingestellt, dass der Magnetfluss von der Ankerspule in eine Richtung erzeugt wird, in der der Feldfluss des Motors **4** geschwächt wird. In der Schwachfeldsteuerung ist der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  derart gesetzt, dass die Phase des Stroms der in der Normalfeldsteuerung vorausseilt. In der Schwach-

feldsteuerung ist speziell der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  auf einen negativen Wert ( $\Delta I_d < 0$ ) derart eingestellt, dass sich der d-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{db}$  in negativer Richtung ändert (abnimmt).

**[0050]** **Fig. 3** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Spannungssteuerungsbereichskarte **34** (siehe **Fig. 2**) verdeutlicht, die Bereiche definiert, in denen jeder Steuerungsmodus in dem betreibbaren Bereich des Motors **4** durchgeführt wird, der definiert ist durch die Drehzahl  $\omega$  und das Zieldrehmoment  $T_M$ . Wie in **Fig. 3** gezeigt ist in diesem Ausführungsbeispiel die Steuerungsvorrichtung **2** konfiguriert zum Durchführen eines Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus A1, der die Normalfeldsteuerung und die PWM-Steuerung durchführt, eines Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus A2, der die Starkfeldsteuerung und die PWM-Steuerung durchführt, eines Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A3, der die Starkfeldsteuerung und die Rechteckwellensteuerung durchführt, und eines Schwachfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A5, der die Schwachfeldsteuerung und die Rechteckwellensteuerung durchführt. Darüber hinaus ist die Steuerungsvorrichtung **2** konfiguriert zum Durchführen eines Schwachfeld/PWM-Steuerungsmodus A4, der die Schwachfeldsteuerung und die PWM-Steuerung durchführt, zwischen dem Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus A1 und dem Schwachfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A5, wenn der Steuerungsmodus sich ändert zu dem Schwachfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A5, ohne durch den Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus A2 und den Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A3 zu verlaufen. In der in **Fig. 3** gezeigten Karte ist ein Bereich F ein Starkfeldsteuerungsbereich, in dem die Starkfeldsteuerung durchgeführt wird. In dem Starkfeldsteuerungsbereich F wird im Wesentlichen der Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A3 durchgeführt. Wenn der Steuerungsmodus zwischen dem Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A3 und einem anderen Modus geändert wird, wird jedoch der Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus A2 durchgeführt.

**[0051]** Wie oben beschrieben werden als PWM-Steuerung in diesem Ausführungsbeispiel zwei Spannungsformensteuerungsverfahren durchgeführt, nämlich die normale PWM-Steuerung und die Übermodulations-PWM-Steuerung. Folglich enthält der Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus A1 einen Normalfeld/Normal-PWM-Steuerungsmodus A1a, der die Normalfeldsteuerung und die normale PWM-Steuerung durchführt, und einen Normalfeld/Übermodulations-PWM-Steuerungsmodus A1b, der die Normalfeldsteuerung und die Übermodulations-PWM-Steuerung durchführt. Der Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus A2 enthält einen Starkfeld/Übermodulations-PWM-Steuerungsmodus A2b, der die Starkfeldsteuerung und die Übermodulations-PWM-Steuerung durchführt. Der Schwachfeld/PWM-

Steuerungsmodus A4 enthält einen Schwachfeld/Übermodulations-PWM-Steuerungsmodus A4a, der die Schwachfeldsteuerung und die Übermodulations-PWM-Steuerung durchführt.

**[0052]** In dem Beispiel des in [Fig. 3](#) gezeigten Spannungssteuerungsbereichs sind die Kurven L1 bis L3 alle bestimmt durch die Drehzahl  $\omega$  und das Zieldrehmoment  $T_M$  des Motors **4**, wenn der Modulationsfaktor  $M$  einen gegebenen Wert während der Normalfeldsteuerung (Maximumdrehmomentsteuerung) hat. Die Kurve L1 wird gebildet, wenn der Modulationsfaktor  $M$  der maximale Modulationsfaktor  $M_{max}$  ( $= 0,78$ ) während der Normalfeldsteuerung ist. Die Kurve L2 wird gebildet, wenn der Modulationsfaktor  $M$  ein Übermodulationsschwellenwert  $M_o$  ( $= 0,707$ ) ist, der gesetzt ist auf den Grenzwert zwischen der normalen PWM-Steuerung und der Übermodulation-PWM-Steuerung, während der Normalfeldsteuerung. In diesem Ausführungsbeispiel ist ein Starkfeldschwellenwert  $M_s$ , der nachfolgend beschrieben wird, gesetzt, um gleich dem Übermodulationsschwellenwert  $M_o$  zu sein. Die Kurve L3 wird gebildet, wenn der Modulationsfaktor  $M$  einen Wert (beispielsweise  $0,76$ ) hat, der gesetzt ist zwischen dem Übermodulationsschwellenwert  $M_o$  und dem maximalen Modulationsfaktor  $M_{max}$  während der Normalfeldsteuerung.

**[0053]** Wenn die Drehzahl  $\omega$  des Motors **4** zunimmt, nimmt jedoch eine induzierte Spannung zu, und eine AC-Spannung (im Folgenden als „notwendige Spannung“ bezeichnet), die für das Antreiben des Motors **4** erforderlich ist, nimmt zu. Wenn die notwendige Spannung größer ist als eine maximale AC-Spannung (im Folgenden als „maximale Ausgangsspannung“ bezeichnet), die von der DC-Spannung  $V_{dc}$  umgewandelt und von einem Wechselrichter **6** ausgegeben werden kann, ist es schwierig, den notwendigen Strom durch die Spule fließen zu lassen, und folglich den Motor **4** geeignet zu steuern. In einem Bereich, der näher bei der Hochdrehseite ist, als die Kurve L1, wo der Modulationsfaktor  $M$ , der die notwendige Spannung des Motors **4** bezüglich der maximalen Ausgangsspannung basierend auf der DC-Spannung  $V_{dc}$  angibt, den maximalen Modulationsfaktor  $M_{max}$  erreicht, wird der Schwachfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A5 durchgeführt. Die notwendige Spannung und die maximale Ausgangsspannung können als Effektivwerte der AC-Spannung miteinander verglichen werden.

**[0054]** In diesem Ausführungsbeispiel, wenn der Modulationsfaktor  $M$  kleiner ist als der maximale Modulationsfaktor  $M_{max}$ , aber vorbestimmte Bedingungen erfüllt sind, wird der Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A3 durchgeführt, der die Starkfeldsteuerung und die Rechteckwellensteuerung durchführt. Wenn der Steuerungsmodus zwischen dem Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A3 und einem anderen Modus geändert wird,

wird zusätzlich der Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus A2 durchgeführt, um eine schnelle Änderung der eingestellten Strombefehlswerte  $I_d$  und  $I_q$  zu verhindern. In dieser Weise ist es möglich, eine schnelle Änderung des Stroms, der durch die Spule des Motors **4** fließt, oder ein Überspringen und die Oszillation des Ausgangsdrehmoments des Motors **4** zu verhindern. Wenn die Normalfeldsteuerung durchgeführt wird, ist es möglich, die Rechteckwellensteuerung durchzuführen, während ein Drehmoment, das dem Zieldrehmoment  $T_M$  entspricht, an den Motor **4** ausgegeben wird, indem die Starkfeldsteuerung durchgeführt wird, wobei der Modulationsfaktor  $M$  kleiner ist als der maximale Modulationsfaktor  $M_{max}$ .

**[0055]** Wie in [Fig. 3](#) gezeigt ist der Starkfeldsteuerungsbereich  $F$  in einen Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereich  $TMR$  gesetzt, der für das Zieldrehmoment  $T_M$  definiert ist. Der Starkfeldsteuerungsbereich  $F$  ist also auf einen Bereich eingestellt ( $M_s \leq M < M_{max}$ ), in dem der Modulationsfaktor  $M$  von dem Starkfeldschwellenwert  $M_s$  (der gleich dem Übermodulationsschwellenwert  $M_o$  ist; Kurve L2) bis zu dem maximalen Modulationsfaktor  $M_{max}$  (Kurve L1) reicht während der Normalfeldsteuerung in dem Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereich  $TMR$ . Wenn ein Arbeitspunkt, der durch die Drehzahl  $\omega$  und das Zieldrehmoment  $T_M$  des Motors **4** bestimmt wird, von dem Bereich des Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus A1 in den Starkfeldsteuerungsbereich  $F$  bewegt wird, führt die Steuerungsvorrichtung **2** eine Steuerung durch, um den Steuerungsmodus von dem Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus A1 in den Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A3 über den Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus A2 zu ändern. Wenn der Arbeitspunkt des Motors **4** dagegen von dem Starkfeldsteuerungsbereich  $F$  in den Bereich des Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus A1 bewegt wird, führt die Steuerungsvorrichtung **2** eine Steuerung durch, um den Steuerungsmodus von dem Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A3 zu dem Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus A1 über den Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus A2 zu ändern. Wenn der Arbeitspunkt des Motors **4** in dem Starkfeldsteuerungsbereich  $F$  bleibt, wird der Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A3 fortgesetzt durchgeführt. Wenn der Starkfeldsteuerungsbereich  $F$  in dieser Weise eingestellt wird, ist es möglich, den Bereich aufzuweiten, in dem die Rechteckwellensteuerung in dem betriebsbaren Bereich des Motors **4** durchgeführt wird, verglichen zu dem zugehörigen Stand der Technik, der nur den Schwachfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A5 enthält. In [Fig. 3](#) gibt eine gestrichelte Linie, die den Starkfeldsteuerungsbereich  $F$  partitioniert, ein Beispiel der Grenze zwischen dem Bereich an, in dem der Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus A2 durchgeführt wird, und dem Bereich, in dem der Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A3 durchgeführt wird, wenn die Drehzahl  $\omega$  oder das Zieldrehmoment

TM des Motors **4** mit einer vorbestimmten Geschwindigkeit geändert werden. Die Position der Grenze hängt von der Änderungsrate der Drehzahl  $\omega$  oder des Zieldrehmoments TM ab.

**[0056]** In einem Bereich, der näher bei der Niederdrehseite ist, als die Kurve L2, wird der Normalfeld/Normal-PWM-Steuerungsmodus A1a durchgeführt. In dem Bereich, der ein anderer ist als der Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereich TMR, in einem Bereich, der näher bei der Hochdrehseite ist, als die Kurve L2 und näher bei der Niederdrehseite als die Kurve L3, wird der Normalfeld/Übermodulations-PWM-Steuerungsmodus A1b durchgeführt. In dem Bereich, der ein anderer ist als der Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereich TMR, in einem Bereich, der näher bei der Hochdrehseite liegt, als die Kurve L3, und der näher bei der Niederdrehseite liegt, als die Kurve L1, wird der Schwachfeld/Übermodulations-PWM-Steuerungsmodus A4a (Schwachfeld/PWM-Steuerungsmodus A4) durchgeführt. Wenn der Steuerungsmodus schnell geändert wird von dem Normalfeld/Übermodulations-PWM-Steuerungsmodus A1b zu dem Zustand (Schwachfeld/Starkfeld-Steuerungsmodus A5), bei dem die Schwachfeldsteuerung und die Rechteckwellensteuerung durchgeführt werden, werden die eingestellten Strombefehlswerte Id und Iq schnell geändert. Der Schwachfeld/Übermodulations-PWM-Steuerungsmodus A4a wird jedoch durchgeführt, um die schnelle Änderung der eingestellten Strombefehlswerte Id und Iq zu verhindern.

## 2-2. Funktionale Einheiten der Steuerungsvorrichtung

**[0057]** Als nächstes wird jede funktionale Einheit der Steuerungsvorrichtung **2** unter Bezugnahme auf ein Funktionsblockdiagramm von **Fig. 2** beschrieben, das die Steuerungsvorrichtung **2** zeigt. Wie in **Fig. 2** gezeigt wird das Zieldrehmoment TM in eine d-Achsenstrombefehlswertberechnungseinheit **21** eingegeben. Die d-Achsenstrombefehlswertberechnungseinheit **21** berechnet den d-Achsenbasisstrombefehlswert Idb basierend auf dem eingegebenen Zieldrehmoment TM. Der d-Achsenbasisstrombefehlswert Idb entspricht dem Befehlswert eines d-Achsenstroms, wenn die Maximumdrehmomentsteuerung durchgeführt wird. In diesem Ausführungsbeispiel berechnet die d-Achsenstrombefehlswertberechnungseinheit **21** den d-Achsenbasisstrombefehlswert Idb entsprechend dem Wert des Zieldrehmoments TM, indem eine in **Fig. 4** gezeigte d-Achsenbasisstrombefehlswertkarte verwendet wird. In dem in **Fig. 4** gezeigten Beispiel, wenn der Wert von „TM1“ als Zieldrehmoment TM eingegeben wird, berechnet die d-Achsenstrombefehlswertberechnungseinheit **21** „Id1“ als den d-Achsenbasisstrombefehlswert Idb. In ähnlicher Weise, wenn die Werte „TM3“ und „TM5“ als Zieldrehmoment TM eingegeben werden, berechnet die d-Achsenstrom-

befehlswertberechnungseinheit **21** „Id3“ und „Id5“ als den d-Achsenbasisstrombefehlswert Idb. Der berechnete d-Achsenbasisstrombefehlswert Idb wird in einen Addierer **23** eingegeben. Der d-Achsenstrom-einstellungsbefehlswert  $\Delta Id$ , der durch einen Integrator **32** berechnet wird, der nachfolgend beschrieben wird, wird ebenfalls in den Addierer **23** eingegeben. Der Addierer **23** addiert den d-Achsenstrom-einstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  mit dem d-Achsenbasisstrombefehlswert Idb, um einen eingestellten d-Achsenstrombefehlswert Id zu berechnen, wie durch die folgende Gleichung (1) dargestellt:

$$Id = Idb + \Delta Id \quad (1)$$

**[0058]** Das Zieldrehmoment TM und der d-Achsenstrom-einstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  werden in die q-Achsenstrombefehlswertberechnungseinheit **22** eingegeben. Die q-Achsenstrombefehlswertberechnungseinheit **22** berechnet einen eingestellten q-Achsenstrombefehlswert Iq basierend auf dem eingegebenen Zieldrehmoment TM und dem d-Achsenstrom-einstellungsbefehlswert  $\Delta Id$ . In diesem Ausführungsbeispiel berechnet die q-Achsenstrombefehlswertberechnungseinheit **22** den eingestellten q-Achsenstrombefehlswert Iq entsprechend dem Zieldrehmoment TM und dem d-Achsenstrom-einstellungsbefehlswert  $\Delta Id$ , indem eine in **Fig. 5** gezeigte q-Achsenstrombefehlswertkarte verwendet wird. In **Fig. 5** ist die dünne durchgezogene Linie eine kongruente Drehmomentlinie **61**, die eine Kombination des d-Achsenstroms und des q-Achsenstroms angibt zur Ausgabe der Drehmomente TM1 bis TM5, und die dicke durchgezogene Linie ist eine Maximumdrehmomentsteuerungslinie **62**, die die Werte des d-Achsenstroms und des q-Achsenstroms angibt zum Durchführen der Maximumdrehmomentsteuerung. In **Fig. 5** ist die dicke gestrichelte Linie eine Spannungsbegrenzungsellipse **63**, die den Bereich eines Werts angibt, in dem der d-Achsenstrom und der q-Achsenstrom erlangt werden können, die durch die Drehzahl  $\omega$  und die DC-Spannung Vdc des Motors **4** begrenzt sind. Der Durchmesser der Spannungsbegrenzungsellipse **63** ist umgekehrt proportional zu der Drehzahl  $\omega$  des Motors **4** und ist proportional zu der DC-Spannung Vdc. Wenn der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert Id und der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert Iq auf der Spannungsbegrenzungsellipse **63** liegen, ist der Modulationsfaktor M gleich der maximale Modulationsfaktor Mmax (= 0,78). In diesem Fall steuert die Steuerungsvorrichtung **2** die Spannungswellenformsteuerungseinheit **10**, um die Rechteckwellensteuerung durchzuführen. In dem schraffierten Starkfeldsteuerungsbereich F in **Fig. 5** werden der Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus A2 und der Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A3 durchgeführt. Die obere Grenze des Starkfeldsteuerungsbereichs F ist definiert durch einen Schnittpunkt zwischen der Maximumdrehmomentsteuerungslinie **62** und der Spannungs-

begrenzungsellipse **63**. Die Starkfeldsteuerung startet, wenn der Modulationsfaktor  $M$  in der Normalfeldsteuerung gleich der Starkfeldschwellenwert  $M$  ist, und endet, wenn vorbestimmte Starkfeldendebedingungen erfüllt sind, wie nachfolgend beschrieben. Die untere Grenze des Starkfeldsteuerungsbereichs  $F$  ist folglich durch den Starkfeldschwellenwert  $M_s$  und die Starkfeldendebedingungen definiert.

**[0059]** In dem in [Fig. 5](#) gezeigten Beispiel, wenn der Wert von „TM1“ als Zieldrehmoment  $TM$  eingegeben wird, berechnet die q-Achsenstrombefehlswertberechnungseinheit **22** „Iq1“, was der Wert des q-Achsenstroms an einem Schnittpunkt zwischen der kongruenten Drehmomentlinie **61** des Zieldrehmoments  $TM = TM_1$  und der Maximumdrehmomentsteuerungslinie **62** ist, als den q-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{qb}$ . Der q-Achsenstrombefehlswert entspricht dem Befehlswert des q-Achsenstroms, wenn die Maximumdrehmomentsteuerung durchgeführt wird. In diesem Fall wird weder die Schwachfeldsteuerung noch die Starkfeldsteuerung durchgeführt, und der d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$ , der von dem Integrator **32** eingegeben wird, wie nachfolgend beschrieben, ist gleich Null ( $\Delta I_d = 0$ ). Folglich ist der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  gleich dem q-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{qb}$ . In diesem Fall führt die Steuerungsvorrichtung **2** den Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus  $A_1$  durch.

**[0060]** Wenn der Wert von „TM3“ als Zieldrehmoment  $TM$  eingegeben wird, berechnet die q-Achsenstrombefehlswertberechnungseinheit **22** „Iq3“, was der Wert des q-Achsenstroms ist an dem Schnittpunkt zwischen der kongruenten Drehmomentlinie **61** des Zieldrehmoments  $TM = TM_3$  und der Maximumdrehmomentsteuerungslinie **62**, als den q-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{qb}$ . Zu diesem Zeitpunkt, da der d-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{db}$  und der q-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{qb}$  innerhalb des Starkfeldsteuerungsbereichs  $F$  liegen, wird die Starkfeldsteuerung durchgeführt. In diesem Fall wird ein positiver Wert als d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  von dem Integrator **32** eingegeben, was nachfolgend beschrieben wird. In diesem Ausführungsbeispiel wird „ $\Delta I_d1$ “ ( $\Delta I_d1 > 0$ ) als d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  eingegeben. Folglich berechnet die q-Achsenstrombefehlswertberechnungseinheit **22** „Iq4“, was der Wert des q-Achsenstroms auf der Spannungsbegrenzungsellipse **63** ist, der verschoben ist um „ $\Delta I_d1$ “ in positiver Richtung der d-Achse entlang der kongruenten Drehmomentlinie **61** des Zieldrehmoments  $TM = TM_3$ , als den eingestellten q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$ . In diesem Fall führt die Steuerungsvorrichtung **2** den Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus  $A_3$  durch.

**[0061]** Wenn der Wert von „TM5“ als das Zieldrehmoment  $TM$  eingegeben wird, berechnet die q-Achsenstrombefehlswertberechnungseinheit **22** als

q-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{qb}$  „Iq5“, was der Wert des q-Achsenstroms bei einem Kreuzungspunkt zwischen der kongruenten Drehmomentlinie **61** des Zieldrehmoments  $TM = TM_5$  und der Maximumdrehmomentsteuerungslinie **62** ist. Zu diesem Zeitpunkt, da der d-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{db}$  und der q-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{qb}$  außerhalb der Spannungsbegrenzungsellipse **63** liegen, wird die Schwachfeldsteuerung durchgeführt. In diesem Fall wird ein negativer Wert als d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  von dem Integrator **32** eingegeben, wie nachfolgend beschrieben wird. In diesem Ausführungsbeispiel wird „ $-\Delta I_d2$ “ ( $-\Delta I_d2 < 0$ ) als d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  eingegeben. Folglich berechnet die q-Achsenstrombefehlswertberechnungseinheit **22** als eingestellten q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  „Iq6“, was der Wert des q-Achsenstroms auf der Spannungsbegrenzungsellipse **63** ist, der um „ $-\Delta I_d2$ “ in negativer Richtung der d-Achse entlang der kongruenten Drehmomentlinie **61** des Zieldrehmoments  $TM = TM_5$  verschoben ist. In diesem Fall führt die Steuerungsvorrichtung **2** den Schwachfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus  $A_5$  durch.

**[0062]** Die Werte ( $I_{d1}$ ,  $I_{d3}$  und  $I_{d5}$ ) des d-Achsenstroms, die den q-Achsenbasisstrombefehlswerten  $I_{qb}$  ( $I_{q1}$ ,  $I_{q3}$  und  $I_{q5}$ ) entsprechen, die unter Verwendung der in [Fig. 5](#) gezeigten q-Achsenstrombefehlswertkarte berechnet werden, sind gleich den d-Achsenstrombefehlswerten  $I_{db}$ , die berechnet werden unter Verwendung der in [Fig. 4](#) gezeigten d-Achsenbasisstrombefehlswertkarte. Der d-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{db}$  kann folglich durch die in [Fig. 5](#) gezeigte Karte berechnet werden. In diesem Ausführungsbeispiel bilden die d-Achsenstrombefehlswertberechnungseinheit **21** und die q-Achsenstrombefehlswertberechnungseinheit **22**, die den d-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{db}$  und den q-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{qb}$  basierend auf dem Zieldrehmoment  $TM$  des Motors **4** bestimmen, die Strombestimmungseinheit **7** gemäß der Erfindung. Der d-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{db}$  und der q-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{qb}$  sind Basisstrombefehlswerte gemäß der Erfindung, die die Befehlswerte des Stroms sind, der von dem Wechselrichter **6** an den Motor **4** geliefert wird.

**[0063]** Der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  und der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$ , die in der obigen Art und Weise berechnet werden, werden in eine Stromsteuerungseinheit **24** eingegeben. Zusätzlich werden der tatsächliche d-Achsenstrom  $I_{dr}$  und der tatsächliche q-Achsenstrom  $I_{qr}$  von der Dreiphasen/Zweiphasen-Umwandlungseinheit **27** und die Drehzahl  $\omega$  des Motors **4** von der Drehzahlberechnungseinheit **28** in die Stromsteuerungseinheit **24** eingegeben. Der tatsächliche d-Achsenstrom  $I_{dr}$  und der tatsächliche q-Achsenstrom  $I_{qr}$  entsprechend den tatsächlichen Werten des

Stroms, der von dem Wechselrichter **6** an den Motor **4** geliefert wird, und werden durch die Dreiphasen/Zweiphasen-Umwandlungseinheit **27** berechnet, um eine Dreiphasen/Zweiphasen-Umwandlung durchzuführen basierend auf dem U-Phasenstrom  $I_{ur}$ , dem V-Phasenstrom  $I_{vr}$  und dem W-Phasenstrom  $I_{wr}$ , die durch den Stromsensor **42** detektiert werden (siehe [Fig. 1](#)) und basierend auf der Magnetpolposition  $\theta$ , die durch den Drehsensor **43** detektiert wird (siehe [Fig. 1](#)). Darüber hinaus berechnet die Drehzahlberechnungseinheit **28** die Drehzahl  $\omega$  des Motors **4** basierend auf der Magnetpolposition  $\theta$ , die durch den Drehsensor **43** detektiert wird (siehe [Fig. 1](#)).

**[0064]** Die Stromsteuerungseinheit **24** führt eine Rückführungssteuerung bzw. Regelung für den eingestellten d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  und den eingestellten q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  basierend auf dem tatsächlichen d-Achsenstrom  $I_{dr}$  und dem tatsächlichen q-Achsenstrom  $I_{qr}$  durch, um die Spannungsbefehlswerte  $V_d$  und  $V_q$  zu bestimmen. Hierfür berechnet die Stromsteuerungseinheit **24** eine d-Achsenstromabweichung  $\delta I_d$ , die die Abweichung ist zwischen dem eingestellten d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  und dem tatsächlichen d-Achsenstrom  $I_{dr}$ , und eine q-Achsenstromabweichung  $\delta I_q$ , die die Abweichung ist zwischen dem eingestellten q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  und dem tatsächlichen q-Achsenstrom  $I_{qr}$ . Dann führt die Stromsteuerungseinheit **24** eine Proportional-Plus-Integral-Steuerungsoperation (PI-Regelung) basierend auf der d-Achsenstromabweichung  $\delta I_d$  durch, um einen d-Achsenbasisspannungsbefehlswert  $V_{zd}$  zu berechnen, und führt die PI-Regelung basierend auf der q-Achsenstromabweichung  $\delta I_q$  durch, um einen q-Achsenbasisspannungsbefehlswert  $V_{zq}$  zu berechnen. Darüber hinaus kann eine Proportional-Integral-Differenzial-Steuerung (PID-Regelung) anstelle der PI-Regelung durchgeführt werden.

**[0065]** Die Stromsteuerungseinheit **24** führt dann eine Einstellung durch, um die q-Achsenankerreaktion  $E_q$  von dem d-Achsenbasisspannungsbefehlswert  $V_{zd}$  zu subtrahieren, wodurch ein d-Achsen Spannungsbefehlswert  $V_d$  berechnet wird, wie durch die folgende Gleichung (2) dargestellt:

$$\begin{aligned} V_d &= V_{zd} - E_q \\ &= V_{zd} - \omega \cdot L_q \cdot I_{qr} \end{aligned} \quad (2)$$

**[0066]** Wie durch die Gleichung (2) dargestellt, wird die q-Achsenankerreaktion  $E_q$  basierend auf der Drehzahl  $\omega$  des Motors **4**, dem tatsächlichen q-Achsenstrom  $I_{qr}$  und der q-Achseninduktivität  $L_q$  berechnet.

**[0067]** Darüber hinaus führt die Stromsteuerungseinheit **24** eine Einstellung durch, um die d-Achsenankerreaktion  $E_d$  und eine Spannung  $E_m$ , die durch die Ankermagnetflussverkettung des Dauer-

magneten induziert wird, mit dem q-Achsenbasisspannungsbefehlswert  $V_{zq}$  zu addieren, wodurch ein q-Achsen Spannungsbefehlswert  $V_q$  berechnet wird, wie durch die folgende Gleichung (3) dargestellt:

$$\begin{aligned} V_q &= V_{zq} + E_d + E_m \\ &= V_{zq} + \omega \cdot L_d \cdot I_{dr} + \omega \cdot M_{lf} \end{aligned} \quad (3)$$

**[0068]** Wie durch die Gleichung (3) dargestellt, wird die d-Achsenankerreaktion  $E_d$  basierend auf der Drehzahl  $\omega$  des Motors **4**, dem tatsächlichen d-Achsenstrom  $I_{dr}$  und der d-Achseninduktivität  $L_d$  berechnet. Darüber hinaus wird die induzierte Spannung  $E_m$  berechnet basierend auf der induzierten Spannungskonstante  $M_{lf}$ , die durch den Effektivwert der Ankermagnetflussverkettung des Dauermagneten und der Drehzahl  $\omega$  des Motors **4** bestimmt ist.

**[0069]** In diesem Ausführungsbeispiel entsprechen der d-Achsen Spannungsbefehlswert  $V_d$  und der q-Achsen Spannungsbefehlswert  $V_q$  dem Spannungsbefehlswert gemäß der Erfindung. Die Spannungsbefehlswerte  $V_d$  und  $V_q$  werden dann bestimmt basierend auf den eingestellten Strombefehlswerten  $I_d$  und  $I_q$ , die erlangt werden durch Durchführen der Feldeinstellung basierend auf Strombefehlswerten  $I_{db}$  und  $I_{qb}$ , indem der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  verwendet wird, basierend auf der Drehzahl  $\omega$  des Motors **4**, basierend auf dem tatsächlichen d-Achsenstrom  $I_{dr}$  und basierend auf dem tatsächlichen q-Achsenstrom  $I_{qr}$ . Folglich bildet die Stromsteuerungseinheit **24** eine Spannungsbefehlbestimmungseinheit **9** gemäß der Erfindung.

**[0070]** Die Spannungswellenformsteuerungseinheit **10** steuert den Wechselrichter **6** basierend auf den Spannungsbefehlswerten  $V_d$  und  $V_q$ , um eine Spannungswellenformsteuerung durchzuführen, die mindestens die PWM-Steuerung und die Rechteckwellensteuerung enthält. In diesem Ausführungsbeispiel führt die Spannungswellenformsteuerungseinheit **10** selektiv irgendeine Steuerung von der normalen PWM-Steuerung, der Übermodulations-PWM-Steuerung und der Rechteckwellensteuerung durch. In diesem Ausführungsbeispiel führt die Spannungswellenformsteuerungseinheit **10** die Rechteckwellensteuerung in Antwort auf einen Befehl von einer Modussteuerungseinheit **5** durch, was nachfolgend beschrieben wird, wenn der Modulationsfaktor  $M$  gleich oder größer ist als der Rechteckwellenschwellenwert  $M_b$  ( $= 0,78$ ). Wenn der Modulationsfaktor  $M$  kleiner ist als der Rechteckwellenschwellenwert  $M_b$ , führt die Spannungswellenformsteuerungseinheit **10** die normale PWM-Steuerung oder die Übermodulation-PWM-Steuerung basierend auf dem Übermodulationsschwellenwert  $M_o$  ( $= 0,707$ ) durch. Die Spannungswellenformsteuerungseinheit **10** enthält eine Zweiphasen/Dreiphasen-Umwandlungseinheit **25** und eine Steuerungssignalerzeugungseinheit **26**.

**[0071]** Der d-Achsenspannungsbefehlswert  $V_d$  und der q-Achsenspannungsbefehlswert  $V_q$  werden in die Zweiphasen/Dreiphasen-Umwandlungseinheit **25** eingegeben. Darüber hinaus wird die Magnetpolposition **8**, die durch den Drehsensor **43** (siehe [Fig. 1](#)) detektiert wird, in die Zweiphasen/Dreiphasen-Umwandlungseinheit **25** eingegeben. Die Zweiphasen/Dreiphasen-Umwandlungseinheit **25** führt eine Zweiphasen/Dreiphasen-Umwandlung für den d-Achsenspannungsbefehlswert  $V_d$  und den q-Achsenspannungsbefehlswert  $V_q$  durch, indem die Magnetpolposition **8** verwendet wird, um die Dreiphasen-AC-Spannungsbefehlswerte zu berechnen, also einen U-Phasenspannungsbefehlswert  $V_u$ , einen V-Phasenspannungsbefehlswert  $V_v$  und einen W-Phasenspannungsbefehlswert  $V_w$ . Da die AC-Spannungsbefehlswerte  $V_u$ ,  $V_v$  und  $V_w$  unterschiedliche Wellenformen in jedem Steuerungsmodus haben, gibt jedoch die Zweiphasen/Dreiphasen-Umwandlungseinheit **25** die AC-Spannungsbefehlswerte  $V_u$ ,  $V_v$  und  $V_w$  mit unterschiedlichen Spannungswellenformen in jedem Steuerungsmodus an die Steuerungssignalerzeugungseinheit **26** aus. Wenn ein Befehl zum Durchführen der normalen PWM-Steuerung von der Modussteuerungseinheit **5** empfangen wird, was nachfolgend beschrieben wird, gibt speziell die Zweiphasen/Dreiphasen-Umwandlungseinheit **25** die AC-Spannungsbefehlswerte  $V_u$ ,  $V_v$  und  $V_w$  mit einer AC-Spannungswellenform aus, die der normalen PWM-Steuerung entspricht. In diesem Ausführungsbeispiel, da die normale PWM-Steuerung gleich die SVPWM-Steuerung ist, werden die AC-Spannungsbefehlswerte  $V_u$ ,  $V_v$  und  $V_w$  mit einer AC-Spannungswellenform für die SVPWM-Steuerung ausgegeben. Wenn ein Befehl empfangen wird zum Durchführen der Übermodulation-PWM-Steuerung von der Modussteuerungseinheit **5**, gibt die Zweiphasen/Dreiphasen-Umwandlungseinheit **25** zusätzlich die AC-Spannungsbefehlswerte  $V_u$ ,  $V_v$  und  $V_w$  mit einer AC-Spannungswellenform aus, die der Übermodulation-PWM-Steuerung entspricht. Wenn ein Befehl zum Durchführen der Rechteckwellensteuerung von der Modussteuerungseinheit **5** empfangen wird, gibt die Zweiphasen/Dreiphasen-Umwandlungseinheit **25** die AC-Spannungsbefehlswerte  $V_u$ ,  $V_v$  und  $V_w$  mit einer AC-Spannungswellenform aus, die der Rechteckwellensteuerung entspricht. In diesem Ausführungsbeispiel können die AC-Spannungsbefehlswerte  $V_u$ ,  $V_v$  und  $V_w$ , wenn die Rechteckwellensteuerung durchgeführt wird, die Befehlswerte der Ein/Aus-Schaltphasen der Schaltbauteile E1 bis E6 in dem Wechselrichter **6** sein. Die Befehlswerte entsprechen den Ein/Aus-Steuerungssignalen der Schaltbauteile E1 bis E6 und geben die Phasen der Magnetpolposition  $\theta$  an, die die Ein/Aus-Schaltzeiten der Schaltbauteile E1 bis E6 angeben.

**[0072]** Der U-Phasenspannungsbefehlswert  $V_u$ , der V-Phasenspannungsbefehlswert  $V_v$  und der W-Phasenspannungsbefehlswert  $V_w$ , die durch die Zwei-

phasen/Dreiphasen-Umwandlungseinheit **25** erzeugt werden, werden in die Steuerungssignalerzeugungseinheit **26** eingegeben. Die Steuerungssignalerzeugungseinheit **26** erzeugt die Schaltsteuerungssignale S1 bis S6 zur Steuerung der Schaltbauteile E1 bis E6 des Wechselrichters **6**, wie in [Fig. 1](#) gezeigt, gemäß den AC-Spannungsbefehlswerten  $V_u$ ,  $V_v$  und  $V_w$ . Der Wechselrichter **6** schaltet jedes der Schaltbauteile E1 bis E6 ein oder aus in Antwort auf die Schaltsteuerungssignale S1 bis S6. In dieser Weise wird die PWM-Steuerung (die normale PWM-Steuerung oder die Übermodulations-PWM-Steuerung) oder die Rechteckwellensteuerung des Motors **4** durchgeführt.

**[0073]** Der d-Achsenspannungsbefehlswert  $V_d$  und der q-Achsenspannungsbefehlswert  $V_q$ , die durch die Stromsteuerungseinheit **24** berechnet werden, werden in die Modulationsfaktorberechnungseinheit **29** eingegeben. Darüber hinaus wird die DC-Spannung  $V_{dc}$ , die von dem Spannungssensor **41** detektiert wird, in die Modulationsfaktorberechnungseinheit **29** eingegeben. Die Modulationsfaktorberechnungseinheit **29** berechnet den Modulationsfaktor  $M$  basierend auf diesen Werten gemäß der folgenden Formel (4):

$$M = \sqrt{(Y_d^2 + Y_q^2)} / V_{dc} \quad (4)$$

**[0074]** In diesem Ausführungsbeispiel ist der Modulationsfaktor  $M$  gleich dem Verhältnis des Effektivwerts der Fundamentalwellenkomponente der Spannungswellenform, die von dem Wechselrichter **6** ausgegeben wird, zu der DC-Spannung  $V_{dc}$ . In diesem Ausführungsbeispiel wird der Modulationsfaktor  $M$  berechnet, indem der Effektivwert der Dreiphasenleitungsstromspannung durch die DC-Spannung  $V_{dc}$  geteilt wird. In diesem Ausführungsbeispiel entspricht der Modulationsfaktor  $M$  einem Spannungsindex, der die Größen der Spannungsbefehlswerte  $V_d$  und  $V_q$  in Bezug zur DC-Spannung  $V_{dc}$  angibt. Wie oben beschrieben ist der maximale Wert (maximaler Modulationsfaktor  $M_{max}$ ) des Modulationsfaktors  $M$  gleich „0,78“, entsprechend dem Modulationsfaktor  $M$ , wenn die Rechteckwellensteuerung durchgeführt wird. In diesem Ausführungsbeispiel ist der maximale Modulationsfaktor  $M_{max}$  der Rechteckwellenschwellenwert  $M_b$ .

**[0075]** Der Modulationsfaktor  $M$ , der durch die Modulationsfaktorberechnungseinheit **29** berechnet wird, und ein vorbestimmter Befehlsmodulationsfaktor  $M_T$  werden in den Subtrahierer **30** eingegeben. In diesem Ausführungsbeispiel ist der Befehlsmodulationsfaktor  $M_T$  auf den maximalen Modulationsfaktor  $M_{max}$  ( $= 0,78$ ) gesetzt. Der Subtrahierer **30** subtrahiert den Befehlsmodulationsfaktor  $M_T$  von dem Modulationsfaktor  $M$ , um eine Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  zu berechnen, wie durch die folgenden Gleichung (5) dargestellt:

$$\Delta M = M - MT \quad (5)$$

**[0076]** In diesem Ausführungsbeispiel gibt die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  den Grad des Übermaßes der Spannungsbefehlswerte  $V_d$  und  $V_q$  von dem Wert der maximalen AC-Spannung an, die von der DC-Spannung  $V_{dc}$  ausgegeben werden kann. Folglich dient die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  im Wesentlichen als Spannungsfehlerindex, der den Fehlergrad der DC-Spannung  $V_{dc}$  angibt.

**[0077]** Die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$ , die durch den Subtrahierer **30** berechnet wird, wird in die Integraleingabeeinstellungseinheit **31** eingegeben. Die Integraleingabeeinstellungseinheit **31** führt eine vorbestimmte Einstellung für den Wert der Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  durch, und gibt einen Einstellungswert  $Y$ , der der eingestellte Wert ist, an den Integrierer **32**. **Fig. 6** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Umwandlungskarte verdeutlicht, die von der Integraleingabeeinstellungseinheit **31** verwendet wird. Wie in **Fig. 6** gezeigt gibt in diesem Ausführungsbeispiel die Integraleingabeeinstellungseinheit **31** einen positiven Einstellungswert  $Y$  ( $Y > 0$ ) aus, wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  gleich oder größer ist als eine vorbestimmte Starkfeldstartabweichung  $\Delta M_s$  ( $\Delta M_s < 0$ ) oder kleiner ist als Null ( $\Delta M_s \leq \Delta M < 0$ ), gibt einen negativen Einstellungswert  $Y$  ( $Y < 0$ ) aus, wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  größer ist als Null ( $0 < \Delta M$ ), und gibt Null ( $Y = 0$ ) als Einstellungswert  $Y$  aus, wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  kleiner ist als die Starkfeldstartabweichung  $\Delta M_s$  ( $\Delta M < \Delta M_s$ ), und wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  gleich Null ist ( $\Delta M = 0$ ). Speziell gibt die Integraleingabeeinstellungseinheit **31** den Einstellungswert  $Y$  aus, der zunimmt, wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  zunimmt, wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  gleich oder größer ist als die Starkfeldstartabweichung  $\Delta M_s$  und kleiner ist als eine Zwischenabweichung  $\Delta M_{sm}$  ( $\Delta M_s \leq \Delta M < \Delta M_{sm}$ ). In diesem Bereich kann die Beziehung zwischen der Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  und dem Einstellungswert  $Y$  durch eine lineare Funktion dargestellt werden. Da eine Region der Umwandlungskarte, in der, wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  zunimmt, der Einstellungswert  $Y$  zunimmt, gesetzt ist, ist es möglich, den d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  vor einer schnellen Zunahme unmittelbar nachdem die Starkfeldsteuerung startet, zu bewahren. Folglich ist es möglich, eine schnelle Änderung des Stroms zu verhindern, der durch die Spule des Motors **4** fließt, oder ein Überschießen (Überschwingen) sowie die Oszillation des Ausgangsdrehmoments des Motors **4**, die durch eine schnelle Änderung der eingestellten Strombefehlswerte  $I_d$  und  $I_q$  verursacht werden, aufgrund einer schnellen Zunahme des d-Achsenstromeinstellungsbefehlswerts  $\Delta I_d$ .

**[0078]** Zusätzlich gibt die Integraleingabeeinstellungseinheit **31** den Einstellungswert  $Y$  aus, der abnimmt, wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  zunimmt, wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  gleich oder größer ist als die Zwischenabweichung  $\Delta M_{sm}$  ( $\Delta M_{sm} \leq \Delta M$ ). In diesem Bereich ist der Einstellungswert  $Y$  proportional zu der Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  und eine Proportionalkonstante ist ein negativer Wert. Die Starkfeldstartabweichung  $\Delta M_s$  ist der Schwellenwert der Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  zum Starten der Starkfeldsteuerung und ist auf einen Wert kleiner als Null gesetzt. Die Starkfeldstartabweichung  $\Delta M_s$  und der Befehlsmodulationsfaktor  $MT$  bilden die Startbedingungen der Starkfeldsteuerung. Folglich ist die Starkfeldstartabweichung  $\Delta M_s$  derart gesetzt, dass der Starkfeldschwollenwert  $M_s$ , der durch die Starkfeldstartabweichung  $\Delta M_s$  und den Befehlsmodulationsfaktor  $MT$  ( $= 0,78$ ) bestimmt ist, ein geeigneter Wert ist. Wie oben beschrieben ist in diesem Ausführungsbeispiel der Starkfeldschwollenwert  $M_s$  gesetzt, um gleich dem Übermodulationsschwellenwert  $M_o$  ( $= 0,707$ ) zu sein. Die Starkfeldstartabweichung  $\Delta M_s$  ist folglich auf „-0,073“ ( $= 0,707 - 0,78$ ) gesetzt. Die Zwischenabweichung  $\Delta M_{sm}$  ist auf einen Wert gesetzt, der größer ist als die Starkfeldstartfeldabweichung  $\Delta M_s$  und ist kleiner als Null, beispielsweise „-0,035“. Als solcher ist der Starkfeldschwollenwert  $M_s$  auf einen Wert gesetzt, der kleiner als der Rechteckwellenschwellenwert  $M_b$  ist (in diesem Ausführungsbeispiel gleich dem Befehlsmodulationsfaktor  $MT$  und dem maximalen Modulationsfaktor  $M_{max}$ ). Die Starkfeldsteuerung wird unter der Bedingung durchgeführt, dass der Modulationsfaktor  $M$  gleich oder größer als der Starkfeldschwollenwert  $M_s$  ist.

**[0079]** Wie in **Fig. 2** gezeigt wird der Einstellungswert  $Y$ , der durch die Integraleingabeeinstellungseinheit **31** berechnet wird, in den Integrator **32** eingegeben. Der Integrator **32** integriert den Einstellungswert  $Y$  unter Verwendung eines vorbestimmten Gewinns und berechnet den integrierten Wert als den d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$ . In diesem Ausführungsbeispiel ist der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  gleich den Einstellungswerten der Basisstrombefehlswerte  $I_{db}$  und  $I_{qb}$  und entspricht dem Feldeinstellungsbefehlswert zum Einstellen des Feldflusses des Motors **4**. Der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  wird durch die Modulationsfaktorberechnungseinheit **29**, den Subtrahierer **30**, die Integraleingabeeinstellungseinheit **31** und den Integrierer **32** bestimmt. In diesem Ausführungsbeispiel bilden folglich die Modulationsfaktorberechnungseinheit **29**, der Subtrahierer **30**, die Integraleingabeeinstellungseinheit **31** und der Integrierer **32** eine Feldeinstellungseinheit **8**. Die Normalfeldsteuerung (Maximumdrehmomentsteuerung), die Starkfeldsteuerung oder die Schwachfeldsteuerung werden selektiv durchgeführt gemäß dem d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$ . Wenn der d-Ach-

senstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  gleich Null ist ( $\Delta I_d = 0$ ), wird die Normalfeldsteuerung (Maximumdrehmomentsteuerung) durchgeführt. Wenn der d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  ein positiver Wert ist ( $\Delta I_d > 0$ ), werden die Basisstrombefehls- werte  $I_{db}$  und  $I_{qb}$  eingestellt, um den Feldfluss des Motors **4** zu verstärken. Ein Starkfeldstrom, der ein positiver d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  ist, fließt also, um den Feldfluss des Motors **4** stärker zu machen als bei der Normalfeldsteuerung, und die Starkfeldsteuerung wird durchgeführt. Wenn der d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  ein negativer Wert ist ( $\Delta I_d < 0$ ), werden die Basisstrombefehls- werte  $I_{db}$  und  $I_{qb}$  eingestellt, um den Feldfluss des Motors **4** zu schwächen. Ein Schwachfeldstrom, der ein negativer d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  ist, fließt also, um den Feldfluss des Motors **4** schwächer zu machen als bei der Normalfeldsteuerung, und die Schwachfeldsteuerung wird durchge- führt.

**[0080]** Wie oben beschrieben, wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  gleich oder größer ist als die Starkfeldstartabweichung  $\Delta M_s$ , und kleiner ist als Null ( $\Delta M_s \leq \Delta M < 0$ ), wird ein positiver Wert ( $Y > 0$ ) als Einstellungswert  $Y$  ausgegeben. Der d-Achsen- stromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$ , der durch den In- tegrator **32** berechnet wird, nimmt folglich zu (wird in positiver Richtung geändert), und der d-Achsen- stromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  wird in eine Rich- tung geändert, in der der Feldfluss des Motors **4** ver- stärkt wird. Wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  größer als Null ist ( $0 < \Delta M$ ), wird ein negati- ver Wert ( $Y < 0$ ) als Einstellungswert  $Y$  ausgege- ben. Folglich nimmt der d-Achsenstromereinstellungs- befehlswert  $\Delta I_d$ , der durch den Integrator **32** berech- net wird, ab (wird in negativer Richtung geändert), und der d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  wird in eine Richtung geändert, in der der Feldfluss des Motors **4** geschwächt wird. Wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  kleiner ist als die Starkfeld- startabweichung  $\Delta M_s$  ( $\Delta M < \Delta M_s$ ), und die Modula- tionsfaktorabweichung  $\Delta M$  gleich Null ist ( $\Delta M = 0$ ), wird Null ( $Y = 0$ ) als Einstellungswert  $Y$  ausgegeben. Folglich wird der d-Achsenstromereinstellungsbefehls- wert  $\Delta I_d$ , der durch den Integrierer **2** berechnet wird, nicht geändert, und der d-Achsenstromereinstellungs- befehlswert  $\Delta I_d$  wird derart bestimmt, dass der Feld- fluss des Motors **4** nicht geändert wird.

**[0081]** Wie oben beschrieben wird in der Nor- malfeldsteuerung gemäß diesem Ausführungsbei- spiel die Maximumdrehmomentsteuerung durchge- führt, um die Phase des Stroms derart einzustellen, dass das Ausgangsdrehmoment des Motors **4** ein Maximum bezüglich des gleichen Stroms wird. Wenn der d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  fol- glich von dem Referenzwert ( $\Delta I_d = 0$ ) des d-Achsen- stromeinstellungsbefehls werts  $\Delta I_d$  zur Durchführung der Normalfeldsteuerung in eine Richtung geändert

wird, in der der Feldfluss des Motors **4** verstärkt wird, nehmen die eingestellten Strombefehls werte  $I_d$  und  $I_q$ , die zur Ausgabe des gleichen Drehmoments erfor- derlich sind, zu, und die Spannungsbefehls werte  $V_d$  und  $V_q$ , die basierend auf den eingestellten Strom- befehls werten  $I_d$  und  $I_q$  und dem Modulationsfaktor  $M$  berechnet wurden, nehmen zu. Mit anderen Wor- ten, die Spannungsbefehlsbestimmungseinheit **9** er- höht die Spannungsbefehls werte  $V_d$  und  $V_q$ , wenn der d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  von dem Referenzwert ( $\Delta I_d = 0$ ) aus zunimmt (in positi- ver Richtung geändert wird). Die Modulationsfaktor- berechnungseinheit **29** erhöht den Modulationsfaktor  $M$ , wenn der d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  von dem Referenzwert ( $\Delta I_d = 0$ ) aus zunimmt (in positiver Richtung geändert wird).

**[0082]** Die Modussteuerungseinheit **5** bestimmt den Steuerungsmodus, um durchgeführt zu werden von einer Mehrzahl von Steuerungsmodi basierend auf der DC-Spannung  $V_{dc}$  und dem Betriebszustand des Motors **4**, enthaltend die Drehzahl  $\omega$  und das Ziel- drehmoment  $T_M$ , und steuert jede Einheit der Steue- rungsvorrichtung **2**, enthaltend die Feldeinstellungs- einheit **8** und die Spannungswellenformsteuerungs- einheit **10** gemäß dem Steuerungsmodus. Die Mo- dussteuerungseinheit **5** bestimmt zusätzlich Starkfel- dendebedingungen während der Starkfeldsteuerung, und führt eine Starkfeldendesteuerung durch zum Beenden der Starkfeldsteuerung, wenn die Stark- feldendebedingungen erfüllt sind. Wie in **Fig. 2** ge- zeigt werden die Drehzahl  $\omega$ , das Zieldrehmoment  $T_M$ , die DC-Spannung  $V_{dc}$ , der Modulationsfaktor  $M$  und der d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  in die Modussteuerungseinheit **5** eingegeben, und der Steuerungsbetrieb der Modussteuerungseinheit **5** wird für die eingegebenen Werte durchgeführt. In diesem Ausführungsbeispiel bestimmt die Mo- dussteuerungseinheit **5** im Wesentlichen den Steue- rungsmodus basierend auf der Spannungssteue- rungsbereichskarte **35**, wie in **Fig. 3** gezeigt. Darüber hinaus bestimmt die Modussteuerungseinheit **5**, ob die Starkfeldsteuerung zu beenden ist, basierend auf der in den **Fig. 7** und **Fig. 8** gezeigten Starkfeldende- bedingungskarte, während der Starkfeldsteuerung. Einzelheiten der Modussteuerungseinheit **5** werden nachfolgend beschrieben.

### 2-3. Einzelheiten der Modussteuerungseinheit

**[0083]** Wie in **Fig. 3** gezeigt ändert die Modussteue- rungseinheit **5** den Steuerungsmodus in der Rei- henfolge von dem Normalfeld/Normal-PWM-Steue- rungsmodus A1a, dem Normalfeld/Übermodulati- ons-PWM-Steuerungsmodus A1b, dem Schwach- feld/Übermodulations-PWM-Steuerungsmodus A4a und dem Schwachfeld/Rechteckwellen-Steuerungs- modus A5, ausgenommen für den Starkfeldsteue- rungsbereich F, wenn die Drehzahl  $\omega$  und das Dreh- moment  $T_M$  des Motors **4** zunehmen. Wie oben be-



schrieben sind die Grenzen (die Kurven L1, L2 und L3) zwischen den Steuerungsmodi an Positionen gesetzt, wo der Modulationsfaktor M während der Normalfeldsteuerung (Maximumdrehmomentsteuerung) konstant ist. Von den Kurven ist die Kurve L1 an einer Position gesetzt, wo der Modulationsfaktor M der maximale Modulationsfaktor  $M_{max}$  ( $= 0,78$ ) während der Normalfeldsteuerung ist. Wenn der Modulationsfaktor M, der derart berechnet wird, dass die Normalfeldsteuerung basierend auf der Drehzahl  $\omega$  und des Zieldrehmoments  $T_M$  durchgeführt werden kann, größer ist als der maximale Modulationsfaktor  $M_{max}$ , dann führt die Steuerungsvorrichtung **2** den Schwachfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A5 durch.

**[0084]** Der Starkfeldsteuerungsbereich F ist in den Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereich TMR gesetzt, der durch das Zieldrehmoment  $T_M$  definiert ist. Darüber hinaus ist der Starkfeldsteuerungsbereich F in einen Bereich gesetzt ( $M_s \leq M < M_{max}$ ), in dem der Modulationsfaktor M von dem Starkfeldschwellenwert  $M_s$  (Kurve L2) bis zu dem maximalen Modulationsfaktor  $M_{max}$  (Kurve L1) reicht, wenn angenommen wird, dass die Starkfeldsteuerung nicht durchgeführt wird, sondern dass die Normalfeldsteuerung für den gesamten Bereich außerhalb des Schwachfeldsteuerungsbereichs durchgeführt wird (der Bereich, in dem der Schwachfeld/Rechteckwellensteuerungsmodus A5 durchgeführt wird). Der Starkfeldschwellenwert  $M_s$  wird durch das Setzen des Befehlsmodulationsfaktors  $M_T$  sowie der Starkfeldstartabweichung  $\Delta M_s$  bestimmt. In dem Zustand, bei dem der Modulationsfaktor M allmählich zunimmt nahe zu dem Befehlsmodulationsfaktor  $M_T$ , gibt also die Integraleingabeeinstellungseinheit **31** einen positiven Einstellungswert Y ( $Y > 0$ ) aus, wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  gleich oder größer ist als die Starkfeldstartabweichung  $\Delta M_s$  ( $\Delta M_s < 0$ ) und kleiner ist als Null ( $\Delta M_s \leq \Delta M < 0$ ), wie oben beschrieben. Wie durch die Gleichung (5) dargestellt, wird die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  berechnet, indem der Befehlsmodulationsfaktor  $M_T$  von dem Modulationsfaktor M subtrahiert wird. Der Starkfeldschwellenwert  $M_s$ , der der Wert des Modulationsfaktors M ist, wenn die Starkfeldsteuerung startet, wird folglich berechnet, indem die Starkfeldstartabweichung  $\Delta M_s$  zu dem Befehlsmodulationsfaktor  $M_T$  hinzu addiert wird, wie durch die folgende Gleichung (6) dargestellt:

$$M_s = M_T + \Delta M_s \quad (6)$$

**[0085]** In diesem Ausführungsbeispiel, da der Befehlsmodulationsfaktor  $M_T$  auf „0,78“ gesetzt ist, und die Starkfeldstartabweichung  $\Delta M_s$  auf „-0,073“ gesetzt ist, beträgt der Starkfeldschwellenwert  $M_s$  gleich „0,707“, was gleich dem Übermodulationsschwellenwert  $M_o$  ist. Wenn der Modulationsfaktor M größer ist als der Starkfeldschwellenwert  $M_s$  während dem Normalfeld/Normal-PWM-Steuerungsmodus A1a, wobei das Zieldrehmoment  $T_M$  innerhalb

des Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereichs TMR ist, also wenn der Arbeitspunkt des Motors **4** innerhalb des Starkfeldsteuerungsbereichs F ist, startet folglich die Feldeinstellungseinheit **8** die Starkfeldsteuerung.

**[0086]** Die Modussteuerungseinheit **5** steuert die Spannungswellenformsteuerungseinheit **10**, um die Rechteckwellensteuerung durchzuführen, wenn der Modulationsfaktor M gleich oder größer ist als der Rechteckwellenschwellenwert  $M_b$  (maximaler Modulationsfaktor  $M_{max}$ ), und steuert die Spannungswellenformsteuerungseinheit **10**, um die PWM-Steuerung durchzuführen, wenn der Modulationsfaktor M kleiner ist als der Rechteckwellenschwellenwert  $M_b$ . In diesem Ausführungsbeispiel, da die PWM-Steuerung die normale PWM-Steuerung und die Übermodulation-PWM-Steuerung enthält, steuert die Modussteuerungseinheit die Spannungswellenformsteuerungseinheit **10**, um die normale PWM-Steuerung durchzuführen, wenn der Modulationsfaktor M kleiner ist als der Rechteckwellenschwellenwert  $M_b$  und gleich oder kleiner ist als der Übermodulationsschwellenwert  $M_o$  ( $= 0,707$ ), und steuert die Spannungswellenformsteuerungseinheit **10** zur Durchführung der Übermodulation-PWM-Steuerung, wenn der Modulationsfaktor M größer ist als der Übermodulationsschwellenwert  $M_o$  ( $= 0,707$ ). Wie oben beschrieben enthält die Spannungswellenformsteuerungseinheit **10** die Zweiphasen/Dreiphasen-Umwandlungseinheit **25** und die Steuerungssignalerzeugungseinheit **26**, die die Spannungswellenformsteuerung durchführen, die die PWM-Steuerung und die Rechteckwellensteuerung umfasst.

**[0087]** Wenn der Arbeitspunkt des Motors **4**, der durch die Drehzahl  $\omega$  und das Zieldrehmoment  $T_M$  bestimmt wird, innerhalb des Starkfeldsteuerungsbereichs F ist, wird ein positiver Einstellungswert Y von der Integraleingabeeinstellungseinheit **31** durch das Setzen des Befehlsmodulationsfaktors  $M_T$  und der Starkfeldstartabweichung  $\Delta M_s$  ausgegeben, und ein positiver d-AchsenstromEinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  wird von dem Integrator **32** ausgegeben. In dieser Weise beginnt bzw. startet die Starkfeldsteuerung. Wie oben beschrieben wird der Starkfeldschwellenwert  $M_s$  (Kurve L2), der den Starkfeldsteuerungsbereich F definiert, durch den Befehlsmodulationsfaktor  $M_T$  ( $= 0,78$ ) und die Starkfeldstartabweichung  $\Delta M_s$  ( $= -0,073$ ) bestimmt. In diesem Beispiel ist der Starkfeldschwellenwert  $M_s$  gleich dem Übermodulationsschwellenwert  $M_o$  ( $= 0,707$ ). Nachdem die Starkfeldsteuerung begonnen hat, steuert die Modussteuerungseinheit **5** zuerst die Spannungswellenformsteuerungseinheit **10**, um die PWM-Steuerung durchzuführen. In diesem Beispiel, da der Modulationsfaktor M der Übermodulationsschwellenwert  $M_o$  ist, wenn die Starkfeldsteuerung beginnt, steuert die Modussteuerungseinheit **5** die Spannungswellenformsteuerungseinheit **10** zum Durchführen der

Übermodulations-PWM-Steuerung. Wenn die Starkfeldsteuerung startet, führt also zuerst die Modussteuerungseinheit **5** den Starkfeld/Übermodulations-PWM-Steuerungsmodus A2b durch. Dann wird der Modulationsfaktor  $M$  allmählich durch die Starkfeldsteuerung erhöht, und erreicht letztendlich den Rechteckwellenschwellenwert  $M_b$ . Nachdem der Modulationsfaktor  $M$  den Rechteckwellenschwellenwert  $M_b$  erreicht hat, steuert die Modussteuerungseinheit **5** die Spannungswellenformsteuerungseinheit **10** zum Durchführen der Rechteckwellensteuerung. In dieser Weise wird der Starkfeld/Rechteckwellensteuerungsmodus A3 durchgeführt.

**[0088]** Nachdem der Modulationsfaktor  $M$  größer ist als der Starkfeldschwellenwert  $M_s$  und die Starkfeldsteuerung beginnt, stellt jedoch die Feldeinstellungseinheit **8** den d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  derart ein, dass der Modulationsfaktor  $M$  gleich dem Befehlsmodulationsfaktor  $M_T$  ist. Der Befehlsmodulationsfaktor  $M_T$  ist der maximale Modulationsfaktor  $M_{max}$  ( $= 0,78$ ), der der Rechteckwellenschwellenwert  $M_b$  ist. Nachdem die Starkfeldsteuerung begonnen hat, konvergiert folglich der Modulationsfaktor  $M$  zu dem maximalen Modulationsfaktor  $M_{max}$ . Nachdem der Modulationsfaktor  $M$  den maximalen Modulationsfaktor  $M_{max}$  erreicht hat, der der Rechteckwellenschwellenwert  $M_b$  ist, weist die Modussteuerungseinheit **5** die Spannungswellenformsteuerungseinheit **10** an, die Rechteckwellensteuerung durchzuführen. Wenn der Modulationsfaktor  $M$  mit einer Änderung des Zieldrehmoments  $T_M$  oder der Drehzahl  $\omega$  des Motors **4** bei diesem Zustand geändert wird, wird auch die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  mit der Änderung des Modulationsfaktors  $M$  geändert. Folglich ändert die Feldeinstellungseinheit **8** entsprechend den d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  in eine Richtung, in der der Feldfluss verstärkt oder geschwächt wird. In dieser Weise wird der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  geeignet geändert von dem positiven Wert, wo die Starkfeldsteuerung durchgeführt wird, in den negativen Wert, wo die Schwachfeldsteuerung durchgeführt wird. Wenn der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  ein negativer Wert ist, wird die Schwachfeldsteuerung durchgeführt. Selbst wenn irgendeine von der Starkfeldsteuerung und der Schwachfeldsteuerung durchgeführt wird, konvergiert der Modulationsfaktor  $M$  zu dem maximalen Modulationsfaktor  $M_{max}$ , der der Rechteckwellenschwellenwert  $M_b$  ist, und die Rechteckwellensteuerung wird fortgesetzt durchgeführt.

#### 2-4. Starkfeldendesteuerung

**[0089]** Wie oben beschrieben, wird in der Steuerungsvorrichtung **2** gemäß diesem Ausführungsbeispiel während der Rechteckwellensteuerung der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  derart bestimmt, dass der Modulationsfaktor  $M$  bei dem ma-

ximalen Modulationsfaktor  $M_{max}$  gehalten wird, der der Rechteckwellenschwellenwert  $M_b$  ist, und die Starkfeldsteuerung oder die Schwachfeldsteuerung wird durchgeführt. In der Struktur, bei der die Rechteckwellensteuerung und die PWM-Steuerung nur durch den Modulationsfaktor  $M$  geschaltet werden, selbst wenn der Betriebszustand des Motors **4** geändert wird, endet folglich nicht die Rechteckwellensteuerung. Selbst wenn die Drehzahl  $\omega$  oder/und das Drehmoment  $T_M$  reduziert werden und der Arbeitspunkt des Motors **4** innerhalb der Region des Normalfeld/Normal-PWM-Steuerungsmodus A1a ist, der auf der linken Seite der Kurve L2 in **Fig. 3** ist, ist also eine Zunahme des d-Achsenstromeinstellungsbefehls werts  $\Delta I_d$  in eine Richtung, in der der Feldfluss verstärkt ist, alleine nicht ausreichend, um die Rechteckwellensteuerung und die Starkfeldsteuerung zu beenden. Folglich wird leicht der Wirkungsgrad reduziert, durch eine Erhöhung des d-Achsenstromeinstellungsbefehls werts  $\Delta I_d$ , oder beispielsweise tritt leicht eine Oszillation in dem Ausgangsdrehmoment des Motors **4** aufgrund der Rechteckwellensteuerung auf, die in der Region durchgeführt wird, in der die Drehzahl  $\omega$  gering ist. In diesem Fall führt folglich die Modussteuerungseinheit **5** die Starkfeldendesteuerung durch, um die Starkfeldsteuerung geeignet zu beenden, wodurch die Rechteckwellensteuerung beendet wird.

**[0090]** Die Modussteuerungseinheit **5** bestimmt also die Starkfeldendebedingungen, die Bedingungen sind zum Beenden der Starkfeldsteuerung, basierend auf dem Zieldrehmoment  $T_M$ , der DC-Spannung  $V_{dc}$  und dem d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$ . Wenn die Starkfeldendebedingungen erfüllt sind, beendet die Modussteuerungseinheit **5** die Starkfeldsteuerung, die durch die Feldeinstellungseinheit **8** durchgeführt wird. In diesem Ausführungsbeispiel sei angenommen, dass die Starkfeldendebedingungen irgendeine der folgenden drei Bedingungen (A), (B) und (C) erfüllen:

- (A) Drehzahl  $\omega$  des Motors **4**  $<$  Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$ ;
- (B) d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d \geq$  Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta I_{dT}$ ; und
- (C) das Zieldrehmoment  $T_M$  ist jenseits des Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereichs  $T_{MR}$ .

**[0091]** In diesem Ausführungsbeispiel, wie in der Bedingung (C) gezeigt, da die Bedingung, dass das Zieldrehmoment  $T_M$  jenseits des Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereichs  $T_{MR}$  ist, auch in den zu bestimmenden Starkfeldendebedingungen enthalten ist, wird der Steuerungsbetrieb derart reguliert, dass die Starkfeldsteuerung nur durchgeführt wird in dem Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereich  $T_{MR}$ . Als nächstes werden die Starkfeldendebedingungen und ein Betrieb zum Beenden der Starkfeldsteuerung im Einzelnen beschrieben.

2-4-1. Starkfeldendebedingung (A):  
Endebedingung, die auf der Drehzahl  $\omega$  basiert

**[0092]** Wie oben beschrieben verwendet die Modussteuerungseinheit **5** die Endebedingung, die auf der Drehzahl  $\omega$  des Motors **4** basiert, als Starkfeldendebedingung (A). Die Modussteuerungseinheit **5** beendet also die Starkfeldsteuerung, die durch die Feldeinstellungseinheit **8** durchgeführt wird, bei der Bedingung, dass die Drehzahl  $\omega$  des Motors **4** kleiner ist als der Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$ , der bestimmt wird durch das Drehmoment  $T_M$  und die DC-Spannung  $V_{dc}$  ( $\omega < \omega_T$ ). In diesem Ausführungsbeispiel ist die Drehzahl  $\omega$  des Motors **4**, bei der der Modulationsfaktor  $M$  der Starkfeldschwellenwert  $M_s (= 0,707)$  während der Normalfeldsteuerung ist, gleich der Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$  gemäß den Werten des Zieldrehmoments  $T_M$  sowie der DC-Spannung  $V_{dc}$ .

**[0093]** Die Steuerungsvorrichtung **2** enthält eine Drehzahlschwellenwertkarte **35A** (siehe [Fig. 7C](#)), die einen geeigneten Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$  in Verbindung mit dem Zieldrehmoment  $T_M$  und der DC-Spannung  $V_{dc}$  definiert, als eine Starkfeldendebedingungskarte **35** (siehe [Fig. 1](#)). Die Modussteuerungseinheit **5** berechnet einen entsprechenden Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$ , der dem Zieldrehmoment  $T_M$  und der DC-Spannung  $V_{dc}$  entspricht, basierend auf der Drehzahlschwellenwertkarte **35A**. [Fig. 7](#) zeigt ein schematisches Diagramm, das ein Verfahren verdeutlicht zum Berechnen des Drehzahlschwellenwerts  $\omega_T$ , also ein Verfahren zum Erzeugen der Drehzahlschwellenwertkarte **35A**.

**[0094]** Der entsprechende Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$  kann experimentell berechnet werden durch die aktuelle Steuerungsvorrichtung **2**. Wie in [Fig. 7A](#) gezeigt, wird beispielsweise zuerst eine willkürliche Spannung aus dem Bereich der DC-Spannung  $V_{dc}$  ausgewählt, der durch die DC-Leistungsversorgung **3** bereitgestellt wird. In diesem Ausführungsbeispiel wird „ $V_{dc1}$ “ aus dem Bereich der DC-Spannung  $V_{dc}$  ( $V_{dc} = V_{dc1}$ ) ausgewählt. Darüber hinaus wird ein willkürliches Drehmoment, beispielsweise „ $T_{M1}$ “ aus dem Bereich des Zieldrehmoments  $T_M$  ausgewählt, der durch den Motor **4** erreicht werden kann ( $T_M = T_{M1}$ ). Dann werden die ausgewählte DC-Spannung  $V_{dc} = V_{dc1}$  und das ausgewählte Zieldrehmoment  $T_M = T_{M1}$  in die Steuerungsvorrichtung **2** eingegeben, und der Wechselrichter **6** führt die PWM-Steuerung (hier die normale PWM-Steuerung) durch, um die Drehzahl  $\omega$  des Motors **4** allmählich von Null anzuheben. Dann wird der d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$ , der der Drehzahl  $\omega$  entspricht, gemessen, und die Drehzahl  $\omega$  bei dem Moment, wenn der d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  von Null zu einem positiven Wert geändert wird, wird gemessen. Wie oben beschrieben ist die Feldeinstellungseinheit derart konfiguriert, dass ein positiver d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  ausgege-

ben wird, wenn der Modulationsfaktor  $M$  größer ist als der Starkfeldschwellenwert  $M_s$ . Folglich ist es möglich, die Drehzahl  $\omega$  zu messen, wenn der Modulationsfaktor  $M$  der Starkfeldschwellenwert  $M_s$  ist, indem der d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  überwacht wird. In dem in [Fig. 7A](#) gezeigten Beispiel ist in diesem Fall die Drehzahl  $\omega$  gleich „ $\omega_{11}$ “. Die Drehzahl  $\omega = \omega_{11}$ , die in dieser Weise berechnet wird, ist der Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$  bei der DC-Spannung  $V_{dc} = V_{dc1}$  und dem Zieldrehmoment  $T_M = T_{M1}$ . Der Drehzahlschwellenwert  $\omega_T = \omega_{11}$  ist also ein Wert der Drehzahlschwellenwertkarte **35A** (siehe [Fig. 7C](#)), der der DC-Spannung  $V_{dc} = V_{dc1}$  und dem Zieldrehmoment  $T_M = T_{M1}$ , die als Parameter dienen, entspricht.

**[0095]** Verschiedene Drehmomente werden aus dem Bereich des Zieldrehmoments  $T_M$ , der durch den Motor **4** erreicht werden kann, ausgewählt, während die DC-Spannung  $V_{dc} = V_{dc1}$  aufrecht erhalten bleibt. In ähnlicher Weise nimmt die Drehzahl  $\omega$  des Motors **4** allmählich von Null aus zu, und die Drehzahl  $\omega$  bei dem Moment, wenn der d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  von Null zu einem positiven Wert geändert wird, wird gemessen, während die PWM-Steuerung durchgeführt wird. In dem in [Fig. 7A](#) gezeigten Beispiel beträgt die Drehzahl  $\omega$  gleich „ $\omega_{12}$ “ bei dem Zieldrehmoment  $T_M = T_{M2}$ , und die Drehzahl  $\omega$  beträgt „ $\omega_{13}$ “ bei dem Zieldrehmoment  $T_M = T_{M3}$ . Wie durch eine Kurve  $L_{\omega T}$  in [Fig. 7A](#) dargestellt, wenn die DC-Spannung  $V_{dc}$  gleich „ $V_{dc1}$ “ ist, ist es möglich, die Beziehung zu berechnen zwischen dem Zieldrehmoment  $T_M$  und der Drehzahl  $\omega$ , wobei der Modulationsfaktor  $M$  der Starkfeldschwellenwert  $M_s (= 0,707)$  ist, während der Normalfeldsteuerung, indem viele Drehmomente ausgewählt werden und die Drehzahl  $\omega$  für jedes Drehmoment gemessen wird. Die Kurve  $L_{\omega T}$  ist theoretisch identisch zu der Kurve  $L_2$ , bei der der Modulationsfaktor  $M$  der Übermodulationsschwellenwert  $M_o (= 0,707)$  ist. Wie in [Fig. 7B](#) gezeigt, wird die berechnete Beziehung (Kurve  $L_{\omega T}$ ) zwischen dem Zieldrehmoment  $T_M$  und der Drehzahl  $\omega$  verwendet als eine Karte des Drehzahlschwellenwerts  $\omega_T$  für die DC-Spannung  $V_{dc} = V_{dc1}$ . Verschiedene Spannungen, wie beispielsweise eine DC-Spannung  $V_{dc} = V_{dc2}$ , eine DC-Spannung  $V_{dc} = V_{dc3}$ , ..., werden dann in dem Bereich der DC-Spannung  $V_{dc}$  ausgewählt, der durch die DC-Leistungsversorgung **3** erreicht werden kann. In ähnlicher Weise wird die Beziehung zwischen dem Zieldrehmoment  $T_M$  und der Drehzahl  $\omega$  berechnet, wobei der Modulationsfaktor  $M$  der Starkfeldschwellenwert  $M_s (= 0,707)$  ist. Die Beziehung zwischen dem Zieldrehmoment  $T_M$  und der Drehzahl  $\omega$ , die für jede DC-Spannung  $V_{dc}$  berechnet wird, wird als Karte des Drehzahlschwellenwerts  $\omega_T$  für jede DC-Spannung  $V_{dc}$  verwendet und in der Drehzahlschwellenwertkarte **35A** registriert.

**[0096]** Wie oben beschrieben und wie in [Fig. 7C](#) gezeigt, kann die Drehzahlschwellenwertkarte **35A**, die

einen geeigneten Drehzahlschwellenwert  $\omega T$  in Verbindung mit dem Zieldrehmoment  $T_M$  und der DC-Spannung  $V_{dc}$  definiert, erzeugt werden. Die Steuerungsvorrichtung **2** enthält die Drehzahlschwellenwertkarte **35A** als Teil der Starkfeldendebedingungskarte **35**, wie in [Fig. 1](#) gezeigt, derart, dass die Modussteuerungseinheit **5** auf die Drehzahlschwellenwertkarte **35A** Bezug nehmen kann.

#### 2-4-2. Starkfeldendebedingung (B)

: Endebedingung, die auf dem d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  basiert

**[0097]** Wie oben beschrieben verwendet die Modussteuerungseinheit **5** eine Endebedingung, die auf dem d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  basiert, der als Feldeinstellungsbefehlsbedingung dient, als die Starkfeldendebedingung (B). Die Modussteuerungseinheit **5** beendet also die Starkfeldsteuerung, die von der Feldeinstellungseinheit **8** durchgeführt wird, bei der Bedingung, dass der d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  gleich oder größer ist als der Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta I_d T$  basierend auf dem Zieldrehmoment  $T_M$  und dem Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $R_{V\omega}$  in der Richtung, in der der Feldfluss verstärkt ist ( $\Delta I_d \geq \Delta I_d T$ ). Das Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $R_{V\omega}$  ist das Verhältnis der DC-Spannung  $V_{dc}$  zu der Drehzahl  $\omega$  des Motors **4**. Dieses Ausführungsbeispiel ist auf die Beziehung fokussiert zwischen dem Effekt des Reduzierens des Schaltverlustes des Wechselrichters **6**, was erreicht wird durch Durchführen der Starkfeldsteuerung und der Rechteckwellensteuerung, und einer Reduzierung der Effizienz aufgrund einer Zunahme des d-Achsenstromereinstellungsbefehlswerts  $\Delta I_d$  in der Richtung, in der der Feldfluss verstärkt ist. Der Verlust des Motors **4** und der Motorantriebsvorrichtung **1**, wenn der Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus A1 (hier der Normalfeld/Normal-PWM-Steuerungsmodus A1a) durchgeführt wird, wird speziell als ein normaler Verlust  $Loss_1$  bezeichnet, der Verlust des Motors **4** und der Motorantriebsvorrichtung **1**, wenn der Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A3 durchgeführt wird, wird als ein Starkfeldverlust  $Loss_2$  bezeichnet, und eine Wirkungsgradzunahme, die durch das Ausführen der Starkfeldsteuerung erlangt wird, wird als Verlustdifferenz  $\Delta Loss$  ( $= Loss_1 - Loss_2$ ) bezeichnet. Die obere Grenze des Bereichs des d-Achsenstromereinstellungsbefehlswerts  $\Delta I_d$ , bei der der Starkfeldverlust  $Loss_2$  kleiner ist als der normale Verlust  $Loss_1$ , also bei der die Verlustdifferenz  $\Delta Loss$  positiv ( $\Delta Loss > 0$ ) ist in der Richtung, in der der Feldfluss verstärkt ist, wird als Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta I_d T$  bezeichnet.

**[0098]** Die Steuerungsvorrichtung **2** hat als die Starkfeldendebedingungskarte **35** (siehe [Fig. 1](#)) eine Einstellungsbefehlsschwellenwertkarte **35B** (siehe [Fig. 8C](#)), die einen geeigneten Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta I_d T$  in Verbindung mit dem Ziel-

drehmoment  $T_M$  und dem Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $R_{V\omega}$  definiert. Die Modussteuerungseinheit **5** berechnet einen geeigneten Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta I_d T$  entsprechend dem Zieldrehmoment  $T_M$  und dem Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $R_{V\omega}$  basierend auf der Einstellungsbefehlsschwellenwertkarte **35B**. [Fig. 8](#) zeigt ein schematisches Diagramm, das ein Verfahren verdeutlicht zum Berechnen des Einstellungsbefehlsschwellenwerts  $\Delta I_d T$  als ein Verfahren zum Erzeugen der Einstellungsbefehlsschwellenwertkarte **35B**.

**[0099]** Der geeignete Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta I_d T$  kann durch die aktuelle Steuerungsvorrichtung **2** experimentell berechnet werden. Wie in [Fig. 8A](#) gezeigt, wird beispielsweise zuerst eine willkürliche Spannung aus dem Bereich der DC-Spannung  $V_{dc}$  ausgewählt, die durch die DC-Leistungsversorgung **3** erreicht werden kann, und ein willkürliches Drehmoment wird aus dem Bereich des Zieldrehmoments  $T_M$ , das durch den Motor **4** erreicht werden kann, ausgewählt. In diesem Ausführungsbeispiel wird beispielsweise „ $V_{dc1}$ “ als DC-Spannung  $V_{dc}$  ausgewählt, und „ $TM3$ “ wird als Zieldrehmoment  $T_M$  ausgewählt ( $V_{dc} = V_{dc1}$  und  $T_M = TM3$ ). Eine PWM-verfügbare obere Grenzdrehzahl  $\omega_U$ , die eine Drehzahl  $\omega$  ist, bei der die PWM-Steuerung durchgeführt werden kann, wird bei der ausgewählten DC-Spannung  $V_{dc} = V_{dc1}$  und dem ausgewählten Zieldrehmoment  $T_M = TM3$  berechnet. Die PWM-verfügbare obere Grenzdrehzahl  $\omega_U$  kann als Drehzahl  $\omega$  einer Spannungsgrenzellipse **63U** berechnet werden, die durch einen Kreuzungspunkt verläuft zwischen der Maximumdrehzahlsteuerungslinie **62** und der kongruenten Drehmomentlinie **61** des Zieldrehmoments  $T_M = TM3$  in der  $I_d$ - $I_q$ -Ebene, die in [Fig. 8A](#) gezeigt ist, wenn die DC-Spannung  $V_{dc} = V_{dc1}$  gebildet wird. Dann werden die ausgewählte DC-Spannung  $V_{dc} = V_{dc1}$  und das ausgewählte Zieldrehmoment  $T_M = TM3$  in die Steuerungsvorrichtung **2** eingegeben, und der Wechselrichter **6** führt die PWM-Steuerung (hier die normale PWM-Steuerung) durch, um die Drehzahl  $\omega$  des Motors **4** allmählich von der PWM-verfügbaren oberen Grenzdrehzahl  $\omega_U$  aus zu reduzieren. Dann wird die Beziehung zwischen dem d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$ , der in Abhängigkeit von der Drehzahl  $\omega$  und dem normalen Verlust  $Loss_1$  variiert, gemessen. Bei der gleichen DC-Spannung  $V_{dc}$  und dem gleichen Zieldrehmoment  $T_M$  führt der Wechselrichter **6** die Rechteckwellensteuerung durch, um allmählich die Drehzahl  $\omega$  des Motors **4** von der PWM-verfügbaren oberen Grenzdrehzahl  $\omega_U$  aus zu reduzieren. Dann wird die Beziehung zwischen dem d-Achsenstromereinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$ , der in Abhängigkeit von der Drehzahl  $\omega$  und dem Starkfeldverlust  $Loss_2$  variiert, gemessen. Jeder von dem normalen Verlust  $Loss_1$  und dem Starkfeldverlust  $Loss_2$  enthält den Kupferverlust und Eisenverlust des Motors **4** und den Schaltverlust der Motorantriebsvorrichtung **1** bei der

PWM-Steuerung oder der Rechteckwellensteuerung, und wird berechnet durch die Differenz zwischen der Leistung, die von der DC-Leistungsversorgung **3** an die Motorantriebsvorrichtung **1** geliefert wird, und der Ausgangsleistung des Motors **4**.

**[0100]** In dieser Weise wird die Beziehung zwischen dem d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$ , der in Abhängigkeit von der Drehzahl  $\omega$ , dem normalen Verlust  $Loss_1$  und dem Starkfeldverlust  $Loss_2$  variiert, berechnet. Wie in [Fig. 8A](#) gezeigt, wird die Beziehung zwischen dem d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$ , der in Abhängigkeit von der Drehzahl  $\omega$  und einer Verlustdifferenz  $\Delta Loss$  variiert, berechnet aus der Differenz ( $Loss_1 - Loss_2$ ) zwischen dem normalen Verlust  $Loss_1$  und dem Starkfeldverlust  $Loss_2$  bei jedem d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  (Drehzahl 0). Dann wird die Drehzahl  $\omega$  und der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  bei dem Moment berechnet, bei dem die Verlustdifferenz  $\Delta Loss$  geändert wird von einem positiven Wert zu einem negativen Wert (bei dem Moment, wenn die Verlustdifferenz  $\Delta Loss$  gleich 0 ist), basierend auf der Beziehung zwischen dem d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  und der Verlustdifferenz  $\Delta Loss$ . In dem in [Fig. 8A](#) gezeigten Beispiel ist in diesem Fall die Drehzahl  $\omega$  gleich „ $\omega_1$ “ und der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  ist gleich „ $\Delta Id_{31}$ “. Das Verhältnis zwischen der berechneten Drehzahl  $\omega = \omega_1$  und der DC-Spannung  $V_{dc} = V_{dc1}$  ist das Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $RV\omega_1$ . Der berechnete d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id = \Delta Id_{31}$  ist der Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta Id_T$  bei dem Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $RV\omega = RV\omega_1$  und dem Zieldrehmoment  $T_M = T_{M3}$ . Der Einstellungsbefehlswert  $\Delta Id_T = \Delta Id_{31}$  ist ein Wert der Einstellungsbefehlsschwellenwertkarte **35B** (siehe [Fig. 8C](#)), der dem Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $RV\omega = RV\omega_1$  und dem Zieldrehmoment  $T_M = T_{M3}$ , die als Parameter dienen, entspricht.

**[0101]** Wie in [Fig. 8B](#) gezeigt werden dann verschiedene Drehmomente, beispielsweise ein Zieldrehmoment  $T_M = T_{M1}$ , ein Zieldrehmoment  $T_M = T_{M2}$ , ..., aus dem Bereich des Zieldrehmoments  $T_M$ , der durch den Motor **4** erreicht werden kann, ausgewählt, während die DC-Spannung  $V_{dc} = V_{dc1}$  aufrecht erhalten bleibt. In ähnlicher Weise wird die Beziehung zwischen dem d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$ , der in Abhängigkeit von der Drehzahl  $\omega$  und der Verlustdifferenz  $\Delta Loss$  variiert, berechnet. Dann wird für jedes Zieldrehmoment  $T_M$  die Drehzahl  $\omega$  und der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  bei dem Moment berechnet, wenn die Verlustdifferenz  $\Delta Loss$  sich von einem positiven Wert zu einem negativen Wert ändert. Das Verhältnis der DC-Spannung  $V_{dc}$  zu der Drehzahl  $\omega$  ist das Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $RV\omega$ , und der berechnete d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  ist der Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta Id_T$  bei dem

Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $RV\omega$  und dem Zieldrehmoment  $T_M$ . Darüber hinaus werden verschiedene Spannungen, beispielsweise eine DC-Spannung  $V_{dc} = V_{dc2}$ , eine DC-Spannung  $V_{dc} = V_{dc3}$ , ..., aus dem Bereich der DC-Spannung  $V_{dc}$ , der durch die DC-Leistungsversorgung **3** erreicht werden kann, ausgewählt. Ähnlich wie oben werden verschiedene Zieldrehmomente  $T_M$  für jede DC-Spannung  $V_{dc}$  ausgewählt, und die Beziehung zwischen dem d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$ , der in Abhängigkeit von der Drehzahl  $\omega$  und der Verlustdifferenz  $\Delta Loss$  variiert, wird berechnet. Dann werden für jede Kombination von der DC-Spannung  $V_{dc}$  und dem Zieldrehmoment  $T_M$  die Drehzahl  $\omega$  und der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  bei dem Moment berechnet, wenn die Verlustdifferenz  $\Delta Loss$  sich von einem positiven Wert zu einem negativen Wert ändert. Das Verhältnis der DC-Spannung  $V_{dc}$  zu der Drehzahl  $\omega$  ist das Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $RV\omega$ , und der berechnete d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  ist der Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta Id_T$  bei dem Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $RV\omega$  und dem Zieldrehmoment  $T_M$ . Dann wird die Beziehung zwischen dem Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $RV\omega$ , dem Zieldrehmoment  $T_M$  und dem Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta Id_T$  als Karte des Einstellungsbefehlsschwellenwerts  $\Delta Id_T$  in der Einstellungsbefehlsschwellenwertkarte **35B** registriert.

**[0102]** In dieser Weise, wie in [Fig. 8C](#) gezeigt, kann die Einstellungsbefehlsschwellenwertkarte **35B**, die einen geeigneten Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta Id_T$  in Verbindung mit dem Zieldrehmoment  $T_M$  und dem Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $RV\omega$  definiert, erzeugt werden. Die Steuerungsvorrichtung **2** enthält die Einstellungsbefehlsschwellenwertkarte **35B** als einen Teil der Starkfeldendebedingungskarte **35**, wie in [Fig. 1](#) gezeigt, derart, dass die Modussteuerungseinheit **5** auf die Einstellungsbefehlsschwellenwertkarte **35B** Bezug nehmen kann. In dem oben genannten Verfahren wird das Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $RV\omega$ , das als Parameter des Einstellungsbefehlsschwellenwerts  $\Delta Id_T$  dient, basierend auf der Drehzahl  $\omega$  bei dem Moment berechnet, wenn die Verlustdifferenz  $\Delta Loss$  sich von einem positiven Wert zu einem negativen Wert ändert. In manchen Fällen hat folglich das Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $RV\omega$ , das die vertikale Achse der Einstellungsbefehlsschwellenwertkarte **35B** bildet, nicht den gleichen Wert für jedes Zieldrehmoment  $T_M$ . In diesem Fall wird der Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta Id_T$ , wenn das Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $RV\omega$  gleich einem vorbestimmten Wert ist, durch ein lineares Interpolationsverfahren berechnet, und eine Karte des Einstellungsbefehlsschwellenwerts  $\Delta Id_T$  wird erzeugt.

2-4-3. Starkfeldendebedingung  
(C): Endebedingung, die auf dem  
Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereich  
TMR basiert

**[0103]** In diesem Ausführungsbeispiel verwendet die Modussteuerungseinheit **5** die Endebedingung, die auf dem Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereich TMR basiert, als die Starkfeldendebedingung (C). Die Modussteuerungseinheit **5** beendet also die Starkfeldsteuerung derart, dass die Feldeinstellungseinheit **8** die Starkfeldsteuerung nicht durchführt, wenn das Zieldrehmoment  $T_M$  des Motors **4** jenseits eines vorbestimmten Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereichs TMR ist. Wenn die obere Grenze des Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereichs TMR eine zulässige Drehmomentobergrenze  $TMRH$  ist, und die untere Grenze davon eine zulässige Drehmomentuntergrenze  $TMRL$  ist, und das Zieldrehmoment  $T_M$  kleiner als die zulässige Drehmomentuntergrenze  $TMRL$  ist oder das Zieldrehmoment  $T_M$  größer als die zulässige Drehmomentobergrenze  $TMRH$  ist, beendet die Modussteuerungseinheit **5** die Starkfeldsteuerung. Vorzugsweise ist beispielsweise die zulässige Drehmomentobergrenze  $TMRH$  derart gesetzt, dass die Größe des Stroms, der durch die Ankerspule des Motors **4** fließt, nicht größer ist als der zulässige Stromgrenzwert des Motors **4**, wenn die Rechteckwellensteuerung durchgeführt wird, bei der die Größe der harmonischen Komponenten, die andere sind als die Fundamentalwellenkomponente des AC-Stroms, der durch den Motor **4** fließt, mit hoher Wahrscheinlichkeit zunimmt. Beispielsweise ist die zulässige Drehmomentuntergrenze  $TMRL$  derart gesetzt, dass der Drehmomentbereich, der nicht geeignet ist zum Durchführen der Rechteckwellensteuerung, da das Ausgangsdrehmoment zu klein ist, von dem Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereich TMR ausgeschlossen ist.

2-4-4. Betrieb des Beendens der Starkfeldsteuerung

**[0104]** Wenn irgendeine der Starkfeldendebedingungen (A) bis (C) erfüllt ist, führt die Modussteuerungseinheit **5** eine Steuerung durch, um den d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  auf Null zu ändern. Wenn die Starkfeldendebedingungen erfüllt sind, gibt die Modussteuerungseinheit **5** einen Befehl zum Ändern des d-Achsenstromeinstellungsbefehlswerts  $\Delta Id$  auf Null an den Integrator **32**, wodurch der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$ , der von dem Integrator **32** ausgegeben wird, auf Null geändert wird. In diesem Fall steuert die Modussteuerungseinheit **5** die Feldeinstellungseinheit **8**, um den d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  von dem augenblicklichen Wert auf Null mit konstanter Änderungsrate zu ändern. Da der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  ein positiver Wert ist während der Starkfeldsteuerung, reduziert also die Modussteuerungseinheit **5** allmäh-

lich den d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  von dem augenblicklichen Wert auf Null im Laufe der Zeit, um die Starkfeldsteuerung zu beenden. Wenn die Starkfeldsteuerung beendet wird, ändert die Modussteuerungseinheit **5** allmählich den d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  in eine Richtung, in der die Größe der Einstellung des Feldflusses reduziert wird, wodurch allmählich der Modulationsfaktor  $M$  reduziert wird. In dieser Weise reduziert die Steuerungseinheit **5** allmählich den Modulationsfaktor  $M$  von dem Rechteckwellenschwellenwert  $M_b$  (maximaler Modulationsfaktor  $M_{max} = 0,78$ ), bei dem der Rechteckwellensteuerungsmodus durchgeführt wird, und führt den Starkfeld/Übermodulations-PWM-Steuerungsmodus A2b aus (Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus A2), während der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  auf Null geändert wird und während der Modulationsfaktor  $M$  der Übermodulationsschwellenwert  $M_o$  ( $= 0,707$ ) wird. Wenn der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  Null ist und der Modulationsfaktor  $M$  kleiner als der Übermodulationsschwellenwert  $M_o$  ist, wird der Steuerungsmodus in den Normalfeld/Normal-PWM-Steuerungsmodus A1a geändert (Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus A1).

**[0105]** In diesem Ausführungsbeispiel, wenn die Starkfeldsteuerung beendet wird, ändert die Modussteuerungseinheit **5** den Steuerungsmodus von dem Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A3 über den Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus A2 in den Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus A1. In dieser Weise ist es möglich, eine schnelle Änderung der eingestellten Strombefehlswerte  $I_d$  und  $I_q$  aufgrund des d-Achsenstromeinstellungsbefehlswerts  $\Delta Id$  zu verhindern, und eine schnelle Änderung des Modulationsfaktors  $M$  zu verhindern, wenn die Starkfeldsteuerung endet. Folglich ist es möglich, eine schnelle Änderung des Stroms zu verhindern, der durch die Spule des Motors **4** fließt, und ein Überschwingen sowie eine Oszillation des Ausgangsdrehmoments des Motors **4** können verhindert werden. Wenn alle Starkfeldendebedingungen (A), (B) und (C) nicht erfüllt sind, stoppt die Modussteuerungseinheit **5** einen Ende-Betrieb, um eine Änderung des d-Achsenstromeinstellungsbefehlswerts  $\Delta Id$  auf Null zu erzwingen. In dieser Weise wird der Steuerungsbetrieb der Steuerung des Integrators **32**, um den Einstellungswert  $Y$  zu integrieren, um den d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  zu berechnen, wieder aufgenommen.

3. Betrieb der Steuerungsvorrichtung

**[0106]** Als Nächstes wird der Betrieb jeder Einheit der Steuerungsvorrichtung **2** im Einzelnen unter Bezugnahme auf die [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) beschrieben. [Fig. 9](#) ist ein Flussdiagramm, das den Betriebsfluss jeder Einheit der Steuerungsvorrichtung **2** ge-

mäß diesem Ausführungsbeispiel verdeutlicht, bis die Spannungsbefehlswerte  $V_d$  und  $V_q$  berechnet sind.

**[0107]** Wie in **Fig. 9** gezeigt berechnet die Modulationsfaktorberechnungseinheit **29** in der Steuerungsvorrichtung **2** zuerst den Modulationsfaktor  $M$  (Schritt #01). Dann subtrahiert der Subtrahierer **30** den Befehlsmodulationsfaktor  $MT$  (maximaler Modulationsfaktor  $M_{max} = 0,78$ ) von dem Modulationsfaktor  $M$ , um die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  ( $= M - MT$ ) zu berechnen (Schritt #02). Dann bestimmt die Steuerungsvorrichtung **2**, ob der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  größer als Null ist ( $\Delta Id > 0$ ) (Schritt #03). Durch diese Bestimmung wird bestimmt, ob die Steuerungsvorrichtung **2** die Starkfeldsteuerung durchführt. Wenn der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  gleich oder kleiner als Null ist ( $\Delta Id \leq 0$ ) (Schritt #03: Nein), kann bestimmt werden, dass die Steuerungsvorrichtung **2** die Normalfeldsteuerung oder die Schwachfeldsteuerung durchführt. Dann wird bestimmt, ob die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  kleiner als Null ist ( $\Delta M < 0$ ) (Schritt #04). Durch diese Bestimmung wird bestimmt, ob der Modulationsfaktor  $M$  kleiner als der Befehlsmodulationsfaktor  $MT$  ist. Wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  gleich oder größer als Null ist ( $\Delta M > 0$ ) (Schritt #04: Nein), wird der Prozess bei Schritt #06 fortgesetzt, und der Integrator **32** integriert den Einstellungswert  $Y$  (siehe **Fig. 6**) gleich oder kleiner Null, der von der Integraleingabeeinstellungseinheit **31** ausgegeben wird, basierend auf der Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$ , um den d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  zu berechnen (Schritt #06). In dieser Weise wird der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  in negativer Richtung geändert, also in die Richtung, in der der Feldfluss des Motors **4** geschwächt wird. In diesem Fall startet die Schwachfeldsteuerung während der Normalfeldsteuerung, und die Intensität des Schwachfelds nimmt während der Schwachfeldsteuerung zu.

**[0108]** Wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  kleiner als Null ist ( $\Delta M < 0$ ) (Schritt #04: Ja), wird bestimmt, ob die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  gleich oder größer ist als die Starkfeldstartabweichung  $\Delta Ms$  ( $\Delta M \geq \Delta Ms$ ) (Schritt #05). Wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  kleiner ist als die Starkfeldstartabweichung  $\Delta Ms$  ( $\Delta M < \Delta Ms$ ) (Schritt #05: Nein), gibt die Integraleingabeeinstellungseinheit **31** Null als Einstellungswert  $Y$  aus (siehe **Fig. 6**). Der Prozess wird bei Schritt #07 fortgesetzt, ohne den Einstellungswert  $Y$  durch den Integrator **32** zu integrieren. Folglich wird der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  nicht geändert. In diesem Fall, wenn die Steuerungsvorrichtung die Normalfeldsteuerung durchführt, wird die Normalfeldsteuerung weiter durchgeführt, und wenn die Steuerungsvorrichtung die Schwachfeldsteuerung durchführt, wird die Schwachfeldsteuerung weiter durchgeführt. Wenn die Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$  gleich

oder größer ist als die Starkfeldstartabweichung  $\Delta Ms$  ( $\Delta M \geq \Delta Ms$ ) (Schritt #05: Ja), gibt die Integraleingabeeinstellungseinheit **31** einen positiven Wert als Einstellungswert  $Y$  aus (siehe **Fig. 6**). Dann integriert der Integrator **32** den positiven Einstellungswert  $Y$ , um den d-Stromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  zu berechnen (Schritt #06). In dieser Weise wird der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  in positiver Richtung geändert, also in die Richtung, in der der Feldfluss des Motors **4** verstärkt wird. In diesem Fall, wenn die Steuerungsvorrichtung die Normalfeldsteuerung durchführt, startet die Starkfeldsteuerung, und wenn die Steuerungsvorrichtung die Schwachfeldsteuerung durchführt, wird die Intensität der Schwachfeldsteuerung reduziert oder der Steuerungsmodus wird in den Starkfeldsteuerungsmodus geändert.

**[0109]** Wenn der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  größer als Null ist ( $\Delta Id > 0$ ) (Schritt #03: Ja), kann bestimmt werden, dass die Steuerungsvorrichtung **2** die Starkfeldsteuerung durchführt. Dann bestimmt die Modussteuerungseinheit **5** die Starkfeldbedingungsbedingungen (A) bis (C). Speziell bestimmt die Modussteuerungseinheit **5** die Bedingung (A): Ob die Drehzahl  $\omega$  des Motors **4** kleiner ist als der Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$ , der basierend auf der Zieldrehzahl  $T_M$  und der DC-Spannung  $V_{dc}$  bestimmt wird ( $\omega < \omega_T$ ) (Schritt #10), die Bedingung (B): Ob der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  gleich oder größer ist als der Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta Id_T$ , der basierend auf dem Zieldrehmoment  $T_M$  und dem Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $RV\omega$  bestimmt wird ( $\Delta Id \geq \Delta Id_T$ ) (Schritt #11), und die Bedingung (C): Ob das Zieldrehmoment  $T_M$  des Motors **4** jenseits des vorbestimmten Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereichs  $TMR$  ist (Schritt #12). Wenn irgendeine der Starkfeldbedingungsbedingungen (A) bis (C) erfüllt ist (Schritt #10: Ja, Schritt #11: Ja oder Schritt #12: Ja), führt die Modussteuerungseinheit **5** den Betrieb des Beendens der Starkfeldsteuerung durch. Die Modussteuerungseinheit **5** ändert also den d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  auf Null mit konstanter Änderungsrate, um die Starkfeldsteuerung zu beenden (Schritt #13). In dieser Weise endet die Starkfeldsteuerung und die Normalfeldsteuerung wird durchgeführt. Wenn alle Starkfeldbedingungsbedingungen (A) bis (C) nicht erfüllt sind (Schritt #10: Nein, Schritt #11: Nein und Schritt #12: Nein), wird die Starkfeldsteuerung weiter durchgeführt und der Prozess wird bei Schritt #06 fortgesetzt. Folglich integriert der Integrator **32** den Einstellungswert  $Y$ , der von der Integraleingabeeinstellungseinheit **31** ausgegeben wird, gemäß der Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$ , um den d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  zu berechnen (Schritt #06). In dieser Weise wird während der Starkfeldsteuerung der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  geeignet eingestellt gemäß der Modulationsfaktorabweichung  $\Delta M$ . In diesem Fall kann der d-Achsenstromein-

lungsbefehlswert  $\Delta Id$  in negativer Richtung geändert werden, und der Steuerungsbetrieb kann von der Starkfeldsteuerung zu der Schwachfeldsteuerung geändert werden.

**[0110]** Dann wird der d-Achsenbasisstrombefehlswert  $I_{db}$ , der durch die d-Achsenstrombefehlswertberechnungseinheit **21** berechnet wird, zu dem d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  hinzu addiert, der durch den Integrator **32** berechnet wird, um den eingestellten d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  zu berechnen (Schritt #07). Die q-Achsenstrombefehlswertberechnungseinheit **22** berechnet den eingestellten q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  (Schritt #08). Dann berechnet die Stromsteuerungseinheit **24** die Spannungsbefehlswerte  $V_d$  und  $V_q$  basierend auf dem eingestellten d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  und dem eingestellten q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  (Schritt #18). Dann endet der Prozess.

**[0111]** Als Nächstes wird ein Beispiel des Betriebs der Steuerungsvorrichtung **2** basierend auf dem in **Fig. 9** gezeigten Flussdiagramm unter Bezugnahme auf die **Fig. 3** und **Fig. 10** beschrieben. **Fig. 10** ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Änderung der eingestellten Strombefehlswerte  $I_d$  und  $I_q$  aufgrund des Zieldrehmoments  $T_M$ , der Drehzahl  $\omega$  und des d-Achsenstromeinstellungsbefehlswerts  $\Delta Id$  zeigt, wenn der Arbeitspunkt des Motors **4** geändert wird in der Reihenfolge von einem Punkt  $t_0$  zu einem Punkt  $t_6$ , wie in **Fig. 3** gezeigt, wenn eine Zeit  $T$  verstreicht, und dann der Arbeitspunkt des Motors **4** geändert wird in der Reihenfolge von einem Punkt  $t_7$  zu einem Punkt  $t_{13}$ . Speziell zeigt **Fig. 10A** eine Änderung des Zieldrehmoments  $T_M$  entlang der Zeitachse  $T$ , **Fig. 10B** zeigt eine Änderung der Drehzahl  $\omega$  und **Fig. 10C** zeigt eine Änderung des eingestellten d-Achsenstrombefehlswerts  $I_d$  und des eingestellten q-Achsenstrombefehlswerts  $I_q$ .

**[0112]** In diesem Beispiel nimmt während der Zeitperiode zwischen  $t_0$  und  $t_1$  die Drehzahl  $\omega$  von Null auf  $\omega_1$  zu, wobei das Zieldrehmoment  $T_M$  Null ist. In diesem Fall werden der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  und der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  auf Null gehalten. Während der Zeitperiode von  $t_1$  bis  $t_2$  nimmt das Zieldrehmoment  $T_M$  von Null aus zu auf  $T_{M6}$ , wobei die Drehzahl  $\omega$  auf  $\omega_1$  gehalten wird. In diesem Fall wird der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  auf  $I_{d8}$  reduziert proportional zu dem Zieldrehmoment  $T_M$ , und der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  nimmt auf  $I_{q8}$  zu proportional zu dem Zieldrehmoment  $T_M$ . Während der Zeitperiode von  $t_2$  zu  $t_6$  nimmt die Drehzahl  $\omega$  von  $\omega_1$  auf  $\omega_2$  zu, wobei das Zieldrehmoment  $T_M$  auf  $T_{M6}$  gehalten wird. In diesem Fall, während der Zeitperiode von  $t_2$  bis  $t_3$ , bis der Arbeitspunkt des Motors **4** innerhalb des Starkfeldsteuerungsbereichs  $F$  ist, werden der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  und der einge-

stellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  konstant gehalten. Während der Zeitperiode von  $t_0$  bis  $t_3$  wird der Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus  $A_1$  (Normalfeld/Normal-PWM-Steuerungsmodus  $A_{1a}$ ) durchgeführt. Während der Zeitperiode von  $t_3$  bis  $t_4$ , nachdem der Arbeitspunkt des Motors **4** innerhalb des Starkfeldsteuerungsbereichs  $F$  liegt, nimmt der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  zu und die Starkfeldsteuerung wird durchgeführt. Zusätzlich nimmt der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  von  $I_{d8}$  auf  $I_{d9}$  zu und der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  nimmt von  $I_{q8}$  auf  $I_{q9}$  zu. Zu diesem Zeitpunkt, bis der Modulationsfaktor  $M$  den Rechteckwellenschwellenwert  $M_b$  erreicht (der Zeitpunkt  $t_3$  bis Zeitpunkt  $t_4$ ), wird der Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus  $A_2$  durchgeführt.

**[0113]** Während der Zeitperiode von  $t_4$  bis  $t_5$  nimmt dann die Drehzahl  $\omega$  zu, und der Durchmesser der Spannungsbegrenzungsellipse **63**, wie in **Fig. 5** gezeigt, wird reduziert. Während der Rechteckwellensteuerung werden beide Werte, der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  und der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$ , die auf die Spannungsbegrenzungsellipse **63** eingestellt sind, reduziert. Speziell wird der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  von  $I_{d9}$  auf  $I_{d8}$  reduziert, und der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  wird von  $I_{q9}$  auf  $I_{q8}$  reduziert. In diesem Fall wird auch der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  reduziert. Während der Zeitperiode von  $t_4$  bis  $t_5$  wird der Starkfeld/Rechteckwellensteuerungsmodus  $A_3$  durchgeführt. Zum Zeitpunkt  $t_5$  wird der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  auf Null geändert, und die Starkfeldsteuerung endet. Während der Zeitperiode von  $t_5$  bis  $t_6$ , nachdem der Arbeitspunkt außerhalb des Starkfeldsteuerungsbereichs  $F$  liegt, wird der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  weiter reduziert auf einen negativen Wert, und die Schwachfeldsteuerung wird durchgeführt. Darüber hinaus wird der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  von  $I_{d8}$  auf  $I_{d7}$  reduziert, und der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  wird von  $I_{q8}$  auf  $I_{q7}$  reduziert. Während der Zeitperiode von  $t_6$  bis  $t_7$  werden sowohl die Drehzahl  $\omega$  als auch das Zieldrehmoment  $T_M$  konstant gehalten. Folglich werden der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  und der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  nicht geändert.

**[0114]** Während der Zeitperiode von  $t_7$  bis  $t_{11}$  wird die Drehzahl  $\omega$  reduziert von  $\omega_2$  auf  $\omega_1$ , wobei das Zieldrehmoment  $T_M$  bei  $T_{M6}$  gehalten wird. In diesem Fall wird während der Zeitperiode von  $t_7$  bis  $t_8$ , bis der Arbeitspunkt des Motors **4** innerhalb des Starkfeldsteuerungsbereichs  $F$  liegt, die Schwachfeldsteuerung durchgeführt, und der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  nimmt allmählich zu. Darüber hinaus nimmt der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  zu von  $I_{d7}$  auf  $I_{d8}$ , und der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  nimmt



zu von  $I_{q7}$  auf  $I_{q8}$ . Zum Zeitpunkt  $t_8$  ist der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  Null und die Schwachfeldsteuerung endet. Während der Zeitperiode von  $t_5$  bis  $t_8$  wird der Schwachfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A5 durchgeführt. Während der Zeitperiode von  $t_8$  bis  $t_9$ , nachdem der Arbeitspunkt des Motors **4** innerhalb des Starkfeldsteuerungsbereichs F liegt, wird die Drehzahl  $\omega$  reduziert und der Durchmesser der in [Fig. 5](#) gezeigten Spannungsbegrenzungsellipse **63** wird erhöht. Folglich nehmen während der Rechteckwellensteuerung beide Werte, der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  und der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$ , die auf die Spannungsbegrenzungsellipse **63** eingestellt sind, zu. Speziell nimmt der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  zu von  $I_{d8}$  auf  $I_{d9}$ , und der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  nimmt zu von  $I_{q8}$  auf  $I_{q9}$ . In diesem Fall nimmt auch der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  zu. Während der Zeitperiode von  $t_8$  bis  $t_9$  wird der Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus A3 durchgeführt. In diesem Beispiel ist zum Zeitpunkt  $t_9$  irgendeine der Starkfeldendebedingungen (A) bis (C) erfüllt, und der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  wird mit konstanter Änderungsrate (eine konstante Reduzierungsrate) auf Null geändert während der Zeitperiode von  $t_9$  bis  $t_{10}$ . In dieser Weise wird der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  von  $I_{d9}$  auf  $I_{d8}$  reduziert, und der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  wird reduziert von  $I_{q9}$  auf  $I_{q8}$ . Da die Reduzierungsrate des d-Achsenstromeinstellungsbefehlswerts  $\Delta I_d$  in dieser Weise gesteuert wird, wird auch die Reduzierungsrate des eingestellten d-Achsenstrombefehlswerts  $I_d$  und des eingestellten q-Achsenstrombefehlswerts  $I_q$ , die durch den d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  erlangt werden, gesteuert, und der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  nimmt in einer sanften Kurve zu. In dieser Weise wird die Änderungsrate (die Rate der Reduzierung) des Modulationsfaktors M reguliert und eine vorbestimmte Zeitperiode wird sichergestellt, bis der Modulationsfaktor M den Starkfeldschwellenwert  $M_s$  erreicht (Kurve L2 in [Fig. 3](#)). Während der Zeitperiode (von der Zeit  $t_9$  bis zur Zeit  $t_{10}$ ) wird der Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus A2 durchgeführt.

**[0115]** Während der Zeitperiode von der Zeit  $t_{10}$  bis zur Zeitperiode  $t_{11}$ , nachdem der Arbeitspunkt des Motors **4** außerhalb des Starkfeldsteuerungsbereichs F ist, werden der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  und der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  konstant gehalten. Während der Zeitperiode von  $t_{11}$  bis  $t_{12}$  wird das Zieldrehmoment  $T_M$  reduziert von  $T_{M6}$  auf Null, wobei die Drehzahl  $\omega$  bei  $\omega_1$  gehalten wird. In diesem Fall nimmt der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  von  $I_{d8}$  auf Null zu proportional zu dem Zieldrehmoment  $T_M$ , und der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  wird reduziert von  $I_{q8}$  auf Null proportional zu dem Zieldrehmoment  $T_M$ . Während der Zeitperiode von  $t_{12}$  bis  $t_{13}$

wird die Drehzahl  $\omega$  reduziert von  $\omega_1$  auf Null, wobei das Zieldrehmoment  $T_M$  Null ist. In diesem Fall werden der eingestellte d-Achsenstrombefehlswert  $I_d$  und der eingestellte q-Achsenstrombefehlswert  $I_q$  auf Null gehalten. Während der Zeitperiode von  $t_{10}$  bis  $t_{13}$  wird der Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus A1 (Normalfeld/Normal-PWM-Steuerungsmodus A1a) durchgeführt.

#### 4. Andere Ausführungsbeispiele

(1) In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel ist als ein Beispiel der Fall gegeben, bei dem der Wert, der basierend auf dem Zieldrehmoment  $T_M$  und der DC-Spannung  $V_{dc}$  bestimmt wird, als Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$  verwendet wird, der in der Starkfeldendebedingung (A) verwendet wird. Das Ausführungsbeispiel der Erfindung ist jedoch nicht darauf beschränkt. Gemäß einer von beispielhaften Ausführungsformen kann beispielsweise der Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$  auf einen konstanten Wert gesetzt sein, ungeachtet des Zieldrehmoments  $T_M$  und der DC-Spannung  $V_{dc}$ . Gemäß einem von beispielhaften Ausführungsformen kann darüber hinaus der Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$  basierend auf irgendeinem von dem Zieldrehmoment  $T_M$  und der DC-Spannung  $V_{dc}$  bestimmt werden. Gemäß einer von beispielhaften Ausführungsformen kann der Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$  durch eine vorbestimmte Formel basierend auf dem Zieldrehmoment  $T_M$ , der DC-Spannung  $V_{dc}$  und dem Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta I_{dT}$  berechnet werden. Wenn der Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$  in dieser Weise bestimmt wird, ist es speziell von Vorteil, dass die Starkfeldsteuerung endet, wenn beide, die Starkfeldendebedingung (A), die auf dem Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$  basiert, und die Starkfeldendebedingung (B), die auf dem Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta I_{dT}$  basiert, erfüllt sind. In diesem Fall beendet die Modussteuerungseinheit **5** die Starkfeldsteuerung bei der Bedingung, dass der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d$  gleich oder größer ist als der Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta I_{dT}$  in der Richtung, in der der Feldfluss verstärkt wird, und die Drehzahl  $\omega$  kleiner ist als der Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$ . In diesem Fall ist vorzugsweise die Starkfeldendebedingung (C), die auf dem Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereich  $T_{MR}$  basiert, optional, und die Starkfeldsteuerung endet, wenn irgendeine der Bedingungen (A), (B) und (C) erfüllt ist.

(2) In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel ist der folgende Fall als Beispiel angegeben: Die Starkfeldsteuerung endet, wenn irgendeine der drei Starkfeldendebedingungen, also (A) die Drehzahl  $\omega$  des Motors **4** < Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$ , (B) d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta I_d \geq$  Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta I_{dT}$ , und (C) Zieldrehmoment  $T_M$  ist jenseits des

Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereichs TMR, erfüllt ist. Das Ausführungsbeispiel der Erfindung ist jedoch nicht darauf beschränkt. Gemäß einer von beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung kann beispielsweise die Steuerungseinheit **5** nur die Starkfeldendebedingung (B) bestimmen, und die Starkfeldendesteuerung nur durchführen, wenn die Bedingung (B) erfüllt ist. Gemäß einer von beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung kann zusätzlich die Modussteuerungseinheit **5** die Starkfeldendebedingungen (A) und (B) oder die Starkfeldendebedingungen (B) und (C) bestimmen, und die Starkfeldendesteuerung nur durchführen, wenn irgendeine der Starkfeldendebedingungen erfüllt ist.

(3) In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel ist als ein Beispiel der Fall angegeben, bei dem die Drehzahl  $\omega$  des Motors **4**, bei der der Modulationsfaktor M der Starkfeldschwellenwert  $M_s$  ( $= 0,707$ ) ist, als Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$  verwendet wird, in der Starkfeldendebedingung (A) verwendet wird. Das Ausführungsbeispiel der Erfindung ist jedoch nicht darauf beschränkt. Der Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$  kann auf die Drehzahl  $\omega$  gesetzt werden, wenn der Modulationsfaktor M einen vorbestimmten Wert hat, der ein anderer ist als der Starkfeldschwellenwert  $M_s$ . Gemäß einer von beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung kann folglich der Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$  auf die Drehzahl  $\omega$  gesetzt werden, wenn der Modulationsfaktor M einen Wert aufweist (beispielsweise  $M = 0,7$ ,  $M = 0,65$  oder  $M = 0,5$ ), der kleiner ist als der Starkfeldschwellenwert  $M_s$ , oder auf die Drehzahl  $\omega$ , wenn der Modulationsfaktor M ein Wert ist (beispielsweise  $M = 0,72$  oder  $M = 0,75$ ), der größer ist als der Starkfeldschwellenwert  $M_s$ . Darüber hinaus ist der Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$  nicht auf die Drehzahl  $\omega$  beschränkt, wenn der Modulationsfaktor M ein vorbestimmter Wert ist, sondern eine vorbestimmte Drehzahl  $\omega$ , die bestimmt wird basierend auf dem Zieldrehmoment  $T_M$  und der DC-Spannung  $V_{dc}$  kann als Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$  gesetzt werden. Gemäß einer von beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung kann beispielsweise die Drehzahl  $\omega$ , die  $T_M = -\alpha\omega + \beta$  ( $\alpha$  und  $\beta$  sind Konstanten) erfüllt, für jeden Wert der DC-Spannung  $V_{dc}$  gesetzt werden, und kann als Drehzahlschwellenwert  $\omega_T$  verwendet werden.

(4) In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel ist als ein Beispiel der Fall gegeben, bei dem der Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta Id_T$ , der in der Starkfeldendebedingung (B) verwendet wird, auf die obere Grenze des Bereichs des d-Achsenstromeinstellungsbefehlswerts  $\Delta Id$  gesetzt ist, wo die Verlustdifferenz  $\Delta Loss$  ( $= Loss_1 - Loss_2$ ), was eine Effizienz Zunahme ist, die durch das Durchführen der Starkfeldsteuerung erlangt wird, positiv ist. Das Ausführungsbeispiel der Erfindung ist jedoch nicht darauf beschränkt. Beispielsweise

kann der Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta Id_T$  auf einen willkürlichen Wert in dem Bereich des d-Achsenstromeinstellungsbefehlswerts  $\Delta Id$  gesetzt sein, wo die Verlustdifferenz  $\Delta Loss$  positiv ist, oder in dem Bereich des d-Achsenstromeinstellungsbefehlswerts  $\Delta Id$ , wo die Verlustdifferenz  $\Delta Loss$  negativ ist. Darüber hinaus kann der Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta Id_T$  als Einstellungsbefehlsschwellenwert  $\Delta Id_T$ , der basierend auf dem Zieldrehmoment  $T_M$  und dem Spannungs/Drehzahl-Verhältnis  $RV_\omega$  bestimmt wird, gesetzt werden ungeachtet der Verlustdifferenz  $\Delta Loss$ .

(5) In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel ist als ein Beispiel der folgende Fall angegeben: Während dem Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus, wenn die Starkfeldsteuerung endet, wird der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  allmählich mit konstanter Änderungsrate reduziert, um allmählich den Modulationsfaktor M zu reduzieren, und der Steuerungsmodus wird über den Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus in den Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus geändert. Das Ausführungsbeispiel der Erfindung ist jedoch nicht darauf beschränkt. Gemäß einer von beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung kann beispielsweise der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  allmählich derart reduziert werden, dass der Zeitpunkt, zu dem der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  geändert wird von dem augenblicklichen Wert auf Null, konstant ist, ungeachtet der Größe des Stromwerts des d-Achsenstromeinstellungsbefehlswerts  $\Delta Id$ , wenn die Starkfeldsteuerung endet. In diesem Fall wird ebenfalls die Zeit, bis sich der d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert  $\Delta Id$  auf Null ändert, sichergestellt. Wenn sich der Steuerungsmodus von dem Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus auf den Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus ändert, ist es folglich möglich, den Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus durchzuführen.

(6) In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel ist als ein Beispiel der Fall angegeben, bei dem der Starkfeldschwellenwert  $M_s$  gleich dem Übermodulationsschwellenwert  $M_o$  ( $= 0,707$ ) ist. Das Ausführungsbeispiel der Erfindung ist jedoch nicht darauf beschränkt. Gemäß einer von beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung kann der Starkfeldschwellenwert  $M_s$  auf einen Wert gesetzt sein (beispielsweise  $M = 0,7$ ,  $M = 0,65$  oder  $M = 0,5$ ), der kleiner ist als der Übermodulationsschwellenwert  $M_o$ , oder auf einen Wert (beispielsweise  $M = 0,72$  oder  $M = 0,75$ ), der größer ist als der Übermodulationsschwellenwert  $M_o$ . Wenn der Starkfeldschwellenwert  $M_s$  auf einen Wert gesetzt ist, der größer als der Übermodulationsschwellenwert  $M_o$  ist, wird darüber hinaus der Normalfeld/Übermodulations-PWM-Steuerungsmodus A1b durchgeführt

als der Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus A1, bevor die Starkfeldsteuerung startet.

(7) In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel ist als ein Beispiel der Fall angegeben, bei dem die Motorantriebsvorrichtung **1** die DC-Spannung  $V_{dc}$  von der DC-Leistungsversorgung **3** an den Wechselrichter **6** liefert. Das Ausführungsbeispiel der Erfindung ist jedoch nicht darauf beschränkt. Gemäß einer von beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung kann beispielsweise eine Spannungsumwandlungseinheit bereitgestellt sein, wie etwa ein DC-DC-Wandler, der eine Leistungsversorgungsspannung von der DC-Leistungsversorgung **3** umwandelt, um eine gewünschte Systemspannung zu erzeugen, und die Systemspannung, die von der Spannungsumwandlungseinheit erzeugt wird, kann an den Wechselrichter **6** geliefert werden, der eine DC/AC-Umwandlungseinheit ist. In diesem Fall kann die Spannungsumwandlungseinheit ein Aufwärtswandler sein, der die Leistungsversorgungsspannung schrittweise anhebt, ein Abwärtswandler, der die Leistungsversorgungsspannung schrittweise senkt, oder ein Aufwärts/Abwärts-Wandler, der die Leistungsversorgungsspannung schrittweise anhebt oder senkt.

(8) In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel ist als ein Beispiel der Fall angegeben, bei dem der AC-Motor **4** ein Synchronmotor mit internem Permanentmagnet ist (IPMSM = interior permanent magnet synchronous motor), der durch einen Dreiphasenwechselstrom betrieben wird. Das Ausführungsbeispiel der Erfindung ist jedoch nicht darauf beschränkt. Beispielsweise kann ein Synchronmotor, bei dem die Permanentmagnete auf der Oberfläche des Rotors montiert sind (SPMSM = surface permanent magnet synchronous motor) als AC-Motor **4** verwendet werden. Alternativ können beispielsweise Induktionsmotoren, die andere sind als Synchronmotoren, als AC-Motor verwendet werden. Zusätzlich kann ein Einphasenwechselstrom, Zweiphasenwechselstrom oder mehrphasiger Wechselstrom mit vier oder mehr Phasen, der ein anderer ist als ein Dreiphasenwechselstrom, als Wechselstrom verwendet werden, der an den AC-Motor geliefert wird.

(9) In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel ist als ein Beispiel der Fall angegeben, bei dem der Motor **4** als Antriebskraftquelle verwendet wird, beispielsweise für ein Elektrofahrzeug oder ein Hybridfahrzeug. Die Verwendung des Motors **4** gemäß diesem Ausführungsbeispiel ist jedoch nicht darauf beschränkt, sondern die Erfindung kann auf Motoren für alle Anwendungen angewendet werden.

## GEWERBLICHE ANWENDBARKEIT

**[0116]** Die Erfindung kann geeignet verwendet werden für eine Steuerungsvorrichtung, die eine Motorantriebsvorrichtung steuert, die eine DC/AC-Umwandlungseinheit enthält, die eine DC-Spannung in eine AC-Spannung umwandelt und die AC-Spannung an einen AC-Motor liefert.

### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Motorantriebsvorrichtung
<b>2</b>	Steuerungsvorrichtung
<b>4</b>	AC-Motor
<b>5</b>	Modussteuerungseinheit
<b>6</b>	Wechselrichter (DC/AC-Umwandlungseinheit)
<b>7</b>	Strombefehlsbestimmungseinheit
<b>8</b>	Feldeinstellungseinheit
<b>9</b>	Spannungsbefehlsbestimmungseinheit
<b>10</b>	Spannungswellenformsteuerungseinheit
<b>V<sub>dc</sub></b>	DC-Spannung
<b>T<sub>M</sub></b>	Zieldrehmoment Drehzahl
<b>ldb</b>	d-Achsenbasisstrombefehlswert (Basisstrombefehlswert)
<b>ld</b>	eingestellter d-Achsenstrombefehlswert (eingestellter Strombefehlswert)
<b>lqb</b>	q-Achsenbasisstrombefehlswert (Basisstrombefehlswert)
<b>lq</b>	eingestellter q-Achsenstrombefehlswert (eingestellter Strombefehlswert)
<b>Δld</b>	d-Achsenstromeinstellungsbefehlswert (Feldeinstellungsbefehlswert)
<b>V<sub>d</sub></b>	d-Achsenspannungsbefehlswert (Spannungsbefehlswert)
<b>V<sub>q</sub></b>	q-Achsenspannungsbefehlswert (Spannungsbefehlswert)
<b>M</b>	Modulationsfaktor (Spannungsindex)
<b>M<sub>b</sub></b>	Rechteckwellenschwellenwert
<b>M<sub>s</sub></b>	Starkfeldschwellenwert
<b>RV<sub>ω</sub></b>	Spannungs/Drehzahl-Verhältnis
<b>ω<sub>T</sub></b>	Drehzahlschwellenwert
<b>Δld<sub>T</sub></b>	Einstellungsbefehlsschwellenwert
<b>T<sub>M<sub>R</sub></sub></b>	Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereich
<b>A1</b>	Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus
<b>A2</b>	Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus
<b>A3</b>	Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus

### Patentansprüche

1. Steuerungsvorrichtung, die eine Motorantriebsvorrichtung steuert, die eine DC/AC-Umwandlungseinheit enthält, die eine DC-Spannung in eine AC-Spannung umwandelt und die AC-Spannung an einen AC-Motor liefert, enthaltend:  
eine Strombefehlsbestimmungseinheit, die einen Basisstrombefehlswert bestimmt, der ein Befehlswert eines Stroms ist, der von der DC/AC-Umwandlungs-

einheit an den AC-Motor geliefert wird, basierend auf einem Zieldrehmoment des AC-Motors;

eine Feldeinstellungseinheit, die einen Feldeinstellungsbefehlswert bestimmt, der ein Einstellungswert des Basisstrombefehls werts ist;

eine Spannungsbefehlsbestimmungseinheit, die einen Spannungsbefehlswert bestimmt, der ein Befehls wert einer Spannung ist, die von der DC/AC-Umwandlungseinheit an den AC-Motor geliefert wird, basierend auf einem eingestellten Strombefehls wert, der erlangt wird durch Einstellen des Basisstrom befehls werts mit dem Feldeinstellungsbefehls wert, und basierend auf der Drehzahl des AC-Motors; und

eine Spannungswellenformsteuerungseinheit, die die DC/AC-Umwandlungseinheit steuert basierend auf dem Spannungsbefehls wert, um eine Spannungswellenformsteuerung durchzuführen, die mindestens eine Pulsbreitenmodulationssteuerung und eine Rechteckwellensteuerung umfasst; und

eine Modussteuerungseinheit, die die Feldeinstellungseinheit und die Spannungswellenformsteuerungseinheit steuert,

wobei die Spannungswellenformsteuerungseinheit die Pulsbreitenmodulationssteuerung durchführt, wenn ein Spannungsindex, der die Größe des Spannungsbefehls werts bezüglich der DC-Spannung angibt, kleiner ist als ein vorbestimmter Rechteckwellenschwellenwert, und die Rechteckwellensteuerung durchführt, wenn der Spannungsindex gleich oder größer ist als der Rechteckwellenschwellenwert, die Feldeinstellungseinheit aufgebaut ist zum Durchführen der Feldsteuerung, die mindestens eine Starkfeldsteuerung enthält, die den Feldeinstellungsbefehls wert derart bestimmt, dass der Basisstrom befehls wert eingestellt wird, um einen Feldfluss des AC-Motors zu Verstärken, und eine Normalfeldsteuerung enthält, die den Feldeinstellungsbefehls wert derart bestimmt, dass der Basisstrom befehls wert nicht eingestellt wird, und die Starkfeldsteuerung bei der Bedingung durchführt, dass der Spannungsindex gleich oder größer ist als ein vorbestimmter Starkfeldschwellenwert, der kleiner ist als der Rechteckwellenschwellenwert, und

die Modussteuerungseinheit die Starkfeldsteuerung beendet, die durch die Feldeinstellungseinheit durchgeführt wird, bei der Bedingung, dass der Feldeinstellungsbefehls wert gleich oder größer ist als der Einstellungsbefehls wertschwellenwert, der basierend auf dem Zieldrehmoment und einem Spannungs/Drehzahl-Verhältnis bestimmt wird, das das Verhältnis der DC-Spannung zu der Drehzahl des AC-Motors angibt, in einer Richtung, in der der Feldfluss verstärkt ist.

2. Steuerungsvorrichtung der Motorantriebsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der in einem Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus, in dem die Starkfeldsteuerung und die Rechteckwellensteuerung durchgeführt werden, wenn die Starkfeldsteuerung endet, die Modussteuerungseinheit allmählich

den Feldeinstellungsbefehls wert in eine Richtung ändert, in der die Größe der Einstellung des Feldflusses reduziert wird, um allmählich den Spannungsindex zu reduzieren, wodurch der Steuerungsmodus über einen Starkfeld/PWM-Steuerungsmodus, bei dem die Starkfeldsteuerung und die Pulsbreitenmodulationssteuerung durchgeführt werden, in einen Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus geändert wird, bei dem die Normalfeldsteuerung und die Pulsbreitenmodulationssteuerung durchgeführt werden.

3. Steuerungsvorrichtung der Motorantriebsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der, wenn der Verlust des AC-Motors und der Motorantriebsvorrichtung in einem Normalfeld/PWM-Steuerungsmodus, der die Normalfeldsteuerung und die Pulsbreitenmodulationssteuerung durchführt, ein normaler Verlust ist, und der Verlust des AC-Motors und der Motorantriebsvorrichtung in einem Starkfeld/Rechteckwellen-Steuerungsmodus, der die Starkfeldsteuerung und die Rechteckwellensteuerung durchführt, ein starker Feldverlust ist, eine obere Grenze des Bereichs des Feldeinstellungsbefehls werts, in dem der starke Feldverlust kleiner ist als der normale Verlust in der Richtung, in der der Feldfluss verstärkt wird, der Einstellungsbefehls wertschwellenwert ist.

4. Steuerungsvorrichtung der Motorantriebsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der die Modussteuerungseinheit beides bestimmt, eine Bedingung, dass der Feldeinstellungsbefehls wert gleich oder größer ist als der Einstellungsbefehls wertschwellenwert, und eine Bedingung, dass die Drehzahl kleiner ist als ein vorbestimmter Drehzahl schwellenwert, und die Starkfeldsteuerung beendet, wenn mindestens eine der Bedingungen erfüllt ist.

5. Steuerungsvorrichtung der Motorantriebsvorrichtung nach Anspruch 4, bei der der Drehzahl schwellenwert basierend auf dem Zieldrehmoment und der DC-Spannung bestimmt wird.

6. Steuerungsvorrichtung der Motorantriebsvorrichtung nach Anspruch 5, bei der die Drehzahl, bei der der Spannungsindex der Starkfeldschwellenwert während der Normalfeldsteuerung ist, als Drehzahl schwellenwert gesetzt wird basierend auf sowohl dem Zieldrehmoment als auch der DC-Spannung.

7. Steuerungsvorrichtung der Motorantriebsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei der die Modussteuerungseinheit die Feldeinstellungseinheit steuert zum Nichtdurchführen der Starkfeldsteuerung, wenn das Zieldrehmoment des AC-Motors jenseits eines vorbestimmten Starkfeldzulässigkeitsdrehmomentbereichs ist.

8. Steuerungsvorrichtung der Motorantriebsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei der, wenn die Starkfeldsteuerung endet, die Modussteuerung

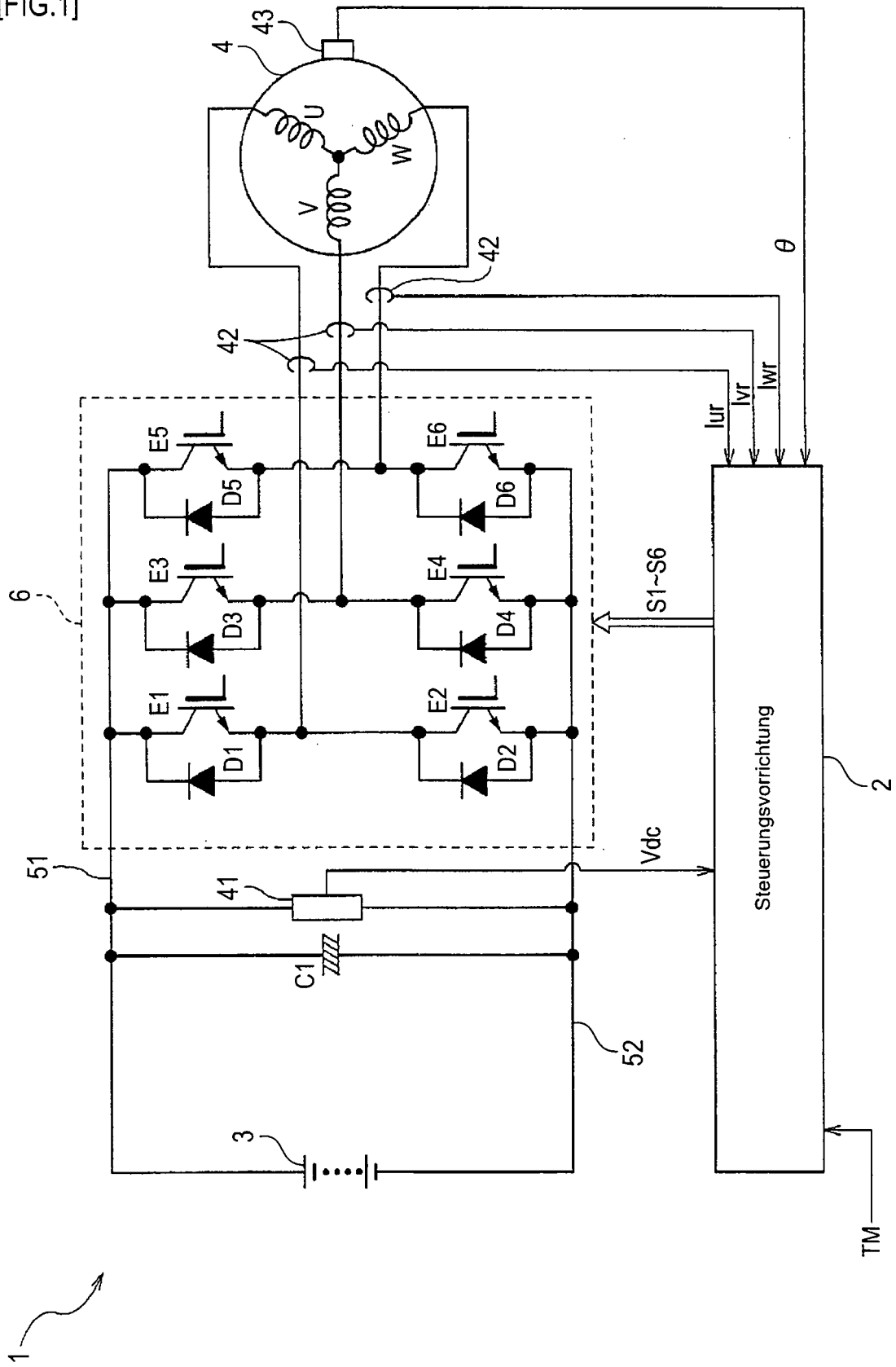
zungseinheit die Feldeinstellungseinheit steuert zum Ändern des Feldeinstellungsbefehls werts von dem augenblicklichen Wert auf Null mit konstanter Änderungsrate.

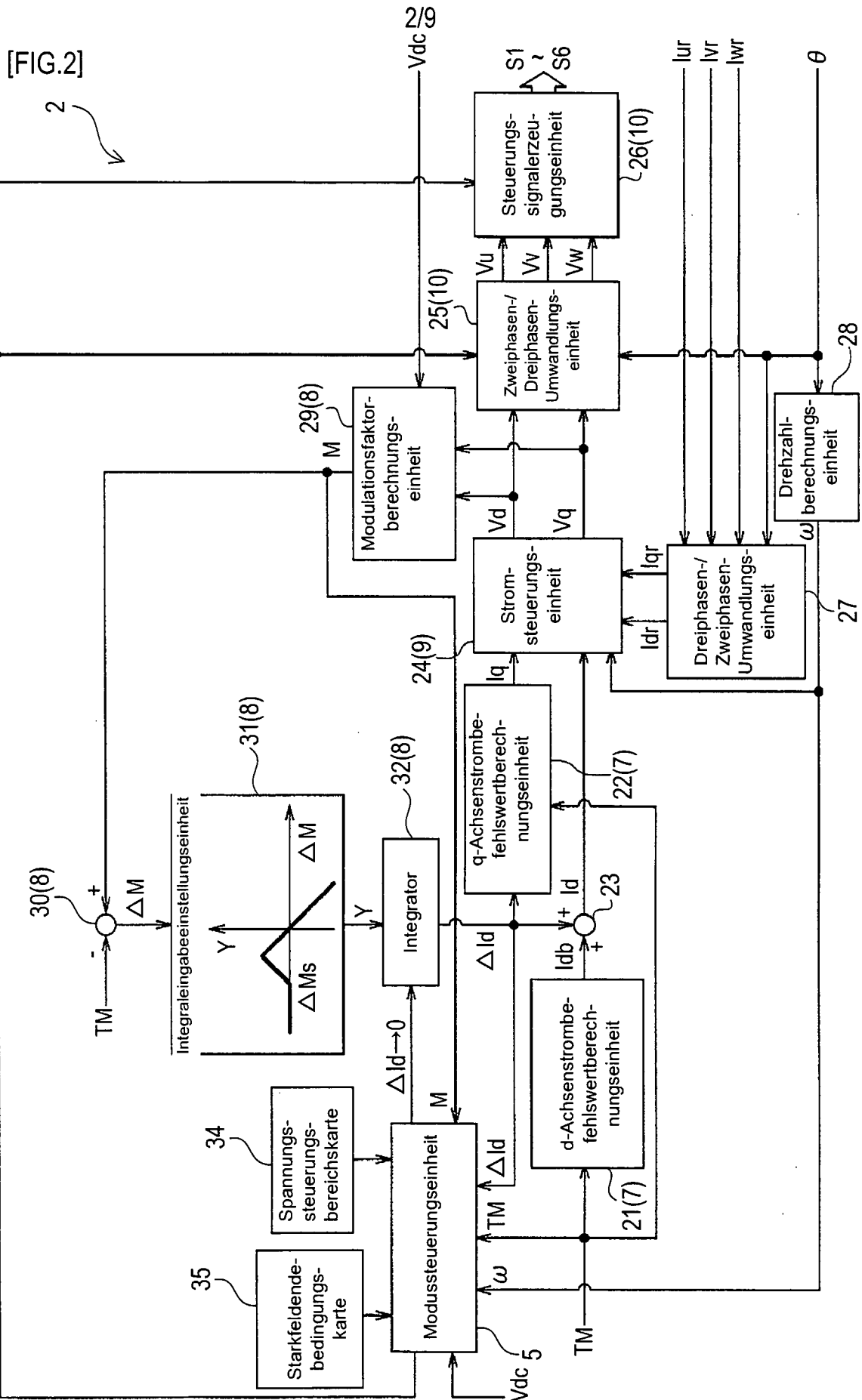
9. Steuerungsvorrichtung der Motorantriebsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei der die Spannungsbefehlsbestimmungseinheit eine Rückkopplungssteuerung bzw. Regelung für den eingestellten Strombefehls wert basierend auf einem tatsächlichen Stromwert durchführt, der der tatsächliche Wert des Stroms ist, der von der DC/AC-Umwandlungseinheit an den AC-Motor geliefert wird, wodurch der Spannungsbefehls wert bestimmt wird.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

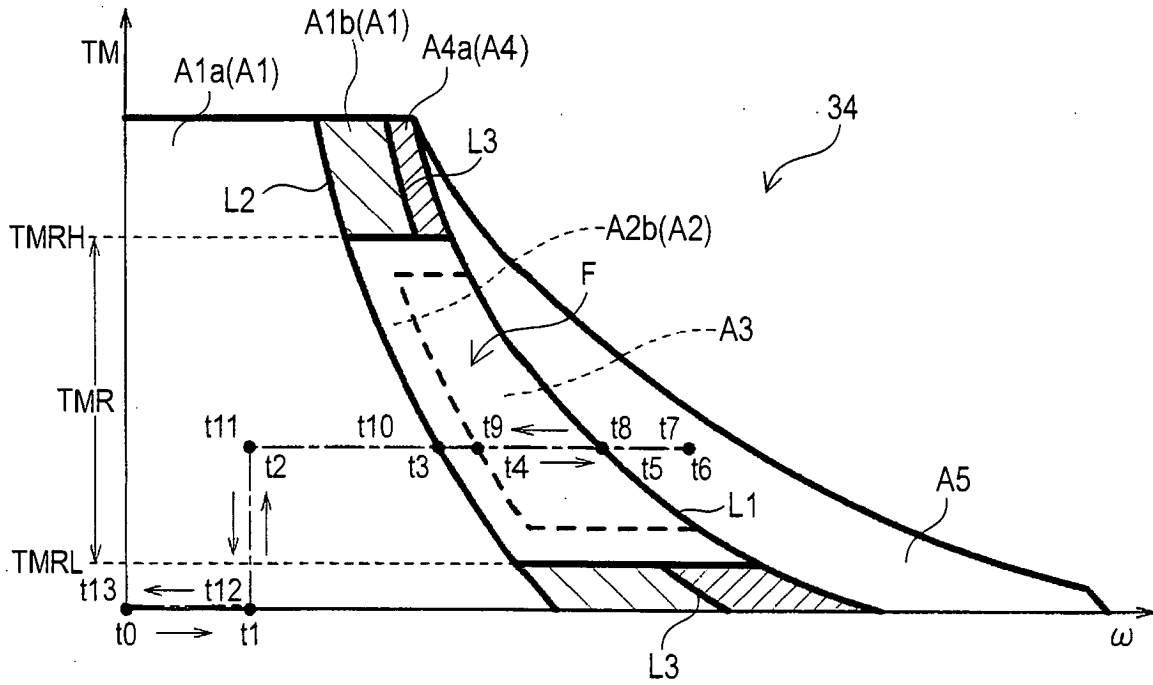
Anhängende Zeichnungen

[FIG.1]

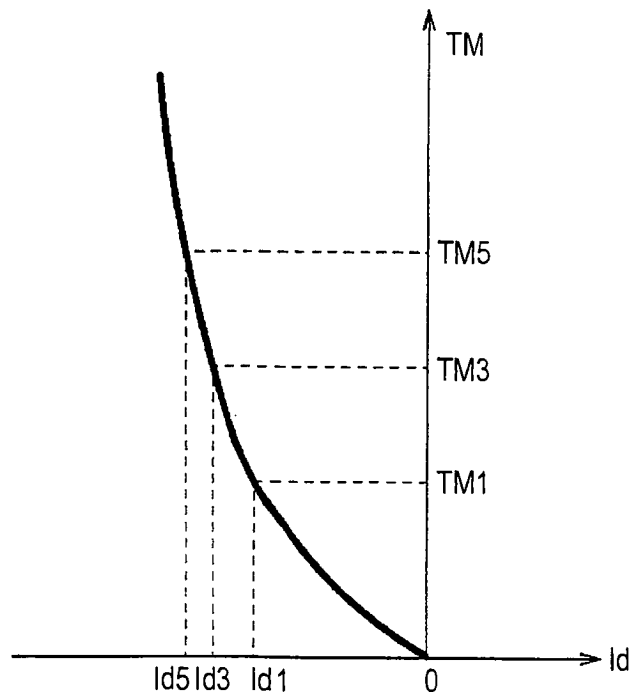




[FIG.3]

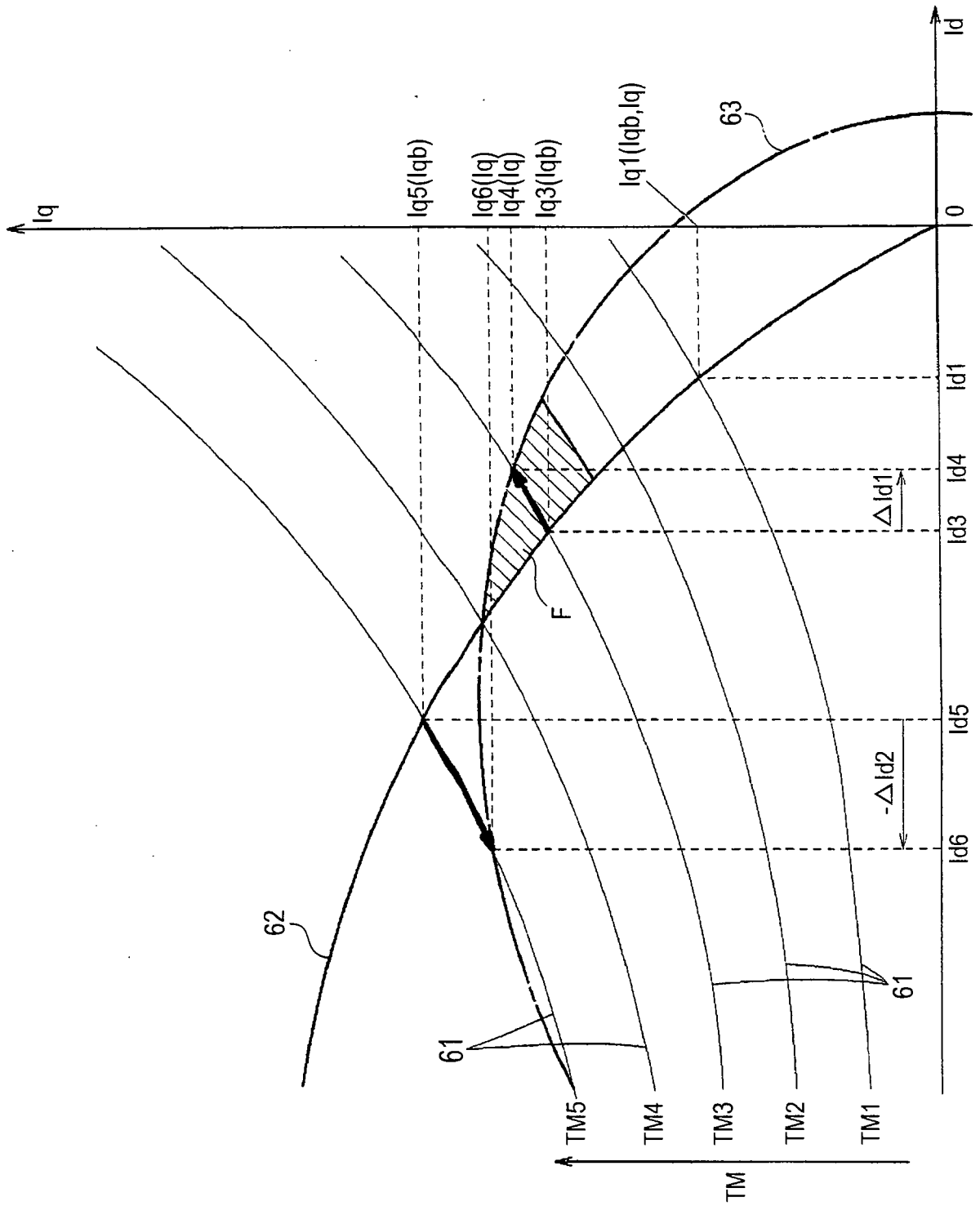


[FIG.4]

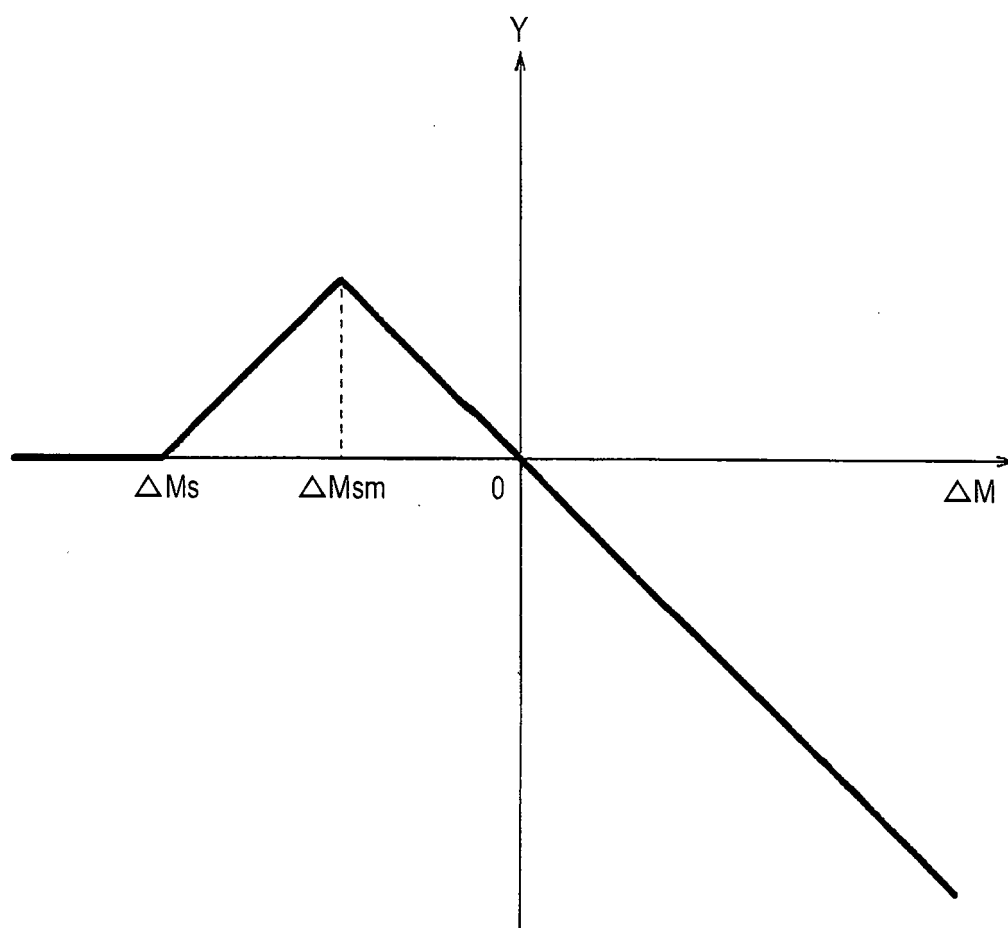




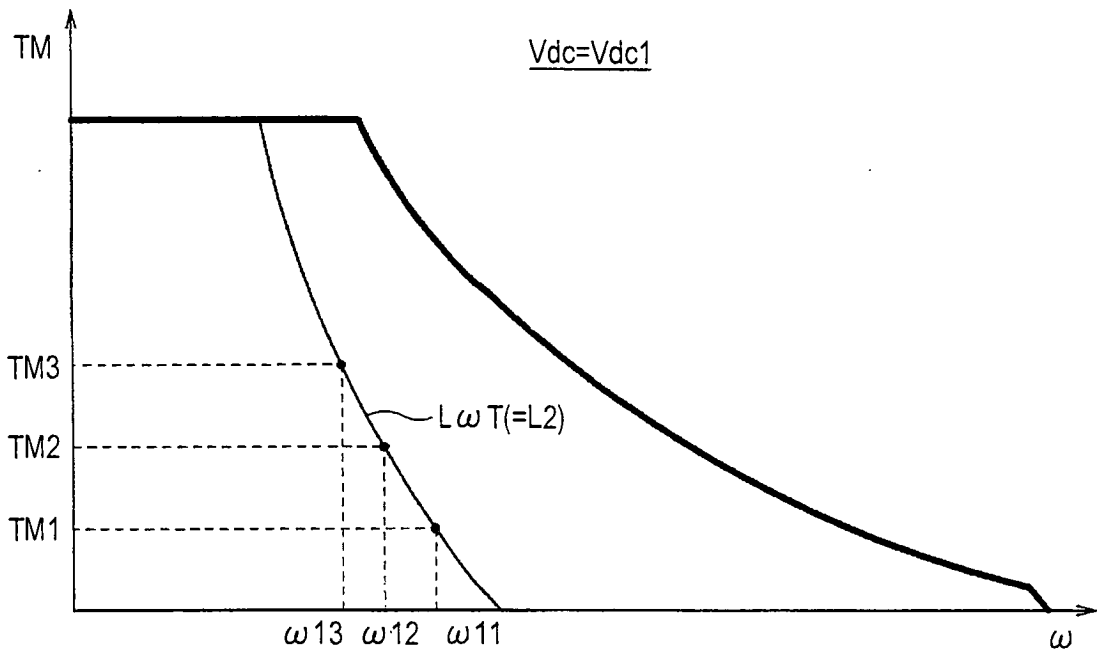
[FIG.5]



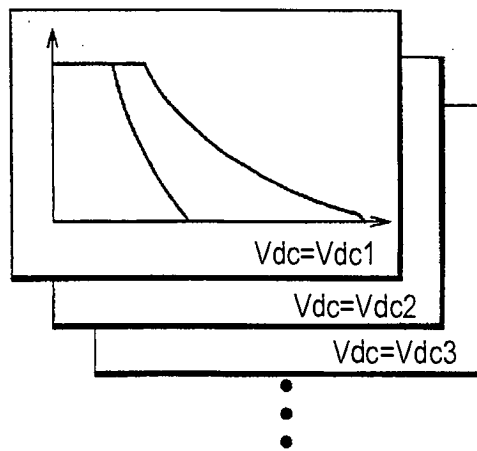
[FIG.6]



[FIG.7A]



[FIG.7B]

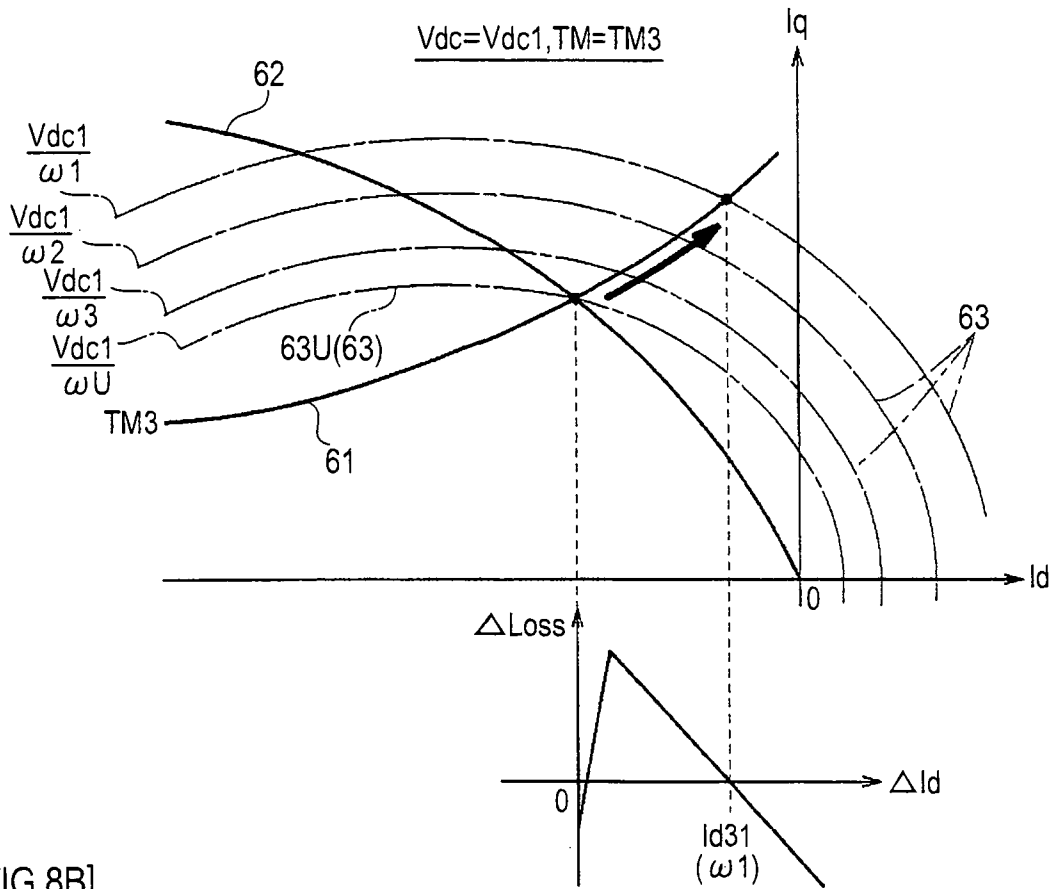


[FIG.7C]

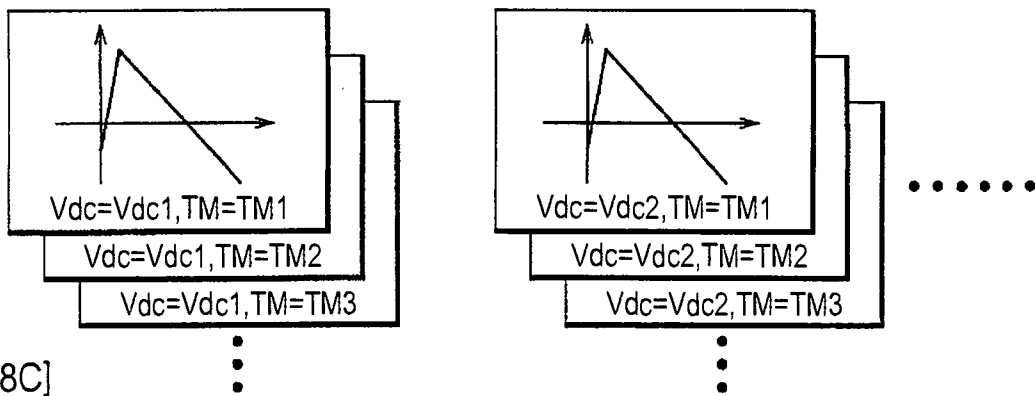
35A

Vdc \ TM	TM1	TM2	TM3	• • • • •
Vdc1	$\omega_{11}$	$\omega_{12}$	$\omega_{13}$	} $\omega T$
Vdc2	$\omega_{21}$	$\omega_{22}$	$\omega_{23}$	
Vdc3	$\omega_{31}$	$\omega_{32}$	$\omega_{33}$	
•				
•				
•				

[FIG.8A]



[FIG.8B]



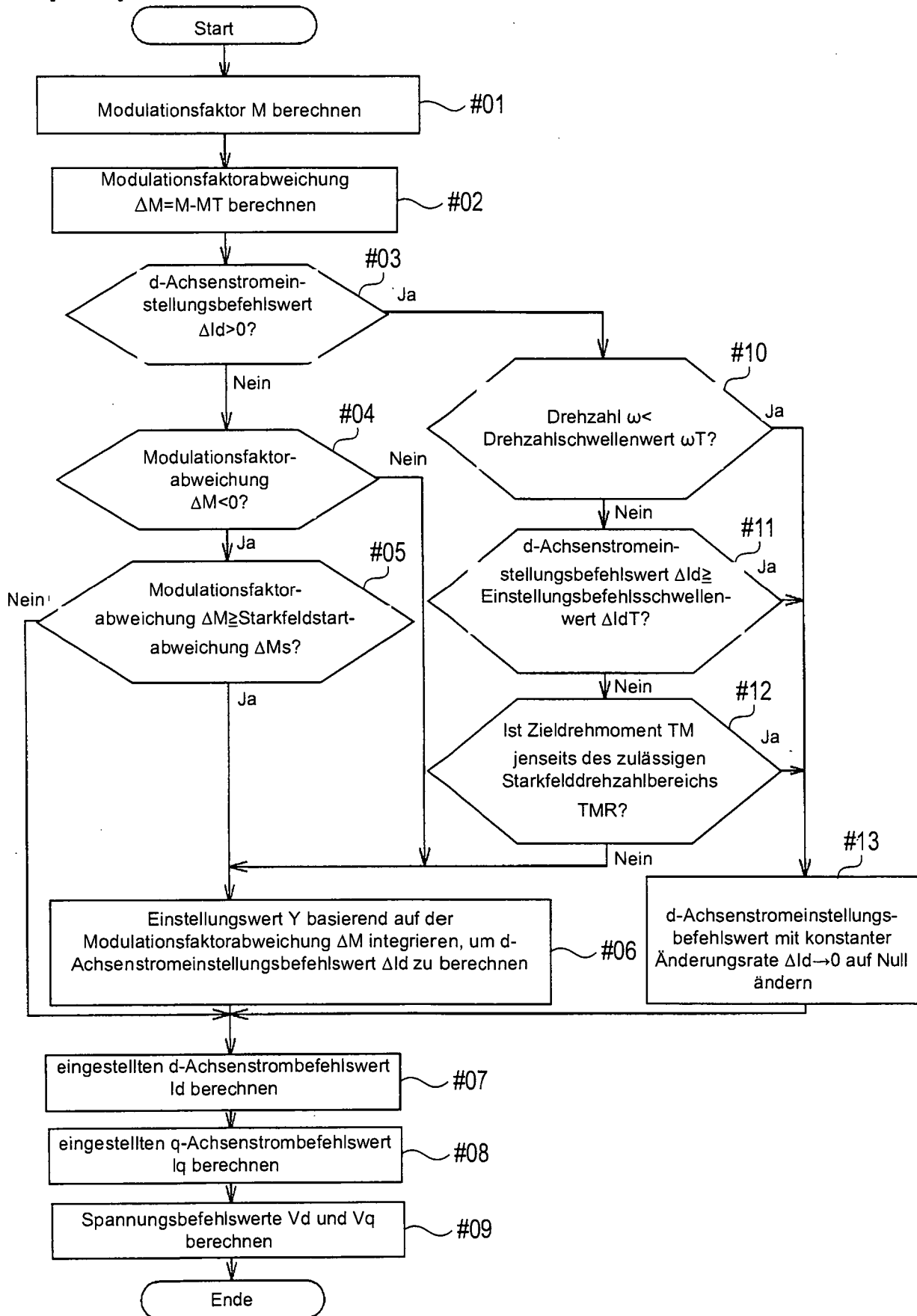
[FIG.8C]

35B

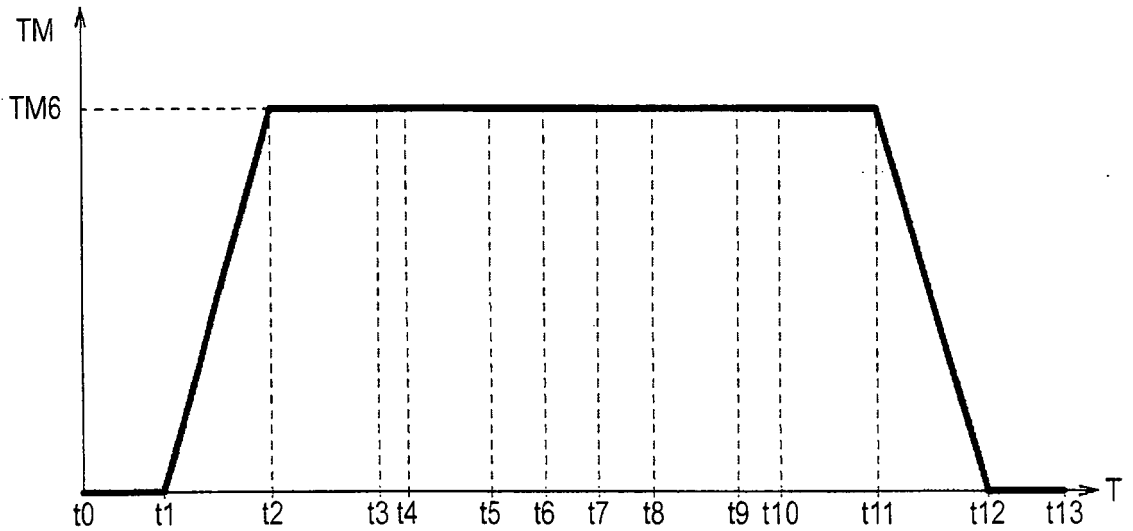
$R V \omega$ ( $=V_{dc}/\omega$ ) \ TM	TM1	TM2	TM3	...
$R V \omega_1$	$\Delta Id_{11}$	$\Delta Id_{21}$	$\Delta Id_{31}$	
$R V \omega_2$	$\Delta Id_{12}$	$\Delta Id_{22}$	$\Delta Id_{32}$	
$R V \omega_3$	$\Delta Id_{13}$	$\Delta Id_{23}$	$\Delta Id_{33}$	
⋮				

}  $\Delta Id_T$

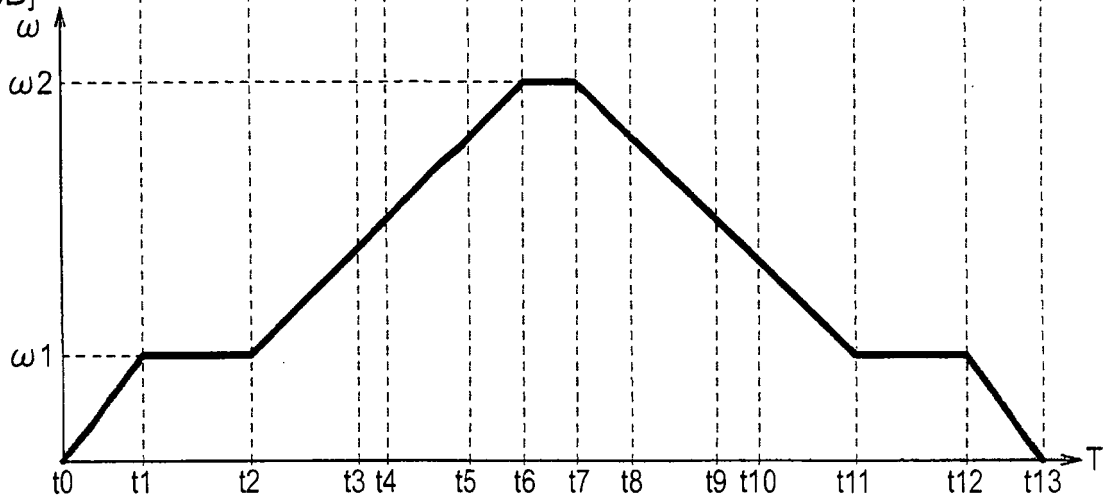
[FIG.9]



[FIG.10A]



[FIG.10B]



[FIG.10C]

