



(10) **DE 11 2017 001 741 T5** 2018.12.13

(12)

## Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2017/169686**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜG)

(51) Int Cl.: **H02M 3/155** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2017 001 741.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2017/009928**

(86) PCT-Anmeldetag: **13.03.2017**

(87) PCT-Veröffentlichungstag: **05.10.2017**

(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **13.12.2018**

(30) Unionspriorität:  
**2016-066759**      **29.03.2016**      **JP**

(74) Vertreter:  
**Horn Kleimann Waitzhofer Patentanwälte PartG  
mbB, 80339 München, DE**

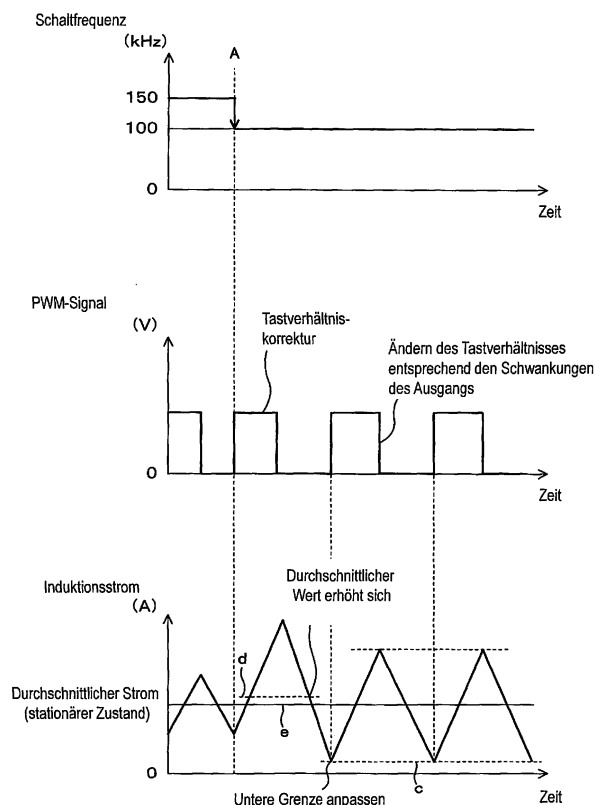
(71) Anmelder:  
**AutoNetworks Technologies, Ltd., Yokkaichi-shi,  
Mie, JP; SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES,  
LTD., Osaka-shi, Osaka, JP; Sumitomo Wiring  
Systems, Ltd., Yokkaichi-shi, Mie, JP**

(72) Erfinder:  
**Higashi, Makoto, Yokkaichi-shi, Mie, JP; Abe,  
Takenori, Yokkaichi-shi, Mie, JP**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Spannungsumwandlungsvorrichtung und Spannungsumwandlungsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Spannungsumwandlungsvorrichtung bereitgestellt, die eingerichtet ist, Schwankungen der Ausgangsspannung, wenn eine Schaltfrequenz umgeschaltet wird, zu unterdrücken, und eine konstante Spannung auf stabile Weise an eine Last auszugeben. Die Spannungsumwandlungsvorrichtung weist ein Schaltelement, eine Induktivität und eine Treiberschaltung auf und erzeugt durch Ein-/Ausschalten des Schaltelements mittels der Treiberschaltung mithilfe eines PWM-Signals einen Induktionsstrom, um eine Eingangsspannung zu transformieren und die transformierte Spannung an eine Last auszugeben. Die Spannungsumwandlungsvorrichtung weist eine Umschalteneinrichtung zum Umschalten einer Schaltfrequenz mittels der Treiberschaltung in Abhängigkeit von der Größe eines Stromes, welcher an die Last ausgegeben wird, und eine Änderungseinrichtung zum Ändern einer Wellenform des PWM-Signals, wenn die Umschalteneinrichtung die Schaltfrequenz umschaltet, wobei die Änderungseinrichtung eingerichtet ist, eine Ein-Zeit des PWM-Signals zu ändern und das Schaltelement ein-/auszuschalten, auf.



## Beschreibung

### TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Spannungsumwandlungsvorrichtung und ein Spannungsumwandlungsverfahren.

**[0002]** Diese Patentanmeldung basiert auf und beansprucht die Priorität der japanischen Patentanmeldung Nr. 2016-66759, die am 29. März 2016 eingereicht wurde und deren gesamter Inhalt in dieses Dokument durch Bezugnahme aufgenommen ist.

### TECHNISCHER HINTERGRUND

**[0003]** Bei einer Vorrichtung, die eine Batterie als Energiequelle verwendet, wird oft ein DC/DC-Wandler als eine Energieversorgungsschaltung zum Zuführen von Energie zu einer Last bereitgestellt. Der DC/DC-Wandler umfasst ein Schaltelement und eine Induktivität und transformiert (erhöht oder verringert) die Spannung von der Batterie, indem er das Schaltelement basierend auf einem PWM-Signal ein-/ausschaltet, und gibt die transformierte Spannung an die Last aus. Mit einem DC/DC-Wandler kann, selbst wenn die Spannung der externen Batterie schwankt, eine konstante Spannung an die Last angelegt werden, indem die Spannung von der Batterie transformiert (erhöht oder verringert) wird.

**[0004]** Als Steuerungsschemata zum Stabilisieren der Ausgangsspannung des DC/DC-Wandlers sind unter anderem ein Spannungszustandssteuerungsschema zum Rückkoppeln der Ausgangsspannung und ein Stromzustandssteuerungsschema zum Rückkoppeln eines Ausgangsstroms zusätzlich zu der Ausgangsspannung bekannt.

**[0005]** Patentdokument 1 offenbart eine technische Lehre zum Umschalten einer Schaltfrequenz für das Schaltelement in Abhängigkeit von dem Ausgangsstrom, um einen DC/DC-Wandler zu realisieren, der in der Lage ist, einen Ripplestrom zu unterdrücken und eine hohe Transformationseffizienz beizubehalten.

### VORBEKANNTE TECHNISCHE DOKUMENTE

#### PATENTDOKUMENTE

**[0006]** Patentdokument 1: JP H10-323027A

### ÜBERBLICK ÜBER DIE ERFINDUNG

**[0007]** Eine Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung weist ein Schaltelement, eine Induktivität und eine Treiberschaltung auf, wobei die Spannungsumwandlungsvorrichtung durch Einschalten/Ausschalten des Schaltelements mittels der Treiberschaltung mithilfe eines PWM-Signals einen Induktionsstrom erzeugt, um eine Eingangsspannung zu transformieren und die transformierte Spannung an eine Last auszugeben, wobei die Spannungsumwandlungsvorrichtung eine Umschalteneinrichtung zum Umschalten einer Schaltfrequenz mittels der Treiberschaltung in Abhängigkeit von der Größe eines Stromes, welcher an die Last ausgegeben wird; und eine Änderungseinrichtung zum Ändern einer Wellenform des PWM-Signals, wenn die Umschalteneinrichtung die Schaltfrequenz umschaltet, umfasst, wobei die Änderungseinrichtung eingerichtet ist, eine Ein-Zeit des PWM-Signals zu ändern und das Schaltelement ein-/auszuschalten.

**[0008]** Ein Spannungsumwandlungsverfahren gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Spannungsumwandlungsverfahren, welches durch eine Spannungsumwandlungsvorrichtung durchgeführt wird, die ein Schaltelement, eine Induktivität und eine Treiberschaltung aufweist, wobei die Spannungsumwandlungsvorrichtung durch Einschalten/Ausschalten des Schaltelements mittels der Treiberschaltung mithilfe eines PWM-Signals einen Induktionsstrom erzeugt, um eine Eingangsspannung zu transformieren und die transformierte Spannung an eine Last auszugeben, wobei das Spannungsumwandlungsverfahren umfasst: Ändern einer Wellenform des PWM-Signals, wenn eine Schaltfrequenz mittels der Treiberschaltung in Abhängigkeit von der Größe eines Stromes, welcher an die Last ausgegeben wird, umgeschaltet wird; Ändern einer Ein-Zeit des PWM-Signals; und Ein-/Ausschalten des Schaltelements.

## Figurenliste

**Fig. 1** ist ein Blockdiagramm, welches eine beispielhafte Ausgestaltung einer Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

**Fig. 2** ist ein Blockdiagramm, welches eine funktionale Ausgestaltung einer Steuereinheit in der Spannungsumwandlungsvorrichtung zeigt.

**Fig. 3** ist ein Zeitdiagramm, welches eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom gemäß einem Vergleichsbeispiel zeigt.

**Fig. 4** ist ein Zeitdiagramm, welches eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

**Fig. 5** ist ein Zeitdiagramm, welches eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom vor und nach dem Umschalten der Schaltfrequenz zeigt, um zu erklären, wie eine Änderungsgröße hergeleitet wird.

**Fig. 6** ist ein Flussdiagramm, welches einen Betrieb der Spannungsumwandlungsvorrichtung zeigt.

**Fig. 7** ist ein Flussdiagramm, welches einen Betrieb (ein Unterprogramm von Schritt **S1**) einer durch eine CPU durchgeführten Ein-Zeit-Berechnungsverarbeitung zeigt.

**Fig. 8** ist ein Flussdiagramm, welches einen Betrieb (ein Unterprogramm von Schritt **S2**) der Frequenzumschaltverarbeitung zeigt, die von der CPU durchgeführt wird.

**Fig. 9** ist ein Zeitdiagramm, welches eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom gemäß Modifikation 1 zeigt.

**Fig. 10** ist ein Zeitdiagramm, welches eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

**Fig. 11** ist ein Zeitdiagramm, welches eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom vor und nach dem Umschalten der Schaltfrequenz zeigt, um zu erklären, wie eine Änderungsgröße hergeleitet wird.

**Fig. 12** ist ein Flussdiagramm, welches einen Betrieb (ein Unterprogramm von Schritt **S2**) der Frequenzumschaltverarbeitung zeigt, die von der CPU durchgeführt wird.

**Fig. 13** ist ein Zeitdiagramm, welches eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom gemäß einer Modifikation 2 zeigt.

**Fig. 14** ist ein Zeitdiagramm, welches eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

**Fig. 15** ist ein Zeitdiagramm, welches eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

**Fig. 16** ist ein Zeitdiagramm, welches eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

**Fig. 17** ist ein Zeitdiagramm, welches eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom gemäß einer sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

## AUSFÜHRUNGSFORMEN DER ERFINDUNG

## VON DER ERFINDUNG ZU LÖSENDES PROBLEM

**[0009]** In einem Fall des Umschaltens der Schaltfrequenz wie bei dem in Patentdokument 1 beschriebenen DC/DC-Wandler, gibt es allerdings ein Problem dahingehend, dass die Ausgangsspannung nach dem Umschalten stark schwankt. Die Ausgangsspannung des DC/DC-Wandlers wird mithilfe eines durchschnittlichen Wertes des durch die Induktivität fließenden Induktionsstroms bestimmt, und unmittelbar nach dem Erhöhen oder Verringern der Schaltfrequenz durch Umschalten dieser ist der Induktionsstrom größer oder kleiner als der Induktionsstrom im stationären Zustand, sodass die Ausgangsspannung auch zwischen hoch und niedrig schwankt. Infolgedessen gibt es ein Problem dahingehend, dass eine konstante Spannung nicht stabil an die Last ausgegeben werden kann.

**[0010]** Die vorliegende Erfindung wurde im Hinblick auf die obigen Gegebenheiten gemacht, und es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Spannungsumwandlungsvorrichtung und ein Spannungsumwandlungsverfahren bereitzustellen, die es ermöglichen, selbst wenn die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, Schwankungen der Ausgangsspannung zu unterdrücken, und es möglich ist, eine konstante Spannung an die Last in stabiler Weise auszugeben.

#### VORTEILHAFTE EFFEKTE DER ERFINDUNG

**[0011]** Gemäß der Offenbarung der vorliegenden Erfindung ändert sich, wenn die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, die Wellenform des PWM-Signals, und somit ist es möglich, Schwankungen in der Ausgangsspannung zu unterdrücken, nachdem die Schaltfrequenz umgeschaltet wurde, und eine konstante Spannung an die Last in einer stabilen Weise auszugeben.

#### BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN DER ERFINDUNG

**[0012]** Zunächst werden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben. Auch können zumindest Teile von den nachstehend beschriebenen Ausführungsformen kombiniert werden.

**[0013]** (1) Eine Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung weist ein Schaltelement, eine Induktivität und eine Treiberschaltung auf, wobei die Spannungsumwandlungsvorrichtung durch Einschalten/Ausschalten des Schaltelements mittels der Treiberschaltung mithilfe eines PWM-Signals einen Induktionsstrom erzeugt, um eine Eingangsspannung zu transformieren und die transformierte Spannung an eine Last auszugeben, wobei die Spannungsumwandlungsvorrichtung eine Umschalteneinrichtung zum Umschalten einer Schaltfrequenz mittels der Treiberschaltung in Abhängigkeit von der Größe eines Stromes, welcher an die Last ausgegeben wird; und eine Änderungseinrichtung zum Ändern einer Wellenform des PWM-Signals, wenn die Umschalteneinrichtung die Schaltfrequenz umschaltet, umfasst, in welcher die Änderungseinrichtung eingerichtet ist, eine Ein-Zeit des PWM-Signals zu ändern und das Schaltelement ein-/auszuschalten.

**[0014]** (7) Ein Spannungsumwandlungsverfahren gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Spannungsumwandlungsverfahren, welches von einer Spannungsumwandlungsvorrichtung durchgeführt wird, die ein Schaltelement, eine Induktivität und eine Treiberschaltung aufweist, wobei die Spannungsumwandlungsvorrichtung durch Einschalten/Ausschalten des Schaltelements mittels der Treiberschaltung mithilfe eines PWM-Signals einen Induktionsstrom erzeugt, um eine Eingangsspannung zu transformieren und die transformierte Spannung an eine Last auszugeben, wobei das Spannungsumwandlungsverfahren ändern einer Wellenform des PWM-Signals, wenn eine Schaltfrequenz mittels der Treiberschaltung in Abhängigkeit von der Größe eines Stromes, welcher an die Last ausgegeben wird, umgeschaltet wird; Ändern einer Ein-Zeit des PWM-Signals; und Ein-/Ausschalten des Schaltelements, umfasst.

**[0015]** Gemäß diesem Aspekt wird die Wellenform des PWM-Signals geändert, wenn die Schaltfrequenz für das Schaltelement umgeschaltet wird, um erhöht oder verringert zu werden. Mit dieser Änderung wird eine Verringerung oder eine Erhöhung des durchschnittlichen Wertes des Induktionsstroms nach dem Umschalten der Schaltfrequenz unterdrückt, und Schwankungen der Ausgangsspannung nach dem Umschalten der Schaltfrequenz werden unterdrückt.

**[0016]** (2) Es ist bevorzugt, dass die Änderungseinrichtung eingerichtet ist, eine Änderungsgröße der Wellenform des PWM-Signals derart festzusetzen, dass ein unterer Grenzwert des Induktionsstroms unmittelbar nach dem Ändern der Wellenform mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstromes in einem stationären Zustand, nachdem die Schaltfrequenz umgeschaltet wurde, übereinstimmt.

**[0017]** Gemäß diesem Aspekt wird die Änderungsgröße der Wellenform des PWM-Signals derart festgesetzt, dass ein unterer Grenzwert des Induktionsstroms unmittelbar nach dem Ändern der Wellenform mit dem unteren Grenzwert in einem stationären Zustand nach dem Umschalten der Schaltfrequenz übereinstimmt. Wenn daher die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, um erhöht oder verringert zu werden, wird eine Verringerung oder eine Erhöhung des durchschnittlichen Wertes des Induktionsstroms nach dem Umschalten effizient unterdrückt.

**[0018]** (3) Eine Änderungsgröße der von der Änderungseinrichtung geänderten Wellenform des PWM-Signals, umfasst vorzugsweise zumindest eines von der Ein-Zeit des PWM-Signals und einem Tastverhältnis des PWM-Signals.

**[0019]** Gemäß diesem Aspekt ist die Änderungsgröße der Wellenform des PWM-Signals, die sich ändert, zumindest eines von der Ein-Zeit des PWM-Signals und dem Tastverhältnis des PWM-Signals. Daher werden Schwankungen in der Ausgangsspannung nach dem Umschalten der Schaltfrequenz zuverlässig unterdrückt.

**[0020]** (4) Es ist bevorzugt, dass die Änderungseinrichtung eingerichtet ist, die Wellenform in nur einem Zyklus des PWM-Signals unmittelbar nach oder unmittelbar vor dem Umschalten der Schaltfrequenz zu ändern.

**[0021]** Gemäß diesem Aspekt wird die Wellenform des PWM-Signals unmittelbar nach oder unmittelbar vor dem Umschalten der Schaltfrequenz in nur einem Zyklus des PWM-Signals geändert. Daher werden Schwankungen der Ausgangsspannung nach dem Umschalten der Schaltfrequenz schnell unterdrückt.

**[0022]** (5) Es ist bevorzugt, dass die Änderungseinrichtung eingerichtet ist, die Wellenform in mehreren Zyklen des PWM-Signals unmittelbar nach oder unmittelbar vor dem Umschalten der Schaltfrequenz zu ändern.

**[0023]** Gemäß diesem Aspekt wird die Wellenform des PWM-Signals unmittelbar nach oder unmittelbar vor dem Umschalten der Schaltfrequenz in mehreren Zyklen des PWM-Signals geändert. Daher werden Schwankungen der Ausgangsspannung nachdem die Schaltfrequenz umgeschaltet wurde, ohne eine große Schwankung unterdrückt.

**[0024]** (6) Wenn die Schaltfrequenz durch die Umschalteneinrichtung umgeschaltet wird, um erhöht zu werden, ist ein Tastverhältnis des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten (oder unmittelbar vor dem Umschalten) vorzugsweise größer als ein Tastverhältnis des PWM-Signals vor dem Umschalten (oder nach dem Umschalten) und wenn die Schaltfrequenz durch die Umschalteneinrichtung umgeschaltet wird, um verringert zu werden, ist das Tastverhältnis des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten (oder unmittelbar vor dem Umschalten) vorzugsweise kleiner als ein Tastverhältnis des PWM-Signals vor dem Umschalten (oder nach dem Umschalten).

**[0025]** Gemäß diesem Aspekt wird, wenn die Schaltfrequenz zwischen hoch und niedrig umgeschaltet wird, das Tastverhältnis des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten (oder unmittelbar vor dem Umschalten) größer oder kleiner als das vor dem Umschalten (oder nach dem Umschalten) gemacht, abhängig davon, ob die Schaltfrequenz erhöht oder verringert wird. Daher ist es möglich, Schwankungen der Ausgangsspannung nach dem Umschalten der Schaltfrequenz zuverlässig zu unterdrücken.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN DER ERFINDUNG

**[0026]** Nachfolgend werden spezifische Beispiele einer Spannungsumwandlungsvorrichtung und eines Spannungsumwandlungsverfahrens gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung in Bezug auf die Zeichnungen im Detail beschrieben.

#### Erste Ausführungsform

**[0027]** **Fig. 1** ist ein Blockdiagramm, welches eine beispielhafte Ausgestaltung einer Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt, und **Fig. 2** ist ein Blockdiagramm, welches eine funktionale Ausgestaltung einer Steuereinheit **2** in der Spannungsumwandlungsvorrichtung zeigt. Die Spannungsumwandlungsvorrichtung, die in **Fig. 1** gezeigt ist, weist beispielsweise einen DC/DC-Wandler **1**, der die Spannung einer externen Batterie **3** verringert und diese verringerte Spannung einer Last **4** zuführt, und die Steuereinheit **2**, die dem DC/DC-Wandler **1** ein PWM-Signal bereitstellt, auf.

**[0028]** Der DC/DC-Wandler **1** weist ein Schaltelement **11**, bei dem ein Ende mit der Batterie **3** verbunden ist, ein zweites Schaltelement **12** und eine Induktivität **13**, die jeweils mit einem Ende an das andere Ende des Schaltelements **11** verbunden sind, einen Widerstand **14**, bei dem ein Ende mit dem anderen Ende der Induktivität **13** verbunden ist, und einen Kondensator **15**, der zwischen dem anderen Ende des Widerstands **14** und einem Massepotential angeschlossen ist, auf. Das andere Ende des zweiten Schaltelements **12** ist mit dem Massepotential verbunden. Die Last **4** ist derart eingerichtet, dass sie mit beiden Enden des Kondensators **15** verbunden ist. Das Schaltelement **11** und das zweite Schaltelement **12** sind beispielsweise N-Kanal-MOSFETs, deren Drain jeweils an einem Ende angeordnet ist.

**[0029]** Der DC/DC-Wandler **1** weist auch eine Treiberschaltung **16**, die ein Treibersignal bereitstellt, welches das Schaltelement **11** und das zweite Schaltelement **12** ein-/ausschaltet, auf. Die Treiberschaltung **16** stellt

jeweils ein von der Steuereinheit **2** bereitgestelltes PWM-Signal, und ein zu diesem PWM-Signal komplementäres PWM-Signal an die Gates des Schaltelements **11** und des zweiten Schaltelements **12** bereit.

**[0030]** Die Steuereinheit **2** weist eine CPU **21** auf, und die CPU **21** ist über einen Bus mit einem ROM **22**, der ein Programm und andere Informationen speichert, einem RAM **23**, der erzeugte Information temporär speichert, und einem Zeitgeber **24**, der verschiedene Zeitspannen, wie zum Beispiel einen Zyklus der PWM-Steuerung, taktet, verbunden.

**[0031]** Die CPU **21** ist auch über einen Bus mit einer PWM-Schaltung **25**, die ein PWM-Signal erzeugt, welches der Treiberschaltung **16** bereitgestellt wird, einer A/D-Umwandlungsschaltung **26**, die Spannung zwischen beiden Enden des Widerstands **14** erkennt und den Strom, der durch den Widerstand **14** fließt, in einen digitalen Stromwert umwandelt, und einer A/D-Umwandlungsschaltung **27**, welche die Spannung über beide Enden des Kondensators **15** in einen digitalen Spannungswert umwandelt, verbunden.

**[0032]** In **Fig. 2** realisiert die Steuereinheit **2** eine Funktion eines Spannungsschleifen-Steuergerätes **28** zum Steuern der Ausgangsspannung, die von dem DC/DC-Wandler **1** an die Last **4** durch eine sogenannte „Spannungszustandssteuerung“ ausgegeben wird. In der Zeichnung stellt das Symbol „o“ einen Subtrahierer dar.

**[0033]** Basierend auf einer Abweichung, die durch Subtrahieren eines digitalen Spannungswerts  $V_o$ , der durch Umwandeln der Ausgangsspannung, die an die Last **4** mit der A/D-Umwandlungsschaltung **27** ausgegeben wurde, erhalten wird, von einem Zielspannungswert  $V_{ref}$  erhalten wird, berechnet das Spannungsschleifen-Steuergerät **28** eine Ein-Zeit des PWM-Signals (sofern nicht anders angegeben, im Folgenden als „Ein-Zeit“ bezeichnet) und gibt die berechnete Ein-Zeit an die PWM-Schaltung **25** aus. Die PWM-Schaltung **25** erzeugt ein PWM-Signal mit einem Tastverhältnis, dass der bereitgestellten Ein-Zeit entspricht.

**[0034]** In der Spannungsumwandlungsvorrichtung mit einer solchen Ausgestaltung werden die Schaltfrequenzen für das Schaltelement **11** und das zweite Schaltelement **12** in Abhängigkeit von der Größe des Stromes, welcher an die Last **4** ausgegeben wird, derart umgeschaltet, dass sich eine gute Spannungsumwandlungseffizienz ergibt. Wenn beispielsweise der Ausgangsstrom zumindest 20 A beträgt, wird die Schaltfrequenz auf 150 kHz festgesetzt, und wenn der Ausgangsstrom weniger als 20 A beträgt, wird die Schaltfrequenz auf 100 kHz festgesetzt. Es sei angemerkt, dass, wenn die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, die von dem Spannungsschleifen-Steuergerät **28** berechnete Ein-Zeit ebenfalls umgeschaltet wird, aber das Tastverhältnis des in der PWM-Schaltung **25** erzeugten PWM-Signals sich nicht ändert, solange das Tastverhältnis nicht korrigiert wird (dies gilt ähnlich für die anderen Ausführungsformen und Modifikationen, die später beschrieben werden).

**[0035]** Wenn die Schaltfrequenz auf diese Weise nach unten geschaltet wird, wird nach dem Umschalten der Schaltfrequenz der Induktionsstrom, der durch die Induktivität **13** fließt, größer als der Induktionsstrom im stationären Zustand, und die Ausgangsspannung, welche proportional zu dem durchschnittlichen Wert des Induktionsstromes ist, erhöht sich und schwankt ebenfalls.

**[0036]** Daher werden in der Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform durch Ändern (im Folgenden auch als Korrigieren bezeichnet) der Wellenform des PWM-Signals unmittelbar nachdem die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, solche Schwankungen in der Ausgangsspannung, die nach dem Umschalten der Schaltfrequenz erzeugt werden (nachfolgend auch einfach als „Umschalten“ bezeichnet), unterdrückt.

**[0037]** **Fig. 3** ist ein Zeitdiagramm, welches eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom gemäß einer Vergleichsausführungsform zeigt, und **Fig. 4** ist ein Zeitdiagramm, welches eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Die drei Zeitdiagramme aus den **Fig. 3** und **Fig. 4** weisen die gleichen Zeitachsen wie die horizontalen Achsen auf. **Fig. 3** zeigt ein Vergleichsbeispiel (herkömmliches Beispiel) ohne eine Änderung wie in der vorliegenden Erfindung, und **Fig. 4** ist ein Beispiel gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In beiden Beispielen wird die Schaltfrequenz zum Zeitpunkt A von 150 kHz auf 100 kHz umgeschaltet.

**[0038]** In dem Vergleichsbeispiel (herkömmliches Beispiel), welches in **Fig. 3** gezeigt ist, ist das Tastverhältnis in dem PWM-Signal unmittelbar nach dem Umschalten das gleiche wie vor dem Umschalten, und es wird keine Änderung durchgeführt. Daher wird der Induktionsstrom unmittelbar nach dem Umschalten groß, und sein durchschnittlicher Wert (dargestellt durch die gestrichelte Linie **a**) erhöht sich im Vergleich zu dem durch-

schnittlichen Wert im stationären Zustand (dargestellt durch die durchgezogene Linie **b**). Aus diesem Grund schwankt auch die Ausgangsspannung stark.

**[0039]** Auf der anderen Seite wird in dem Beispiel der vorliegenden Erfindung, das in **Fig. 4** gezeigt ist, in Erwartung der Änderung des Induktionsstroms, die mit dem Umschalten der Schaltfrequenz einhergeht, das Tastverhältnis in dem einen Zyklus des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten derart geändert, dass der untere Grenzwert des Induktionsstroms unmittelbar nach dem Umschalten mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms im stationären Zustand übereinstimmt (dargestellt durch die gestrichelte Linie **c**). Mit anderen Worten stimmt der untere Grenzwert des Induktionsstroms in dem Zyklus, in welchem das Tastverhältnis geändert wird, mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms in den Zyklen im stationären Zustand nachdem die Schaltfrequenz umgeschaltet wurde, überein.

**[0040]** Insbesondere wird eine Korrektur derart durchgeführt, dass in dem ersten Zyklus des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten das Tastverhältnis kleiner ist als in den Zyklen vor dem Umschalten. Daher erhöht sich der Induktionsstrom unmittelbar nach dem Umschalten nicht stark, und die Höhe des Anstiegs dieses durchschnittlichen Werts (dargestellt durch die gestrichelte Linie **d**) in Bezug auf den durchschnittlichen Wert im stationären Zustand (dargestellt durch die durchgezogene Linie **e**) ist klein. Infolgedessen werden Schwankungen der Ausgangsspannung nach dem Umschalten unterdrückt. Es sei angemerkt, dass vor und nach der Frequenzänderung des PWM-Signals das Korrigieren (Ändern) des Tastverhältnisses eins-zu-eins dem Ändern der Ein-Zeit entspricht.

**[0041]** Es folgt eine Beschreibung spezifischer Werte der Änderungsgröße in der Wellenform des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten, das heißt, spezifische Werte des Tastverhältnisses nachdem die Wellenform geändert wurde (nachfolgend auch einfach als „Änderung“ bezeichnet), unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz, und der Ein-Zeit nach der Änderung. Das Tastverhältnis **D'** nach der Änderung wird durch die folgende Formel (1) durch einen Herleitungsprozess berechnet, der später beschrieben wird.

$$\begin{aligned} D' &= [D(1-D)/2 \times (1/F1) + D(1+D)/2 \times (1/F2)] \times F2 \\ &= D(1-D)/2 \times (F2/F1) + D(1+D)/2 \end{aligned} \quad (1)$$

**[0042]** Hinweis:

- F1 stellt die Schaltfrequenz vor dem Umschalten dar,
- F2 stellt die Schaltfrequenz nach dem Umschalten dar und
- D stellt das Tastverhältnis vor der Änderung dar.

**[0043]** Die Ein-Zeit EIN' nach der Änderung wird erhalten durch  $D' \times (1/F2)$ , also durch Einsetzen einer Beziehung bei der  $D = EIN \times F1$  ist, wobei EIN die Ein-Zeit vor der Änderung darstellt, in die rechte Seite der obigen Formel (1) vor der Modifikation, wobei EIN' durch die folgende Formel (2) berechnet wird.

$$EIN' = [EIN \times F1 \times (1 - EIN \times F1)] / (2 \times F1) + [EIN \times F1 \times (1 + EIN \times F1)] / (2 \times F2) \quad (2)$$

**[0044]** Wenn die rechte Seite in der obigen Formel (1) nach der Modifikation als eine lineare Funktion von  $X = F2/F1$  betrachtet wird, ist die Steigung, die erhalten wird, wenn diese lineare Funktion in einen Graphen gezeichnet wird,  $D(1-D)/2$  und daher immer positiv, und wenn  $X = 1$  gilt, gilt  $D' = D$ . Wenn somit **X** kleiner als 1 ist, das heißt, wenn **F2** kleiner als **F1** ist, zeigt sich, dass **D'** kleiner als **D** sein sollte, und es ergibt sich, dass das Tastverhältnis derart korrigiert werden sollte, sodass das Tastverhältnis im ersten Zyklus des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten in **Fig. 4** kleiner als in den Zyklen vor dem Umschalten ist.

**[0045]** **Fig. 5** ist ein Zeitdiagramm, welches eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom vor und nach dem Umschalten der Schaltfrequenz zeigt, um zu erklären, wie eine Änderungsgröße hergeleitet wird. Die horizontale Achse in **Fig. 5** stellt die Zeit dar. Das Verfahren zum Herleiten der obigen Formel (1) wird unter Bezugnahme auf **Fig. 5** beschrieben.

**[0046]** Die Beziehung zwischen der Schaltfrequenz, dem PWM-Signal und dem Induktionsstrom vor und nach dem Umschalten der Schaltfrequenz ist in **Fig. 5** gezeigt, wo die Stärke des Anstiegs des Induktionsstroms vor dem Umschalten der Schaltfrequenz durch **la** dargestellt, und die Stärke des Anstiegs des Induktionsstroms

unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz durch  $(1\alpha / 2) + I\beta$  dargestellt ist. Es sei angemerkt, dass in **Fig. 5 Tβ** einen Abschnitt der Ein-Zeit angibt, unmittelbar nachdem die Schaltfrequenz umgeschaltet wurde.

**[0047]** In **Fig. 5** wird, betrachtet man den Zeitpunkt unmittelbar nachdem die Schaltfrequenz von **F1** auf **F2** umgeschaltet wurde, der absolute Wert der Steigung in einer Zeitspanne, während welcher der Induktionsstrom sich verringert, als  $(1 - D) / D$  mal der Steigung in einer Zeitspanne betrachtet, in welcher sich der Induktionsstrom erhöht. Das heißt, in einer Zeitspanne während der sich eine Erhöhung und eine Verringerung des Induktionsstroms gegenseitig aufheben, ist eine Dauer der Zeitspanne, während der sich der Induktionsstrom verringert,  $(1 - D) / D$  mal der Dauer der Zeitspanne, während der sich der Induktionsstrom erhöht, und deshalb wird ein Zyklus  $1 / F2$  nach dem Umschalten durch die folgende Formel (3) erhalten.

$$1 / F2 = (D / 2) \times (1 / F1) + T\beta + [(1 - D) / D] \times T\beta + [(1 - D) / 2] \times (1 / F2) \quad \dots (3)$$

**[0048]** Das Tastverhältnis **D'** nach der Änderung wird durch die Ein-Zeit dividiert durch den Zyklus angegeben, das heißt, es wird durch die Ein-Zeit multipliziert mit der Frequenz angegeben, so dass **D'** durch die folgende Formel (4) erhalten wird.

$$D' = [(D / 2) \times (1 / F1) + T\beta] \times F2 \quad (4)$$

**[0049]** Wenn obige Formel (3) nach **Tβ** gelöst wird, wird die folgende Formel (5) erhalten.

$$T\beta = [D(1 + D) / 2] \times (1 / F2) - (D^2 / 2) \times (1 / F1) \quad (5)$$

**[0050]** Durch Einsetzen der obigen Formel (5) in die obige Formel (4) wird das Tastverhältnis **D'** nach der Änderung wie folgt erhalten, und somit wird die obige Formel (1) erhalten.

$$\begin{aligned} D' &= [(D / 2) \times (1 / F1) + [D(1 + D) / 2] \times (1 / F2) - (D^2 / 2) \times (1 / F1)] \times F2 \\ &= [D(1 - D) / 2 \times (1 / F1) + D(1 + D) / 2 \times (1 / F2)] \times F2 \\ &= D(1 - D) / 2 \times (F2 / F1) + D(1 + D) / 2 \end{aligned}$$

**[0051]** Als nächstes wird der Betrieb beschrieben. **Fig. 6** ist ein Flussdiagramm, das einen Betrieb der Spannungsumwandlungsvorrichtung zeigt. Der in **Fig. 6** gezeigte Betrieb wird für jeden Steuerzyklus der PWM-Steuerung **6** durchgeführt und wird von der CPU **21** gemäß einem Steuerungsprogramm ausgeführt, welches im Voraus in dem ROM **22** gespeichert ist.

**[0052]** Der Betrieb der Spannungsumwandlungsvorrichtung weist eine Ein-Zeit-Berechnungsverarbeitung (Schritt **S1**), welche eine Rückkopplungssteuerung des PWM-Signals basierend auf der erkannten Ausgangsspannung ist, und eine Frequenzschaltverarbeitung (Schritt **S2**) auf, in welcher bestimmt wird, ob es notwendig oder nicht notwendig ist, die Schaltfrequenz umzuschalten, und falls notwendig, wird eine Änderungsgröße der Wellenform in dem PWM-Signal berechnet und Umschalten wird durchgeführt. Die CPU **21** führt die Verarbeitung aus. Es folgt eine detaillierte Beschreibung der Ein-Zeit-Berechnungsverarbeitung (Schritt **S1**) und der Frequenzschaltverarbeitung (Schritt **S2**).

**[0053]** **Fig. 7** ist ein Flussdiagramm, welches einen Betrieb (eine Unterprogramm von Schritt **S1**) der durch die CPU **21** durchgeführten Ein-Zeit-Berechnungsverarbeitung zeigt.

**[0054]** Die CPU **21** erlangt den digitalen Spannungswert, der durch die A/D-Umwandlungsschaltung **27** erhalten wird, welche die Ausgangsspannung, die an die Last **4** ausgegeben wurde, umwandelt (Schritt **S11**). Als Nächstes führt die CPU **21** basierend auf dem erlangten Spannungswert (**Vo**) der Ausgangsspannung eine PID-Berechnung derart durch, dass die Ausgangsspannung ein Zielspannungswert (**Vref**) wird, wodurch die Ein-Zeit berechnet wird (Schritt **S12**). Die CPU **21** sendet die berechnete Ein-Zeit an die PWM-Schaltung **25** (Schritt **S13**) und beendet die Verarbeitung. Ein PWM-Signal wird von der PWM-Schaltung **25** gemäß der Ein-Zeit erzeugt, die gesendet wurde.

**[0055]** Fig. 8 ist ein Flussdiagramm, welches einen Betrieb (Unterprogramm von Schritt **S2**) der Frequenzschaltverarbeitung zeigt, die von der CPU **21** durchgeführt wird.

**[0056]** Wenn die Verarbeitung in Fig. 8 aufgerufen wird, erlangt die CPU **21** den digitalen Stromwert, der durch die A/D-Umwandlungsschaltung **26** erhalten wird, welche den Ausgangsstrom der Last **4** umwandelt (Schritt **S21**). Die CPU **21** spezifiziert eine Schaltfrequenz, die für den Stromwert des erlangten Ausgangsstroms geeignet ist (Schritt **S22**). Insbesondere wenn der erlangte Stromwert zumindest 20 A beträgt, spezifiziert die CPU **21** die Schaltfrequenz als 150 kHz, und wenn der erfasste Stromwert weniger als 20 A beträgt, spezifiziert die CPU **21** die Schaltfrequenz als 100 kHz.

**[0057]** Die CPU **21** bestimmt, ob die spezifizierte Schaltfrequenz mit der gegenwärtigen Schaltfrequenz übereinstimmt oder nicht (Schritt **S23**). Falls sie übereinstimmen (**S23:JA**), beendet die CPU **21** die Verarbeitung.

**[0058]** Wenn sie andererseits nicht übereinstimmen (Schritt **S23: NEIN**), verwendet die CPU **21**, gemäß der obigen Formel (2) mithilfe der Ein-Zeit vor der Änderung, die gegenwärtige Schaltfrequenz (die Schaltfrequenz vor der Änderung), und die spezifizierte Schaltfrequenz (die Schaltfrequenz nach der Änderung), berechnet die Ein-Zeit nach der Änderung (Schritt **S24**). Dann schaltet die CPU **21** die gegenwärtige Schaltfrequenz auf die spezifizierte Schaltfrequenz um (Schritt **S25**) und beendet die Verarbeitung. Die Ein-Zeit im ersten Zyklus unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz des PWM-Signals ist die Ein-Zeit, die in Schritt **S24** berechnet wurde.

**[0059]** Wenn in der oben beschriebenen ersten Ausführungsform die Schaltfrequenz für die Schaltelemente **11** und **12** derart umgeschaltet wird, dass sie verringert wird, um die Umwandlungseffizienz der Spannung von der Batterie **3** zu erhöhen, ändern sich die Eigenschaften (Ein-Zeit oder Tastverhältnis) der Wellenform des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten, sodass es möglich ist, einen durch das Umschalten verursachten Anstieg des durchschnittlichen Werts des Induktionsstroms nach dem Umschalten zu unterdrücken, und aus diesem Grund ist es möglich, Schwankungen der Ausgangsspannung zu unterdrücken, sodass eine konstante Spannung an die Last **4** in einer stabiler Weise ausgegeben werden kann.

#### Modifikation 1

**[0060]** Die erste Ausführungsform weist eine Ausgestaltung auf, bei welcher die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, um von einer hohen Frequenz zu einer niedrigen Frequenz verringert zu werden, wobei Modifikation **1** eine Ausgestaltung aufweist, bei welcher die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, um von einer niedrigen Frequenz zu einer hohen Frequenz erhöht zu werden. Nachstehend wird die Modifikation **1** der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben. Die Ausgestaltung der Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß der Modifikation **1** ist ähnlich der Ausgestaltung (Fig. 1 und Fig. 2) der Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß der oben beschriebenen ersten Ausführungsform.

**[0061]** Fig. 9 ist ein Zeitdiagramm, das eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom gemäß der Modifikation **1** zeigt. Die drei Zeitdiagramme aus Fig. 9 weisen die gleichen Zeitachsen wie die horizontalen Achsen auf. In der Modifikation **1** wird die Schaltfrequenz zum Zeitpunkt A von 100 kHz auf 150 kHz umgeschaltet. In dem Beispiel, welches in Fig. 9 gezeigt ist, wird in Erwartung der Änderung des Induktionsstroms, die mit dem Umschalten der Schaltfrequenz einhergeht, das Tastverhältnis in dem einen Zyklus des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten derart geändert, dass der untere Grenzwert des Induktionsstroms unmittelbar nach dem Umschalten mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms im stationären Zustand übereinstimmt (dargestellt durch die gestrichelte Linie c). Mit anderen Worten stimmt der untere Grenzwert des Induktionsstroms in dem Zyklus, in welchem das Tastverhältnis geändert wird, mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms in den Zyklen im stationären Zustand, nachdem die Schaltfrequenz umgeschaltet wurde, überein.

**[0062]** Insbesondere wird eine Korrektur derart durchgeführt, dass in dem ersten Zyklus des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten das Tastverhältnis größer ist als in den Zyklen vor dem Umschalten. Wenn die rechte Seite in der obigen Formel (1) nach der Modifikation als eine lineare Funktion von  $X = F2 / F1$  betrachtet wird, ist die Steigung, die erhalten wird, wenn diese lineare Funktion in einen Graphen gezeichnet wird,  $D(1 - D) / 2$  und somit immer positiv und wobei, wenn  $X = 1$  gilt, gilt  $D' = D$ . Wenn  $X$  größer als 1 ist, das heißt, wenn **F2** größer als **F1** ist, zeigt sich, dass **D'** größer als **D** sein sollte. Wenn das Tastverhältnis auf diese Weise korrigiert wird, nimmt der Induktionsstrom unmittelbar nach dem Umschalten nicht übermäßig ab, und eine Verringerungsgröße des durchschnittlichen Wertes (dargestellt durch die gestrichelte Linie **d**) in Bezug

auf den durchschnittlichen Wert (dargestellt durch die durchgezogene Linie **e**) in dem stationären Zustand wird unterdrückt. Infolgedessen werden Schwankungen der Ausgangsspannung unterdrückt.

**[0063]** Es sei angemerkt, dass in der Modifikation **1**, wenn das Tastverhältnis **D** vor der Änderung annähernd **1** ist, **D'**, berechnet durch Formel (1), **1** übersteigen kann, aber zu diesem Zeitpunkt sollte **D'** ein numerischer Wert sein, der so nahe wie möglich an **1** ist.

#### Zweite Ausführungsform

**[0064]** Nachstehend wird eine zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben. Es sei anzumerken, dass die Ausgestaltung der Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß der zweiten Ausführungsform ähnlich zu der Ausgestaltung (**Fig. 1** und **Fig. 2**) der Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß der oben beschriebenen ersten Ausführungsform ist.

**[0065]** In der oben beschriebenen ersten Ausführungsform wird die Ein-Zeit in dem einen Zyklus des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz geändert, aber in der zweiten Ausführungsform wird die Ein-Zeit in dem einen Zyklus der PWM Signal unmittelbar bevor die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, geändert. Die zweite Ausführungsform ist für Fälle geeignet, in denen eine PWM-Steuerung unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz ohne irgendeine Korrektur durchgeführt werden muss.

**[0066]** **Fig. 10** ist ein Zeitdiagramm, welches die Beziehung zwischen der Schaltfrequenz, dem PWM-Signal und dem Induktionsstrom gemäß der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Die drei Zeitdiagramme aus **Fig. 10** weisen die gleichen Zeitachsen wie die horizontalen Achsen auf. Wie in der ersten Ausführungsform wird die Schaltfrequenz zum Zeitpunkt **A** von 150 kHz auf 100 kHz umgeschaltet. In dem Beispiel in **Fig. 10** wird, in Erwartung der Änderung des Induktionsstroms, die mit dem Umschalten der Schaltfrequenz einhergeht, das Tastverhältnis in dem einen Zyklus des PWM-Signals unmittelbar vor dem Umschalten derart geändert, so dass der untere Grenzwert des Induktionsstroms zum Zeitpunkt des Umschaltens mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms im stationären Zustand übereinstimmt (dargestellt durch die gestrichelte Linie **c**). Mit anderen Worten stimmt der untere Grenzwert des Induktionsstroms in dem Zyklus, in welchem das Tastverhältnis geändert wird, mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms in den Zyklen im stationären Zustand, nachdem die Schaltfrequenz umgeschaltet wurde, überein.

**[0067]** Insbesondere wird eine Korrektur derart durchgeführt, dass in dem einen Zyklus des PWM-Signals unmittelbar vor dem Umschalten das Tastverhältnis kleiner als das in den vorherigen Zyklen ist (das sind die Zyklen nach dem Umschalten). Daher wird der Induktionsstrom in dem einen Zyklus unmittelbar vor dem Umschalten klein und sein durchschnittlicher Wert (dargestellt durch die gestrichelte Linie **d**) verringert sich in geeigneter Weise in Bezug auf den durchschnittlichen Wert (dargestellt durch die durchgezogene Linie **e**) in dem stationären Zustand. Infolgedessen wird eine Erhöhung des durchschnittlichen Werts der Induktivitätsströme nach dem Umschalten unterdrückt, und Schwankungen der Ausgangsspannung nach dem Umschalten werden unterdrückt.

**[0068]** Das Folgende ist eine Beschreibung spezifischer Werte der Änderungsgröße in der Wellenform des PWM-Signals unmittelbar vor dem Umschalten, das sind, spezifische Werte des Tastverhältnisses nachdem die Wellenform unmittelbar vor dem Umschalten der Schaltfrequenz geändert wurde, und der Ein-Zeit nach der Änderung. Das Tastverhältnis **D'** nach der Änderung wird durch die folgende Formel (6) durch einen Herleitungsprozess, welcher später beschrieben wird, berechnet.

$$\begin{aligned} D' &= [D(3 - D) / 2 \times (1/F1) + D(1 + D) / 2 \times (1/F2)] \times F2 \\ &= D(3 - D) / 2 + D(D - 1) / 2 \times (F1/F2) \end{aligned} \quad (6)$$

**[0069]** Hinweis:

F1 stellt die Schaltfrequenz vor dem Umschalten dar,

F2 stellt die Schaltfrequenz nach dem Umschalten dar und

D stellt das Tastverhältnis vor der Änderung dar.

**[0070]** Die Ein-Zeit **EIN'** nach der Änderung wird erhalten durch  $D' \times (1 / F1)$ , also durch Einsetzen einer Beziehung, wo  $D = EIN \times F1$ , bei der EIN die Ein-Zeit vor der Änderung darstellt, in die rechte Seite der obigen Formel (6) vor der Modifikation, wobei **EIN'** durch die folgende Formel (7) berechnet wird.

$$EIN' = [EIN \times F1 \times (3 - EIN \times F1)] / (2 \times F1) + [EIN \times F1 \times (EIN \times F1 - 1)] / (2 \times F2) \quad (7)$$

**[0071]** Wenn die rechte Seite in der obigen Formel (6) nach der Modifikation als eine lineare Funktion von  $Y = F1 / F2$  betrachtet wird, ist die Steigung, die erhalten wird, wenn diese lineare Funktion in einen Graphen gezeichnet wird,  $D(D - 1) / 2$  und daher immer negativ, und wobei wenn  $Y = 1$  gilt, gilt  $D' = D$ . Wenn **Y** größer als 1 ist, das heißt, wenn **F2** kleiner als **F1** ist, zeigt sich, dass **D'** kleiner als **D** sein sollte, und es ergibt sich, dass das Tastverhältnis derart korrigiert werden sollte, dass das Tastverhältnis in dem einen Zyklus des PWM-Signals unmittelbar vor dem Umschalten in **Fig. 10** kleiner, als das in den vorhergehenden Zyklen vor dem Umschalten ist (das heißt, als in den Zyklen nach dem Umschalten).

**[0072]** **Fig. 11** ist ein Zeitdiagramm, welches eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom vor und nach dem Umschalten der Schaltfrequenz zeigt, um zu erklären, wie eine Änderungsgröße hergeleitet wird. Die horizontale Achse in **Fig. 5** stellt die Zeit dar. Der Prozess zum Herleiten der obigen Formel zur Berechnung wird unter Bezugnahme auf **Fig. 11** beschrieben.

**[0073]** Ähnlich wie in dem Fall, der in **Fig. 5** gezeigt ist, ist die Beziehung zwischen der Schaltfrequenz, dem PWM-Signal und dem Induktionsstrom vor und nach dem Umschalten der Schaltfrequenz, wie in **Fig. 11**, in dem die Stärke des Anstiegs des Induktionsstroms vor dem Umschalten der Schaltfrequenz durch  $I\alpha$  dargestellt, und die Stärke des Anstiegs des Induktionsstroms unmittelbar vor dem Umschalten der Schaltfrequenz durch  $(I\alpha / 2) + I\beta$  dargestellt ist. **Tβ** stellt einen Teil der Ein-Zeit unmittelbar bevor die Schaltfrequenz umgeschaltet wird dar.

**[0074]** Wenn man in **Fig. 11** den Zeitpunkt unmittelbar vor dem Umschalten der Schaltfrequenz von **F1** auf **F2** betrachtet, ähnlich wie in dem in **Fig. 5** gezeigten Fall, ist in einer Zeitspanne während der sich eine Erhöhung und eine Verringerung des Induktionsstroms gegenseitig aufheben, eine Dauer der Zeitspanne, während der sich der Induktionsstrom verringert,  $(1 - D) / D$  mal der Dauer der Zeitspanne, während der sich der Induktionsstrom erhöht, und deshalb wird ein Zyklus  $1 / F1$  unmittelbar vor dem Umschalten durch die folgende Formel (8) erhalten.

$$1 / F1 = (D / 2) \times (1 / F1) + T\beta + [(1 - D) / D] \times T\beta + [(1 - D) / 2] \times (1 / F2) \quad \dots (8)$$

**[0075]** Wie oben beschrieben, wird das Tastverhältnis **D'** nach der Änderung durch die Ein-Zeit angegeben, die mit der Frequenz multipliziert wird, so dass **D'** durch die folgende Formel (4) erhalten wird (erneut gezeigt).

$$D' = [(D / 2) \times (1 / F1) + T\beta] \times F2 \quad (4)$$

**[0076]** Wenn obige Formel (8) nach **Tβ** gelöst wird, wird die folgende Formel (9) erhalten.

$$T\beta = [D(2 - D) / 2] \times (1 / F1) + [D(D - 1) / 2] \times (1 / F2) \quad (9)$$

**[0077]** Durch Einsetzen der obigen Formel (9) in die Formel (4) wird das Tastverhältnis **D'** nach der Änderung wie folgt erhalten, und dadurch wird die obige Formel (6) erhalten.

$$\begin{aligned} D' &= [(D / 2) \times (1 / F1) + [D(2 - D) / 2] \times (1 / F1) + [D(D - 1) / 2] \times (1 / F2)] \times F1 \\ &= [D(3 - D) / 2 \times (1 / F1) + D(D - 1) / 2 \times (1 / F2)] \times F1 \end{aligned}$$

**[0078]** Als nächstes wird der Betrieb beschrieben. Ein Ablaufdiagramm, welches den Betrieb der Spannungsumwandlungsvorrichtung zeigt, und ein Ablaufdiagramm, welches den Betrieb (Unterprogramm in Schritt **S1**) eines Ein-Zeit-Berechnungsprozesses zeigt, der durch die CPU **21** durchgeführt wird, sind ähnlich zu denen, die in **Fig. 6** und **Fig. 7** in der ersten Ausführungsform gezeigt sind, und somit wird auf ihre Darstellung und Beschreibung verzichtet.

**[0079]** Fig. 12 ist ein Flussdiagramm, welches einen Betrieb (Unterprogramm von Schritt **S2**) der Frequenzschaltverarbeitung zeigt, die von der CPU **21** durchgeführt wird. Der Schaltgraph in Fig. 12 ist ein Marker, der anzeigt, ob es ein Zyklus zum Umschalten der Schaltfrequenz ist oder nicht, und ist in dem RAM **23** gespeichert, wobei sein Anfangswert auf **0** gesetzt ist. Die Verarbeitung von Schritt **S31** zu Schritt **S34**, die in Fig. 12 gezeigt ist, ist ähnlich zu der Verarbeitung von Schritt **S21** bis Schritt **S24**, die in Fig. 8 in der ersten Ausführungsform gezeigt ist und somit wird seine Beschreibung vereinfacht.

**[0080]** Wenn die Verarbeitung, die in Fig. 12 gezeigt ist, aufgerufen wird, bestimmt die CPU **21**, ob der Schaltmarker auf **1** gesetzt ist oder nicht (Schritt **S30**). Wenn der Schaltmarker nicht auf **1** (Schritt **S30**: Nein) gesetzt ist, erlangt die CPU **21** einen Ausgangsstrom, der zu der Last **4** (Schritt **S31**) ausgegeben wird, und spezifiziert die Schaltfrequenz, die für den erlangten Ausgangsstrom geeignet ist (Schritt **S32**).

**[0081]** Als nächstes bestimmt die CPU **21**, ob die spezifizierte Schaltfrequenz mit der gegenwärtigen Schaltfrequenz übereinstimmt oder nicht (Schritt **S33**), und falls sie übereinstimmt (Schritt **S33**: JA), beendet die CPU **21** die Verarbeitung.

**[0082]** Falls sie andererseits nicht übereinstimmen (Schritt **S33**: NEIN), berechnet die CPU **21** die Ein-Zeit nach der Änderung gemäß der obigen Formel (7) (Schritt **S34**), setzt den Schaltmarker auf **1** fest (Schritt **S35**) und beendet die Verarbeitung.

**[0083]** Wenn der Schaltmarker in Schritt **S30** auf **1** gesetzt wird (Schritt **S30**: JA), löscht die CPU **21** den Schaltmarker auf **0** (Schritt **S36**) und schaltet dann die aktuelle Schaltfrequenz auf die spezifizierte Schaltfrequenz um (Schritt **S37**), und beendet die Verarbeitung.

**[0084]** Wenn in der oben beschriebenen zweiten Ausführungsform die Schaltfrequenz für die Schaltelemente **11** und **12** derart umgeschaltet wird, dass sie verringert wird, um die Umwandlungseffizienz der Spannung von der Batterie **3** zu erhöhen, werden die Eigenschaften (Ein-Zeit oder Tastverhältnis) der Wellenform des PWM-Signals unmittelbar vor dem Umschalten geändert, sodass es möglich ist, eine Erhöhung des durchschnittlichen Werts der Induktionsströme nach dem Einschalten, die durch das Umschalten verursacht wird, zu unterdrücken, und aus diesem Grund ist es möglich, Schwankungen in der Ausgangsspannung zu unterdrücken, sodass somit eine konstante Spannung an die Last **4** in einer stabiler Weise ausgegeben werden kann.

**[0085]** Es sei angemerkt, dass in der zweiten Ausführungsform, falls das Tastverhältnis **D** vor der Änderung annähernd bei **0** liegt, **D'**, berechnet durch die Formel (6), kleiner als **0** sein kann, aber zu diesem Zeitpunkt sollte **D'** ein numerischer Wert sein, der möglichst nahe an **0** ist.

#### Modifikation 2

**[0086]** Die zweite Ausführungsform weist eine Ausgestaltung auf, in welcher die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, um von einer hohen Frequenz auf eine niedrige Frequenz verringert zu werden, während die Modifikation 2 eine Ausgestaltung aufweist, in welcher die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, um von einer niedrigen Frequenz zu einer hohen Frequenz erhöht zu werden. Nachstehend wird die Modifikation 2 der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben. Die Ausgestaltung der Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß der Modifikation 2 ist ähnlich der Ausgestaltung (Fig. 1 und Fig. 2) der Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß der oben beschriebenen ersten Ausführungsform.

**[0087]** Fig. 13 ist ein Zeitdiagramm, welches eine Beziehung zwischen einer Schaltfrequenz, einem PWM-Signal und einem Induktionsstrom gemäß Modifikation 2 zeigt. Die drei Zeitdiagramme aus Fig. 13 weisen die gleichen Zeitachsen wie die horizontalen Achsen auf. In der Modifikation 2 wird die Schaltfrequenz zum Zeitpunkt **A** von 100 kHz auf 150 kHz umgeschaltet. In dem Beispiel, welches in Fig. 13 gezeigt ist, wird in Erwartung auf die Änderung des Induktionsstroms, die mit der Umschaltung der Schaltfrequenz einhergeht, das Tastverhältnis in dem einem Zyklus des PWM-Signals unmittelbar vor dem Umschalten derart verändert, dass der untere Grenzwert des Induktionsstromes zum Zeitpunkt des Umschaltens mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms im stationären Zustand übereinstimmt (dargestellt durch die gestrichelte Linie **c**). Mit anderen Worten stimmt der untere Grenzwert des Induktionsstroms in dem Zyklus, in welchem das Tastverhältnis geändert wird, mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms in den Zyklen im stationären Zustand, nachdem die Schaltfrequenz umgeschaltet wurde, überein.

**[0088]** Insbesondere wird eine Korrektur derart durchgeführt, dass in dem einen Zyklus des PWM-Signals unmittelbar vor dem Umschalten das Tastverhältnis größer als das in den vorherigen Zyklen ist (das sind die

Zyklen nach dem Umschalten). Wenn die rechte Seite in der obigen Formel (6) nach der Modifikation als eine lineare Funktion von  $Y = F1 / F2$  betrachtet wird, ist die Steigung, die erhalten wird, wenn diese lineare Funktion in einen Graphen gezeichnet wird,  $D (D - 1) / 2$  und somit immer negativ und wobei wenn  $Y = 1$  gilt, gilt  $D' = D$ . Wenn somit  $Y$  kleiner als 1 ist, das heißt, wenn  $F2$  größer als  $F1$  ist, zeigt sich, dass  $D'$  größer als  $D$  sein sollte. Wenn das Tastverhältnis auf diese Weise korrigiert wird, erhöht sich der Induktionsstrom unmittelbar vor dem Umschalten, und sein durchschnittlicher Wert (dargestellt durch die gestrichelte Linie **d**) erhöht sich in geeigneter Weise in Bezug auf den durchschnittlichen Wert (dargestellt durch die durchgezogene Linie **e**) im stationären Zustand. Infolgedessen wird eine Verringerung des durchschnittlichen Werts der Induktionsströme nach dem Umschalten unterdrückt, und Schwankungen der Ausgangsspannung werden unterdrückt.

### Dritte Ausführungsform

**[0089]** Nachstehend wird eine dritte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben. Es sei angemerkt, dass die Ausgestaltung der Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß der dritten Ausführungsform ähnlich zu der Ausgestaltung (**Fig. 1** und **Fig. 2**) der Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß der oben beschriebenen ersten Ausführungsform ist.

**[0090]** Obwohl in der oben beschriebenen ersten und zweiten Ausführungsform nur die Ein-Zeit in dem einen Zyklus des PWM-Signals unmittelbar nach und unmittelbar vor dem Umschalten der Schaltfrequenz geändert wird, wird in der dritten Ausführungsform die Ein-Zeit in mehreren Zyklen des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz, geändert. Diese dritte Ausführungsform ist für Fälle geeignet, in denen eine Rückkopplungssteuerung, basierend auf der Ausgangsspannung, nicht in jedem Zyklus des PWM-Signals durchgeführt wird.

**[0091]** **Fig. 14** ist ein Zeitdiagramm, das die Beziehung zwischen der Schaltfrequenz, dem PWM-Signal und dem Induktionsstrom gemäß der dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Die drei Zeitdiagramme aus **Fig. 14**, weisen die gleichen Zeitachsen wie die horizontalen Achsen auf. Wie in der ersten Ausführungsform wird die Schaltfrequenz zum Zeitpunkt **A** von 150 kHz auf 100 kHz umgeschaltet. In dem in **Fig. 14** gezeigten Beispiel wird die Ein-Zeit in zwei Zyklen unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz geändert. Das heißt, in dem ersten Zyklus, unmittelbar nachdem die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, wird die Ein-Zeit um  $x1 \mu s$  derart geändert, dass der obere Grenzwert des Induktionsstroms mit dem oberen Grenzwert des Induktionsstroms in dem stationären Zustand übereinstimmt, in dem zweiten Zyklus wird die Ein-Zeit um  $x2 \mu s$  derart geändert, dass der untere Grenzwert des Induktionsstroms mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms im stationären Zustand übereinstimmt, und in dem weiteren dritten Zyklus wird eine normale Steuerung durchgeführt. Mit anderen Worten, der obere Grenzwert des Induktionsstroms in den ersten und zweiten Zyklen, in welchen das Tastverhältnis geändert wird, stimmt mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms in den Zyklen im stationären Zustand nach dem Umschalten der Schaltfrequenz überein.

**[0092]** Eine spezifische Änderungsgröße der Ein-Zeit wird mithilfe von **Fig. 14** in Bezugnahme auf **Fig. 5** beschrieben. In **Fig. 14** wird der Zeitpunkt, zu dem die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, als **t0** bezeichnet, und der Zeitpunkt, an dem der Induktionsstrom mit einem durchschnittlichen Strom unmittelbar nach dem Zeitpunkt **t0** übereinstimmt, wird als **t1** bezeichnet. Danach werden die Zeitpunkte, an denen der Induktionsstrom sukzessive mit einem durchschnittlichen Strom übereinstimmt, als **t3**, **t5**, **t7**, **t9** und **t11** bezeichnet, und die Zeitpunkte, zu denen der Induktionsstrom sukzessive ein lokales Maximum und ein lokales Minimum wird, sind mit **t2**, **t4**, **t6**, **t8**, **t10** und **t12** bezeichnet.

**[0093]** Eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t1** bis zum Zeitpunkt **t2** entspricht **Tβ** in **Fig. 5**, und eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t8** bis zum Zeitpunkt **t10** entspricht  $D \times 1 / F2$  in **Fig. 5**. In der vorliegenden dritten Ausführungsform wird die Steuerung derart durchgeführt, dass der Induktionsstrom zum Zeitpunkt **t2** und der Induktionsstrom zum Zeitpunkt **t10** einander gleich sind, so dass die untere folgende Formel (10) gilt. Wie oben auch beschrieben, wird das Tastverhältnis **D'** nach der Änderung durch die Ein-Zeit multipliziert mit der Frequenz angegeben, so dass **D'** durch die folgende Formel (4) erhalten wird (erneut gezeigt).

$$T\beta = (D / 2) \times (1 / F2) \quad (10)$$

$$D' = [(D / 2) \times (1 / F1) + T\beta] \times F2 \quad (4)$$

**[0094]** Durch Einsetzen der Formel (10) in die Formel (4) wird das Tastverhältnis **D'** im ersten Zyklus (von dem Zeitpunkt **t0** bis zu dem Zeitpunkt **t4**) nach dem Umschalten der Schaltfrequenz wie in der nachstehenden Formel (11) erhalten. Das Produkt, das durch Multiplizieren des zweiten Ausdrucks auf der rechten Seite, der zuletzt in der Formel (11) modifiziert wurde, mit dem Zyklus ( $1 / F2$ ) erhalten wird, ist eine Korrekturgröße (entspricht den oben beschriebenen **x1**  $\mu$ s) der Ein-Zeit des PWM-Signals vom Zeitpunkt **t0** bis zum Zeitpunkt **t2**. Wenn die Schaltfrequenz von 150 kHz auf 100 kHz umgeschaltet wird, das heißt, wenn **F2 / F1** kleiner als 1 ist, wird das Tastverhältnis unmittelbar nach dem Umschalten derart korrigiert, dass es kleiner ist, als vor dem Umschalten. In diesem Fall wird eine Korrektur derart durchgeführt, dass **x1** eine negative Zahl ist, und die Ein-Zeit des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten ist kürzer als die Ein-Zeit im stationären Zustand nach dem Umschalten.

$$\begin{aligned} D' &= [(D/2) \times (1/F1) + [D/2] \times (1/F2)] \times F2 \\ &= (D/2) \times (F2/F1 + 1) \\ &= D - (D/2) \times (1 - F2/F1) \end{aligned} \quad (11)$$

**[0095]** Das Folgende ist eine Beschreibung einer Korrekturgröße des PWM-Signals in dem zweiten Zyklus (von dem Zeitpunkt **t4** zu dem Zeitpunkt **t8**), nachdem die Schaltfrequenz umgeschaltet wurde. In dem ersten Zyklus nach dem Umschalten der Schaltfrequenz, wie in Formel (11) gezeigt, wird das Tastverhältnis **D'** korrigiert, um kleiner als **D** zu sein, und somit ist eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t2** bis zu dem Zeitpunkt **t4** länger als eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t10** bis zu dem Zeitpunkt **t12** in der normalen Steuerung mit der Frequenz **F2**, und dementsprechend nimmt der Induktionsstrom übermäßig um diese Größe ab.

**[0096]** Wenn eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t3** bis zu dem Zeitpunkt **t4** in dem ersten Zyklus als **T3** bezeichnet wird, ähnlich zu dem Fall von **Fig. 5**, ist eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t0** bis zum Zeitpunkt **t1**  $(D/2) \times (1/F1)$ . Ähnlich zu einer Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t9** zu dem Zeitpunkt **t11** ist auch eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t1** zu dem Zeitpunkt **t3**  $(1/2) \times (1/F2)$ , die der Hälfte eines Zyklus entspricht. Da eine Zeitspanne von der Zeitpunkt **t0** bis zur Zeitpunkt **t4**  $1/F2$  ist, wird **T3** durch die folgende Formel (12) erhalten.

$$T3 = (1/2) \times (1/F2) - (D/2) \times 1/F1 \quad (12)$$

**[0097]** Als nächstes wird eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t5** bis zu dem Zeitpunkt **t6** in dem zweiten Zyklus als **T<sub>γ</sub>** bezeichnet. Wie oben beschrieben, ist in einer Zeitspanne während der sich eine Erhöhung und eine Verringerung des Induktionsstroms gegenseitig aufheben, eine Dauer der Zeitspanne, während der sich der Induktionsstrom verringert,  $(1 - D) / D$  mal der Dauer der Zeitspanne, während der sich der Induktionsstrom erhöht, und somit ist die Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t4** bis zu dem Zeitpunkt **t5** im zweiten Zyklus  $D / (1 - D)$  mal **T3** und die Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t6** bis zu dem Zeitpunkt **t7** ist  $(1 - D) / D$  mal **T<sub>γ</sub>**. Auch ist eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t7** bis zu dem Zeitpunkt **t8**  $[(1 - D) / 2] \times (1/F2)$ , und somit gilt hinsichtlich der Gesamtzeitspanne des zweiten Zyklus die folgende Formel (13).

$$1/F2 = T3 \times D / (1 - D) + T_{\gamma} + [(1 - D) / D] \times T_{\gamma} + [(1 - D) / 2] \times (1/F2) \quad \dots (13)$$

**[0098]** Das Tastverhältnis nach der Änderung wird durch die Ein-Zeit dividiert durch den Zyklus angegeben, das heißt, durch die Ein-Zeit multipliziert mit der Frequenz von dem Zeitpunkt **t4** bis zu dem Zeitpunkt **6** angegeben, so dass das Tastverhältnis **D''** nach der Änderung durch die folgende Formel (14) erhalten wird.

$$D'' = [T3 \times D / (1 - D) + T_{\gamma}] \times F2 \quad (14)$$

**[0099]** Wenn die obige Formel (13) nach **T<sub>γ</sub>** gelöst wird, wird die folgende Formel (15) erhalten.

$$T_{\gamma} = [D(1 + D) / 2] \times (1/F2) - T3 \times D^2 / (1 - D) \quad (15)$$

**[0100]** Durch Einsetzen der obigen Formel (12) in Formel (14) und einer Formel, die durch Einsetzen der Formel (12) in die obige Formel (15) erhalten wird, wird das Tastverhältnis **D''** nach der Änderung als nachstehende Formel (16) erhalten. Auf eine Beschreibung der Zwischenergebnisse der Modifikation der Formel

wird jedoch verzichtet. Das Produkt, das durch Multiplizieren des zweiten Ausdrucks auf der rechten Seite, der zuletzt in dieser Formel (16) modifiziert wurde, mit dem Zyklus  $(1 / F_2)$  erhalten wird, ist eine Korrekturgröße (entspricht den oben beschriebenen  $x_2 \mu s$ ) des PWM-Signals vom Zeitpunkt  $t_4$  bis zum Zeitpunkt  $t_6$ . Wenn die Schaltfrequenz von 150 kHz auf 100 kHz umgeschaltet wird, das heißt, wenn  $F_2 / F_1$  kleiner als 1 ist, wird eine Korrektur derart durchgeführt, dass das Tastverhältnis im zweiten Zyklus nach dem Umschalten größer ist, als in den Zyklen vor dem Umschalten. In diesem Fall wird eine Korrektur derart durchgeführt, dass  $x_2$  eine positive Zahl ist und die Ein-Zeit des PWM-Signals in dem zweiten Zyklus nach dem Umschalten länger ist, als die Ein-Zeit in den Zyklen in dem stationären Zustand nach dem Umschalten.

$$D'' = \left[ - \left( D^2 / 2 \right) \times (1 / F_1) + (D / 2) \times (2 + D) \times (1 / F_2) \right] \times F_2$$

$$= D + \left( D^2 / 2 \right) \times (1 - F_2 / F_1) \quad (16)$$

**[0101]** Wenn die rechte Seite in der obigen Formel (11) nach der Modifikation (oder Formel (16)) als eine lineare Funktion von  $X = F_2 / F_1$  bezeichnet wird, ist die Steigung, die erhalten wird, wenn diese lineare Funktion in einen Graphen gezeichnet wird,  $D / 2$  (oder  $- (D^2 / 2)$ ) und somit immer positiv (oder negativ), und wenn  $X = 1$  gilt, zeigt sich, dass  $D' = D$  ( $D'' = D$ ) gilt. Daher, wenn  $X$  kleiner ist als 1, das heißt, wenn  $F_2$  kleiner als  $F_1$  ist, zeigt sich, dass  $D'$  kleiner als  $D$  sein sollte (oder  $D''$  sollte größer als  $D$  sein), und es ergibt sich, dass das Tastverhältnis derart korrigiert werden sollte, dass das Tastverhältnis im ersten Zyklus (oder im zweiten Zyklus) des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten in **Fig. 14** kleiner ist (oder größer ist), als das in den Zyklen vor dem Umschalten.

**[0102]** Wenn  $X = F_2 / F_1$  in Formel (11) (oder Formel (16)) größer als 1 ist, das heißt, wenn  $F_2$  größer als  $F_1$  ist, zeigt sich, dass  $D'$  größer als  $D$  sein sollte (oder  $D''$  sollte kleiner als  $D$  sein). Das heißt, eine Korrektur wird derart durchgeführt, dass in dem ersten Zyklus (oder dem zweiten Zyklus) des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten das Tastverhältnis größer (oder kleiner) als das in den Zyklen vor dem Umschalten ist.

**[0103]** Wie oben beschrieben, schwankt die Ausgangsspannung in der dritten Ausführungsform derart, dass die Ausgangsspannung sich verringert statt sich zu erhöhen, und somit wird in der Patentschrift, wenn die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, das Risiko eliminiert, dass die Ausgangsspannung die angegebene obere Grenzspannung überschreitet.

**[0104]** Es sei angemerkt, dass, wenn die Ein-Zeit für mindestens drei Zyklen unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz geändert wird, die Transition des Induktionsstroms nach dem Umschalten der Schaltfrequenz erwartet wird, und die Berechnung sollte ähnlich wie in der oben ausgeführten dritten Ausführungsform auf der Grundlage dieses erwarteten Ergebnisses mithilfe der Schaltfrequenz vor dem Umschalten, der Schaltfrequenz nach dem Umschalten und des Tastverhältnisses vor der Änderung durchgeführt werden, so dass der obere Grenzwert oder der untere Grenzwert des Induktionsstroms mit dem oberen Grenzwert oder dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms im stationären Zustand übereinstimmt.

**[0105]** Wenn allerdings in der dritten Ausführungsform  $X = F_2 / F_1$  größer als 1 ist und das Tastverhältnis  $D$  vor der Änderung nahe bei 1 liegt, kann  $D'$ , das durch die Formel (11) berechnet wird, in einigen Fällen 1 und mehr übersteigen, und in diesem Fall sollte  $D'$  zum Beispiel ein numerischer Wert sein, der extrem nahe bei 1 liegt,  $D''$  sollte beispielsweise  $D$  sein.

#### Vierte Ausführungsform

**[0106]** Im Folgenden wird eine vierte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben. Es sei angemerkt, dass die Ausgestaltung der Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß der vierten Ausführungsform ähnlich zu der Ausgestaltung (**Fig. 1** und **Fig. 2**) der Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß der oben beschriebenen ersten Ausführungsform ist. Die dritte Ausführungsform weist eine Ausgestaltung auf, bei welcher die Dauer des Ein-Signals des PWM-Signals für zwei Zyklen unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz korrigiert wird, während die vierte Ausführungsform eine Ausgestaltung aufweist, bei welcher die Dauer des Ein-Signals des PWM-Signals für zwei Zyklen unmittelbar bevor die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, korrigiert wird.

**[0107]** **Fig. 15** ist ein Zeitdiagramm, das die Beziehung zwischen der Schaltfrequenz, dem PWM-Signal und dem Induktionsstrom gemäß der vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Die drei Zeitdiagramme aus **Fig. 15** weisen die gleichen Zeitachsen wie die horizontalen Achsen auf. Wie in der ersten Aus-

führungsform wird die Schaltfrequenz zum Zeitpunkt **A** von 150 kHz auf 100 kHz umgeschaltet. In dem in **Fig. 15** gezeigten Beispiel wird die Ein-Zeit für zwei Zyklen des PWM-Signals unmittelbar vor dem Umschalten geändert. Das heißt, in den zwei Zyklen unmittelbar bevor die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, wird in dem ersten Zyklus (vom Zeitpunkt **t0** bis zum Zeitpunkt **t4**) die Ein-Zeit um **y1** µs derart geändert, so dass der obere Grenzwert des Induktionsstroms mit dem oberen Grenzwert des Induktionsstroms im stationären Zustand übereinstimmt, im zweiten Zyklus (vom Zeitpunkt **t4** bis zum Zeitpunkt **t8**) wird die Ein-Zeit um **y2** µs derart geändert, dass der untere Grenzwert des Induktionsstroms mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms im stationären Zustand übereinstimmt, und eine normale Steuerung wird unmittelbar nach dem Umschalten durchgeführt. Mit anderen Worten stimmen der obere Grenzwert und der untere Grenzwert des Induktionsstroms in den ersten und zweiten Zyklen, in welchen das Tastverhältnis jeweils geändert wird, mit dem oberen Grenzwert und dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms in den Zyklen in dem stationären Zustand nach dem Umschalten der Schaltfrequenz, überein.

**[0108]** Eine spezifische Änderungsgröße der Ein-Zeit wird mithilfe von **Fig. 15** in Bezug auf **Fig. 5** beschrieben. In **Fig. 15** wird ein Zeitpunkt, der zwei Zyklen vor dem Zeitpunkt liegt, wenn die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, als **t0** bezeichnet, und ein Zeitpunkt, wenn der Induktionsstrom mit einem durchschnittlichen Strom unmittelbar nach dem Zeitpunkt **t0** übereinstimmt, wird als **t1** bezeichnet. Danach werden die Zeitpunkte, zu denen der Induktionsstrom sukzessive mit dem durchschnittlichen Strom übereinstimmt, als **t3**, **t5**, **t7**, **t9** und **t11** bezeichnet, und die Zeitpunkte, wenn der Induktionsstrom sukzessive ein lokales Maximum und ein lokales Minimum wird, sind mit **t2**, **t4**, **t6**, **t8**, **t10** und **t12** bezeichnet. Der Zeitpunkt, zu dem die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, ist der Zeitpunkt **t8**.

**[0109]** Eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t1** bis zum Zeitpunkt **t2** entspricht **Tβ** in **Fig. 5**, und eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t8** bis zum Zeitpunkt **t10** entspricht  $D \times 1 / F2$  in **Fig. 5**. In der vorliegenden vierten Ausführungsform wird die Steuerung derart durchgeführt, dass der Induktionsstrom zum Zeitpunkt **t2** und der Induktionsstrom zum Zeitpunkt **t10** einander gleich sind, so dass die nachstehende Formel (10) (erneut gezeigt) erfüllt ist. Wie oben beschrieben, wird das Tastverhältnis **D'** nach der Änderung durch die Ein-Zeit angegeben, multipliziert mit der Frequenz, so dass **D'** durch die folgende Formel (17) erhalten wird.

$$T\beta = (D / 2) \times (1 / F2) \quad (10)$$

$$D' = [(D / 2) \times (1 / F1) + T\beta] \times F1 \quad (17)$$

**[0110]** Durch Einsetzen der Formel (10) in Formel (17) wird das Tastverhältnis **D'** in dem ersten Zyklus aus den zwei Zyklen unmittelbar vor dem Umschalten der Schaltfrequenz wie in der folgenden nachstehenden Formel (18) erhalten. Das Produkt, das durch Multiplizieren des zweiten Ausdrucks auf der rechten Seite, der zuletzt in dieser Formel (18) modifiziert wurde, mit dem Zyklus  $(1 / F1)$  erhalten wird, ist eine Korrekturgröße (entspricht dem oben beschriebenen **y1** µs) des PWM-Signals vom Zeitpunkt **t0** bis zum Zeitpunkt **t2**. Wenn die Schaltfrequenz von 150 kHz auf 100 kHz umgeschaltet wird, das heißt, wenn  $F1 / F2$  größer als 1 ist, wird eine Korrektur derart durchgeführt, dass das Tastverhältnis in dem ersten Zyklus aus den zwei Zyklen unmittelbar vor dem Umschalten größer ist, als in den Zyklen vor den vorherigen Zyklen (das sind die Zyklen nach dem Umschalten). In diesem Fall wird eine Korrektur durchgeführt, so dass **y1** eine positive Zahl ist, und die Ein-Zeit des PWM-Signals in dem ersten Zyklus aus den zwei Zyklen unmittelbar vor dem Umschalten länger ist, als die Ein-Zeit in dem stationären Zustand nach dem Umschalten.

$$\begin{aligned} D' &= [(D / 2) \times (1 / F1) + (D / 2) \times (1 / F2)] \times F2 \\ &= (D / 2) \times (1 + F2 / F1) \\ &= D - (D / 2) \times (1 - F1 / F2) \end{aligned} \quad (18)$$

**[0111]** Nachfolgend ist die Beschreibung einer Korrekturgröße des PWM-Signals in dem zweiten Zyklus aus den zwei Zyklen unmittelbar bevor die Schaltfrequenz umgeschaltet wird. Wenn ein Zeitraum von dem Zeitpunkt **t3** bis zu dem Zeitpunkt **t4** in dem ersten Zyklus als **T3** bezeichnet wird (nicht gezeigt: siehe **Fig. 14**), ist ähnlich wie in dem Fall von **Fig. 5**, eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t0** bis zu dem Zeitpunkt **t1**  $(D / 2) \times (1 / F1)$ . Ähnlich zu einer Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t9** zu dem Zeitpunkt **t11** ist auch eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t1** zu dem Zeitpunkt **t3**  $(1 / 2) \times (1 / F2)$ , welche der Hälfte eines Zyklus entspricht. Da die Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t0** bis zum Zeitpunkt **t4**  $1 / F1$  ist, wird **T3** durch die folgende Formel (19) erhalten.

$$\begin{aligned}
 T_3 &= (1/F_1) - (1/2) \times (1/F_2) - (D/2) \times (1/F_1) \\
 &= (2-D)/2 \times (1/F_1) - (1/2) \times (1/F_2) \quad (19)
 \end{aligned}$$

**[0112]** Als nächstes wird eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t5** zu dem Zeitpunkt **t6** in dem zweiten Zyklus als  $T_\gamma$  bezeichnet. Wie oben beschrieben, ist in einer Zeitspanne während der sich eine Erhöhung und eine Verringerung des Induktionsstroms gegenseitig aufheben, eine Dauer der Zeitspanne, während der sich der Induktionsstrom verringert,  $(1-D)/D$  mal der Dauer der Zeitspanne, während der sich der Induktionsstrom erhöht, und somit ist eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t4** zu dem Zeitpunkt **t5** in dem zweiten Zyklus  $D/(1-D)$  mal  $T_3$  und die Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t6** zu dem Zeitpunkt **t7** ist  $(1-D)/D$  mal  $T_\gamma$ . Auch ist eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t7** bis zum Zeitpunkt **t8**  $[(1-D)/2] \times (1/F_1)$ , und somit gilt bezüglich der Gesamtzeitspanne des zweiten Zyklus die folgende Formel (20).

$$1/F_1 = T_3 \times D/(1-D) + T_\gamma + [(1-D)/D] \times T_\gamma + [(1-D)/2] \times (1/F_1) \quad (20)$$

**[0113]** Das Tastverhältnis nach der Änderung wird durch die Ein-Zeit dividiert durch den Zyklus angegeben, das heißt, durch die Ein-Zeit multipliziert mit der Frequenz von dem Zeitpunkt **t4** bis zu dem Zeitpunkt **6** angegeben, so dass das Tastverhältnis  $D''$  nach der Änderung durch die folgende Formel (21) erhalten wird.

$$D'' = [T_3 \times D/(1-D) + T_\gamma] \times F_1 \quad (21)$$

**[0114]** Wenn obige Formel (20) nach  $T_\gamma$  gelöst wird, wird die folgende Formel (22) erhalten.

$$T_\gamma = [D(1+D)/2] \times (1/F_1) - T_3 \times D^2/(1-D) \quad (22)$$

**[0115]** Durch Einsetzen der obigen Formel (19) in Formel (21) und einer Formel, die durch Einsetzen der Formel (19) in die obige Formel (22) erhalten wird, wird das Tastverhältnis  $D''$  nach der Änderung als nachstehende Formel (23) erhalten. Auf eine Beschreibung der Zwischenergebnisse der Modifikation der Formel wird jedoch verzichtet. Das Produkt, das durch Multiplizieren des zweiten Ausdrucks auf der rechten Seite, der zuletzt in dieser Formel (23) modifiziert wurde, mit dem Zyklus  $(1/F_1)$  erhalten wird, ist eine Korrekturgröße (entspricht den oben beschriebenen  $y_2 \mu s$ ) des PWM-Signals vom Zeitpunkt **t4** bis zum Zeitpunkt **t6**. Wenn die Schaltfrequenz von 150 kHz auf 100 kHz umgeschaltet wird, das heißt, wenn  $F_1/F_2$  größer als  $F_1$  ist, wird eine Korrektur derart durchgeführt, dass das Tastverhältnis in dem ersten Zyklus aus den zwei Zyklen unmittelbar vor dem Umschalten kleiner ist, als in den vorherigen Zyklen (das sind die Zyklen nach dem Umschalten). In diesem Fall wird eine Korrektur derart durchgeführt, so dass  $y_2$  eine negative Zahl ist, und die Ein-Zeit des PWM-Signals in dem zweiten Zyklus aus den zwei Zyklen unmittelbar vor dem Umschalten ist kürzer als die Ein-Zeit in dem stationären Zustand nach dem Umschalten.

$$\begin{aligned}
 D'' &= [3 \times D/2 \times (1/F_1)] \times F_1 - [(D/2) \times (1/F_2)] \times F_1 \\
 &= D + (D/2) \times (1 - F_1/F_2) \quad (23)
 \end{aligned}$$

**[0116]** Wenn die rechte Seite nach der Modifikation in der obigen Formel (18) (oder Formel (23)) als eine lineare Funktion von  $Y = F_1/F_2$  bezeichnet wird, zeigt sich, dass die Steigung, die erhalten wird, wenn diese lineare Funktion auf einen Graphen gezeichnet wird,  $D/2$  (oder  $-D/2$ ) ist und somit immer positiv (negativ), und wobei wenn  $Y = 1$  gilt, zeigt sich, dass  $D' = D$  ( $D'' = D$ ) gilt. Wenn  $Y$  größer als  $1$  ist, das heißt, wenn  $F_2$  kleiner als  $F_1$  ist, zeigt sich, dass  $D'$  größer als  $D$  sein sollte (oder  $D''$  sollte kleiner als  $D$  sein), und es ergibt sich, dass eine Korrektur derart durchgeführt werden sollte, dass das Tastverhältnis in dem ersten Zyklus (oder dem zweiten Zyklus) aus den zwei Zyklen unmittelbar vor dem Umschalten in **Fig. 15** größer (oder kleiner) ist, als in den vorigen Zyklen, das heißt in den Zyklen nach dem Umschalten.

**[0117]** Wenn also  $Y = F_1/F_2$  kleiner als  $1$  in Formel (18) (oder Formel (23)) ist, das heißt, wenn  $F_2$  größer als  $F_1$  ist, zeigt sich, dass  $D'$  kleiner als  $D$  sein sollte (oder  $D''$  sollte größer als  $D$  sein). Das heißt, eine Korrektur sollte derart durchgeführt werden, dass das Tastverhältnis in dem ersten Zyklus (oder dem zweiten Zyklus) aus den zwei Zyklen unmittelbar vor dem Umschalten kleiner (oder größer) als in den Zyklen nach dem Umschalten ist.

**[0118]** Wie oben beschrieben, schwankt die Ausgangsspannung in der vierten Ausführungsform derart, dass sich die Ausgangsspannung verringert anstatt sich zu erhöhen, und somit wird, wie in der Beschreibung angegeben, wenn die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, das Risiko eliminiert, dass die Ausgangsspannung die obere Grenzspannung überschreitet.

**[0119]** Es ist zu beachten, dass in der vierten Ausführungsform, wenn  $Y = F1 / F2$  größer als 1 ist und das Tastverhältnis  $D$  vor der Änderung nahe bei 1 liegt,  $D'$ , berechnet durch Formel (18), in manchen Fällen 1 übersteigen kann, und in diesem Fall sollte  $D'$  ein numerischer Wert sein, der zum Beispiel extrem nahe bei 1 liegt, beispielsweise sollte  $D''$  gleich  $D$  sein.

#### Fünfte Ausführungsform

**[0120]** Im Folgenden wird eine fünfte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben. Es sei angemerkt, dass die Ausgestaltung der Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß der fünften Ausführungsform ähnlich zu der Ausgestaltung (**Fig. 1** und **Fig. 2**) der Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß der oben beschriebenen ersten Ausführungsform ist.

**[0121]** In der oben beschriebenen ersten Ausführungsform wird nur die Ein-Zeit in dem einen Zyklus des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz geändert, während in der fünften Ausführungsform die Frequenz in dem einen Zyklus des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz geändert wird. Diese fünfte Ausführungsform kann auch als eine Ausgestaltung bezeichnet werden, in welcher die Frequenz in dem einen Zyklus des PWM-Signals unmittelbar vor dem Umschalten der Schaltfrequenz geändert wird.

**[0122]** **Fig. 16** ist ein Zeitdiagramm, das die Beziehung zwischen der Schaltfrequenz, dem PWM-Signal und dem Induktionsstrom gemäß der fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Die drei Zeitdiagramme aus **Fig. 16** weisen die gleichen Zeitachsen wie die horizontalen Achsen auf. Wie in der ersten Ausführungsform wird die Schaltfrequenz zum Zeitpunkt **A** (oder Zeitpunkt **B**) umgeschaltet. Wenn dies der Fall ist, wird in dem Beispiel, welches in **Fig. 16** gezeigt ist, in nur einem Zyklus unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz (oder unmittelbar vor dem Umschalten) die Ein-Zeit nicht geändert, sondern die Frequenz des PWM-Signals auf 120 kHz eingestellt, und ab dem zweiten Zyklus (oder nach dem Umschalten), wird die Frequenz des PWM-Signals auf 100 kHz eingestellt.

**[0123]** Auf diese Weise wird in der fünften Ausführungsform, damit der untere Grenzwert des Induktionsstroms unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz (oder unmittelbar vor dem Umschalten) auf den unteren Grenzwert im stationären Zustand unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz (oder unmittelbar vor dem Umschalten) angepasst wird, die Ein-Zeit des PWM-Signals nicht geändert, sondern die Frequenz des PWM-Signals wird geändert. Mit anderen Worten stimmt der untere Grenzwert des Induktionsstroms in dem Zyklus, in welchem die Frequenz des PWM-Signals geändert wird, mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms in den Zyklen im stationären Zustand nachdem die Schaltfrequenz umgeschaltet wurde, überein.

**[0124]** Eine spezifische Änderungsgröße der Frequenz wird mithilfe von **Fig. 16** in Bezug auf **Fig. 5** beschrieben. In **Fig. 16** wird der Zeitpunkt, zu dem die Schaltfrequenz umgeschaltet wird, als  $t_0$  (oder  $t_4$ ) bezeichnet, und der Zeitpunkt, wenn der Induktionsstrom mit einem durchschnittlichen Strom unmittelbar nach  $t_0$  übereinstimmt, wird als  $t_1$  bezeichnet. Danach werden die Zeitpunkte, wenn der Induktionsstrom sukzessive einem durchschnittlichen Strom entspricht, mit  $t_3$ ,  $t_5$  und  $t_7$  bezeichnet, und die Zeitpunkte, wenn der Induktionsstrom sukzessive ein lokales Maximum und ein lokales Minimum wird, sind mit  $t_2$ ,  $t_4$ ,  $t_6$  und  $t_8$  bezeichnet.

**[0125]** Eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt  $t_0$  bis zu dem Zeitpunkt  $t_2$  entspricht  $D \times (1 / F1)$  bevor die Schaltfrequenz in **Fig. 5** umgeschaltet wird. Eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt  $t_2$  bis zu dem Zeitpunkt  $t_3$  entspricht der Hälfte von  $(1 - D) \times (1 / F1)$  bevor die Schaltfrequenz in **Fig. 5** ebenfalls umgeschaltet wird. Eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt  $t_0$  bis zu dem Zeitpunkt  $t_4$  ist  $1 / F2$ . Wenn daher eine Zeitspanne von dem Zeitpunkt  $t_3$  bis zu dem Zeitpunkt  $t_4$  als  $T3$  bezeichnet wird, wird  $T3$  durch die folgende Formel (24) erhalten.

$$T3 = (1 / F2) - D \times (1 / F1) - [(1 - D) / 2] \times (1 / F1) \quad (24)$$

**[0126]** Hinweis:

**F1** stellt die Schaltfrequenz vor dem Umschalten dar,

**F2** stellt die Schaltfrequenz unmittelbar nach dem Umschalten (oder unmittelbar vor dem Umschalten) dar und

**D** stellt das Tastverhältnis dar.

**[0127]** Da in der vorliegenden fünften Ausführungsform die Steuerung derart durchgeführt wird, dass der Induktionsstrom zum Zeitpunkt **t4** gleich dem Induktionsstrom zum Zeitpunkt **t8** ist, ist die Tiefe eines Tales des Induktionsstroms zum Zeitpunkt **t4** (eine Differenz zwischen dem durchschnittlichen Strom und dem lokalen Minimum) gleich der Tiefe eines Tals des Induktionsstroms zum Zeitpunkt **t8**. Die Tiefe dieser Täler ist gleich der Berghöhe des Induktionsstroms zum Zeitpunkt **t6** (eine Differenz zwischen dem durchschnittlichen Strom und dem lokalen Maximum).

**[0128]** Wenn die Schaltfrequenz weiter in dem zweiten Zyklus nach dem Umschalten (oder nach dem Umschalten) als **F3** bezeichnet wird, ist ein Verhältnis der Berghöhe des Induktionsstroms zum Zeitpunkt **t6** in Bezug auf die Berghöhe des Induktionsstroms zum Zeitpunkt **t2** gleich dem Verhältnis von **F1** in Bezug auf **F3**, und somit ist das Verhältnis von **T3** in Bezug auf die Zeitspanne von dem Zeitpunkt **t2** zu dem Zeitpunkt **t3** gleich dem Verhältnis von **F1** in Bezug auf **F3**, und die folgende Formel (25) gilt.

$$\left[ (1 - D) / 2 \right] \times (1 / F1) / T3 = F3 / F1 \quad (25)$$

**[0129]** Wenn Formel (24) in Formel (25) eingesetzt wird und Formel (25) für **F2** gelöst ist, wird die folgende Formel (26) erhalten. Diese **F2** soll die Schaltfrequenz des einen Zyklus sein, unmittelbar nachdem die Schaltfrequenz umgeschaltet wurde (oder unmittelbar vor dem Umschalten).

$$F2 = 2 \times F1 \times F3 / \left[ (1 - D) \times F1 + (1 + D) \times F3 \right] \quad (26)$$

#### Sechste Ausführungsform

**[0130]** Im Folgenden wird eine sechste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben. Es sei angemerkt, dass die Ausgestaltung der Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß der sechsten Ausführungsform ähnlich zu der Ausgestaltung (**Fig. 1** und **Fig. 2**) der Spannungsumwandlungsvorrichtung gemäß der oben beschriebenen ersten Ausführungsform ist.

**[0131]** Obwohl in der oben beschriebenen ersten und zweiten Ausführungsform nur die Ein-Zeit in dem einen Zyklus des PWM-Signals unmittelbar nach und unmittelbar vor dem Umschalten der Schaltfrequenz geändert wird, wird die Ein-Zeit in dem einen Zyklus des PWM-Signales unmittelbar vor und unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz in der sechsten Ausführungsform geändert. Diese sechste Ausführungsform ist für Fälle geeignet, in denen eine Rückkopplungssteuerung basierend auf der Ausgangsspannung nicht in jedem Zyklus des PWM-Signals durchgeführt wird.

**[0132]** **Fig. 17** ist ein Zeitdiagramm, welches die Beziehung zwischen der Schaltfrequenz, dem PWM-Signal und dem Induktionsstrom gemäß der sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Die drei Zeitdiagramme aus **Fig. 17**, weisen die gleichen Zeitachsen wie die horizontalen Achsen auf. Wie in der vierten Ausführungsform wird die Schaltfrequenz zum Zeitpunkt **A** von 150 kHz auf 100 kHz umgeschaltet. In dem Beispiel, welches in **Fig. 17** gezeigt ist, wird in Erwartung der Änderung des Induktionsstroms, die mit dem Umschalten der Schaltfrequenz einhergeht, das Tastverhältnis in dem einen Zyklus der PWM-Signale unmittelbar vor dem Umschalten und unmittelbar nach dem Umschalten derart geändert, dass das lokale Minimum des Induktionsstroms bei dem das Ende des einen Zyklus unmittelbar nach dem Umschalten ungefähr mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms im stationären Zustand übereinstimmt (dargestellt durch die gestrichelte Linie c). Mit anderen Worten, der untere Grenzwert des Induktionsstroms in dem zweiten Zyklus, in dem das Tastverhältnis geändert wird, stimmt ungefähr mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms in den Zyklen im stationären Zustand nach dem Umschalten der Schaltfrequenz überein.

**[0133]** Insbesondere, wenn die Schaltfrequenz von einer hohen Frequenz zu einer niedrigen Frequenz (oder von einer niedrigen Frequenz zu einer hohen Frequenz) umgeschaltet wird, wird eine Korrektur derart durchgeführt, dass in dem einen Zyklus der PWM-Signale unmittelbar vor dem Umschalten und unmittelbar nach dem Umschalten das Tastverhältnis kleiner ist (oder größer), als das in den Zyklen im stationären Zustand.

Daher verringert sich (oder erhöht sich) der durchschnittliche Wert der Induktionsströme in dem einen Zyklus vor dem Umschalten und unmittelbar nach dem Umschalten in geeigneter Weise, und als ein Ergebnis davon, stimmt der untere Grenzwert des Induktionsstroms in dem einen Zyklus unmittelbar nach dem sich das Tastverhältnis ändert, näherungsweise mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms in den Zyklen in dem stationären Zustand nach dem Umschalten überein.

**[0134]** Das Folgende ist eine Beschreibung spezifischer Werte der Änderungsgröße in der Wellenform des PWM-Signals unmittelbar vor dem Umschalten und unmittelbar nach dem Umschalten, das sind, spezifische Werte des Tastverhältnisses unmittelbar vor und unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz, und der Ein-Zeit nach der Änderung. Ein Tastverhältnis  $D_-$  nach der Änderung wird mithilfe eines arithmetischen Durchschnitts des Tastverhältnisses  $D$  vor der Änderung und  $D'$ , welches durch Formel (1) oder Formel (6) angegeben wird (das Tastverhältnis, welches nach dem Umschalten der Schaltfrequenz oder vor dem Umschalten der Schaltfrequenz korrigiert wurde), durch die folgende Formel (27) oder Formel (28) berechnet.

$$D_- = [D + [D(1 - D) / 2 \times (1 / F_1) + D(1 + D) / 2 \times (1 / F_2)] \times F_1] / 2 \quad (27)$$

$$D_- = [D + [D(3 - D) / 2 \times (1 / F_1) + D(D - 1) / 2 \times (1 / F_2)] \times F_1] / 2 \quad (28)$$

**[0135]** Da die EIN-Zeit  $EIN_-$  nach der Änderung durch  $D_- \times (1 / F_1)$  erhalten wird, wenn die EIN-Zeit vor der Änderung  $EIN$  ist, kann durch Einsetzen der Beziehung  $D = EIN \times F_1$  in die obige Formel (27) oder in die Formel (28),  $EIN_-$  durch die folgende nachstehende Formel (29) oder Formel (30) berechnet werden.

$$EIN_- = [EIN \times F_1 + [EIN \times F_1 \times (1 - EIN \times F_1)] / (2 \times F_1) + [EIN \times F_1 \times (1 + EIN \times F_1)] / (2 \times F_2)] \quad (29)$$

$$EIN_- = [EIN \times F_1 + [EIN \times F_1 \times (3 - EIN \times F_1)] / (2 \times F_1) + [EIN \times F_1 \times (EIN \times F_1 - 1)] / (2 \times F_2)] \quad (30)$$

**[0136]** Es ist anzumerken, dass, obwohl das Tastverhältnis  $D_-$  des PWM-Signals unmittelbar vor dem Umschalten und unmittelbar nach dem Umschalten mithilfe eines arithmetischen Durchschnitts von  $D$  und  $D'$  in der sechsten Ausführungsform berechnet wird,  $D_-$  ebenfalls basierend auf einem geometrischen Durchschnitt von  $D$  und  $D'$  kann oder einem anderen durchschnittlichen Wert von  $D$  und  $D'$  berechnet werden kann.

#### Siebte Ausführungsform

**[0137]** In der oben beschriebenen fünften Ausführungsform wird die Frequenz ohne Änderung der Ein-Zeit unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz (oder unmittelbar vor dem Umschalten) geändert, jedoch als eine Betriebsart, in der die erste (oder zweite) und fünfte Ausführungsformen kombiniert werden, ist es auch möglich, die Ein-Zeit und die Frequenz unmittelbar nach dem Umschalten der Schaltfrequenz (oder unmittelbar vor dem Umschalten) gleichzeitig zu ändern und die untere Grenze des Induktionsstroms unmittelbar nach der Änderung der Wellenform des PWM-Signals an den unteren Grenzwert des Induktionsstroms, nachdem die Schaltfrequenz im stationären Zustand umgeschaltet wurde, anzupassen.

**[0138]** Es ist zu beachten, dass in der ersten bis sechsten Ausführungsform und den Modifikationen 1 und 2 ein Fall beschrieben wird, in welchem die Schaltfrequenz von 150 kHz bis 100 kHz oder von 100 kHz bis 150 kHz entsprechend der Größe des Ausgangsstroms umgeschaltet wird, was jedoch als ein Beispiel angegeben ist, und wobei die vorliegende Erfindung in ähnlicher Weise auf einen Fall anwendbar ist, in welchem beispielsweise die Schaltfrequenz von 125 kHz bis 110 kHz oder von 110 kHz bis 125 kHz umgeschaltet wird. Das heißt, bezüglich der numerischen Werte der Schaltfrequenzen vor und nach dem Umschalten gemäß der Größe des Ausgangsstroms sind die in dieser Patentschrift beschriebenen numerischen Werte lediglich Beispiele, und die vorliegende Erfindung ist kompatibel mit dem Wechsel von einem numerischen Wert zu einem numerischen Wert gemäß der Produktform der Spannungsumwandlungsvorrichtung, in der die Erfindung angewendet wird.

**[0139]** In den ersten bis sechsten Ausführungsformen und den Modifikationen 1 und 2 wird auch ein Fall beschrieben, in dem eine Spannungszustandssteuerung zum Rückkoppeln einer erkannten Ausgangsspannung

verwendet wird, wobei die vorliegende Erfindung jedoch in ähnlicher Weise auf einen Fall der Verwendung einer Stromzustandssteuerung zum Rückkoppeln eines erkannten Ausgangsstroms zusätzlich zu einer Ausgangsspannung anwendbar ist.

**[0140]** Ferner wird ein Fall beschrieben, in welchem der DC/DC-Wandler **1** die Spannung der Batterie **3** verringert und diese verringerte Spannung an die Last **4** liefert, aber der DC/DC-Wandler **1** kann auch die Spannung der Batterie **3** erhöhen oder kann die Spannung der Batterie **3** erhöhen oder verringern.

**[0141]** Die in dieser Patentanmeldung offenbarten Ausführungsformen und Modifikationen sind in jeder Hinsicht als veranschaulichend und nicht als einschränkend zu betrachten. Der Gegenstand der vorliegenden Erfindung wird durch den Gegenstand der Ansprüche und nicht durch die Bedeutung der obigen Beschreibung angegeben, und alle Änderungen, die in die Bedeutung und den Bereich der Äquivalenz der Ansprüche fallen, sollen darin eingeschlossen sein. Auch technische Merkmale, die in den jeweiligen Ausführungsformen beschrieben sind, können miteinander kombiniert werden.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	DC/DC-Wandler
<b>2</b>	Steuereinheit
<b>3</b>	Batterie
<b>4</b>	Last
<b>11, 12</b>	Schaltelement
<b>13</b>	Induktivität
<b>16</b>	Treiberschaltung
<b>21</b>	CPU
<b>22</b>	ROM
<b>23</b>	RAM
<b>25</b>	PWM-Schaltung
<b>26, 27</b>	A/D-Umwandlungsschaltung
<b>28</b>	Spannungsschleifen-Steuergerät

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Patentliteratur**

- JP 2016066759 [0002]
- JP H10323027 A [0006]

**Patentansprüche**

1. Spannungsumwandlungsvorrichtung mit einem Schaltelement, einer Induktivität und einer Treiberschaltung, wobei die Spannungsumwandlungsvorrichtung durch Einschalten/Ausschalten des Schaltelements mittels der Treiberschaltung mithilfe eines PWM-Signals einen Induktionsstrom erzeugt, um eine Eingangsspannung zu transformieren und die transformierte Spannung an eine Last auszugeben, wobei die Spannungsumwandlungsvorrichtung umfasst:

eine Umschalteneinrichtung zum Umschalten einer Schaltfrequenz mittels der Treiberschaltung in Abhängigkeit von der Größe eines Stromes, welcher an die Last ausgegeben wird; und

eine Änderungseinrichtung zum Ändern einer Wellenform des PWM-Signals, wenn die Umschalteneinrichtung die Schaltfrequenz umschaltet,

wobei die Änderungseinrichtung eingerichtet ist, eine Ein-Zeit des PWM-Signals zu ändern und das Schaltelement ein-/auszuschalten.

2. Spannungsumwandlungsvorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Änderungseinrichtung eingerichtet ist, eine Änderungsgröße der Wellenform des PWM-Signals derart festzusetzen, dass ein unterer Grenzwert des Induktionsstroms unmittelbar nach dem Ändern der Wellenform mit dem unteren Grenzwert des Induktionsstroms in einem stationären Zustand nach dem Umschalten der Schaltfrequenz übereinstimmt.

3. Spannungsumwandlungsvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei eine Änderungsgröße der von der Änderungseinrichtung geänderten Wellenform des PWM-Signals zumindest eines von der Ein-Zeit des PWM-Signals und einem Tastverhältnis des PWM-Signals aufweist.

4. Spannungsumwandlungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Änderungseinrichtung eingerichtet ist, die Wellenform in nur einem Zyklus des PWM-Signals unmittelbar nach oder unmittelbar vor dem Umschalten der Schaltfrequenz zu ändern.

5. Spannungsumwandlungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Änderungseinrichtung eingerichtet ist, die Wellenform in mehreren Zyklen des PWM-Signals unmittelbar nach oder unmittelbar vor dem Umschalten der Schaltfrequenz zu ändern.

6. Spannungsumwandlungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei, wenn die Schaltfrequenz durch die Umschalteneinrichtung umgeschaltet wird, um erhöht zu werden, ein Tastverhältnis des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten (oder unmittelbar vor dem Umschalten) größer als ein Tastverhältnis des PWM-Signals vor dem Umschalten (oder nach dem Umschalten) ist, und, wenn die Schaltfrequenz durch die Umschalteneinrichtung umgeschaltet wird, um verringert zu werden, das Tastverhältnis des PWM-Signals unmittelbar nach dem Umschalten (oder unmittelbar vor dem Umschalten) kleiner als ein Tastverhältnis des PWM-Signals vor dem Umschalten (oder nach dem Umschalten) ist.

7. Spannungsumwandlungsverfahren, welches von einer Spannungsumwandlungsvorrichtung durchgeführt wird, die ein Schaltelement, eine Induktivität und eine Treiberschaltung aufweist, wobei die Spannungsumwandlungsvorrichtung durch Einschalten/Ausschalten des Schaltelements mittels der Treiberschaltung mithilfe eines PWM-Signals einen Induktionsstrom erzeugt, um eine Eingangsspannung zu transformieren und die transformierte Spannung an eine Last auszugeben, wobei das Spannungsumwandlungsverfahren umfasst: Ändern einer Wellenform des PWM-Signals, wenn eine Schaltfrequenz mittels der Treiberschaltung in Abhängigkeit von der Größe eines Stromes, welcher an die Last ausgegeben wird, umgeschaltet wird; Ändern einer Ein-Zeit des PWM-Signals; und Ein-/Ausschalten des Schaltelements.

Es folgen 16 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

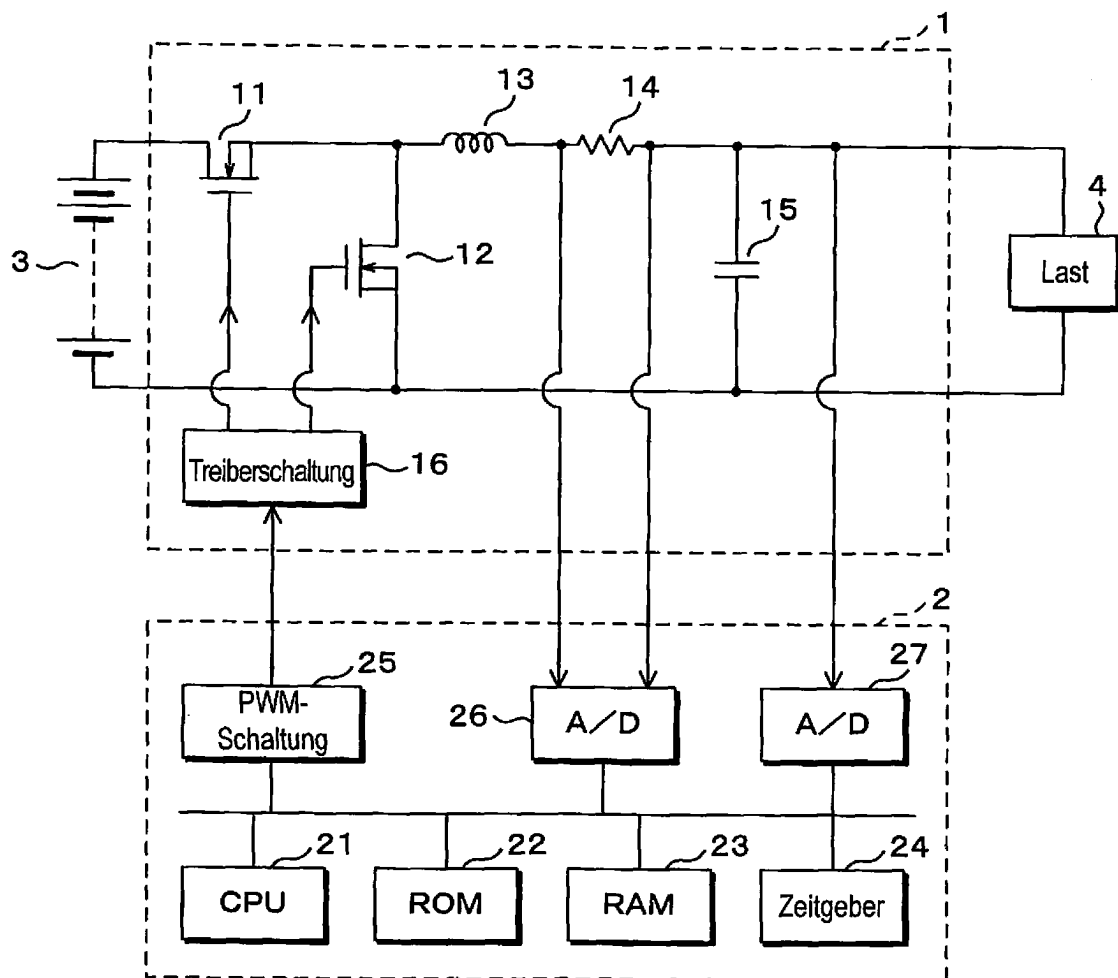
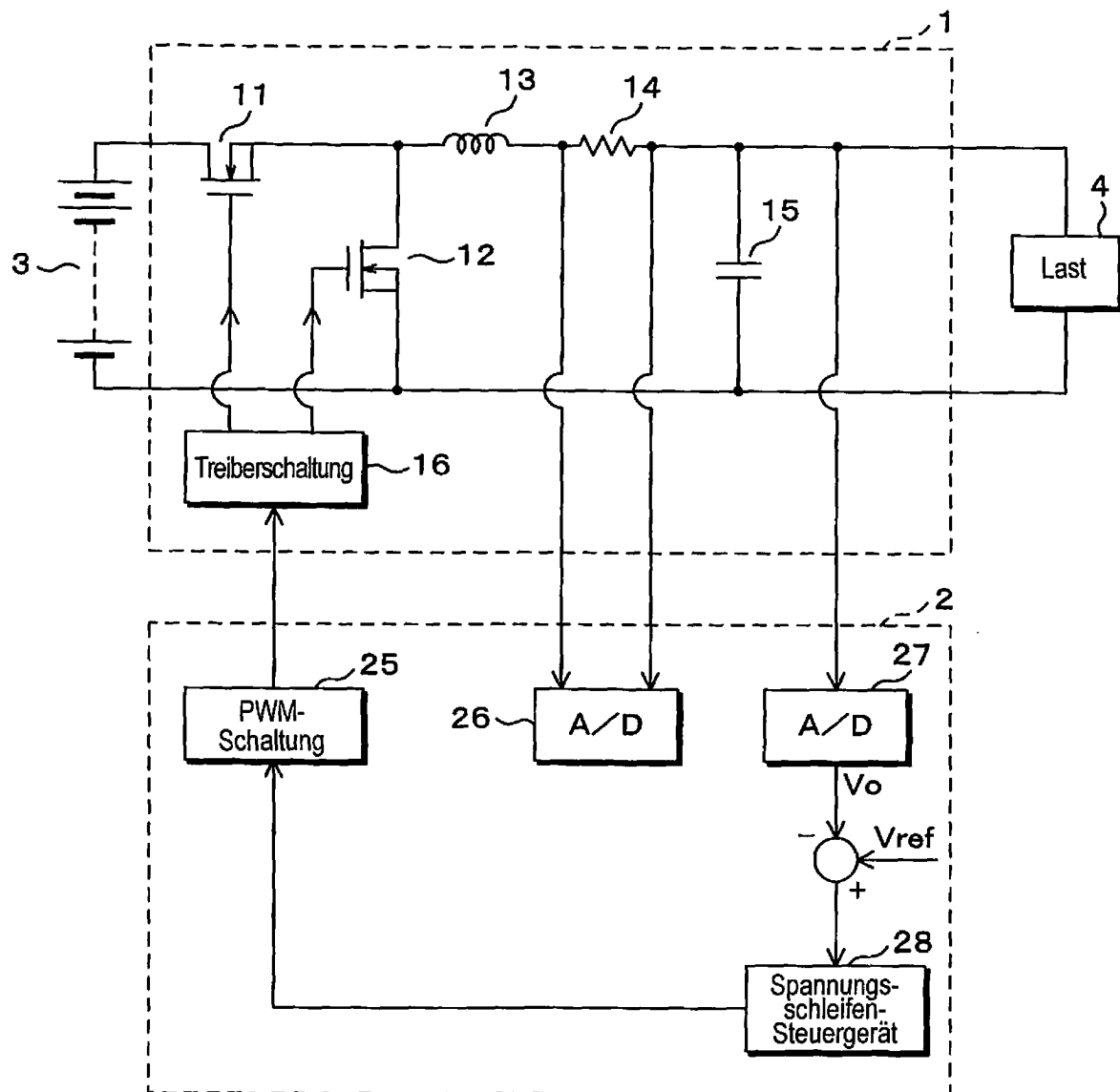
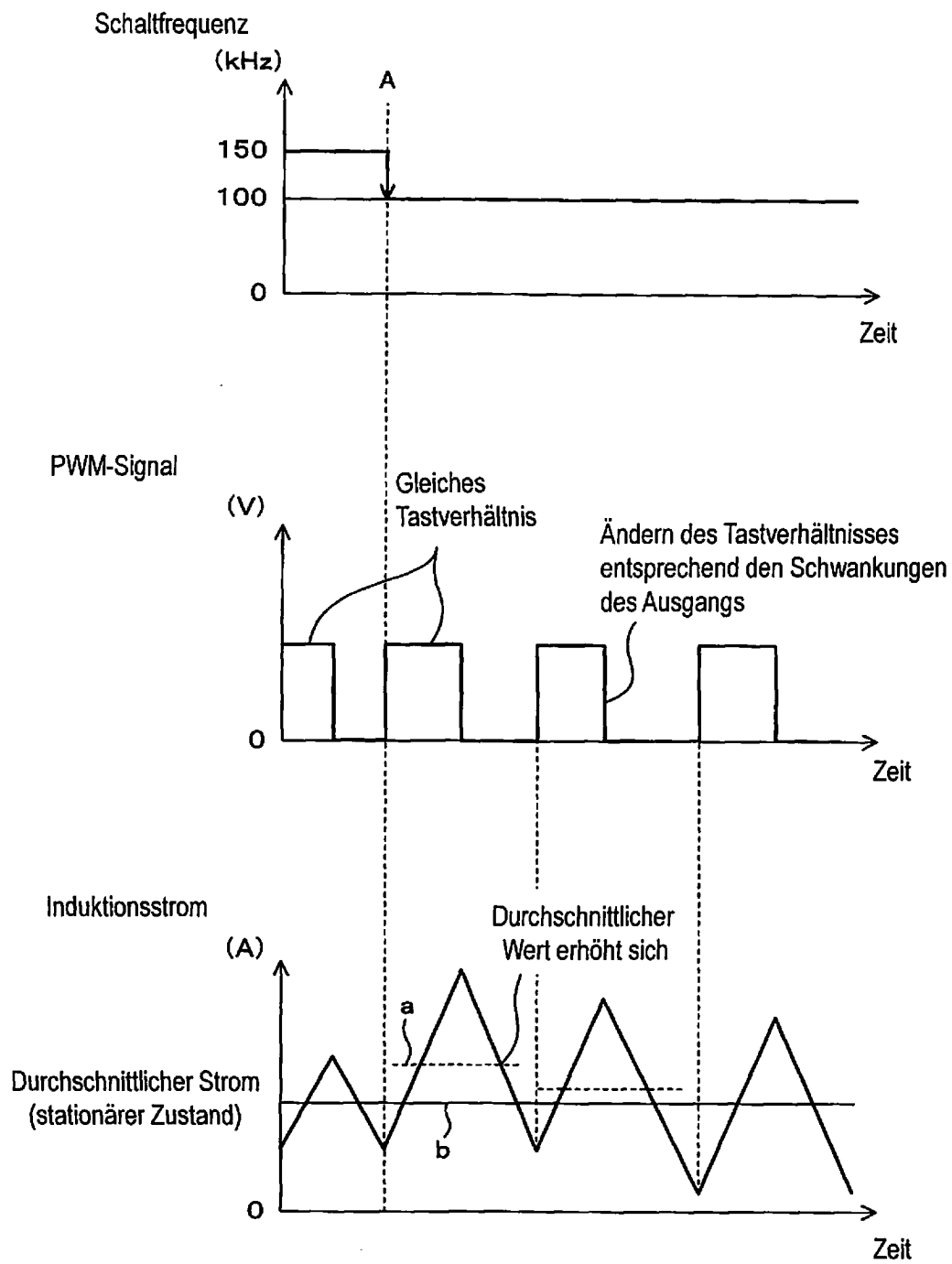


FIG. 2



**FIG. 3**

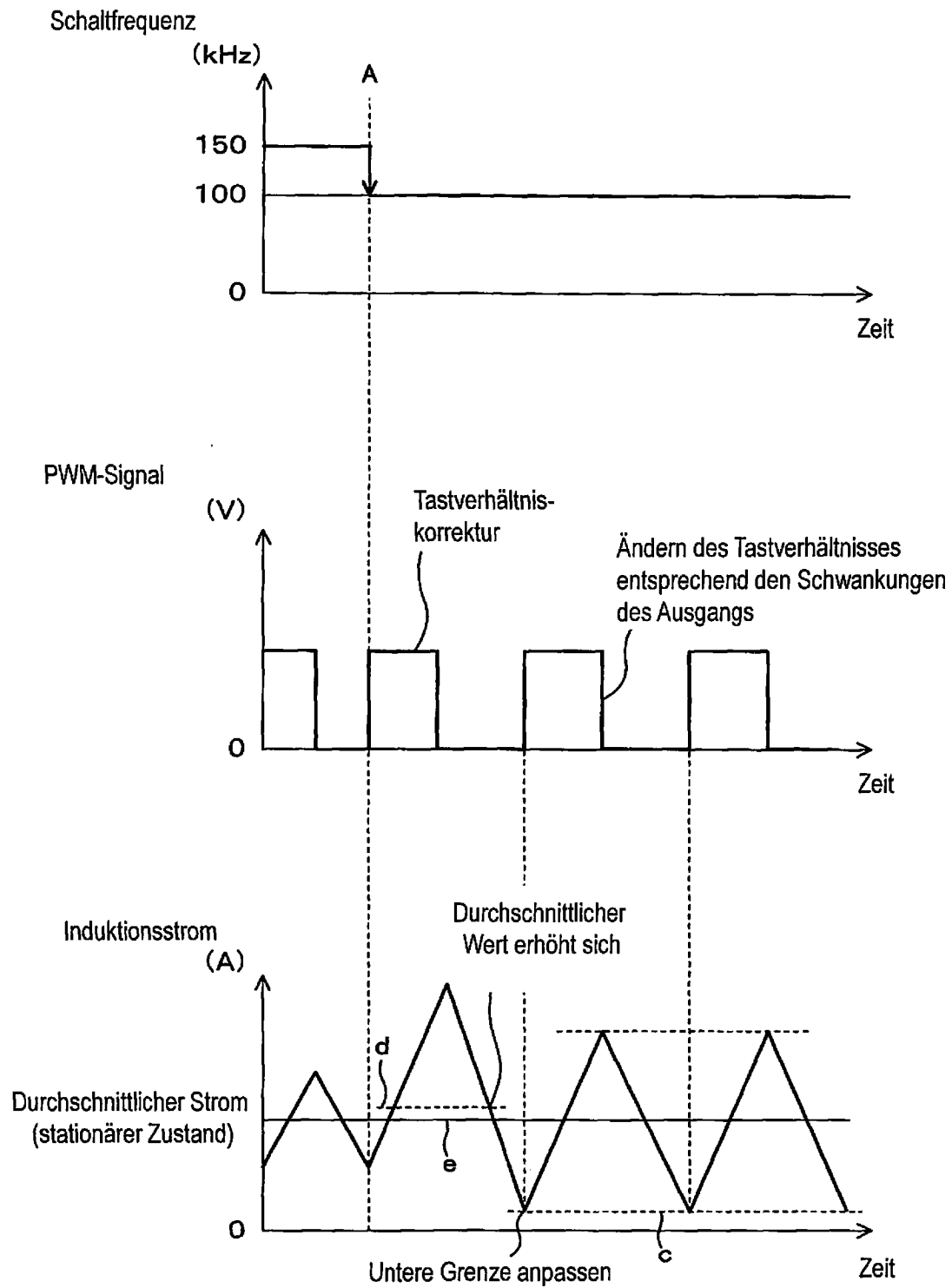
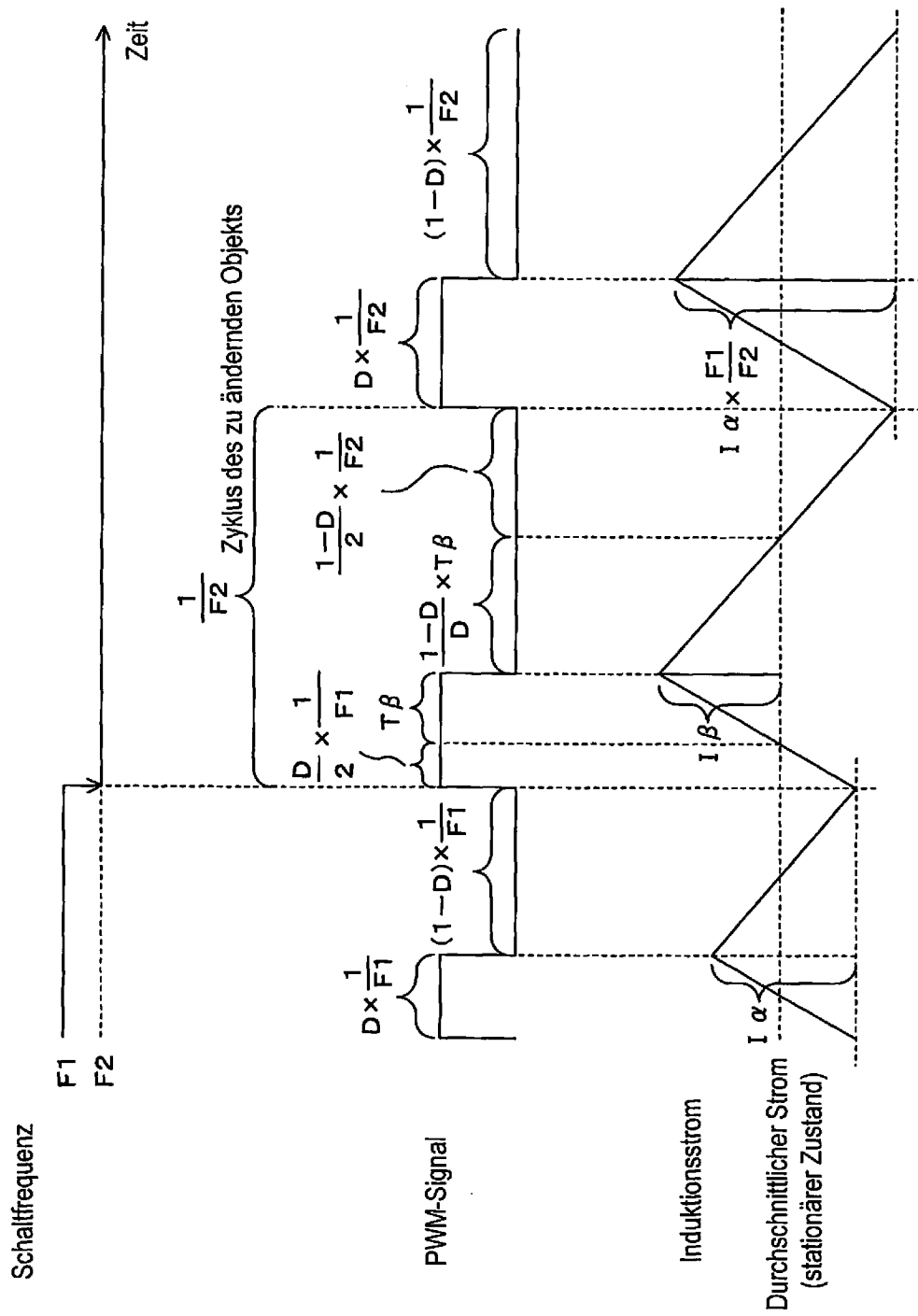
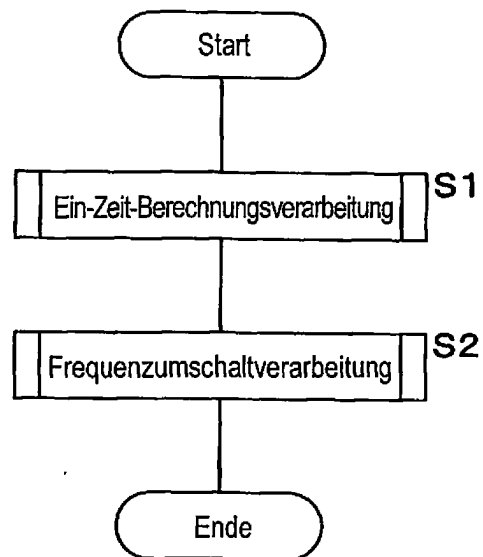
**FIG. 4**

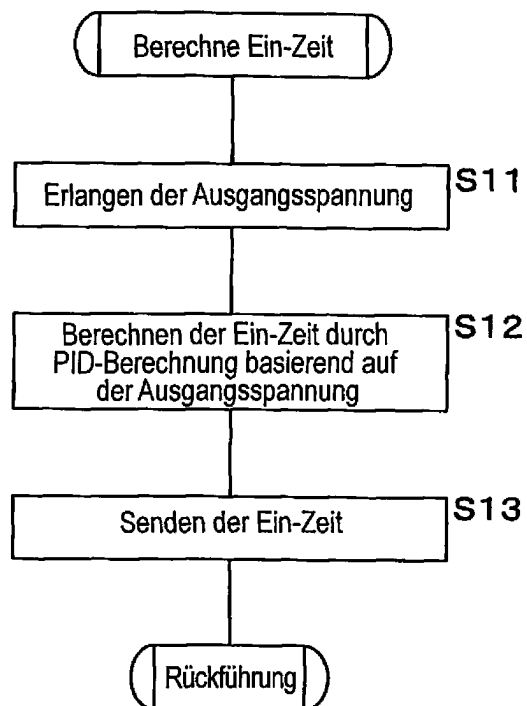
FIG. 5

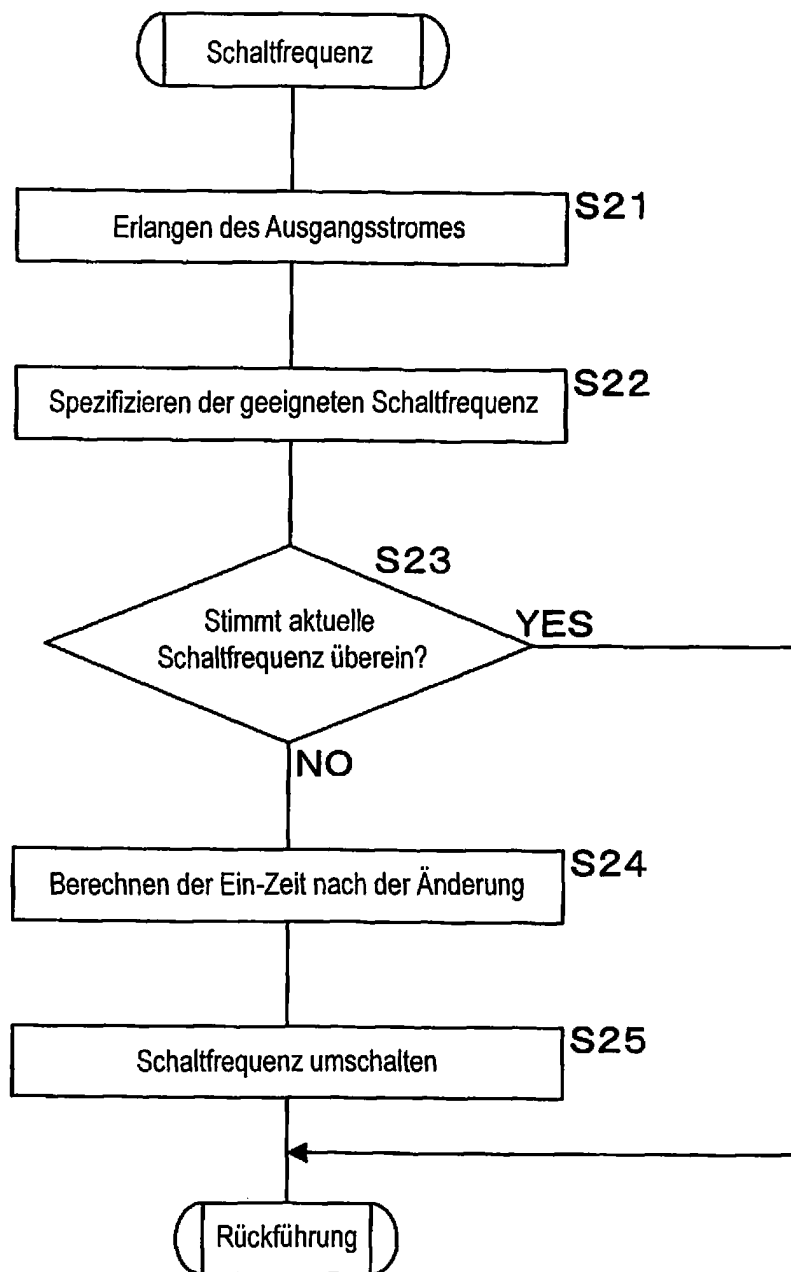


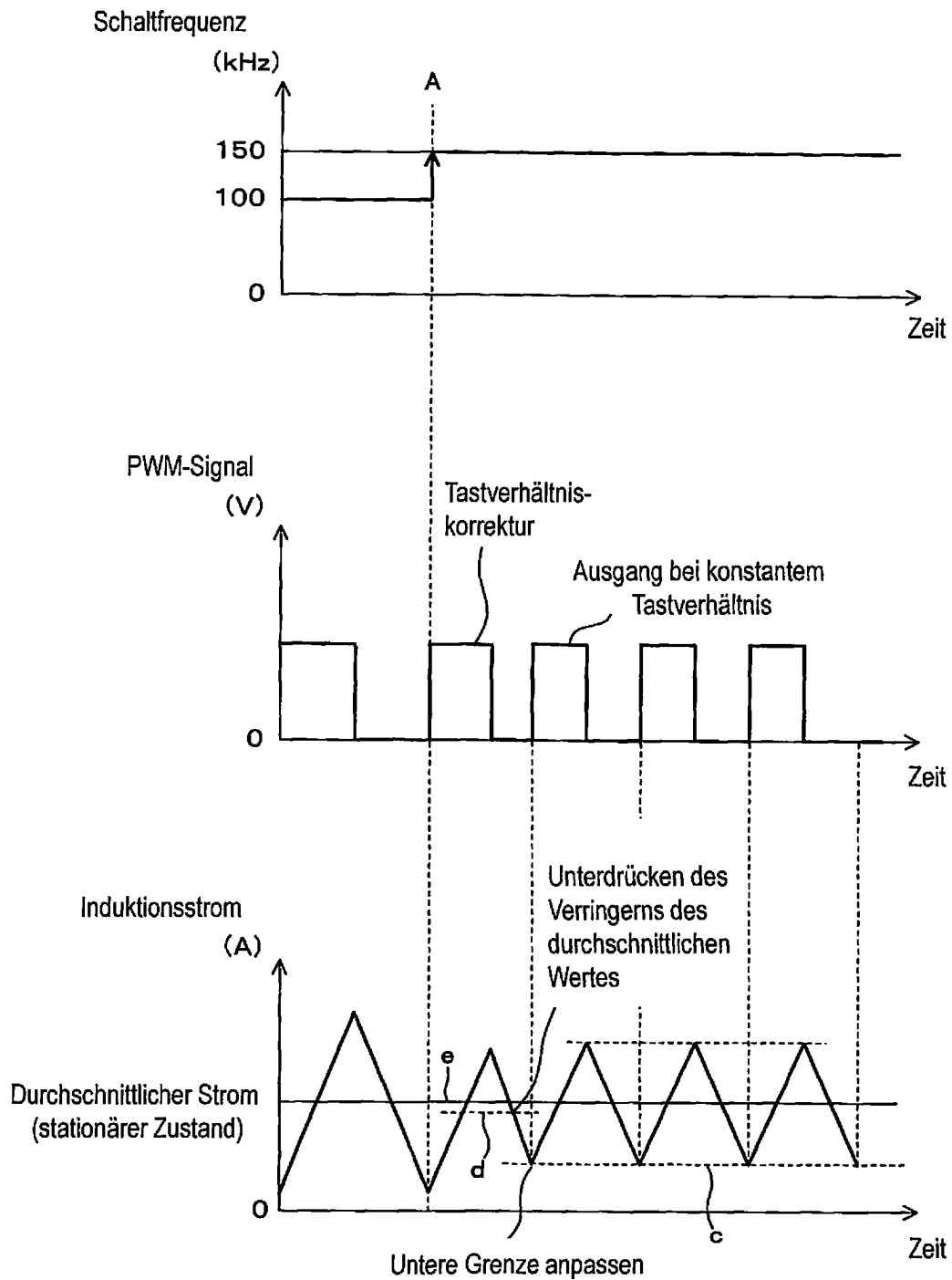
**FIG. 6**



**FIG. 7**



**FIG. 8**

**FIG. 9**

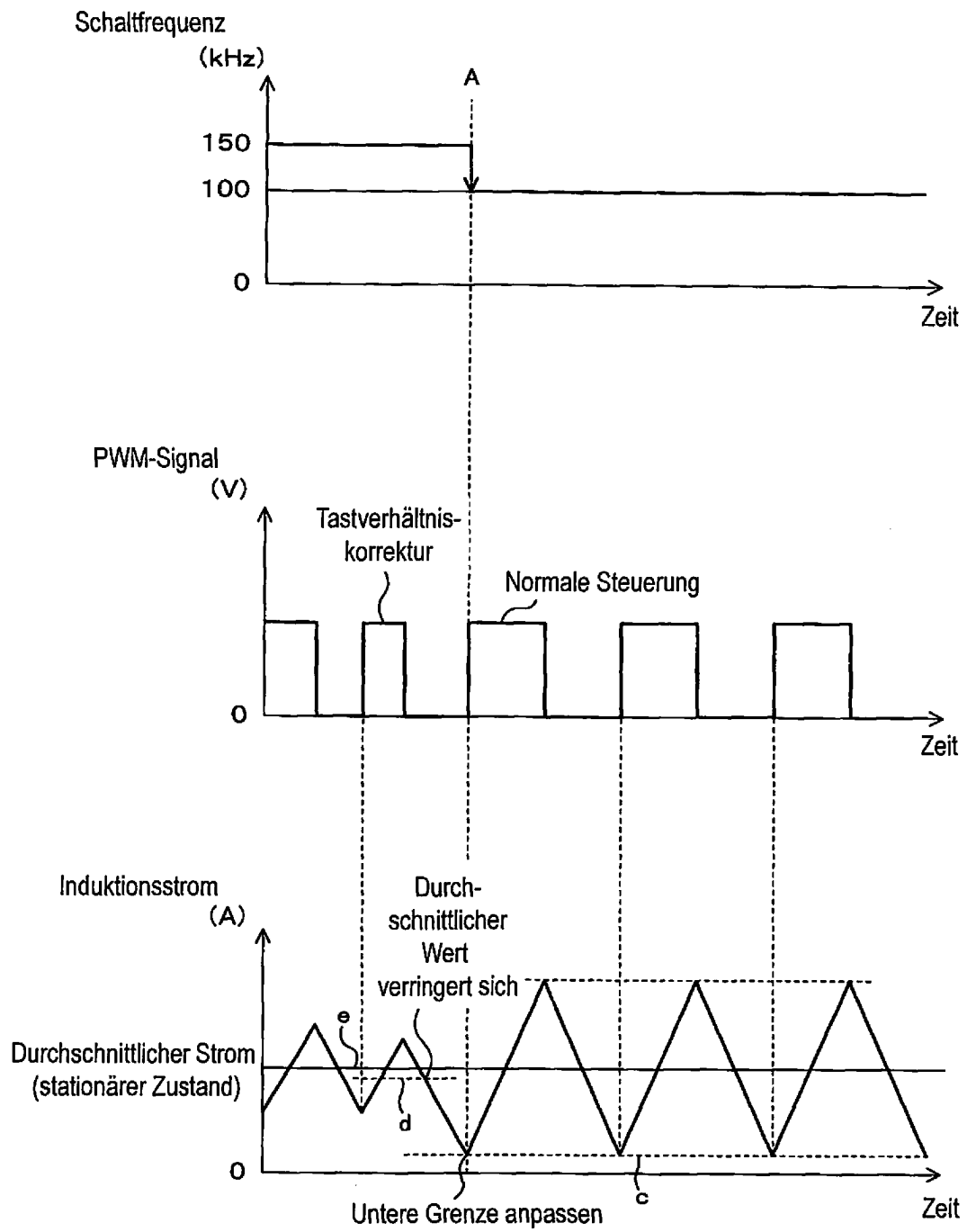
**FIG. 10**

FIG. 11

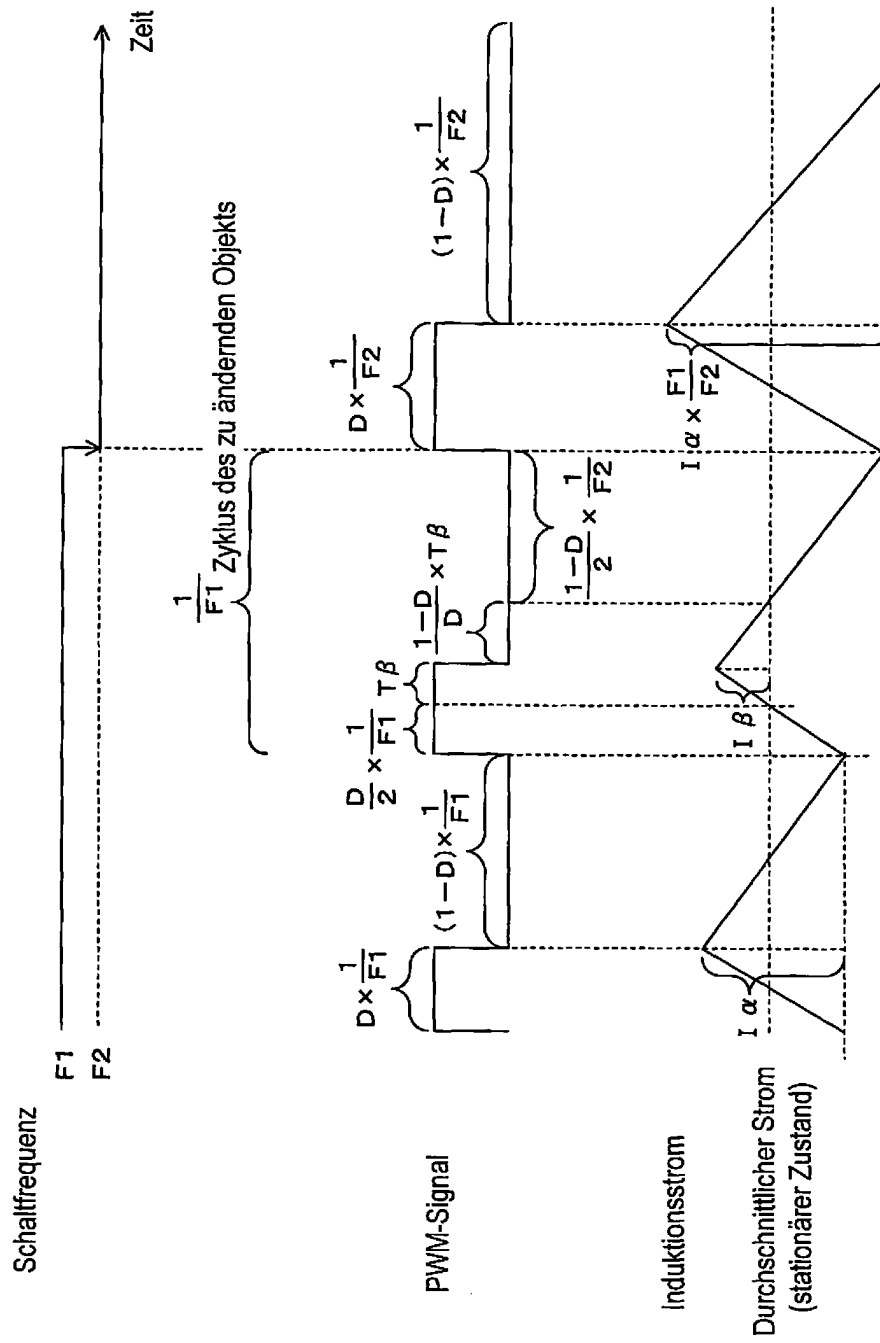
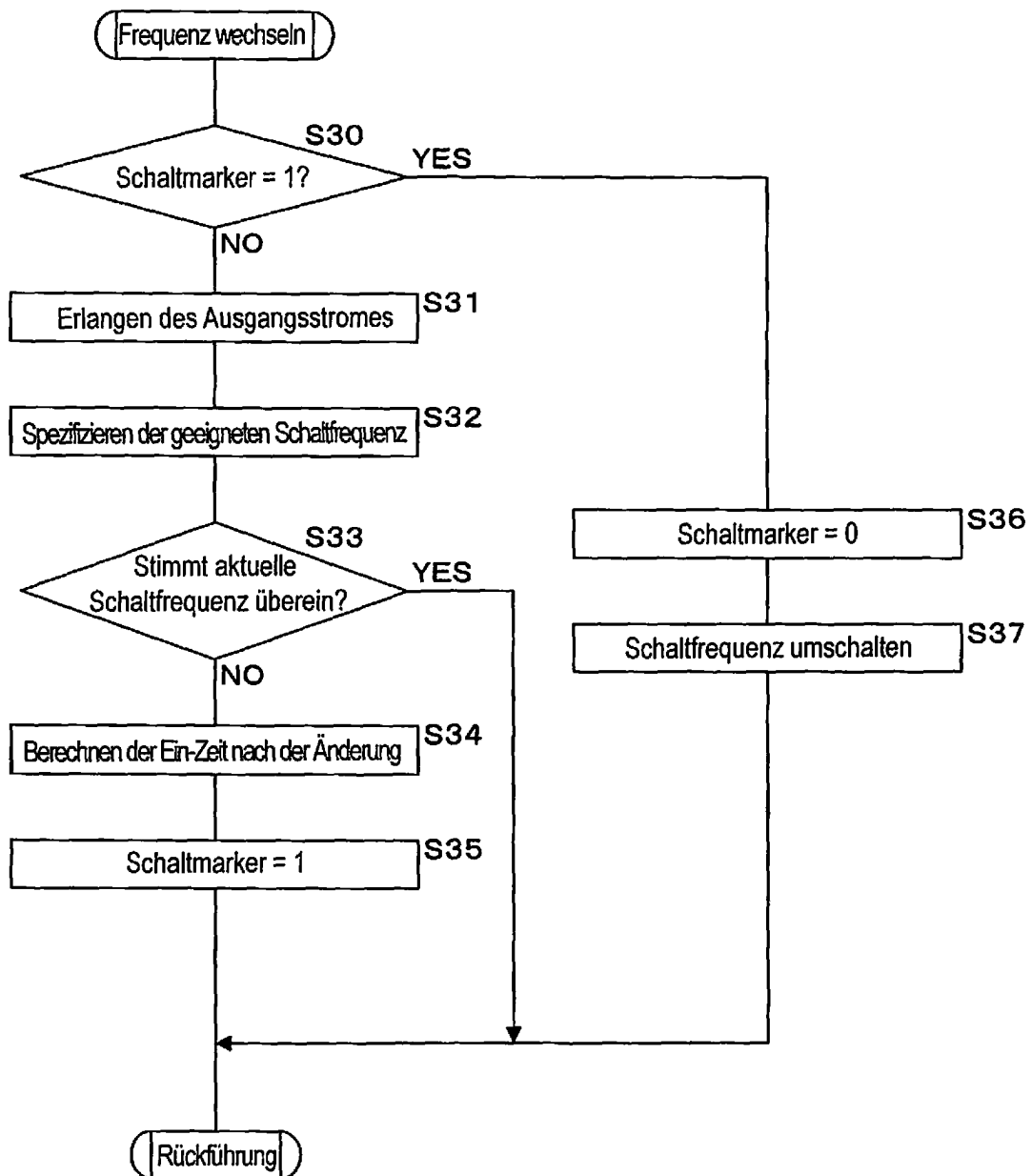
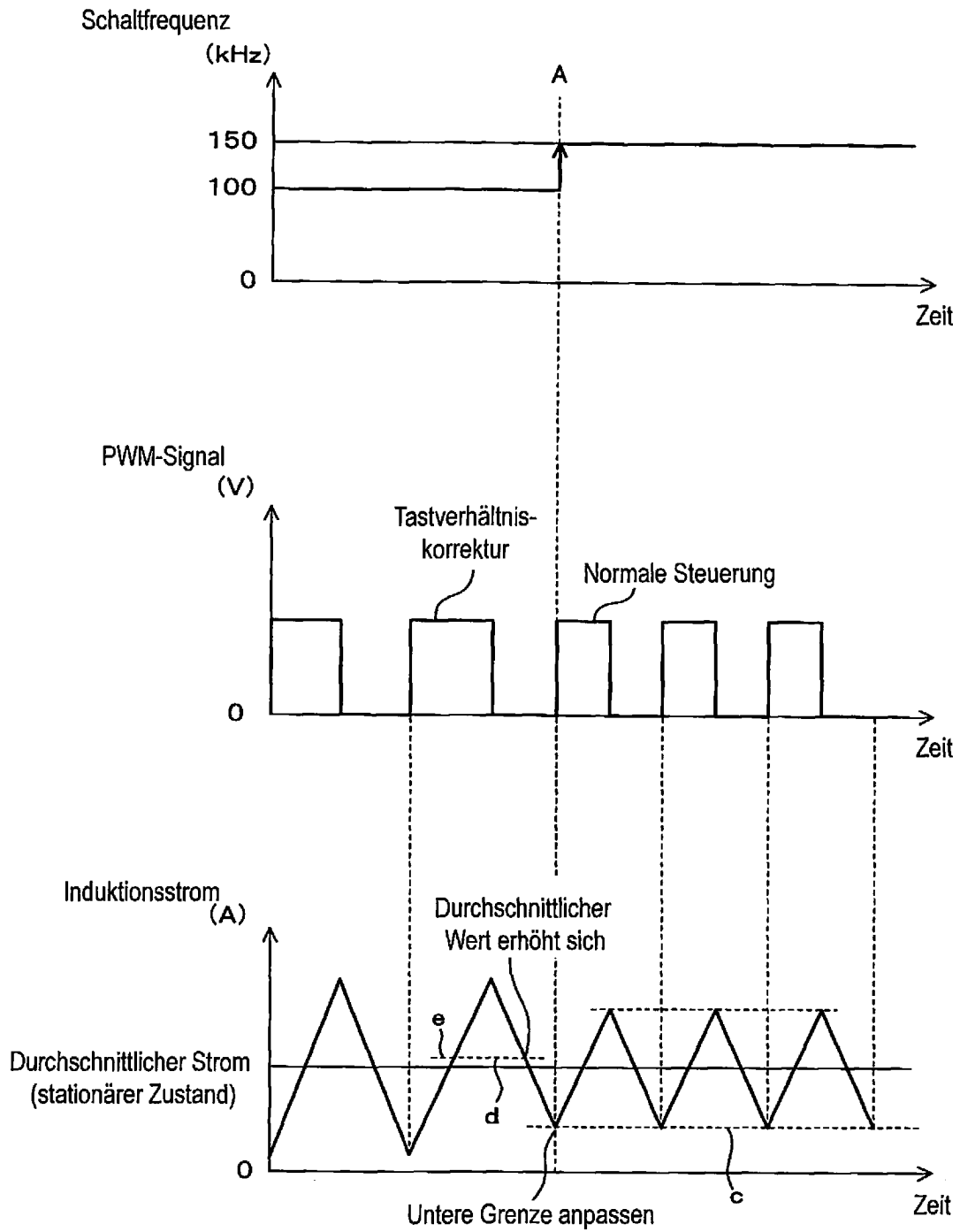
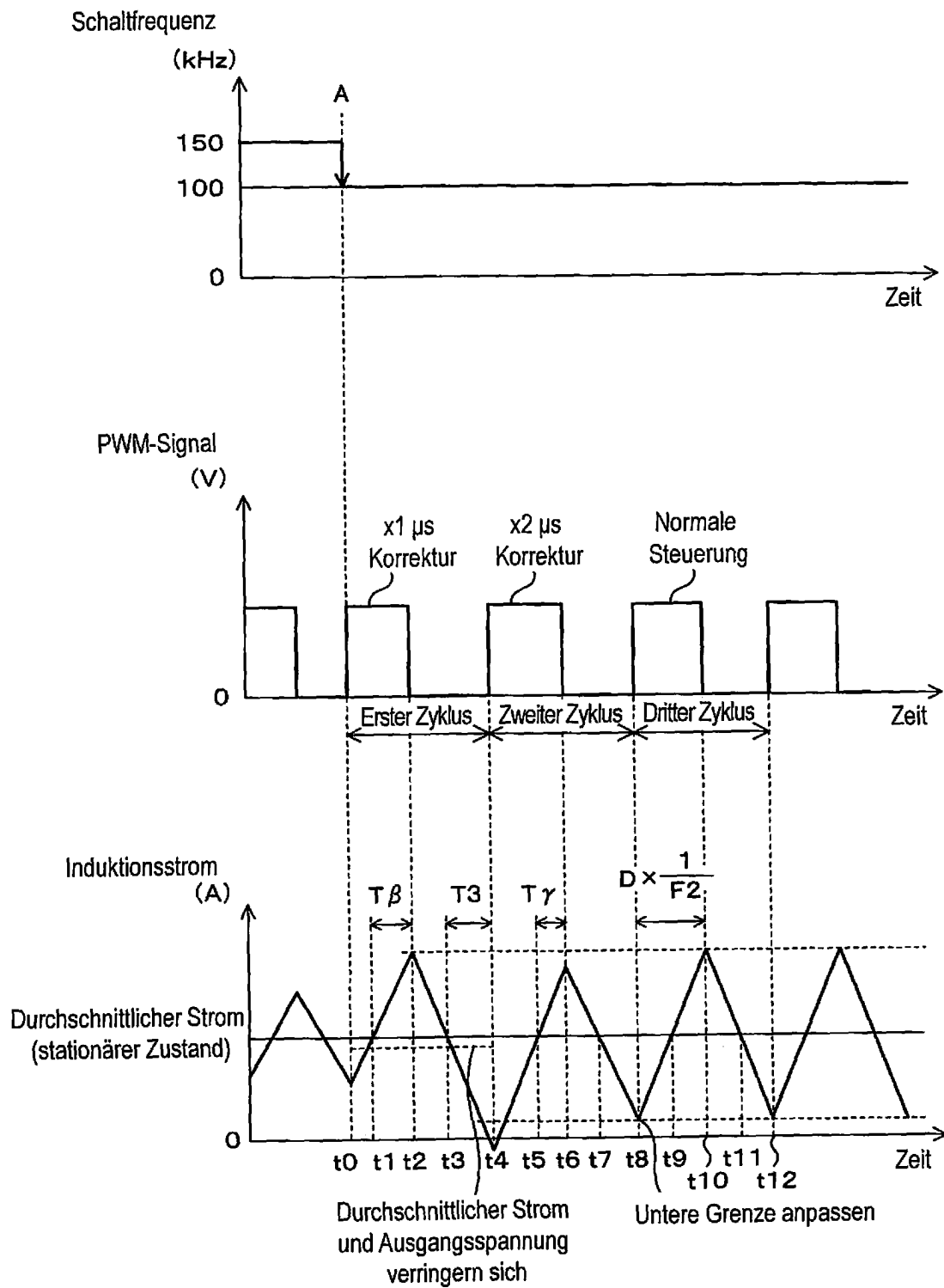
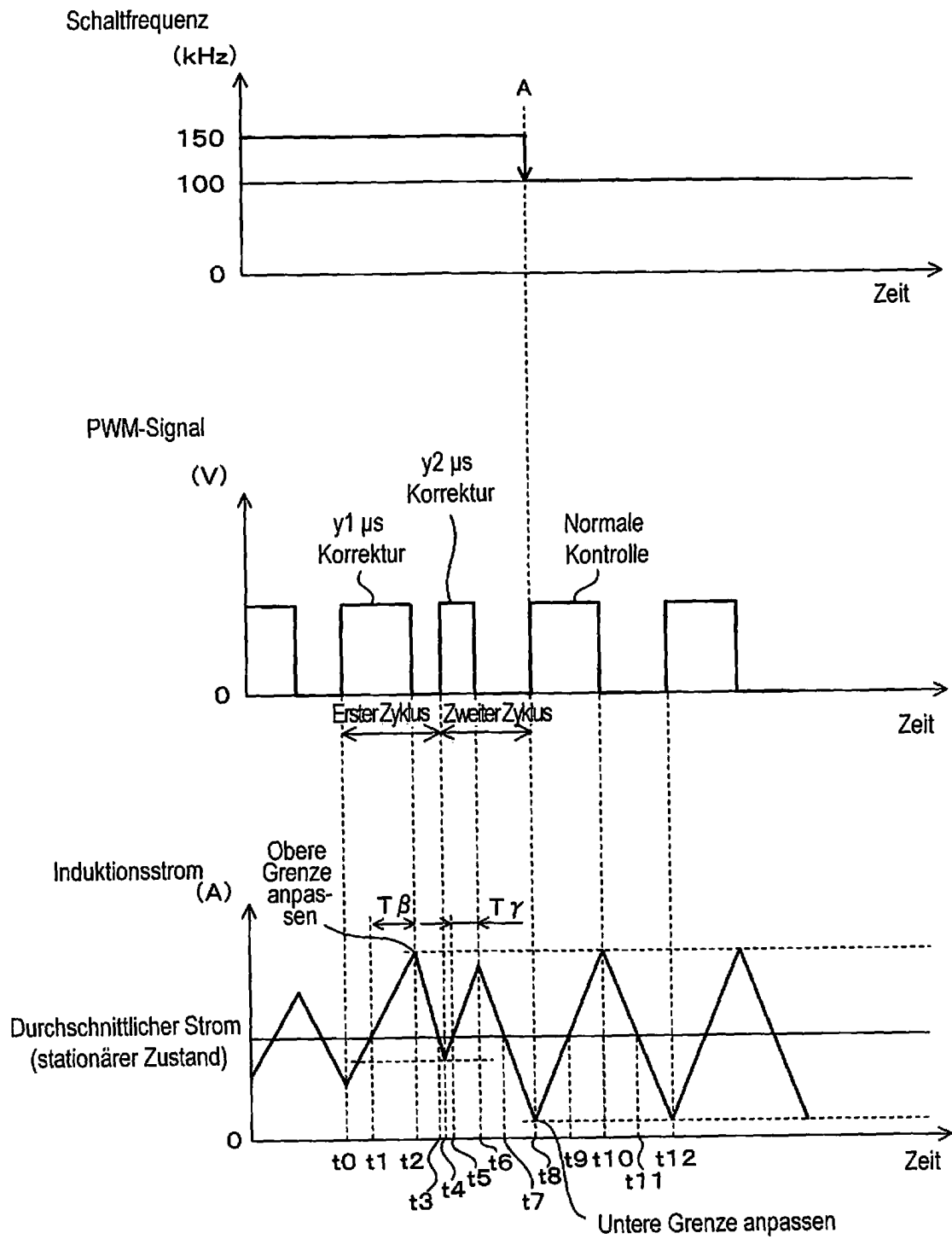


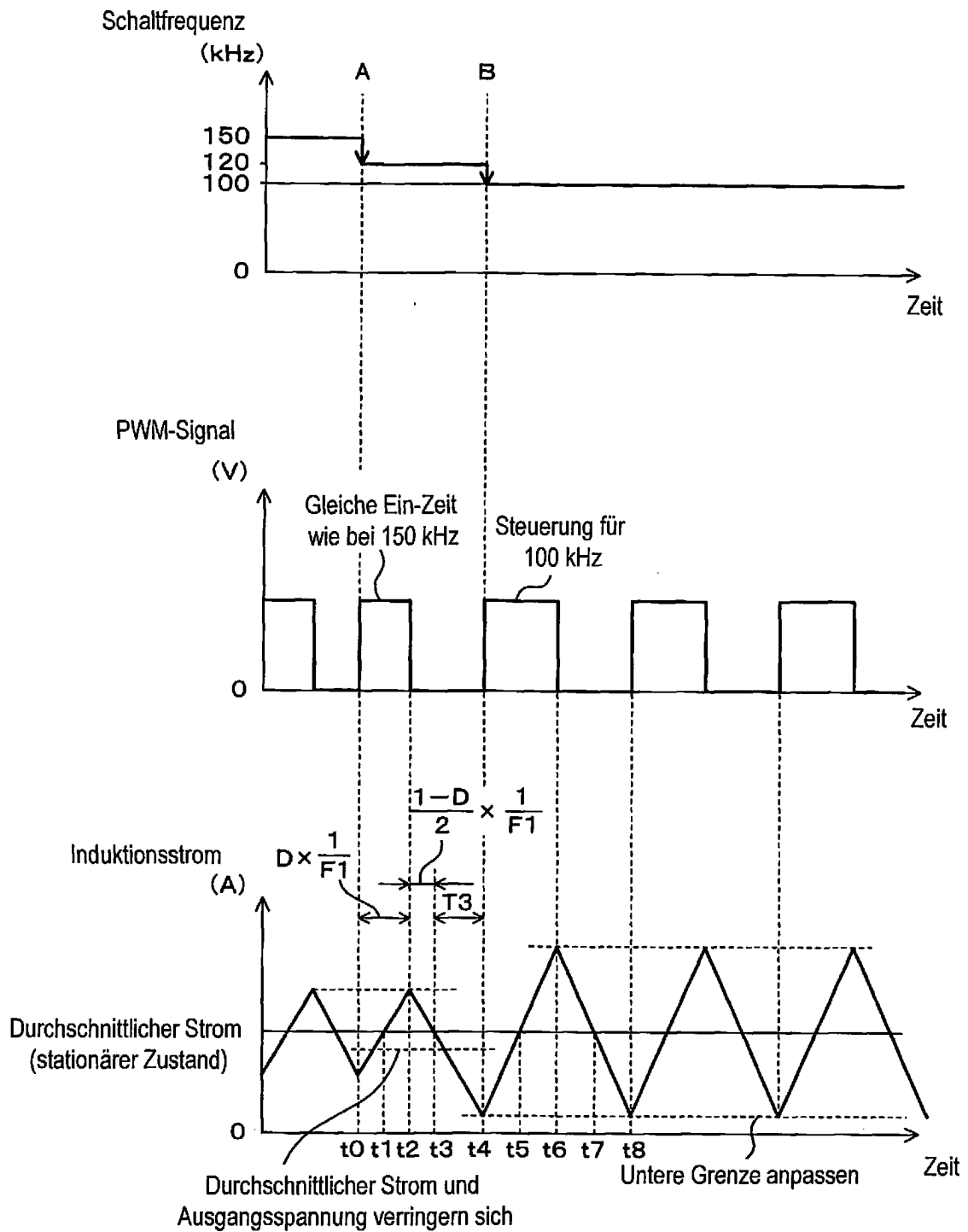
FIG. 12



**FIG. 13**

**FIG. 14**

**FIG. 15**

**FIG. 16**

**FIG. 17**