

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
19. Februar 2015 (19.02.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/022097 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H02M 3/156 (2006.01) *H02M 3/158* (2006.01)
H02M 1/00 (2007.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/060662
- (22) Internationales Anmeldedatum:
23. Mai 2014 (23.05.2014)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
13180507.9 15. August 2013 (15.08.2013) EP
- (71) Anmelder: CONTI TEMIC MICROELECTRONIC
GMBH [DE/DE]; Sieboldstraße 19, 90411 Nürnberg
(DE).
- (72) Erfinder: ANTONGIROLAMI, Diego; Paracelsusstraße
73, 90431 Nürnberg (DE). SCHUBERT, Göran;
Laubenhaidstraße 19, 91126 Schwabach (DE).
- (74) Anwalt: BONN, Roman; c/o Continental Automotive
GmbH, Postfach 22 16 39, 80506 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CHARACTERISTIC-BASED FEEDFORWARD CONTROL OF CHANGES IN INPUT VOLTAGE AND OUTPUT
CURRENT IN A SWITCHED MODE POWER SUPPLY

(54) Bezeichnung : KENNLINIENBASIERTE VORSTEUERUNG VON EINGANGSSPANNUNGS- UND
AUSGANGSSTROMÄNDERUNGEN IN EINEM SCHALTNETZTEIL

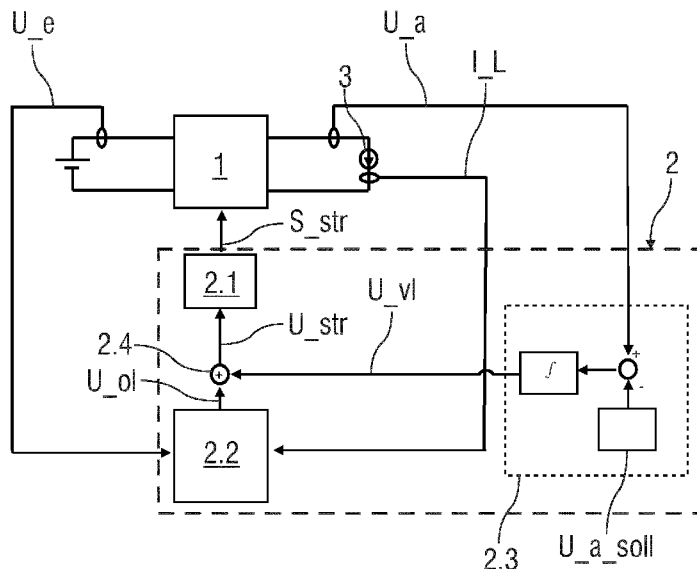


FIG 1

(57) Abstract: The invention relates to a regulation apparatus (2) comprising a control system (2.2) and a fine regulation system (2.3) for regulating an output voltage (U_a) of a switched mode power supply (1) which is variable by means of a control signal (S_{str}), wherein the control system (2.2) determines a first partial control voltage (U_{ol}) by means of a control voltage reference characteristic from an input voltage (U_e) and a load current (I_L) of the switched mode power supply (1), and wherein the fine regulation system (2.3) determines a second partial control voltage (U_{vi}) from a system deviation between the output voltage (U_a) and a predetermined setpoint output voltage (U_{a_set}), and wherein the control signal (S_{str}) is derived from the superimposition of the first and second partial control voltages (U_{ol} , U_{vi}), wherein the second partial control voltage (U_{vi}) is corrected continuously by the fine regulation system (2.3) in the manner of a controller in order to minimize the system deviation. In addition, the invention relates to a regulation method for regulating the output voltage (U_a) of a

switched mode power supply (1) by means of such a regulation apparatus (2), wherein the control system (2.2) generates a voltage value for the first partial control voltage (U_{ol}) from a control voltage reference table (R) which corresponds to an input voltage (U_e) and to a load current (I_L) which both have a minimum deviation from the measured input voltage (U_e) and the measured load current (I_L), respectively.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,
SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung betrifft eine Regelungsvorrichtung (2) mit einer Steuerung (2.2) und einer Feinregelung (2.3) zur Regelung einer mittels eines Steuersignals (S str) veränderbaren Ausgangsspannung (U a) eines Schaltnetzteils (1), wobei die Steuerung (2.2) mittels einer Steuerspannungs-Referenzkennlinie aus einer Eingangsspannung (U e) und einem Laststrom (I L) des Schaltnetzteils (1) eine erste Steuerteilspannung (U ol) bestimmt und wobei die Feinregelung (2.3) aus einer Regelabweichung zwischen der Ausgangsspannung (U a) und einer vorbestimmten Sollausgangsspannung (U a soll) eine zweite Steuerteilspannung (U vi) bestimmt und wobei das Steuersignal (S str) aus der Überlagerung der ersten und zweiten Steuerteilspannung (U ol, U vi) abgeleitet wird, wobei die zweite Steuerteilspannung (U vi) von der Feinregelung (2.3) in der Art eines Reglers fortlaufend zur Minimierung der Regelabweichung nachgeführt wird. Die Erfindung betrifft ferner ein Regelungsverfahren zur Regelung der Ausgangsspannung (U a) eines Schaltnetzteils (1) mittels einer solchen Regelungsvorrichtung (2), wobei die Steuerung (2.2) einen solchen Spannungswert für die erste Steuerteilspannung (U ol) aus einer Steuerspannungs-Referenztafel (R) generiert, der zu einer Eingangsspannung (U e) und zu einem Laststrom (I L) korrespondiert, welche beide jeweils eine minimale Abweichung von der gemessenen Eingangsspannung (U e) beziehungsweise von dem gemessenen Laststrom (I L) aufweisen.

Beschreibung

KENNLINIENBASIERTE VORSTEUERUNG VON EINGANGSSPANNUNGS- UND
AUSGANGSSTROMÄNDERUNGEN IN EINEM SCHALTNETZTEIL

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur
Regelung der Ausgangsspannung an einem Schaltnetzteil.

Aus dem Stand der Technik sind Schaltnetzteile zur Umwandlung
einer Eingangsspannung in eine Ausgangsspannung bekannt, bei
10 denen die Ausgangsspannung mittels einer Steuerspannung auf
einen Ausgangsspannungssollwert geregelt wird.

Beispielsweise sind als Abwärtswandler oder Tiefsetzsteller
ausgebildete Schaltnetzteile bekannt, bei welchen eine
15 Steuerspannung mittels eines Komparators gegen eine von einem
Sägezahngenerator generierte Sägezahnspannung verglichen
wird, wobei am Ausgang des Komparators ein Rechtecksignal mit
einem von der Steuerspannung bestimmten Tastverhältnis in der
Art einer Puls-Weiten-Modulation (PWM) erzeugt wird. Mittels
20 dieses Rechtecksignals wird ein elektronisches Schaltelement,
beispielsweise ein Feldeffekt-Transistor (FET), betätigt, das
bei geschlossenem Schaltzustand die Aufladung eines Ausgangs-
kondensators bewirkt. Bei einem solchen Abwärtswandler oder
Tiefsetzsteller stellt sich eine parallel zum
25 Ausgangskondensator abgreifbare Ausgangsspannung ein, deren
Mittelwert mittels des Tastverhältnisses des Rechtecksignals
und somit mittels der Steuerspannung zwischen Null Volt als
Minimum und der Eingangsspannung als Maximum einstellbar ist.

30 Aus dem Stand der Technik sind ferner Schaltnetzteile
bekannt, bei welchen mittels einer Steuerspannung die
Frequenz eines Rechtecksignals mit vorgegebenem
Tastverhältnis in der Art einer Puls-Frequenz-Modulation
(PFM) verändert wird. Ein derartiges, mittels PFM modulierte
35 Rechtecksignal lässt sich zur Einstellung einer mittleren
Ausgangsspannung am Ausgangskondensator in im Wesentlichen
analoger Weise zu einem mittels PWM modulierten
Rechtecksignal einsetzen.

Aus dem Stand der Technik sind ferner als Aufwärtswandler oder Hochsetzsteller ausgebildete Schaltnetzteile bekannt, mit welchen in im Wesentlichen zum Abwärtswandler analoger
5 Weise eine mittlere Ausgangsspannung mittels der Steuerspannung auf einen Wert oberhalb der Eingangsspannung eingestellt werden kann.

Die bei einer gewissen, fest vorgegebenen Steuerspannung
10 eingestellte mittlere Ausgangsspannung hängt von weiteren Parametern des Schaltnetzteils und der Beschaltung des Schaltnetzteils ab. Beispielsweise bewirkt eine Schwankung der Eingangsspannung eine Schwankung der Ausgangsspannung. Ebenso bewirkt eine Schwankung des Ausgangsstroms oder
15 Laststroms durch einen parallel zur Ausgangsspannung angeschlossenen Lastwiderstand eine Schwankung der Ausgangsspannung. Ferner bewirken Veränderungen in der Charakteristik interner Bauelemente des Schaltnetzteils eine Schwankung der Ausgangsspannung, beispielsweise eine durch
20 Erwärmung oder Alterung verursachte Drift einer zur Generierung der Steuerspannung verwendeten Referenzspannungsquelle.

Aus dem Stand der Technik sind Regelungsverfahren bekannt,
25 mit denen die Steuerspannung so verändert wird, dass Schwankungen von Parametern in einem Schaltnetzteil und/oder in der Beschaltung eines Schaltnetzteils mindestens teilweise kompensiert werden. Beispielsweise sind Regelungsverfahren in der Art eines Proportional-Integral (PI) Reglers bekannt, bei
30 denen der Istwert der Ausgangsspannung mit dem Ausgangsspannungssollwert verglichen wird und aus dem Vergleich eine Veränderung der Steuerspannung zur Nachführung der Ausgangsspannung an den Ausgangsspannungssollwert ermittelt wird. Derartige PI-Regler sind so zu
35 dimensionieren, dass auch bei den schnellsten zu erwartenden Parameteränderungen ein Über- oder Unterschwingen der Ausgangsspannung außerhalb eines vorgegebenen Toleranzkorridors um den Ausgangsspannungssollwert vermieden

wird. Zwangsläufig wird dadurch bei den aus dem Stand der Technik bekannten Regelungsverfahren eine Verzögerung bedingt, mit der der Ausgangsspannungssollwert bei einer plötzlichen Parameteränderung, beispielsweise bei einem
5 Zuschalten eines Lastwiderstands oder bei einer Verringerung der Eingangsspannung, frühestens wieder erreicht werden kann.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zur Regelung eines Schaltnetzteils anzugeben, mit dem ein Über-
10 oder Unterschwingen der Ausgangsspannung vermieden wird und das eine geringere Verzögerung bei der Nachführung der Ausgangsspannung aufweist als Verfahren nach dem Stand der Technik. Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zu Grunde, eine Vorrichtung zur Umsetzung eines solchen Verfahrens
15 anzugeben.

Hinsichtlich des Verfahrens wird die Aufgabe erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Hinsichtlich der Vorrichtung wird die Aufgabe erfindungsgemäß durch die
20 Merkmale des Anspruchs 7 gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

25 Eine erfindungsgemäße Regelungsvorrichtung zur Regelung einer mittels eines Steuersignals veränderbaren Ausgangsspannung eines Schaltnetzteils umfasst eine Steuerung und eine Feinregelung. Die Steuerung bestimmt mittels einer Steuerspannungs-Referenzkennlinie aus einer Eingangsspannung
30 des Schaltnetzteils und einem Laststrom durch eine am Ausgang des Schaltnetzteils angeschlossene Last eine erste Steuerteilspannung. Die Feinregelung bestimmt aus einer Regelabweichung, welche als Differenz zwischen der Ausgangsspannung und einer vorbestimmten Sollausgangsspannung
35 ermittelt wird, eine zweite Steuerteilspannung. Das Steuersignal wird aus der Überlagerung der ersten und zweiten Steuerteilspannung abgeleitet, wobei die zweite Steuerteilspannung von der Feinregelung in der Art eines

Reglers fortlaufend zur Minimierung der Regelabweichung nachgeführt wird.

In vorteilhafter Weise ist mittels der Steuerung eine sehr schnelle näherungsweise Kompensation von Schwankungen der Eingangsspannung und/oder des Laststroms möglich. Mittels der Feinregelung ist eine genaue Kompensation solcher Schwankungen sowie eine genaue Kompensation von typischerweise langsamen Schwankungen interner Parameter, beispielsweise auf Grund von Erwärmung oder Alterung, möglich. Dadurch kann die Feinregelung mit einer größeren Nachlaufzeit beziehungsweise einer niedrigeren oberen Grenzfrequenz für ausregelbare Schwankungen versehen werden. Dies ermöglicht insgesamt eine robustere Regelung und den Einsatz einfacherer Regler als bei Regelungsvorrichtungen nach dem Stand der Technik bei zugleich verbesserter Regelungsgeschwindigkeit und Regelabweichung.

In einer Ausführungsform der Erfindung wird das Steuersignal mittels eines Komparators durch Vergleich eines vorgegebenen Sägezahnsignals mit einer Steuerspannung in der Art eines pulsweitenmodulierten Signals generiert, wobei die Steuerspannung als Summe aus der ersten und der zweiten Steuerteilspannung bestimmt wird. Aus dem Stand der Technik sind genaue und stabile Generatoren für Sägezahnsignale sowie Schaltnetzteile bekannt, deren Ausgangsspannung mittels eines pulsweitenmodulierten Steuersignals einstellbar ist. In vorteilhafter Weise ist somit eine besonders einfache Konstruktion der erfindungsgemäßen Regelungsvorrichtung möglich.

In einer Ausführungsform der Erfindung wird das Steuersignal in der Art eines pulsfrequenzmodulierten Signals generiert, wobei die Pulsfrequenz von der Steuerspannung bestimmt wird, welche als Summe aus der ersten und der zweiten Steuerteilspannung bestimmt wird. Aus dem Stand der Technik sind genaue und stabile Generatoren für pulsfrequenzmodulierte Signale bekannt, deren Frequenz über eine

Steuerspannung einstellbar ist. Aus dem Stand der Technik sind ferner Schaltnetzteile bekannt, deren Ausgangsspannung mittels eines pulsfrequenzmodulierten oder eines pulsweitenmodulierten Steuersignals einstellbar ist. In vorteilhafter Weise ist somit eine besonders einfache Konstruktion der erfindungsgemäßen Regelungsvorrichtung möglich.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist die Feinregelung als integrierender oder I-Regler ausgebildet. Bei einer solchen als I-Regler ausgebildeten Feinregelung wird die Differenz zwischen der fortlaufend gemessenen Ausgangsspannung und einer vorgegebenen Sollausgangsspannung als Regelabweichung ermittelt und fortlaufend zu einem Regelabweichungsintegral aufintegriert oder der Näherungswert eines solchen Regelabweichungssignal ermittelt. Der fortlaufend ermittelte Wert des Regelabweichungsintegrals wird durch eine Nachstellzeit dividiert und ergibt die zweite Steuerteilspannung.

Eine solche als I-Regler ausgebildete Feinregelung weist eine hohe Genauigkeit im stationären Betrieb, mit anderen Worten: bei geringen oder keinen Änderungen an der Ausgangsspannung des Schaltnetzteils, auf und lässt sich kostengünstig und einfach umsetzen.

Bei dieser Ausführungsform der Erfindung kann die Nachstellzeit der Feinregelung auf einen Wert von mindestens 1 ms, insbesondere 2 ms oder mehr ms festgelegt werden. Mit einem solchen Wert für die Nachstellzeit lassen sich Schwankungen der internen Parameter des Schaltnetzteils mittels der Feinregelung ausregeln, da sich solche Schwankungen typischerweise über Zeitintervalle erstrecken, die deutlich größer sind als die gewählte Nachstellzeit. Zugleich weist eine Feinregelung mit einer solchen Nachstellzeit eine größere Robustheit gegenüber sprunghaften Regelabweichungen aufgrund der geringeren Schwingneigung auf.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist die
Steuerspannungs-Referenzkennlinie als Steuerspannungs-
Referenztabelle ausgebildet, welche in einer matrixartigen
Anordnung Spannungswerte für die erste Steuerteilspannung
5 umfasst, wobei ein erster horizontaler Matrixindex zur
Eingangsspannung und ein zweiter vertikaler Matrixindex zum
Laststrom korrespondiert. Eine derartige Steuerspannungs-
Referenztabelle ist mit geringem Aufwand beispielsweise
experimentell oder mittels Simulation ermittelbar.

10 Beispielsweise kann für gewisse bekannte interne Parameter
eines Schaltnetzteils für ein vorgegebenes Wertepaar,
bestehend aus einer Eingangsspannung und einem Laststrom,
durch Variation der Steuerspannung ein solcher Wert für die
15 Steuerspannung ermittelt werden, der eine für diese Parameter
und Beschaltung des Schaltnetzteils eine Ausgangsspannung
bewirkt, die in einem vorgegebenen Toleranzbereich um die
Sollausgangsspannung liegt. Durch wiederholte Messung oder
Simulation kann eine Vielzahl solcher Steuerspannungen für
20 eine Vielzahl von Wertepaaren aus Eingangsspannung und
Laststrom ermittelt und als Steuerspannungs-Referenztabelle
abgelegt werden. In vorteilhafter Weise ist durch Einstellung
einer ersten Steuerteilspannung gemäß dieser Steuerspannungs-
Referenztabelle mindestens näherungsweise die
25 Ausgangssollspannung erzielbar, wenn der tatsächlich
gemessene Laststrom und die tatsächlich gemessene
Eingangsspannung hinreichend nahe bei den Werten liegen, die
zu dem aus der Steuerspannungs-Referenztabelle gewählten
Spannungswert korrespondieren.

30 Bei einem Regelungsverfahren zur Regelung der
Ausgangsspannung eines Schaltnetzteils mittels einer
Regelungsvorrichtung nach dieser Ausführungsform generiert
die Steuerung einen Spannungswert aus der Steuerspannungs-
35 Referenztabelle als erste Steuerteilspannung, der zu einer
Eingangsspannung und zu einem Laststrom korrespondiert,
welche beide jeweils eine minimale Abweichung von der
gemessenen Eingangsspannung beziehungsweise von dem

gemessenen Laststrom aufweisen. Somit ist es möglich, mit einer vergleichsweise geringen Anzahl experimentell und/oder durch Simulation bestimmter Steuerspannungswerte einen großen Variationsbereich für die Eingangsspannung und für den Laststrom abzudecken, in welchem eine mindestens näherungsweise Einstellung der Ausgangssollspannung mittels der Steuerung möglich ist.

Weitere Details und Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert.

Dabei zeigen:

- Figur 1 schematisch den Aufbau eines zweistufig geregelten Schaltnetzteils,
- Figur 2 schematisch den Aufbau einer Referenztabelle zur Einstellung einer ersten Steuerteilspannung und
- Figur 3 schematisch den Verlauf der Ausgangsspannung sowie der ersten und einer zweiten Steuerteilspannung bei einer stoßartigen Ausgangsstrombelastung.

Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Figur 1 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Regelungsvorrichtung 2 zur Regelung eines Schaltnetzteils 1. Das Schaltnetzteil 1 wird am Eingang mit einer Eingangsspannung U_e gespeist und gibt am Ausgang eine Ausgangsspannung U_a ab. Die Ausgangsspannung U_a ist mittels eines Steuersignals S_{str} einstellbar, die von der Regelungsvorrichtung 2 bereitgestellt wird. Das Schaltnetzteil 1 umfasst nicht näher dargestellte interne Bauelemente, beispielsweise eine Diode, einen Ausgangskondensator oder eine Drossel. Das Verhalten solcher interner Bauelemente ist über interne Parameter des Schaltnetzteils 1 beschreibbar. Derartige interne Parameter des Schaltnetzteils 1 können sich zeitlich, beispielsweise temperaturbedingt bei Erwärmung oder durch Alterung,

verändern. Derartige interne Parameter können zudem exemplarspezifische Abweichungen auf Grund von Fertigungstoleranzen aufweisen.

- 5 Am Ausgang des Schaltnetzteils 1 wird eine Last 3 mit einem Laststrom I_L versorgt.

Die Regelungsvorrichtung 2 misst die Eingangsspannung U_e , die Ausgangsspannung U_a sowie den Laststrom I_L und erzeugt
10 das Steuersignal S_{str} . Die Regelungsvorrichtung 2 umfasst einen Komparator 2.1, an dessen Ausgang das Steuersignal S_{str} bereitgestellt wird.

Das Steuersignal S_{str} zur Einstellung der Ausgangs-
15 spannung U_a ist als Rechtecksignal ausgebildet, welches einen ersten hohen oder einen zweiten tiefen Spannungspegel annehmen kann. Das Tastverhältnis, also das Verhältnis der Zeitdauer eines hohen Spannungspegels zur gesamten Zeitdauer eines hohen und eines darauf folgenden tiefen
20 Spannungspegels, wirkt auf die Ausgangsspannung U_a ein. Beispielsweise kann ein größeres Tastverhältnis bei ansonsten unveränderten Parametern des Schaltnetzteils 1 und der Beschaltung des Schaltnetzteils 1 eine höhere Ausgangsspannung U_a bewirken.

25 Das Steuersignal S_{str} kann beispielsweise in der Art eines mittels Puls-Weiten-Modulation (PWM) modulierten Rechtecksignals generiert werden, wobei die gesamte Zeitdauer eines hohen und eines darauf folgenden tiefen Spannungspegels
30 konstant bleibt, wobei jedoch das Tastverhältnis variierbar ist. Ein solches PWM-moduliertes Steuersignal S_{str} kann beispielsweise mittels des Komparators 2.1 durch Vergleich eines festen, intern generierten oder eingespeisten Sägezahn-
signals mit einer Steuerspannung U_{str} generiert werden,
35 wobei das Steuersignal S_{str} am Ausgang des Komparators 2.1 einen hohen Spannungspegel annimmt, wenn der Spannungspegel des Sägezahnsignals unterhalb der Steuerspannung U_{str} liegt und wobei das Steuersignal S_{str} am Ausgang des

Komparators 2.1 einen tiefen Spannungspegel annimmt, wenn der Spannungspegel des Sägezahnsignals oberhalb der Steuerspannung U_{str} liegt. Somit verringert beziehungsweise vergrößert sich das Tastverhältnis des Steuersignals S_{str} bei einer Verringerung beziehungsweise Vergrößerung der Steuerspannung U_{str} .

Die Regelungsvorrichtung 2 umfasst neben dem Komparator 2.1 ferner eine Steuerung 2.2 zur näherungsweisen Ermittlung des Tastverhältnisses des Steuersignals S_{str} sowie eine Feinregelung 2.3 zur Nachführung dieses Tastverhältnisses. Die Steuerung 2.2 ermittelt aus der gemessenen Eingangsspannung U_e und dem gemessenen Laststrom I_L anhand einer Steuerspannungs-Referenzkennlinie eine erste Steuerteilspannung U_{ol} . Diese erste Steuerteilspannung U_{ol} bewirkt ein Tastverhältnis, das für gewisse, typische interne Parameter des Schaltnetzteils 1 sowie für eine gewisse, typische Last 3 am Ausgang des Schaltnetzteils 1 zur Einstellung der gewünschten Sollausgangsspannung U_{a_soll} führt.

Die tatsächlich angeschlossene Last 3 sowie die tatsächlichen internen Parameter des Schaltnetzteils 1 können im Betrieb von den Werten abweichen, die der Steuerspannungs-Referenzkennlinie zu Grunde gelegt wurden. Somit ist es möglich, dass die Ausgangsspannung U_a , die mit dem aus der Steuerspannungs-Referenzkennlinie abgelesenen Tastverhältnis eingestellt wird, mehr oder weniger stark von der gewünschten Sollausgangsspannung U_{a_soll} abweichen. Die Differenz zwischen der Sollausgangsspannung U_{a_soll} und der tatsächlichen Ausgangsspannung U_a wird als Regelabweichung an den Eingang der Feinregelung 2.3 geführt. Die Feinregelung 2.3 ermittelt aus der Regelabweichung eine zweite Steuerteilspannung U_{vl} , welche mittels eines Addierers 2.4 auf die erste Steuerteilspannung U_{ol} überlagert wird und die Steuerspannung U_{str} erzeugt.

Ist das aus der Steuerspannungs-Referenzkennlinie ermittelte Tastverhältnis, und somit die Ausgangsspannung U_a zu groß,

so gibt die Feinregelung 2.3 eine vergleichsweise kleine zweite Steuerteilspannung U_{ol} aus. Ist das aus der Steuerspannungs-Referenzkennlinie ermittelte Tastverhältnis, und somit die Ausgangsspannung U_a dagegen zu klein, so gibt
5 die Feinregelung 2.3 eine vergleichsweise große zweite Steuerteilspannung U_{ol} aus. Ungenauigkeiten in der Abschätzung des Tastverhältnisses durch die Steuerung 2.2 werden somit durch die Feinregelung 2.3 kompensiert, so dass sich die Ausgangsspannung U_a um die gewünschte
10 Sollausgangsspannung U_{a_soll} einschwingt.

Die Feinregelung 2.3 kann beispielsweise als Integral (I) - Regler ausgebildet sein.

15 Figur 2 beschreibt die Funktionsweise der Steuerung 2.2 anhand der zu Grunde gelegten Steuerspannungs-Referenzkennlinie für das einzustellende Tastverhältnis des Steuersignals S_{str} genauer.

20 Ein Punkt einer solchen Steuerspannungs-Referenzkennlinie beschreibt ein Tastverhältnis in Abhängigkeit von der Eingangsspannung U_e und dem Laststrom I_L . Ein solcher Steuerspannungs-Referenzkennlinienpunkt kann beispielsweise experimentell und/oder durch Simulation für ein
25 Schaltnetzteil 1 mit einer gewissen Arbeitstemperatur und einen gewissen Alterungszustand sowie für weitere, dem Fachmann bekannte interne Parameter sowie für eine gewisse, an das Schaltnetzteil 1 angeschlossene Last 3 durch Variation des Tastverhältnisses an einem Steuersignal S_{str} gewonnen
30 werden, bis sich für die gegebene Eingangsspannung U_e und den gegebenen Laststrom I_L die Sollausgangsspannung U_{a_soll} einstellt.

Es ist möglich, eine solche Steuerspannungs-Referenzkennlinie
35 durch eine Steuerspannungs-Referenztabelle R zu approximieren, welche zu bestimmten Wertepaaren, bestehend aus einem Wert für die Eingangsspannung U_e und einem Wert für den Laststrom I_L , eine erste Steuerteilspannung U_{ol}

vorgibt, die zu dem experimentell und/oder durch Simulation ermittelten Tastverhältnis für das Steuersignal S_{str} führt, welches die gewünschte Sollausgangsspannung U_{a_soll} einstellt. Die Steuerspannungs-Referenztablette R kann
5 beispielsweise als Matrix ausgebildet sein, wobei der Zeilenindex eines Matrixelements zu einer Eingangsspannung U_e korrespondiert und wobei der Spaltenindex eines Matrixelements zu einem Laststrom I_L korrespondiert und wobei das Matrixelement selbst die erste Steuerteilspannung U_{ol} angibt. In vorteilhafter Weise kann die
10 Eingangsspannung U_e entlang einer Matrixzeile und/oder der Laststrom I_L entlang einer Matrixspalte mit äquidistanten Abständen variiert werden. Somit ist es möglich, zu einem Paar gemessener Werte für die Eingangsspannung U_e und den
15 Laststrom I_L das jeweils nächstliegende Matrixelement zu identifizieren, welches einen zugeordneten Wert für die erste Steuerteilspannung U_{ol} bestimmt.

Figur 3 erläutert das Zusammenwirken der Steuerung 2.2 und
20 der Feinregelung 2.3 anhand des Verlaufs der Ausgangsspannung U_a in Abhängigkeit vom Verlauf der ersten Steuerteilspannung U_{ol} und der zweiten Steuerteilspannung U_{vl} über der Zeitachse t .

25 Zu einem Schaltzeitpunkt t_L wird am Ausgang des Schaltnetzteils 1 eine Last 3 zugeschaltet, die eine Erhöhung des Laststroms I_L bewirkt. Bei einem unveränderten Steuersignal S_{str} mit unverändertem Tastverhältnis würde der erhöhte Laststrom I_L eine verringerte Ausgangsspannung U_a
30 außerhalb eines vorbestimmten Toleranzbereichs um die Sollausgangsspannung U_{a_soll} bewirken.

Unmittelbar nach dem Zuschalten der Last 3 passt die Steuerung 2.2 anhand der Eingangsspannung U_e und des Laststroms I_L die erste Steuerteilspannung U_{ol} von einem ersten Spannungswert U_{ol1} auf einen niedrigeren zweiten Spannungswert U_{ol2} an, der der Steuerspannungs-Referenztablette R entnommen wird. Der niedrigere zweite Spannungswert U_{ol2}

bewirkt eine niedrigere Steuerspannung U_{str} am Eingang des Komparators 2.1 und somit ein größeres Tastverhältnis des Steuersignals S_{str} am Ausgang des Komparators 2.1, das dem lastbedingten Abfall der Ausgangsspannung U_a nahezu
5 unverzüglich entgegen wirkt invertierend oder nicht invertierend. Auf Grund der beschriebenen Abweichungen zwischen den angenommenen internen Parametern des Schaltnetzteils 1 und der angenommenen Last 3 von den tatsächlich wirkenden internen Parametern des Schaltnetzteils
10 1 und der tatsächlich wirkenden Last 3 sowie ferner auf Grund der Diskretisierung der Steuerspannungs-Referenzkennlinie in eine Steuerspannungs-Referenztabelle R wird mittels der Änderung der ersten Steuerteilspannung U_{ol} der Abfall der Ausgangsspannung U_a jedoch nicht vollständig kompensiert.
15 Somit wird durch die Feinregelung 2.3 eine Regelabweichung als Differenz der Ausgangsspannung U_a vom Ausgangsspannungssollwert U_{a_soll} gemessen.

Auf Grund der Trägheit der als I - Regler ausgebildeten
20 Feinregelung 2.3 führt diese Regelabweichung erst allmählich zu einer Änderung der zweiten Steuerteilspannung U_{vl} , welche der Regelabweichung entgegenwirkt, so dass ein Verlauf der Ausgangsspannung U_a im vorgesehenen Toleranzbereich um den Ausgangsspannungssollwert U_{a_soll} erreicht wird.

25 In vorteilhafter Weise wird durch die Steuerung 2.2 mittels der Steuerspannungs-Referenztabelle R eine sehr schnelle Anpassung der Ausgangsspannung U_a an eine Laständerung ermöglicht. Diese schnelle Anpassung vermeidet ein Über- oder
30 Unterschwingen der Ausgangsspannung U_a , da mit der Steuerung 2.2 kein Regelkreis über der Ausgangsspannung U_a gebildet wird.

Die unvollständige Kompensation einer durch eine solche
35 Laständerung bewirkten Änderung der Ausgangsspannung U_a wird durch eine vergleichsweise langsame Nachführung der Ausgangsspannung U_a mittels der Feinregelung 2.3 ausgeglichen. Die Feinregelung 2.3 vermeidet ein Über- oder

Unterschwingen der Ausgangsspannung U_a durch eine ausreichend große Nachstellzeit beziehungsweise geringe obere Grenzfrequenz, welche die durch die Steuerung 2.2 dominierte Regelverzögerung der Regeleinrichtung 2 jedoch nicht
5 wesentlich beeinträchtigt.

Es ist somit ein Vorteil der erfindungsgemäßen Regeleinrichtung 2, dass ein Schaltnetzteil 1 sowohl schneller als auch mit geringeren Abweichungen der
10 Ausgangsspannung U_a von der Sollausgangsspannung U_{a_soll} an schnelle Änderungen der Last 3 oder der Eingangsspannung U_a angepasst werden kann als mit Verfahren und Vorrichtungen nach dem Stand der Technik. Ferner ist die erfindungsgemäße Regeleinrichtung 2 einfacher umsetzbar und ermöglicht eine
15 robustere und weniger aufwändige Regelung durch die verminderte obere Grenzfrequenz in der durch die Feinregelung 2.3 umgesetzten Regelschleife.

B E Z U G S Z E I C H E N L I S T E

	1	Schaltnetzteil
5	2	Regelungsvorrichtung
	2.1	Komparator
	2.2	Steuerung
	2.3	Feinregelung
	2.4	Addierer
10	3	Last
	U _e	Eingangsspannung
	U _a	Ausgangsspannung
	U _{a_soll}	Sollausgangsspannung
	S _{str}	Steuersignal
15	I _L	Laststrom
	U _{str}	Steuerspannung
	U _{ol}	erste Steuerteilspannung
	U _{ol1}	erster Spannungswert der ersten Steuerteilspannung
20	U _{ol2}	zweiter Spannungswert der zweiten Steuerteilspannung
	U _{v1}	zweite Steuerteilspannung
	R	Steuerspannungs-Referenztablelle
	t	Zeitachse
25	t _L	Schaltzeitpunkt

Patentansprüche

1. Regelungsvorrichtung (2) mit einer Steuerung (2.2) und einer Feinregelung (2.3) zur Regelung einer mittels eines
5 Steuersignals (S_{str}) veränderbaren Ausgangsspannung (U_a) eines Schaltnetzteils (1), wobei die Steuerung (2.2) mittels einer Steuerspannungs-Referenzkennlinie aus einer Eingangsspannung (U_e) und einem Laststrom (I_L) des Schaltnetzteils (1) eine erste Steuerteilspannung (U_{ol})
10 bestimmt und wobei die Feinregelung (2.3) aus einer Regelabweichung zwischen der Ausgangsspannung (U_a) und einer vorbestimmten Sollausgangsspannung (U_{a_soll}) eine zweite Steuerteilspannung (U_{vl}) bestimmt und wobei das Steuersignal (S_{str}) aus der Überlagerung der ersten und
15 zweiten Steuerteilspannung (U_{ol} , U_{vl}) abgeleitet wird, wobei die zweite Steuerteilspannung (U_{vl}) von der Feinregelung (2.3) in der Art eines Reglers fortlaufend zur Minimierung der Regelabweichung nachgeführt wird.
- 20 2. Regelungsvorrichtung (2) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuersignal (S_{str}) mittels eines Komparators (2.1) durch Vergleich eines vorgegebenen Sägezahnsignals mit einer Steuerspannung (U_{str}) in der Art eines pulsweitenmodulierten Signals generiert wird, wobei die
25 Steuerspannung (U_{str}) als Summe aus der ersten und der zweiten Steuerteilspannung (U_{ol} , U_{vl}) bestimmt wird.
3. Regelungsvorrichtung (2) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuersignal (S_{str}) in der Art
30 eines pulsfrequenzmodulierten Signals generiert wird, wobei die Pulsfrequenz von der Steuerspannung (U_{str}) bestimmt wird, welche als Summe aus der ersten und der zweiten Steuerteilspannung (U_{ol} , U_{vl}) bestimmt wird.
- 35 4. Regelungsvorrichtung (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Feinregelung (2.3) als I-Regler ausgebildet ist.

5. Regelungsvorrichtung (2) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Nachstellzeit der Feinregelung (2.3) mindestens 1 ms, insbesondere 2 ms oder mehr ms beträgt.

5 6. Regelungsvorrichtung (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerspannungs-Referenzkennlinie als Steuerspannungs-Referenztabelle (R), umfassend eine matrixartige Anordnung von Spannungswerten für die erste Steuerteilspannung (U_{ol}), ausgebildet ist, wobei
10 ein erster horizontaler Matrixindex zur Eingangsspannung (U_e) und ein zweiter vertikaler Matrixindex zum Laststrom (I_L) korrespondiert.

7. Regelungsverfahren zur Regelung der
15 Ausgangsspannung (U_a) eines Schaltnetzteils (1) mittels einer Regelungsvorrichtung (2) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (2.2) einen solchen Spannungswert aus der Steuerspannungs-Referenztabelle (R) als erste Steuerteilspannung (U_{ol}) generiert, der zu einer
20 Eingangsspannung (U_e) und zu einem Laststrom (I_L) korrespondiert, welche beide jeweils eine minimale Abweichung von der gemessenen Eingangsspannung (U_e) beziehungsweise von dem gemessenen Laststrom (I_L) aufweisen.

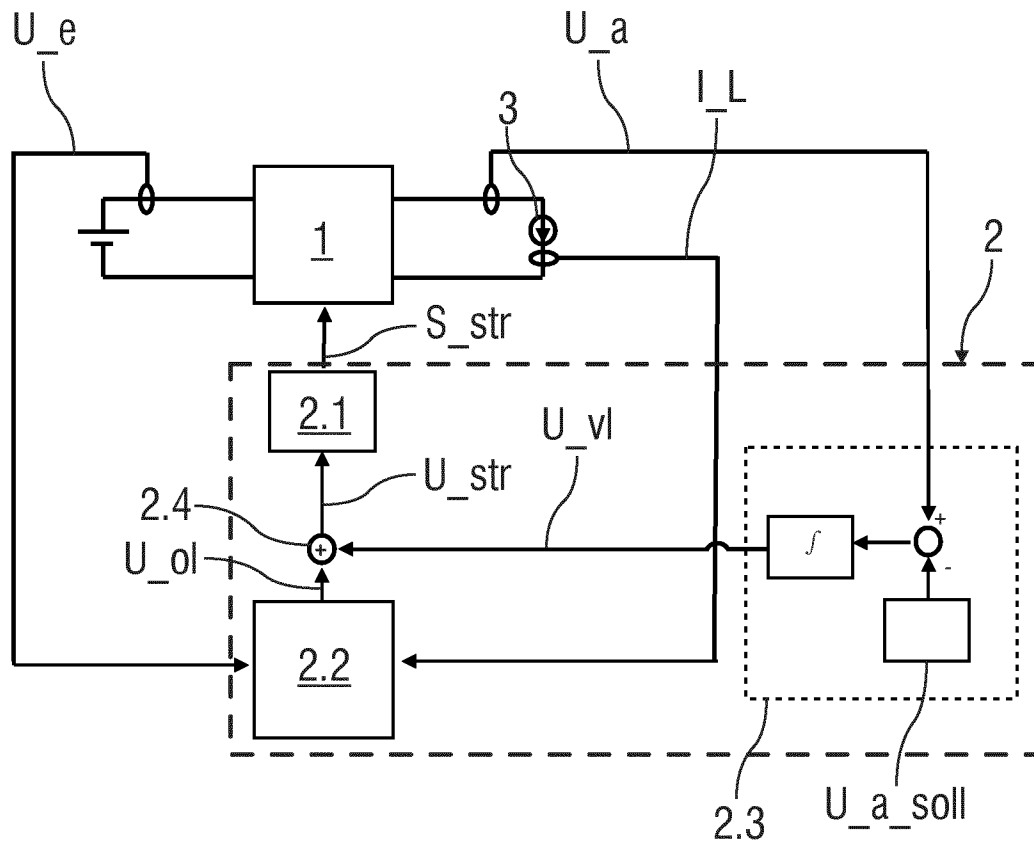


FIG 1

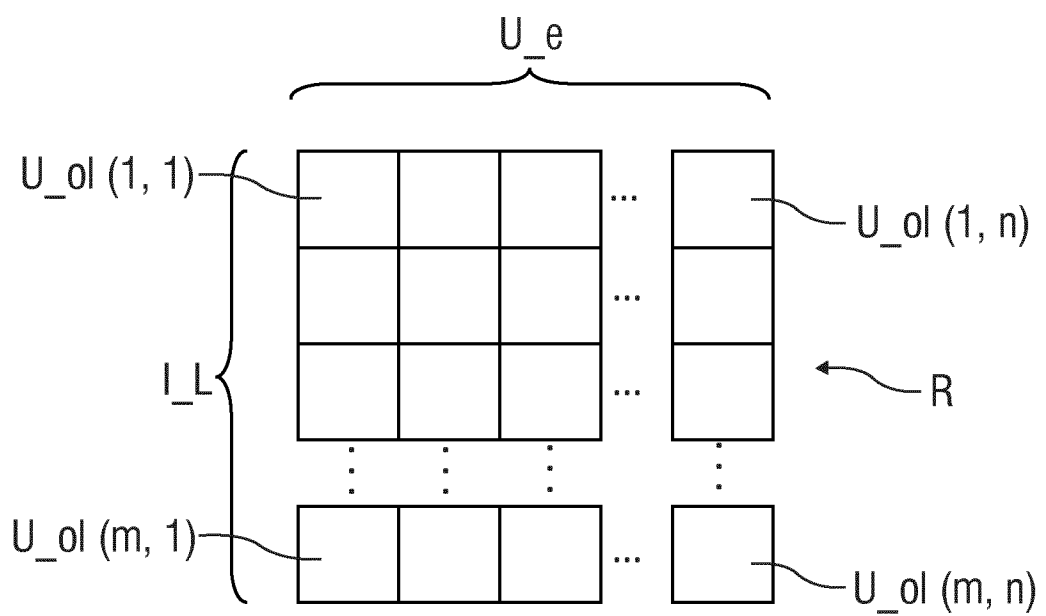


FIG 2

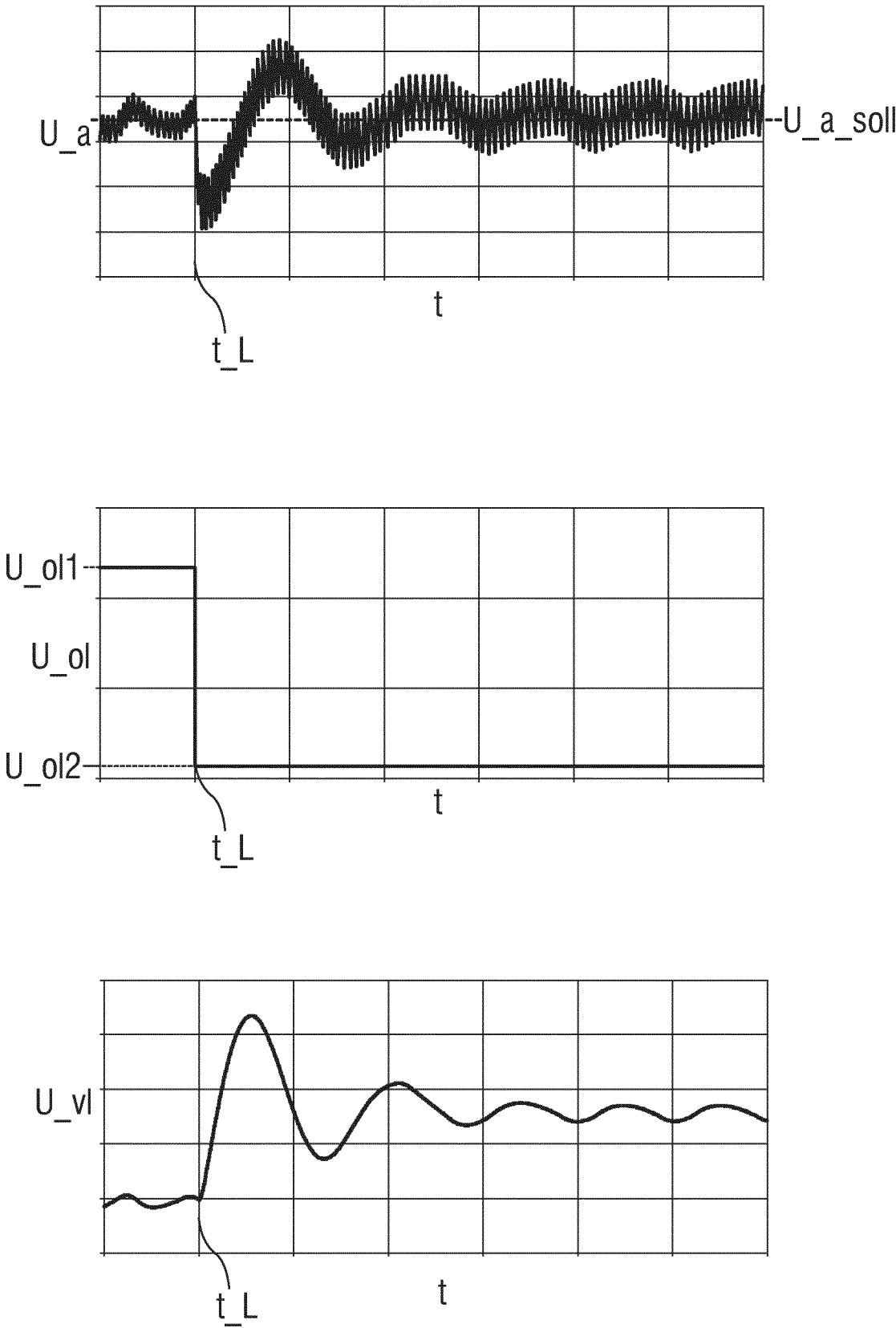


FIG 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/060662

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H02M3/156

ADD. H02M1/00 H02M3/158

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2005/110474 A1 (ORTIZ JOE A [US] ET AL) 26 May 2005 (2005-05-26)	1-5
Y	figures 2,3,8 paragraphs [0001], [0006] - [0008], [0021] - [0023], [0026] - [0034], [0039] - [0041], [0049] - [0052], [0059], [0065] ----- -/--	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 October 2014

Date of mailing of the international search report

17/10/2014

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kail, Maximilian

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/060662

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	RICHARD REDL ET AL: "Near-Optimum Dynamic Regulation of DC-DC Converters Using Feed-Forward of Output Current and Input Voltage with Current-Mode Control", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, USA, vol. 23, no. 3, 1 July 1986 (1986-07-01), pages 181-192, XP011242282, ISSN: 0885-8993	1-4
Y	figures 1,5-7,12 Sections I F, II B, D, E -----	1-7
Y	US 2005/083025 A1 (BROWN JAMES S [US] BROWN JAMES STEVEN [US]) 21 April 2005 (2005-04-21) figure 1 paragraphs [0012] - [0017], [0022] - [0024] -----	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/060662

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2005110474 A1	26-05-2005	EP 1687888 A1	09-08-2006
		EP 2264876 A1	22-12-2010
		IL 172874 A	16-06-2010
		US 2005110474 A1	26-05-2005
		WO 2005062451 A1	07-07-2005

US 2005083025 A1	21-04-2005	DE 112004001969 T5	07-09-2006
		JP 2007509593 A	12-04-2007
		US 2005083025 A1	21-04-2005
		WO 2005039029 A2	28-04-2005

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H02M3/156

ADD. H02M1/00 H02M3/158

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

H02M

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2005/110474 A1 (ORTIZ JOE A [US] ET AL) 26. Mai 2005 (2005-05-26)	1-5
Y	Abbildungen 2,3,8 Absätze [0001], [0006] - [0008], [0021] - [0023], [0026] - [0034], [0039] - [0041], [0049] - [0052], [0059], [0065] ----- -/-	1-7



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

7. Oktober 2014

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

17/10/2014

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kail, Maximilian

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	RICHARD REDL ET AL: "Near-Optimum Dynamic Regulation of DC-DC Converters Using Feed-Forward of Output Current and Input Voltage with Current-Mode Control", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, USA, Bd. 23, Nr. 3, 1. Juli 1986 (1986-07-01), Seiten 181-192, XP011242282, ISSN: 0885-8993	1-4
Y	Abbildungen 1,5-7,12 Sections I F, II B, D, E -----	1-7
Y	US 2005/083025 A1 (BROWN JAMES S [US] BROWN JAMES STEVEN [US]) 21. April 2005 (2005-04-21) Abbildung 1 Absätze [0012] - [0017], [0022] - [0024] -----	1-7

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/060662

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2005110474	A1	26-05-2005	EP	1687888 A1	09-08-2006
			EP	2264876 A1	22-12-2010
			IL	172874 A	16-06-2010
			US	2005110474 A1	26-05-2005
			WO	2005062451 A1	07-07-2005

US 2005083025	A1	21-04-2005	DE	112004001969 T5	07-09-2006
			JP	2007509593 A	12-04-2007
			US	2005083025 A1	21-04-2005
			WO	2005039029 A2	28-04-2005
