

(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
20. Dezember 2012 (20.12.2012)



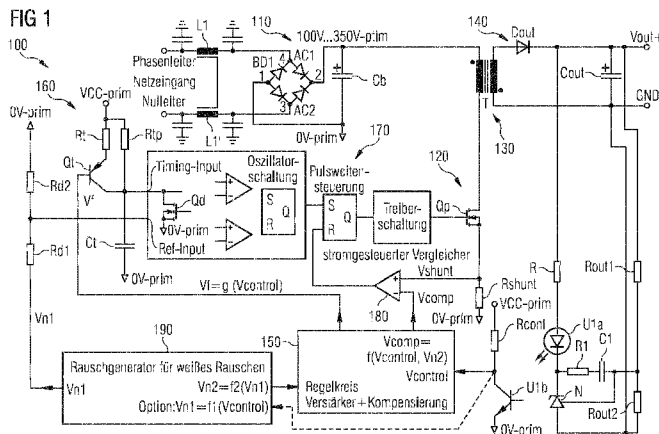
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/171788 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/060047
- (22) Internationales Anmeldedatum: 29. Mai 2012 (29.05.2012)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 102011104441.1 16. Juni 2011 (16.06.2011) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): FUJITSU TECHNOLOGY SOLUTIONS INTELLECTUAL PROPERTY GMBH [DE/DE]; Mies-van-der-Rohe-Straße 8, 80807 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BUSCH, Peter [DE/DE]; Flugfeldstr. 16, 86179 Augsburg (DE).
- (74) Anwalt: EPPING HERMANN FISCHER PATENTANWALTSGESELLSCHAFT MBH; Ridlerstr. 55, 80339 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, 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, IS, JP, KE, KG, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SWITCHED-MODE POWER SUPPLY UNIT, METHOD OF OPERATION AND USE OF A SWITCHED-MODE POWER SUPPLY UNIT IN A COMPUTER

(54) Bezeichnung : SCHALTNETZTEIL, BETRIEBSVERFAHREN UND VERWENDUNG EINES SCHALTNETZTEILS IN EINEM COMPUTER



Phasenleiter = Phase conductor
Netzanschluss = System input
Nulleiter = Neutral conductor
VCC-prim = VCC-prime
OV-prim = OV-prime
Timing-Input = Timing input
Ozillatorschaltung = Oscillator circuit
Pulsweitensteuerung = Pulse-width control
Treiberschaltung = Driver circuit
stromgesteuerter Vergleichervshunt = Current-controlled comparator Vshunt
Rauschgenerator für weißes Rauschen = Noise generator for white noise
Regelkreis = Control loop
Verstärker + Kompensierung = Amplifier + compensation

(57) Abstract: The invention relates to a switched-mode power supply unit (100) for a computer or the like. The switched-mode power supply unit comprises at least one switching element (120) for switching a charging current for charging a storage element (130), at least one secondary output circuit, at least one controllable oscillator circuit (160) for providing a switching clock and at least one control circuit (150) for determining a switch-off time for the at least one switching element (120). In this arrangement, operation of the switched-mode power supply unit (100) involves a mean oscillator clock from the oscillator circuit (160) being regulated on the basis of a controlled variable (Vcontrol) from the secondary output circuit (140) and a switch-on time for the at least one switching element (120) being determined on the basis of the mean oscillator clock and a random deviation. The invention likewise relates to a method of operation for such a switched-mode power supply unit (100) and to the use of such a switched-mode power supply unit (100) in a computer.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/171788 A2

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Die Erfindung betrifft ein Schaltnetzteil (100) für einen Computer oder dergleichen. Das Schaltnetzteil umfasst wenigstens ein Schaltelement (120) zum Schalten eines Ladestroms zum Laden eines Speicherelements (130), wenigstens eine sekundäre Ausgangsschaltung, wenigstens eine regelbare Oszillatorschaltung (160) zum Bereitstellen eines Schalttaktes und wenigstens eine Steuerschaltung (150) zum Bestimmen eines Ausschaltzeitpunkts für das wenigstens eine Schaltelement (120). Dabei wird im Betrieb des Schaltnetzteils (100) ein mittlerer Oszillortakt der Oszillatorschaltung (160) in Abhängigkeit einer Regelgröße (Vcontrol) der sekundären Ausgangsschaltung (140) geregelt und ein Einschaltzeitpunkt für das wenigstens eine Schaltelement (120) in Abhängigkeit von dem mittleren Oszillortakt und einer zufälligen Abweichung bestimmt. Die Erfindung betrifft ebenfalls ein Betriebsverfahren für ein derartiges Schaltnetzteils (100) sowie die Verwendung eines derartigen Schaltnetzteils (100) in einem Computer.

Beschreibung

Schaltnetzteil, Betriebsverfahren und Verwendung eines Schaltnetzteils in einem Computer

5

Die Erfindung betrifft ein Schaltnetzteil für einen Computer oder dergleichen, umfassend wenigstens ein Schaltelement zum Schalten eines Ladestroms zum Laden eines Speicherelementes. Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Betriebsverfahren für ein Schaltnetzteil sowie eine Verwendung eines Schaltnetz-

10 teils in einem Computer.

Schaltnetzteile in unterschiedlichen Ausführungen sind vielfach bekannt. Gegenüber anderen Netzteiltypen wie insbesondere konventionellen Transformatornetzteilen weisen Schaltnetz-

15 teile einen verhältnismäßig hohen Wirkungsgrad auf. Zudem weisen Schaltnetzteile einen verhältnismäßig großen Toleranzbereich für Eingangsspannungen und -frequenzen, eine geringere Baugröße und billigere Herstellungskosten gegenüber kon-

20 ventionellen Netzteilen auf.

Theoretisch übertragen Schaltnetzteile aufgrund ihres Schaltprinzips nur diejenige Leistung, die tatsächlich sekundärseitig benötigt wird. Bekannte Schaltnetzteile haben in einem

25 Arbeitsbereich von etwa 20 bis 100 Prozent ihrer Nennausgangsleistung daher einen Wirkungsgrad von oftmals über 90 Prozent. Leider sinkt der Wirkungsgrad bekannter Schaltnetzteile insbesondere im Bereich unterhalb von 20 Prozent der Nennausgangsleistung erheblich ab. Dies wird unter anderem

30 durch die prinzipbedingte Zerhackung der primärseitigen Eingangsspannung und die damit einhergehenden Schaltverluste verursacht.

Gerade bei Computern und ähnlichen Vorrichtungen, die zum einen im Betrieb eine verhältnismäßig große Eingangsleistung erfordern, in einem Ruhe-, Energiespar- oder Bereitschaftsstand aber nur eine stark verminderte Eingangsleistung aufnehmen, stellt dies ein Problem bezüglich der Energieeffizienz der verwendeten Schaltnetzteile dar.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Netzteil und ein Betriebsverfahren für ein Netzteil zu beschreiben, das eine hohe Energieeffizienz über einen breiten Bereich von möglichen Ausgangsleistungen ermöglicht. Insbesondere soll die Energieeffizienz im unteren Bereich einer Nennausgangsleistung gegenüber bekannten Schaltnetzteilen verbessert werden.

15

Die oben genannte Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Schaltnetzteil für einen Computer oder ein ähnliches Gerät gelöst. Das Schaltnetzteil umfasst wenigstens ein Schaltelement zum Schalten eines Ladestroms zum Laden eines Speicherelements, wenigstens eine sekundäre Ausgangsschaltung zum Bereitstellen einer Ausgangsschaltung, wenigstens eine regelbare Oszillatorschaltung zum Bereitstellen eines Schalttaktes und wenigstens eine Steuerschaltung zum Bestimmen eines Ausschaltzeitpunkts für das wenigstens eine Schaltelement. Dabei wird im Betrieb des Schaltnetzteils ein mittlerer Oszillortakt der Oszillatorschaltung in Abhängigkeit einer Regelgröße der sekundären Ausgangsschaltung geregelt und ein Einschaltzeitpunkt für das wenigstens ein Schaltelement in Abhängigkeit von dem mittleren Oszillortakt und einer zufälligen Abweichung bestimmt.

30

Durch die Verwendung einer regelbaren Oszillatorschaltung kann der Schalttakt eines Schaltelements zum Schalten eines

Ladestroms in Abhängigkeit einer Regelgröße, die beispielsweise eine Ausgangsspannung oder -leistung des Schaltnetz-
teiles angibt, geregelt und insbesondere abgesenkt werden. Durch
die zusätzliche Verwendung einer zufälligen Abweichung von
5 einem bestimmten mittleren Oszillatortaktes können dabei un-
angenehme Nebeneffekte wie insbesondere das Auftreten von
hörbaren Pfeifgeräuschen vermieden werden.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung wird der mittlere Os-
zillatortakt in Abhängigkeit einer Ausgangsleistung der se-
kundären Ausgangsschaltung geregelt, wobei der mittlere Os-
zillatortakt monoton mit der Ausgangsleistung ansteigt. Indem
der Schalttakt gemeinsam mit der Ausgangsleistung des Schalt-
netzteiles ansteigt, können bei gleicher Leistungsfähigkeit
15 bei einer maximalen Auslastung die Schaltverluste insbesonde-
re bei niedriger Ausgangsleistung reduziert werden, so dass
die Energieeffizienz des Schaltnetzteils weitgehend unabhän-
gig von der sekundären Ausgangsleistung ist.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung umfasst die
Bandbreite der zufälligen Abweichungen bezogen auf den mitt-
leren Oszillatortakt mindestens eine Oktave. Für einen gege-
benen mittleren Oszillatortakt der Oszillatorschaltung be-
trägt hierdurch ein effektiver maximaler Schalttakt des we-
nigstens einen Schaltelements mindestens das Doppelte eines
25 effektiven minimalen Schalttaktes. Durch die Verwendung einer
zufälligen Abweichung im Umfang von wenigstens einer Oktave
können die durch das Schaltnetzteil verursachten akustischen
Störungen über einen breiten Frequenzbereich verteilt werden,
30 so dass sie für einen menschlichen Benutzer kaum noch wahr-
nehmbar sind.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird der Ausschaltzeitpunkt zusätzlich in Abhängigkeit der zufälligen Abweichung geregelt. Dabei erfolgt die Regelung derart, dass bei einem Ansteigen des Schalttaktes auf einen Wert oberhalb
5 des mittleren Oszillatortaktes ein Tastverhältnis des wenigstens einen Schaltelements verringert und bei einem Abfallen des Schalttaktes auf einen Wert unterhalb des mittleren Oszillatortaktes das Tastverhältnis des wenigstens einen Schaltelements vergrößert wird. Durch eine gegenläufige Anpassung von der zufälligen Abweichung des Schalttakts und eines momentanen Tastverhältnis kann die Energieübertragung innerhalb eines jeden Schalttaktes auch bei geändertem Schalttakt weitgehend konstant gehalten werden.

15 Die oben genannte Aufgabe wird ebenso gelöst durch ein Betriebsverfahren zur Regelung eines Schaltnetzteiles mit den Schritten:

- 20 - Bestimmen wenigstens einer Regelgröße einer sekundären Ausgangsschaltung,
- Bestimmen eines mittleren Oszillatortakts in Abhängigkeit der wenigstens einen bestimmten Regelgröße,
- 25 - Festlegen einer zufälligen Abweichung von dem mittleren Oszillatortakt,
- Einschalten eines Schaltelements zum Laden eines Speicherelements in Abhängigkeit von dem mittleren Oszillatortakt und der zufälligen Abweichung und
30
- Ausschalten des Schaltelements in Abhängigkeit der mindestens einen bestimmten Regelgröße.

Durch die oben genannten Schritte können der Einschaltzeitpunkt und der Ausschaltzeitpunkt eines Schaltelementes in Abhängigkeit einer Regelgröße einer sekundären Ausgangsschaltung und einer zufälligen Abweichung festgelegt werden. Dadurch ist eine bedarfsgerechte Ansteuerung des wenigstens einen Schaltelementes in einem weiten Ausgangsleistungsbereich eines Schaltnetztes möglich.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung umfasst das Verfahren den zusätzlichen Schritt des gegenläufigen Anpassens einer Einschaltdauer des Schaltelements bezogen auf einen Schalttakt des Schaltelements.

Das oben genannte Schaltnetzteil beziehungsweise das Betriebsverfahren zur Regelung eines Schaltnetztes eignen sich insbesondere zur Verwendung in einem Computersystem. Insbesondere kann der Schalttakt eines Computerschaltnetztes in einem Bereitschaftszustand, etwa im so genannten Standby-Modus oder bei sehr geringer Auslastung eines Prozessors, unter eine Frequenz von 20 kHz, also in den hörbaren Bereich, abgesenkt werden. Dagegen kann dasselbe Netzteil bei weitgehender Auslastung des Computers mit einem Schalttakt von mehr als 20 kHz betrieben werden.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen sowie der nachfolgenden ausführlichen Beschreibung von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von unterschiedlichen Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert.

In den Figuren zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Schaltnetzteils gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung,

5

Figur 2 eine schematische Darstellung eines konventionellen Schaltnetzteils und

Figur 3 ein Ablaufdiagramm eines Betriebsverfahrens zur Regelung eines Schaltnetzteils.

10

Zum besseren Verständnis der vorliegenden Erfindung wird zunächst das konventionelle Netzteil gemäß Figur 2 beschrieben. Die in der Figur 2 dargestellte Schaltung zeigt ein Schalt-

15

netzteil 200. Bei dem Schaltnetzteil 200 handelt es sich im dargestellten Ausführungsbeispiel um einen Sperrwandler mit durch eine Festfrequenz gewonnenen Schaltreglerimpulsen.

Das Schaltnetzteil 200 umfasst eine primäre Eingangsschaltung 210, ein Schaltelement 220 sowie ein Speicherelement 230. Das Schaltnetzteil 200 umfasst des Weiteren eine sekundäre Ausgangsschaltung 240, eine Steuerschaltung 250, eine Oszillatorschaltung 260, eine Pulsweitensteuerung 270 sowie einen Vergleichler 280.

25

Im dargestellten Ausführungsbeispiel sorgt ein Brückengleichrichter BD1 der primären Eingangsschaltung 210 für eine Gleichrichtung und ein Speicherkondensator Cb für eine Glättung einer an einem Netzeingang bereitgestellten primären

30

Netzwechselspannung. Über einen als Schaltelement 220 wirkenden Transistor Qb wird die von der primären Eingangsschaltung 210 bereitgestellte Gleichspannung Vprim zur Magnetisierung des Speicherelements 230 zerhackt. Als Speicherelement dient

in der Ausgestaltung gemäß Figur 2 ein Spulenkern eines Übertragers T. Die sekundäre Ausgangsschaltung 240 richtet die in eine Sekundärspule des Übertragers T induzierten Spannungsimpulse über eine Diode Dout erneut gleich, glättet sie über den Kondensator Cout und stellt sie als geregelte Ausgangsspannung Vout+ gegenüber einem Massepotential über einen sekundären Ausgang zur Verfügung.

Zur Regelung der sekundären Ausgangsspannung Vout+ umfasst die sekundäre Ausgangsschaltung 240 unter anderem einen Spannungsregler N, umfassend einen Spannungsteiler für die Ausgangsspannung Vout+ mit den Widerständen Rout1 und Rout2 sowie einer Schaltung mit den Komponenten R, R1 und C1 zum Bereitstellen einer Regelspannung. Beispielsweise handelt es sich um einen PI-Regler. Über einen Optokoppler U1 umfassend eine Leuchtdiode U1a und einen Phototransistor U1b wird in Abhängigkeit der Ausgangsspannung Vout+ eine Regelgröße Vcontrol für die Steuerschaltung 250 bereitgestellt. In Abhängigkeit der Regelgröße Vcontrol bestimmt die Steuerschaltung 250 eine Steuerspannung Vcomp. Die Steuerspannung Vcomp wird über den Vergleicher 280 mit einer vom Stromfluss durch das Schaltelement 220 abhängigen Knotenspannung Vshunt gegenüber dem Massepotential verglichen und zur Ansteuerung der Pulsweitensteuerung 270 verwendet.

25

Im dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst die Pulsweitensteuerung 270 eine Ansteuerschaltung mit einem Setzeingang S und einem Rücksetzeingang R sowie eine Treiberschaltung zur Ansteuerung des Transistors Qp. Beim Anliegen eines Taktimpulses am Setzeingang S, der von der Oszillatorschaltung 260 mit einer festen Frequenz bereitgestellt wird, öffnet die Pulsweitensteuerung 270 das Schaltelement 220. Das Schaltelement 220 bleibt so lange eingeschaltet, bis ein Stromfluss

30

durch das Schaltelement 220 und damit die Knotenspannung V_{shunt} an einem Nebenschlusswiderstand R_{shunt} über den durch die Steuerspannung V_{comp} von der Steuerschaltung 250 vorgegebenen Regelwert ansteigt. Beim Übersteigen der Steuerspannung V_{comp} wird das Schaltelement 220 durch Anlegen eines Rücksetzsignals am Rücksetzeingang R der Ansteuerschaltung unterbrochen.

Grundsätzlich ist es möglich, den Wirkungsgrad der unter Bezugnahme auf Figur 2 beschriebenen Schaltung zu erhöhen, indem der Oszillatortakt der Oszillatorschaltung 260 bei sehr niedriger Ausgangsleistung des Schaltnetzteils 200 abgesenkt wird. Aus akustischen Gründen ist eine Absenkung jedoch nur bis zu einer Grenze von etwa 20 bis 25 KHz sinnvoll, was in etwa der oberen Hörschwelle eines Menschen entspricht. Eine weitere Absenkung des Oszillatortaktes der Oszillatorschaltung 260 führt zum Auftreten von akustischen Störungen mit der Frequenz des Schalttaktes. Solche Störungen sind insbesondere unterhalb von 20 KHz für einen Menschen wahrnehmbar und stören diesen.

Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Schaltnetzteils 100 gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung. Bei dem dargestellten Schaltnetzteil 100 handelt es sich wiederum um ein Schaltnetzteil nach dem Prinzip eines Sperrwandlers. Die nachfolgend beschriebenen Variationen gegenüber dem bekannten Schaltnetzteil 200 sowie das ebenfalls nachfolgend beschriebene Verfahren zum Betrieb des Schaltnetzteils 100 lassen sich jedoch auch mit anderen Typen von Schaltnetzteilen verwenden. Insbesondere eignet sich die beschriebene Lösung auch zur Verwendung in Gleichtakt-Flusswandlern und Gegentakt-Flusswandlern.

Das Schaltnetzteil 100 umfasst im dargestellten Ausführungsbeispiel eine primäre Eingangsschaltung 110, ein Schaltelement 120 und ein Speicherelement 130. Das Schaltnetzteil 100 umfasst des Weiteren eine sekundäre Ausgangsschaltung 140,
5 eine Steuerschaltung 150 und eine Oszillatorschaltung 160. Das Schaltnetzteil 100 umfasst des Weiteren eine Pulsweitensteuerung 170, einen Vergleicher 180 und einen Rauschgenerator 190.

10 Die primäre Eingangsschaltung 110, das Schaltelement 120, das Speicherelement 130, die sekundäre Ausgangsspannung 140, die Pulsweitensteuerung 170 und der Vergleicher 180 entsprechen in ihrem Aufbau den gleichartigen Komponenten des zuvor be-
15 schriebenen Schaltnetzteils 200. Gegenüber dem zuvor beschriebenen Schaltnetzteil 200 unterscheidet sich das Schaltnetzteil 100 daher insbesondere dadurch, dass die Steuerschaltung 150 zusätzlich ein Steuersignal Vf zur Ansteuerung der Oszillatorschaltung 160 bereitstellt. Des Weiteren wird ein erstes Zufallssignal Vn1 von dem Rauschgenerator 190 an
20 die Oszillatorschaltung 160 bereitgestellt. Bei der Oszillatorschaltung 160 handelt es sich um einen regel- oder abstimmbaren Oszillator, dessen Schaltzeitpunkt in Abhängigkeit der Eingangssignale Vn1 und Vf eingestellt werden kann.

25 Optional ist die sekundären Ausgangsschaltung 140 mit dem Rauschgenerator 190 über eine weitere Leitung verbunden, um die Amplitude des von dem Rauschgenerator 190 erzeugten ersten Zufallssignals Vn1 in Abhängigkeit der Regelgröße Vcontrol der sekundären Ausgangsschaltung 140 zu bestimmen.

30 In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist der Rauschgenerator 190 über eine weitere Leitung mit der Steuerschaltung 150 verbunden, um die Steuerspannung Vcomp zur Abschalt-

tung des Schaltelementes 120 in Abhängigkeit eines zweiten Zufallssignals V_{n2} des Rauschgenerators 190 zu bestimmen.

Gegenüber dem unter Bezugnahme auf die Figur 2 beschriebenen konventionellen Schaltnetzteil 200 wird die Funktionsweise des Schaltnetzteils 100 gemäß der Figur 1 wie folgt geändert. Die Regelgröße $V_{control}$ dient in der beschriebenen Ausgestaltung nicht nur zur Bestimmung der Steuerspannung V_{comp} durch die Steuerschaltung 150, sondern auch zur Bestimmung des Steuersignals V_f zur Regelung des Oszillatortaktes der Oszillatorschaltung 160. Bei fallendem Ausgangsstrom des Schaltnetzteils 100 wird wegen der dadurch steigenden Netzteilaustrittsspannung V_{out+} über den Regler N und den Optokoppler U1 die Regelgröße $V_{control}$ abfallen. Das Steuersignal V_f , das über die Steuerschaltung 150 bereitgestellt wird, muss in diesem Fall in geeigneter Weise ansteigen, beispielsweise linear. Auf diese Weise wird ein Ladestrom eines Kondensators C_t der Oszillatorschaltung 160 reduziert. Infolgedessen reduzieren sich der Oszillatortakt der Oszillatorschaltung 160 und damit den Schalttakt des Schaltelementes 120 des Schaltnetzteils 100.

Ein Widerstand R_{tp} der Oszillatorschaltung 160 stellt hier symbolisch einen Parallelwiderstand dar, über den optional ein minimaler Oszillatortakt der Oszillatorschaltung 160 sichergestellt werden kann. Der Frequenzverstellbereich der Oszillatorschaltung 160 kann zum Beispiel dem Verhältnis von 1:25 entsprechen, beispielsweise also einem Frequenzbereich von 2 kHz bis 50 kHz. Im Beispiel des beschriebenen Sperrwandlers kann durch diese Frequenzvariation bei konstant gehaltenem Abschaltstrom des als Schaltelement 120 dienenden Transistor Q_p die übertragene Leistung ebenfalls um den Fak-

tor 25 abgesenkt werden, bei gleichzeitig um etwa den Faktor 25 abgesenkten Schaltverlusten.

Damit der resultierende, verhältnismäßig niedrige Schalttakt des Schaltelements 120 nicht als störendes akustisches Pfeifen hörbar wird, wird in dem dargestellten Ausführungsbeispiel gleichzeitig die Schaltschwelle der Oszillatorschaltung 160 über einen Steuereingang Ref-Input mit dem ersten Zufallssignal Vn1, zum Beispiel einem weißem Rauschen, variiert. In dem beschriebenen Ausführungsbeispiel wird nach jedem Oszillatortakt die Spannung des ersten Zufallssignals Vn1 des Rauschgenerators 190 auf einen neuen Zufallswert gebracht. Die maximale Amplitude des ersten Zufallssignals Vn1 wird dabei so eingestellt, dass der Ausgangsschalttakt der Oszillatorschaltung 160 zusätzlich um insgesamt ein bis zwei Oktaven symmetrisch um dessen mittleren Oszillatortakt variiert, der über das Steuersignal Vf bestimmt wird. In anderen Worten variiert die Periodendauer der Oszillatorschaltung 160 von 100 Prozent bei dem höchsten Schalttakt der Oszillatorschaltung 160 bis auf 200 beziehungsweise 400 Prozent bei dem niedrigsten Schalttakt der Oszillatorschaltung 160. Diese Variation des Schalttaktes der Oszillatorschaltung 160 durch den Rauschgenerator 190 erfolgt unabhängig von dem Steuersignal Vf, aber mit dem mittleren Oszillatortakt der Oszillatorschaltung 160.

Eine Bandbreite von ein bis zwei Oktaven ist vorteilhaft, um das akustische Pfeifen in ein subjektiv angenehmeres und vom Pegel her deutlich niedrigeres Rauschen umzuwandeln. Bevorzugt wird die relative Bandbreite von ein bis zwei Oktaven des Arbeitstaktes dabei zumindest im hörbaren Frequenzbereich weitestgehend konstant gehalten, um Probleme bei der Regelung des Netzteils 100 zu vermeiden.

In dem dargestellten Ausführungsbeispiel wird die Abschalt-
schwelle des Transistors Q_p entsprechend der Steuerspannung
 V_{comp} basierend auf der Regelgröße $V_{control}$ bestimmt. Dabei
wird die Abschaltswelle wegen der Absenkung des Schalttak-
5 tes bei geringem Ausgangsstrom der Ausgangsschaltung 140 aber
nicht so stark reduziert wie bei der konventionellen Schal-
tung gemäß Figur 2.

Damit die übertragene Leistung des Netzteils 100 im Mittel
10 nicht zu sehr durch das aufmodulierte Signal des Rauschgene-
rators 190 schwankt, wird der Abschaltstromwert entsprechend
der Steuerspannung V_{comp} in einer bevorzugten Ausgestaltung
zusätzlich durch das zweite Zufallssignal V_{n2} auf Grundlage
des ersten Zufallssignals V_{n1} des Rauschgenerators 190 vari-
15 iert. Bevorzugt erfolgt die Variation derart, dass die im
Mittel übertragene Energie je Schaltimpuls des Schaltelemen-
tes 120 trotz Variation des Schalttaktes durch das Rauschen
im Wesentlichen unabhängig von dem ersten Zufallssignal V_{n1}
ist.

20

In der folgenden Betrachtung wird beispielhaft wieder vom Be-
trieb des in der Figur 1 dargestellten Sperrwandlers ausge-
gangen, bei dem der Übertrager T in einem lückenden Dreiecks-
betrieb betrieben wird. Das heißt, der Übertrager T wird nach
25 jedem Schaltimpuls vollständig abmagnetisiert (engl.: "dis-
continuous mode"). In diesem Fall ergibt sich folgender Zu-
sammenhang:

Bei konstantem Übertrager-Abschaltstrom entsprechend einer
30 gewählten Steuerspannung V_{comp} ist die übertragene Leistung
je Schaltimpuls proportional zum Schalttakt f . Der Energiein-
halt eines Pulses mit variablem Abschaltstrom beträgt
 $E = 0,5 \times L \times I^2$, wobei L die Eingangsinduktivität des Übertra-

gers T und I den Abschaltstrom kennzeichnen. Damit ergibt sich für die übertragene Leistung $P = f \times 0,5 \times L \times I^2$ mit f als Schalttakt. Um bei dem Beispiel des Sperrwandlers und bei Variation des Schalttaktes f durch ein erstes Zufallssignal Vn1 trotz des Rauschens keine Variation der momentan übertragenen Leistung P zu bewirken, muss der Strom I synchronisiert gegensinnig so geändert werden, dass die Momentanleistung gleich bleibt.

10 Im beschriebenen Ausführungsbeispiel ist dies der Fall, wenn der Strom I entsprechend dem Reziprokwert der Wurzel des Schalttaktes f nachgestimmt wird. Einfacher ausgedrückt: halbiert sich zum Beispiel der Schalttakt der Oszillatorschaltung 160, springt also die Periodendauer des Schalttaktes f durch das erste Zufallssignal Vn1 kurzfristig um den Faktor 2 nach oben, muss der Abschaltstrom in diesem Schaltzyklus über die Steuerspannung Vcomp um den Faktor Wurzel von Zwei von einer mittleren Steuerspannung Vmean in Abwesenheit des ersten Zufallssignals Vn1 kurzfristig erhöht werden, also Vcomp = Vmean x 1,41. Der Betrag des zweiten Zufallssignals Vn2 entspricht in diesem Fall also mathematisch der Quadratwurzel des Betrags des ersten Zufallssignals Vn1, also $Vn2 = \sqrt{Vn1}$. Anschaulich entspricht dies einem vergrößertem Tastverhältnis des Schaltelements 120 bei verkleinertem Schalttakt der Oszillatorschaltung 160 und umgekehrt.

Der Mittelwert Vmean der Steuerspannung Vcomp selbst wird, wie oben beschrieben, von der Regelgröße Vcontrol bestimmt. Das bedeutet unter anderem, dass in dieser Betriebsart die Steuerspannung Vcomp alleine nicht den vollen Abschaltstrom des Transistors Qp, der der vollen Aussteuerung des Übertragers T entspricht, einstellen darf. Ansonsten bliebe für das Rauschen des Rauschgenerators 190 keine Aussteuerungsreserve

übrig. Dies ist insbesondere bei der hier interessierenden niedrigen Ausgangsleistung des Schaltnetzteils 100 jedoch kein Problem.

5 In der Figur 3 sind die Schritte eines Verfahrens 300 zum Betrieb des Schaltnetzteils 100 noch einmal schematisch dargestellt.

In einem ersten Schritt 310 wird eine Regelgröße $V_{control}$ der sekundären Ausgangsschaltung 140 bestimmt. Insbesondere wird im dargestellten Ausführungsbeispiel eine Steuerspannung bestimmt, die im Wesentlichen kurzfristig proportional einer Differenz aus einer Sollausgangsspannung abzüglich einer momentanen Ausgangsspannung V_{out+} der sekundären Ausgangsschal-
15 tung 140 ist.

In einem Schritt 320 wird ein mittlerer Oszillatortakt in Abhängigkeit der im Schritt 310 bestimmten Regelgröße $V_{control}$ bestimmt. Insbesondere wird im Ausführungsbeispiel ein mittlerer Schalttakt durch Bereitstellung des Steuersignals V_f durch die Steuerschaltung 150 für die regelbare Oszillatorschaltung 160 eingestellt. Im Ausführungsbeispiel beginnt das
20 Steuersignal V_f bei einer durch den Widerstand R_{tp} vorgegebenen minimalen Spannung und steigt dann weitgehend linear mit der Regelgröße $V_{control}$ an. Selbstverständlich sind auch andere Funktionen, bei digitaler Steuerung insbesondere ein schrittweise Erhöhen des Steuersignals V_f in Abhängigkeit der Regelgröße $V_{control}$ möglich.

30 In einem weiteren Schritt 330 wird eine zufällige Abweichung von dem mittleren Oszillatortakt bestimmt. Im beschriebenen Ausführungsbeispiel wird hierzu ein erstes Zufallssignal V_{n1} zum Verstellen einer Schaltschwelle der Oszillatorschaltung

160 durch den Rauschgenerator 190 bereitgestellt. In einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Bandbreite des Rauschsignals so gewählt, dass sie in etwa dem Umfang von ein bis zwei Oktaven bezogen auf den mittleren Oszillatortakt entspricht.

5 Im Bereich oberhalb von 20 kHz kann das bereitgestellte erste Zufallssignal V_{n1} optional in der Amplitude durch die Regelgröße $V_{control}$ der Ausgangsschaltung 140 reduziert werden, da die Regelgröße $V_{control}$ ein Maß der Ausgangslast am Spannungsausgang V_{out+} und damit auch des mittleren Oszillatortakts ist.

10

In einem weiteren Schritt 340 wird ein Einschaltzeitpunkt eines Schaltelements 120 zum Laden des Speicherelementes 130 des Schaltnetzteils 100 bestimmt. Der Einschaltzeitpunkt für

15 das Schaltelement 120 wird dabei in Abhängigkeit sowohl des mittleren Oszillatortakts der Oszillatorschaltung 160 als auch in Abhängigkeit der zufälligen Abweichung, die durch den Rauschgenerator 190 vorgegeben wird, bestimmt. Im Ausführungsbeispiel wird der mit dem mittleren Oszillatortakt arbeitende Oszillatorschaltung 160 bei Überschreiten bei der

20 durch den Rauschgenerator 190 vorgegebenen Schaltschwelle einen Schaltimpuls am Setzeingang S der Pulsweitensteuerung 270 bereitstellen, die den Transistor Q_p einschaltet.

25 In einem weiteren Schritt 350 wird das Schaltelement 120 in Abhängigkeit der Regelgröße $V_{control}$ abgeschaltet. Hierzu wird im beschriebenen Ausführungsbeispiel eine Steuerspannung V_{comp} über die Steuerschaltung 150 an den Vergleicher 180 bereitgestellt, der diese mit einer aktuellen Knotenspannung

30 V_{shunt} zwischen dem Schalttransistor Q_p und dem Widerstand R_{shunt} vergleicht. Über den Vergleicher 180 kann somit festgestellt werden, wann der Stromfluss durch die primärseitige Spule des Übertragers T und somit durch den Transistor Q_p ei-

nen durch die Steuerschaltung 150 vorgegebenen Referenzwert überschreitet. Wird dieser Referenzwert überschritten, stellt der Vergleicher 180 ein geeignetes Steuersignal an dem Rücksetzeingang R der Pulsweitensteuerung 170 bereit, um das
5 Schaltelement 120 zu öffnen.

Das oben beschriebene Verfahren 30 stellt sicher, dass ein Schaltnetzteil 100 bei geringer Ausgangsleistung mit einem Schalttakt in einem niederfrequenten Bereich, insbesondere im
10 hörbaren Bereich, betrieben wird und dadurch sehr niedrige Schaltverluste aufweist. Gleichzeitig verursacht der Betrieb des Schaltnetzteiles auch bei verhältnismäßig niedrigem Schalttakt nur ein leichtes Rauschen mit niedrigem Pegel und ist daher gar nicht oder kaum hörbar.

15

Bei Schalttakten oberhalb des hörbaren Bereichs von etwa 20 kHz ist eine Modulation des Schalttaktes der Oszillatorschaltung 160 um ein bis zwei Oktaven selbstverständlich nicht erforderlich und schränkt die übertragbare Leistung durch die
20 zusätzlich nötige Modulation des Abschaltstroms ein. Dies ergibt sich aus der oben dargestellten Betrachtung, weil bei einem beispielsweise minimalen Momentanschalttakt der Oszillatorschaltung 160 der Abschaltstrom des Transistors Q_p und damit der Strom des durch den Übertrager T zum Ausgleich auf
25 einen höheren Stromwert als bei einem höheren Schalttakt eingestellt werden soll. Die maximale Leistung des Netzteils 100 würde aber bei einem maximalen Schalttakt und einem gleichzeitigen maximalen Strom des Übertragers T erreicht. Bei 50 Prozent der Vollaussteuerung und höchstem Schalttakt der Os-
30 zillatorschaltung 160 wird dagegen nur ein Viertel der maximalen Leistung erreicht.

In einer bevorzugten Ausgestaltung kann die Modulationsbandbreite der Oszillatorschaltung 160 oberhalb von beispielsweise 25 kHz daher von zwei Oktaven auf einen deutlich niedrigeren Wert beschränkt oder vollständig abgeschaltet werden. Um
5 keine Unstetigkeit in der Regelung einzuführen, sollte die Beschränkung der Rauschbandbreite dabei monoton und bevorzugt linear mit dem mittleren Oszillatortakt erfolgen.

Dies kann beispielsweise dadurch verwirklicht werden, dass
10 die Vollaussteuerung der Steuerspannung V_{comp} entsprechend dem Abschaltstrom durch die Regelgröße $V_{control}$ bei hoher Last bis zum vollen Endstrom des Übertragers T erfolgt und eine zusätzliche, in der Figur 1 nicht dargestellte Erkennungsschaltung eingeführt wird, die das erneute Einschalten
15 des Transistors Q_p über die Oszillatorschaltung 160 solange verhindert, bis der Übertrager T danach wieder vollständig abmagnetisiert ist. Dadurch wird indirekt eine Begrenzung des maximalen Schalttaktes f eingeführt, so dass bei hoher Last des Netzteils 100 die Modulation durch das Rauschen des
20 Rauschgenerators 190 immer kleiner wird. Bei sehr niedriger Last ist dagegen der Takt f so niedrig, dass das erneute Einschalten des Transistors Q_p ausschließlich durch die Oszillatorschaltung 160 bestimmt wird, mit einer durch das Rauschen des Rauschgenerators 190 hervorgerufenen Bandbreite von bei-
25 spielsweise zwei Oktaven.

Eine weitere Alternative oder zusätzliche Ausgestaltung besteht darin, die Amplitude des Rauschgenerators 190 dann ab-
30 zusenken, wenn der Schalttakt f oberhalb des hörbaren Bereichs liegt. Die volle Bandbreite von zum Beispiel zwei Oktaven ist bei einem Schalttakt von 5 bis 20 kHz beispielsweise noch vorteilhaft, während eine Variation von zum Beispiel 10 kHz bis 40 kHz nicht mehr nötig ist, da man Signalanteile

oberhalb von 20 kHz nicht mehr wahrnimmt. Hier wäre demnach eine Oktave bereits ausreichend, um das durch das Absenken des Arbeitstaktes der Oszillatorschaltung 160 erzeugte Stör-signal zu verdecken.

5

Die Reduzierung der Bandbreite kann durch die in der Figur 1 gestrichelt eingezeichnete Verbindung zwischen der Regelgröße Vcontrol und dem Rauschgenerator 190 erfolgen. Bei hoher Last am Ausgang Vout+ der sekundären Ausgangsschaltung 140 hat die
10 Ausgangsspannung Vout+ eine Tendenz, abzusinken. Der Regler N reduziert daraufhin den Strom durch der Leuchtdiode U1a und die Regelgröße Vcontrol in Form der Spannung am Knoten zwischen dem Phototransistor U1b und dem Widerstand Rcont wird verhältnismäßig groß. In diesem Fall muss die Oszillator-
15 schaltung 160 einen relativ hohen Schalttakt f aufweisen. Bei dieser Bedingung wird dann die maximale Amplitude des ersten Zufallssignals Vn1 des Rauschgenerators 190 reduziert werden, von beispielsweise zwei Oktaven bei minimaler Ausgangsleistung, also zum Beispiel von einem Verhältnis von 1:4 oder
20 plus 300 Prozent, auf beispielsweise nur noch plus Zehn Prozent oder sogar Null Prozent bei maximaler Ausgangsleistung. Die weitere Absenkung der Amplitude des Zufallssignals trägt dabei auch zu einer verbesserten Funkentstörung bei.

25 Das Schaltnetzteil 100 sowie das Regelverfahren 300 wurden zuvor unter Bezugnahme auf eine diskrete, analoge Schaltung beschrieben. Selbstverständlich lassen sich alle zuvor beschriebenen Steuermaßnahmen auch mit Hilfe geeigneter digitaler Steuerkomponenten, insbesondere in Form von Steuercode
30 eines Mikrocontrollers umsetzen. Somit können insbesondere Mikrocontroller zur Steuerung von Schaltnetzteilen derart programmiert werden, dass sie das Verfahren 300 durchführen

und somit einen verbesserten Wirkungsgrad im Bereich einer niedrigen Ausgangsleistung erreichen.

Des Weiteren sind die beschriebenen Steuermaßnahmen und
5 Schaltungsmodifikationen nicht auf den zuvor beschriebenen Sperrwandler beschränkt, sondern lassen sich auch auf weitere Schaltnetzteiltypen wie insbesondere Durchflusswandler, Tiefsetzsteller und Hochsetzsteller anwenden. Selbstverständlich sind dabei auch Schaltungen möglich, die mehr als ein Schalt-
10 und/oder Speicherelement oder sogar mehrere sekundäre Ausgangsschaltungen aufweisen. Beispielsweise kann die oben beschriebene Schaltung derart abgewandelt werden, dass bei einem Gegentaktwandler die Schaltfrequenz von zwei oder mehr Schaltelementen gemäß den Vorgaben eines Zufallssignals vari-
15 iert wird. Ebenfalls können andere Speicherelemente wie insbesondere Speicherkondensatoren oder Spulen Verwendung finden.

Bezugszeichenliste

	100	Schaltnetzteil
	110	primäre Eingangsschaltung
5	120	Schaltelement
	130	Speicherelement
	140	sekundäre Ausgangsschaltung
	150	Steuerschaltung
	160	regelbare Oszillatorschaltung
10	170	Pulsweitensteuerung
	180	Vergleicher
	190	Rauschgenerator
	200	Schaltnetzteil
	210	primäre Eingangsschaltung
15	220	Schaltelement
	230	Speicherelement
	240	sekundäre Ausgangsschaltung
	250	Steuerschaltung
	260	Oszillatorschaltung
20	270	Pulsweitensteuerung
	280	Vergleicher
	300	Verfahren
	310 bis 350	Verfahrensschritte
25		
	Vcomp	Steuerspannung
	Vcontrol	Regelgröße
	Vout+	Ausgangsspannung
	Vprim	Gleichspannung
30	Vshunt	Knotenspannung
	Vf	Steuersignal
	Vn1	erstes Zufallssignal
	Vn2	zweites Zufallssignal

Patentansprüche

1. Schaltnetzteil (100) für einen Computer oder dergleichen umfassend:
 - 5 - wenigstens ein Schaltelement (120) zum Schalten eines Ladestroms zum Laden eines Speicherelementes (130);
 - wenigstens eine sekundäre Ausgangsschaltung (140) zum Bereitstellen einer Ausgangsspannung (V_{out+});
 - wenigstens eine regelbare Oszillatorschaltung (160) zum
10 Bereitstellen eines Schalttaktes; und
 - wenigstens eine Steuerschaltung (150) zum Bestimmen eines Ausschaltzeitpunkts für das wenigstens eine Schaltelement (120);wobei im Betrieb des Schaltnetzteils (100) ein mittlerer
15 Oszillatortakt der Oszillatorschaltung (160) in Abhängigkeit einer Regelgröße ($V_{control}$) der sekundären Ausgangsschaltung (140) geregelt wird und ein Einschaltzeitpunkt für das wenigstens ein Schaltelement (120) in Abhängigkeit von dem mittleren Oszillatortakt und einer zufälligen
20 Abweichung bestimmt wird.
2. Schaltnetzteil (100) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
der mittlere Oszillatortakt in Abhängigkeit einer Ausgangsleistung der sekundären Ausgangsschaltung geregelt
25 wird, wobei der mittlere Oszillatortakt monoton mit der Ausgangsleistung ansteigt.
3. Schaltnetzteil (100) nach Anspruch 1 oder 2,
30 dadurch gekennzeichnet, dass
die Bandbreite der zufälligen Abweichung bezogen auf den mittleren Oszillatortakt mindestens eine Oktave umfasst.

4. Schaltnetzteil (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass
der Ausschaltzeitpunkt zusätzlich in Abhängigkeit der zufälligen Abweichung geregelt wird, derart dass bei einem
5 Ansteigen des Schalttaktes auf einen Wert oberhalb des mittleren Oszillatortaktes ein Tastverhältnis des wenigstens einen Schaltelements (120) verringert und bei einem Abfallen des Schalttaktes auf einen Wert unterhalb des mittleren Oszillatortaktes das Tastverhältnis des wenigstens
10 einen Schaltelements (120) vergrößert wird.
5. Schaltnetzteil (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet durch einen Rauschgenerator (190) zum Erzeugen wenigstens eines Zufallssignals (V_{n1} , V_{n2}) zum
15 Bestimmen der zufälligen Abweichung.
6. Schaltnetzteil (100) nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass
durch den Rauschgenerator (190) das wenigstens eine Zufallssignal (V_{n1} , V_{n2}) für jeden Schalttakt der Oszillatorschaltung (160) neu erzeugt wird.
20
7. Schaltnetzteil (100) nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass
25 der Rauschgenerator (190) dazu eingerichtet ist, eine maximale Amplitude des wenigstens einen Zufallssignals (V_{n1} , V_{n2}) in Abhängigkeit der Regelgröße ($V_{control}$) zu bestimmen.
- 30 8. Betriebsverfahren (30) für ein Schaltnetzteil (100), umfassend die Schritte:
- Bestimmen wenigstens einer Regelgröße ($V_{control}$) einer sekundären Ausgangsschaltung (140);

- Bestimmen eines mittleren Oszillatortaktes in Abhängigkeit der wenigstens einen bestimmten Regelgröße (Vcontrol);
 - Festlegen einer zufälligen Abweichung von dem mittleren Oszillatortakt;
 - Einschalten eines Schaltelements (120) zum Laden eines Speicherelements (130) in Abhängigkeit von dem mittleren Oszillatortakt und der zufälligen Abweichung; und
 - Ausschalten des Schaltelements (120) in Abhängigkeit der wenigstens einen bestimmten Regelgröße (Vcontrol).
9. Verfahren nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch den Schritt:
- gegenläufiges Anpassen einer Einschaltdauer des Schaltelements (120) bezogen auf einen Schalttakt des Schaltelements (120).
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass im Schritt des Ausschaltens zusätzlich die festgelegte zufällige Abweichung derart berücksichtigt wird, dass für eine gegebene Ausgangsleistung des Schaltnetzteils (100) in jedem Schaltzyklus des Schaltelements (120) im Wesentlichen dieselbe Energie an das Speicherelement (130) übertragen wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei der Schritt des Ausschaltens des Schaltelements (120) folgende Schritte umfasst:
- Bestimmen eines maximalen Ladestroms für das wenigstens eine Speicherelement (130) in Abhängigkeit einer momentanen Ausgangsleistung der sekundären Ausgangsschaltung (140);

- Bestimmen eines momentanen Ladestroms des mindestens einen Speicherelements (130);
 - Vergleichen des momentanen Ladestroms mit dem maximalen Ladestrom; und
- 5 - Ausschalten des Schaltelements (120), wenn der momentane Ladestrom den maximalen Ladestrom übersteigt.
12. Verwendung eines Schaltnetzteils (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 7 in einem Computer, wobei der mittlere Oszillatortakt in einem voll ausgelasteten Zustand des Computers oberhalb einer oberen Hörschwelle eines menschlichen Benutzers und in einem Bereitschaftszustand des Computers unterhalb der oberen Hörschwelle des menschlichen Benutzers liegt.
- 10

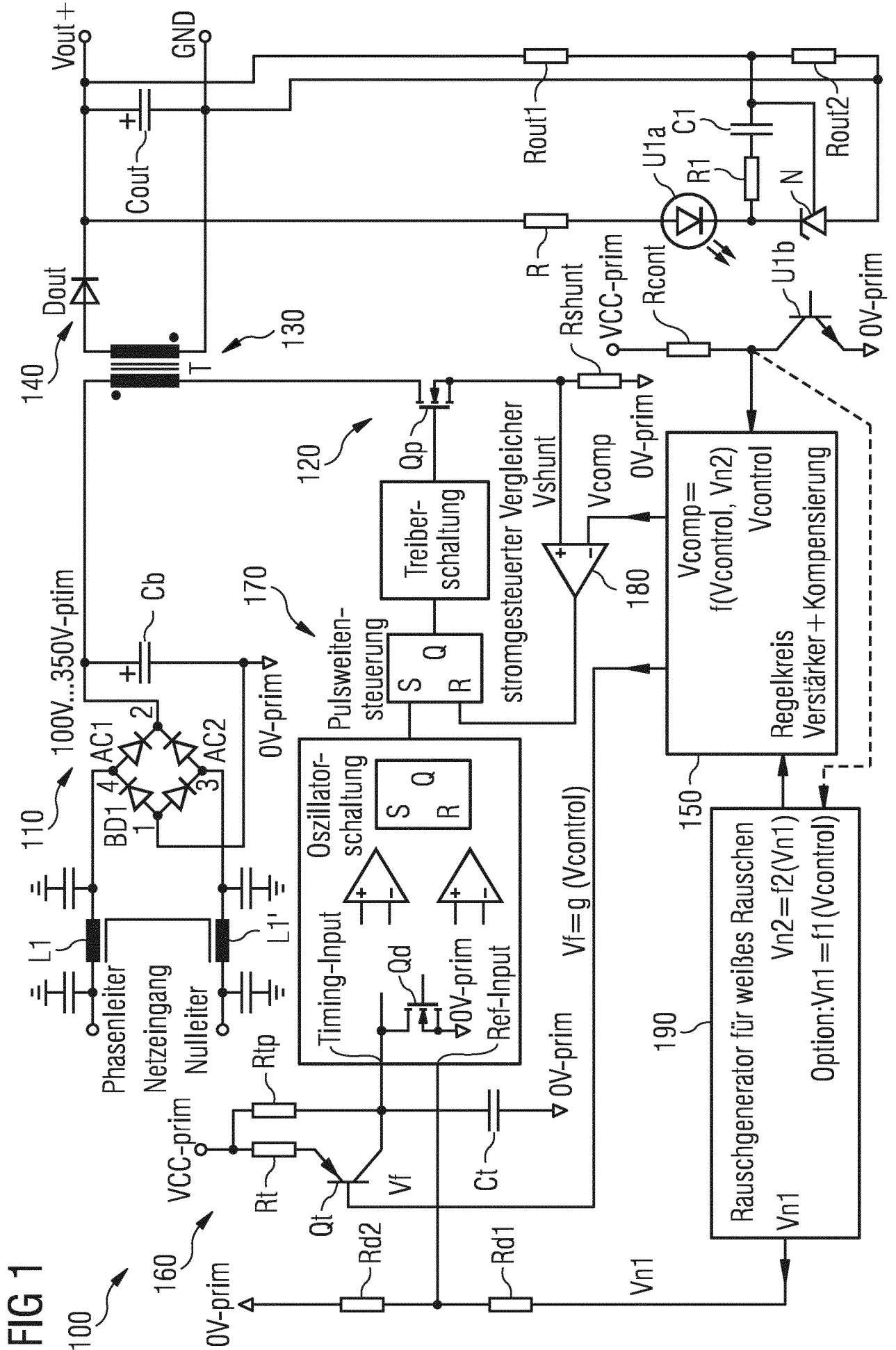


FIG 2

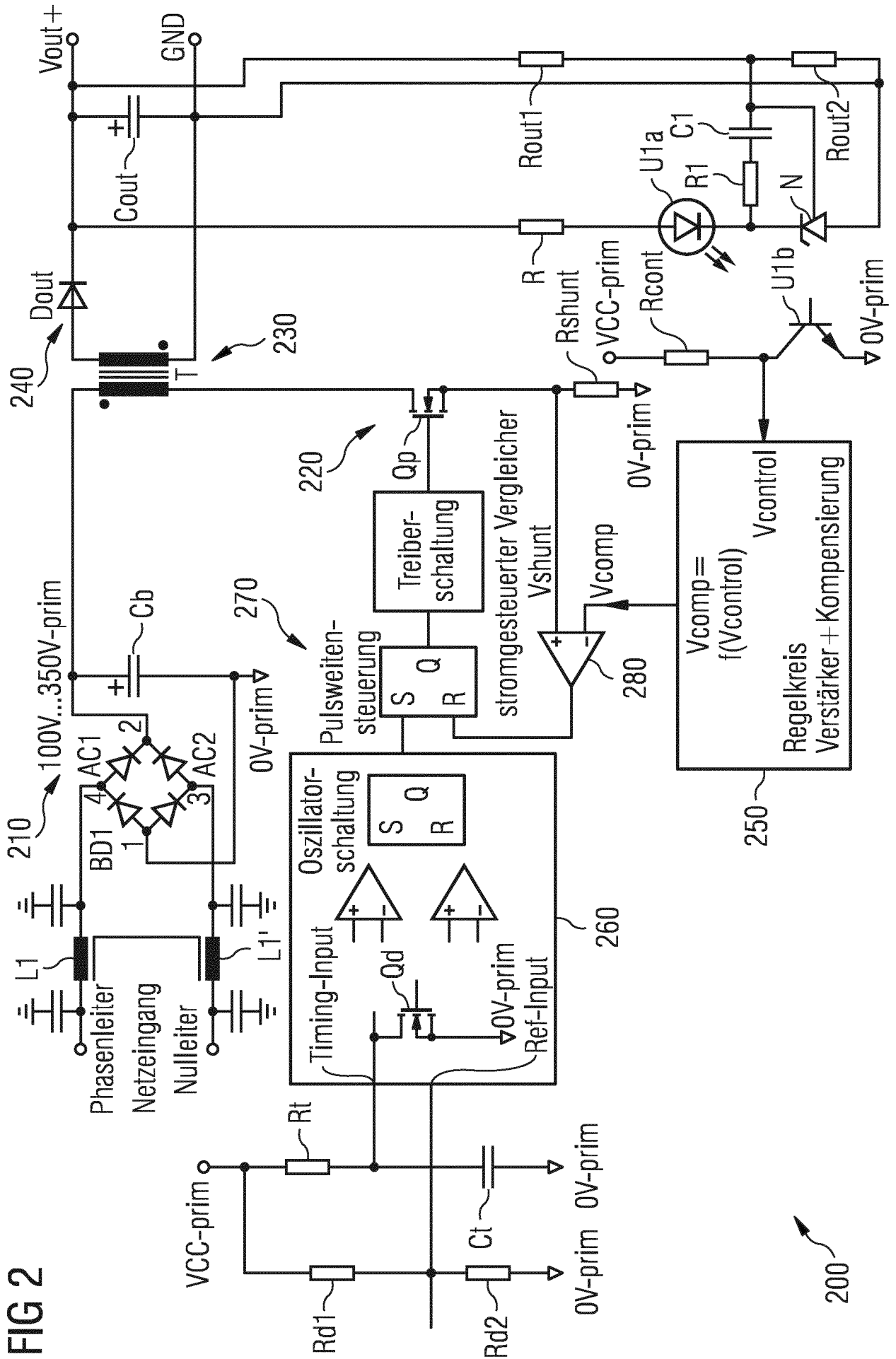


FIG 3

