

Beschreibung

Hintergrund

[0001] Photovoltaikzellen erzeugen eine Spannung, die mit dem Strom, den Zellen-Betriebsbedingungen, der Zellenphysik, Zellendefekten und Zellenbeleuchtung variiert. Ein mathematisches Modell für eine Photovoltaikzelle, wie sie in **Fig. 1** dargestellt ist, modelliert den Ausgangsstrom als:

$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(V + IR_S)}{nkT} \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_S}{R_{SH}} \quad \text{Gl. 1}$$

worin

I_L	= photogenerierter Strom
R_S	= Reihenwiderstand
R_{SH}	= Nebenschlusswiderstand
I_0	= Sättigungs-Rückwärtsstrom
n	= Dioden-Idealitätsfaktor (1 für eine ideale Diode)
q	= Elementarladung
k	= Boltzmann-Konstante
T	= absolute Temperatur
I	= Ausgangsstrom an Zellenklemmen
V	= Spannung an Zellenklemmen
	Für Silizium bei 25 °C: $kT/q = 0,0259$ V.

[0002] Typische Zellen-Ausgangsspannungen sind niedrig und hängen von der Bandlücke des zum Herstellen der Zelle verwendeten Materials ab. Die Zellen-Ausgangsspannungen können bei Siliziumzellen nur ein halbes Volt betragen, weit unterhalb der zum Laden von Batterien oder zum Treiben der meisten anderen Lasten benötigten Spannung. Wegen dieser niedrigen Spannungen sind Zellen typischerweise miteinander in Reihe geschaltet, um ein Modul oder eine Anordnung mit einer viel höheren Ausgangsspannung als der durch eine einzelne Zelle erzeugten zu bilden. Außerdem sind manchmal zwei oder mehr Strings aus mehreren Photovoltaikzellen elektrisch parallel geschaltet, um die Kapazität zu erhöhen.

[0003] Photovoltaikzellen in der realen Welt weisen oft einen oder mehrere mikroskopische Defekte auf. Diese Zelldefekte können Fehlanpassungen von Reihenwiderstand R_S , Nebenschlusswiderstand R_{SH} und photogeneriertem Strom I_L von Zelle zu Zelle in einem Modul verursachen. Weiter kann die Zellenbeleuchtung von Zelle zu Zelle in einem System von Photovoltaikzellen variieren und kann sogar von Zelle zu Zelle in einem Modul variieren, aus Gründen, wie etwa von Bäumen geworfenen Schatten, Vogelkot, der Teile einer Zelle oder eines Moduls abschattet, Staub, Schmutz und anderen Effekten. Diese Fehlanpassungen bei der Beleuchtung können von Tag zu Tag und mit der Tageszeit variieren – ein Schatten kann sich während eines Tages über einem Modul verschieben, und Regen kann Staub oder Schmutz wegwaschen, der eine Zelle abschattet.

[0004] Nach Gl. 1 ist die Ausgangsspannung am größten bei Ausgangsstrom null, und die Ausgangsspannung V fällt nichtlinear mit steigendem Ausgangsstrom I ab. **Fig. 2** stellt den Effekt steigenden Stroms dar, der aus einer Photovoltaikvorrichtung bei konstanter Beleuchtung gezogen wird. Wenn der Strom I unter konstanter Beleuchtung erhöht wird, fällt die Spannung V langsam ab, aber wenn der Strom I auf einen Ausgangsstrom nahe dem Photostrom I_L erhöht wird, fällt die Ausgangsspannung V scharf ab. Ähnlich erhöht sich die Zellenleistung, das Produkt aus Strom und Spannung, wenn sich der Strom I erhöht, bis die abfallende Spannung V den Effekt des steigenden Stroms überwindet, worauf weitere Erhöhungen des aus der Zelle gezogenen Stroms I bewirken, dass sich die Leistung P rapide verringert. Bei einer gegebenen Beleuchtung weist jede Zelle, jedes Modul und jede Anordnung von Zellen und Modulen daher einen Maximum Power Point (MPP, Punkt maximaler Leistung) auf, der die Spannungs-Strom-Kombination darstellt, bei der die Ausgangsleistung aus der Vorrichtung maximiert ist. Der MPP einer Zelle, eines Moduls oder einer Anordnung ändert sich mit der Temperatur und der Beleuchtung, und daher ändert sich der photogenerierte Strom I_L . Der MPP einer Zelle, eines Moduls oder einer Anordnung kann auch durch Faktoren wie Abschatten und/oder Altern der Zelle, des Moduls oder der Anordnung beeinflusst werden.

[0005] Regler für das Maximum Power Point Tracking (MPPT) zum Betreiben einer Photovoltaikvorrichtung bei oder nahe ihrem Maximum Power Point wurden vorgeschlagen. Diese Regler bestimmen typischerweise eine MPP-Spannung und einen -Strom für eine an ihren Eingang angeschlossene Photovoltaikvorrichtung und justieren ihre effektive Impedanz, um die Photovoltaikvorrichtung beim MPP zu halten.

[0006] Photovoltaikvorrichtungen werden typischerweise einem oder mehreren Fertigungstests unterworfen. Zum Beispiel wird eine Photovoltaikvorrichtung oft unter Verwendung eines „Flashtests“ gekennzeichnet, bei dem die Vorrichtung Licht bekannter Lichtstärke ausgesetzt wird, wie etwa aus einer Lichtquelle von „1 Sonne“ (1000 Watt pro Quadratmeter), während eine Last der Vorrichtung von Leerlauf bis Kurzschluss oder umgekehrt durchläuft. Spannungs- und Stromdaten werden während des Lastdurchlaufs aufgezeichnet, und Leerlaufspannung (Voc), Kurzschlussstrom (Isc) und Leistung am Maximum Power Point (Pmp) der Vorrichtung werden aus den aufgezeichneten Daten bestimmt. Diese Kenngrößen der Vorrichtung werden zum Beispiel verwendet, um die Qualität der Vorrichtung sicherzustellen und/oder Vorrichtungen gemäß Voc, Isc und/oder Pmp auszusortieren.

[0007] Als weiteres Beispiel werden Photovoltaikvorrichtungen oft einmal oder mehrmals während der Fertigung der Vorrichtung „Elektrolumineszenz-Prüfungen“ (EL-Prüfungen) unterworfen. Die EL-Prüfung umfasst Treiben eines Prüfstroms durch die Photovoltaikvorrichtung in einer Richtung entgegengesetzt zu der, in der der Strom normalerweise durch die Vorrichtung fließt, und dadurch Veranlassen der Vorrichtung, infrarotes Licht auszusenden. Das infrarote Licht wird abgebildet, um Fehlstellen der Vorrichtung zu erkennen, wie etwa Risse in der Vorrichtung, und trägt dadurch dazu bei, die Qualität der Vorrichtung sicherzustellen.

[0008] Eine Photovoltaikvorrichtung kann auch Rückwärtsstrom ausgesetzt werden, d.h. Strom, der durch die Vorrichtung in einer entgegengesetzten Richtung zu der im Normalbetrieb fließt. Man betrachte zum Beispiel ein Szenario, in dem ein erster und ein zweiter String von Photovoltaikvorrichtungen elektrisch parallel geschaltet werden und jeder String mehrere in Reihe geschaltete Photovoltaikvorrichtungen enthält. Vorwärtsstrom fließt durch beide Strings, falls die Strings identische Strom-Spannungs-Kennlinien aufweisen, wobei die Strom-Spannungs-Kennlinie eines Strings sowohl von seinen physikalischen Eigenschaften als auch seinen Betriebsbedingungen abhängt. Man betrachte zum Beispiel eine Situation, in der der erste String starkem Sonnenlicht ausgesetzt ist und der zweite String hauptsächlich abgeschattet ist. Dieser Beleuchtungsunterschied bewirkt, dass der erste String einen größeren photogenerierten Strom erzeugt als der zweite String, sodass die Strings verschiedene Strom-Spannungs-Kennlinien aufweisen, die möglicherweise dazu führen, dass Rückwärtsstrom durch den zweiten String fließt.

Zusammenfassung

[0009] In einer Ausführungsform enthält ein Verfahren zum Betreiben eines Reglers für das Maximum Power Point Tracking (MPPT-Reglers), der einen Schaltkreis enthält, ausgelegt, Leistung zwischen einem Eingangsanschluss und einem Ausgangsanschluss zu übertragen, folgende Schritte: (a) in einem ersten Betriebsmodus des MPPT-Reglers Veranlassen einer ersten Schaltvorrichtung des Schaltkreises, bei einem festen Tastverhältnis zu arbeiten; und (b) in einem zweiten Betriebsmodus des MPPT-Reglers Veranlassen einer Regel-Schaltvorrichtung des Schaltkreises, wiederholt zwischen ihrem leitenden und nichtleitenden Zustand umzuschalten, um einen aus einer an den Eingangsanschluss elektrisch angeschlossenen Photovoltaikvorrichtung ausgekoppelten Leistungsbetrag zu maximieren.

[0010] In einer Ausführungsform enthält ein Verfahren zum Prüfen einer mit einem Eingangsanschluss eines Reglers für das Maximum Power Point Tracking (MPPT-Reglers) elektrisch verbundenen Photovoltaikvorrichtung, wobei der MPPT-Regler einen dafür ausgelegten Schaltkreis enthält, Leistung zwischen dem Eingangsanschluss und einem Ausgangsanschluss des MPPT-Reglers zu übertragen, folgende Schritte: (a) Treiben eines Prüfstroms in den Ausgangsanschluss des MPPT-Reglers; (b) Erkennen des Vorhandenseins des Prüfstroms; und (c) als Reaktion auf das Erkennen des Vorhandenseins des Prüfstroms Veranlassen des Schaltkreises, einen Weg für den Prüfstrom vom Ausgangsanschluss zur Photovoltaikvorrichtung vorzusehen.

[0011] In einer Ausführungsform enthält ein Regler für das Maximum Power Point Tracking (MPPT-Regler) einen Eingangs- und einen Ausgangsanschluss, einen Schaltkreis, ausgelegt, Leistung zwischen dem Eingangs- und dem Ausgangsanschluss des MPPT-Reglers zu übertragen, und ein Regel-Untersystem. Das Regel-Untersystem ist ausgelegt, (a) in einem ersten Betriebsmodus des MPPT-Reglers eine erste Schaltvorrichtung des Schaltkreises zu veranlassen, bei einem festen Tastverhältnis zu arbeiten, und (b) in einem zweiten Betriebsmodus des MPPT-Reglers eine Regel-Schaltvorrichtung des Schaltkreises zu veranlassen, wiederholt zwischen ihrem leitenden und nichtleitenden Zustand umzuschalten, um einen aus einer an den Eingangs-

schluss elektrisch angeschlossenen Photovoltaikvorrichtung ausgekoppelten Betrag an elektrischer Leistung zu maximieren.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0012] Fig. 1 zeigt ein Modell einer Photovoltaikzelle.

[0013] Fig. 2 zeigt eine Kurve von Spannung und Leistung als Funktion des Stroms für eine Photovoltaikzelle.

[0014] Fig. 3 stellt ein Photovoltaik-Stromerzeugungssystem gemäß einer Ausführungsform dar, das einen MPPT-Regler enthält, der mindestens zwei Betriebsmodi umfasst.

[0015] Fig. 4 stellt EL-Testen einer Photovoltaikvorrichtung des Stromerzeugungssystems nach Fig. 3 gemäß einer Ausführungsform dar.

[0016] Fig. 5 stellt Flash-Testen der Photovoltaikvorrichtung des Stromerzeugungssystems nach Fig. 3 gemäß einer Ausführungsform dar.

[0017] Fig. 6 stellt Rückwärtsstrombetrieb der Photovoltaikvorrichtung des Stromerzeugungssystems nach Fig. 3 gemäß einer Ausführungsform dar.

[0018] Fig. 7 stellt ein mögliches Verfahren zum Betreiben des MPPT-Reglers nach Fig. 3 gemäß einer Ausführungsform dar.

[0019] Fig. 8 stellt gemäß einer Ausführungsform ein Verfahren zum Bestimmen dar, ob eine Betriebsart mit festem Tastverhältnis geeignet ist.

[0020] Fig. 9 stellt gemäß einer Ausführungsform ein weiteres Verfahren zum Bestimmen dar, ob eine Betriebsart mit festem Tastverhältnis geeignet ist.

[0021] Fig. 10 stellt gemäß einer Ausführungsform ein Verfahren zum Bestimmen dar, wann eine Betriebsart mit festem Tastverhältnis zu verlassen ist.

[0022] Fig. 11 stellt gemäß einer Ausführungsform ein weiteres Verfahren zum Bestimmen dar, wann eine Betriebsart mit festem Tastverhältnis zu verlassen ist.

[0023] Fig. 12 stellt gemäß einer Ausführungsform ein weiteres Photovoltaik-Stromerzeugungssystem dar, das einen MPPT-Regler enthält, der mindestens zwei Betriebsmodi umfasst.

[0024] Fig. 13 stellt gemäß einer Ausführungsform ein Photovoltaik-Stromerzeugungssystem dar, das mehrere MPPT-Regler enthält, wobei jeder MPPT-Regler mindestens zwei Betriebsmodi umfasst.

[0025] Fig. 14 stellt gemäß einer Ausführungsform ein Photovoltaik-Stromerzeugungssystem dar, das drei parallel geschaltete Strings des MPPT-Reglers von Fig. 3 umfasst.

[0026] Fig. 15 zeigt eine Kurve des Rückwärtsstroms über der Spannung für eine Photovoltaikzelle.

[0027] Fig. 16 zeigt gemäß einer Ausführungsform ein Beispiel einer linearen Ausgangs-Strom-Spannungskennlinie.

[0028] Fig. 17 zeigt gemäß einer Ausführungsform ein Beispiel einer nichtlinearen Ausgangs-Strom-Spannungskennlinie.

Genaue Beschreibung der Ausführungsformen

[0029] Wie oben beschrieben, kann ein MPPT-Regler benutzt werden, um eine Photovoltaikvorrichtung bei oder nahe ihrem MPP zu betreiben. Jedoch stören herkömmliche MPPT-Regler typischerweise bei der Fertigungsprüfung der Photovoltaikvorrichtung. Zum Beispiel können herkömmliche MPPT-Regler einen Rückwärts-Prüfstrom verhindern und/oder sich überhitzen, wenn sie der EL-Prüfung unterworfen werden. Als weiteres Beispiel ändern sich Übertragungskennlinien herkömmlicher MPPT-Regler während der Flash-Prüfung

und stören dadurch bei der Bestimmung von Voc, Isc und Pmp. Demgemäß können Photovoltaikvorrichtungen typischerweise während der Fertigungsprüfung der Vorrichtung nicht an herkömmliche MPPT-Regler elektrisch angeschlossen sein.

[0030] Diese Einschränkung herkömmlicher MPPT-Regler ist ein besonders ernster Nachteil in Anwendungen, in denen mehrere MPPT-Regler mit mehreren Photovoltaikvorrichtungen in einem Gehäuse zusammengebaut sind. In diesen Anwendungen sehen die MPPT-Regler typischerweise einen Teil der Zwischenverbindung zwischen den Photovoltaikvorrichtungen vor. Somit sind provisorische Steckverbinder erforderlich, um die Photovoltaikvorrichtungen während der Fertigungsprüfung miteinander zu verbinden, da die MPPT-Regler während der Prüfung nicht vorhanden sein können.

[0031] Außerdem können sich herkömmliche MPPT-Regler überhitzen oder anderweitig falsch arbeiten, wenn sie Rückwärtsstrom ausgesetzt sind. Demgemäß sind herkömmliche MPPT-Regler möglicherweise nicht für Anwendungen mit parallel geschalteten Strings geeignet.

[0032] Die Anmelder entwickelten jedoch MPPT-Regler, die eins oder mehrere der oben beschriebenen Probleme teilweise oder vollständig überwinden. Diese MPPT-Regler umfassen einen Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis, zusätzlich zu einem oder mehreren weiteren Betriebsmodi, und ermöglichen dadurch, dass die Regler während einer oder mehreren Fertigungsprüfungen und/oder mit Rückwärtsstrom verwendet werden. Zum Beispiel unterstützen bestimmte Ausführungsformen der Regler Flash- oder EL-Prüfungen. Demgemäß vereinfachen die hier beschriebenen neuen MPPT-Regler potenziell Fertigung und Prüfung von Photovoltaikvorrichtungen, insbesondere in Anwendungen, die eine Anzahl in einem Gehäuse zusammengebaute Photovoltaikvorrichtungen und MPPT-Regler enthalten.

[0033] Fig. 3 stellt ein Stromerzeugungssystem **300** dar, das einen MPPT-Regler **302** enthält, der zwischen einer Photovoltaikvorrichtung **304** und einer Last **306** elektrisch angeschlossen ist. Wie unten beschrieben, unterstützt der MPPT-Regler **302** zumindest einen Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis und einen MPPT-Betriebsmodus und ermöglicht dadurch potenziell die Fertigungsprüfung der Photovoltaikvorrichtung **304** mit daran elektrisch angeschlossenem MPPT-Regler **302** und unterstützt potenziell Rückwärtsstrombetrieb.

[0034] Der MPPT-Regler **302** enthält einen Eingangsanschluss **308**, enthaltend die Eingangsklemmen **310**, **312**, und einen Ausgangsanschluss **314**, enthaltend die Ausgangsklemmen **316**, **318**. Eine positive Klemme **320** der Photovoltaikvorrichtung **304** ist elektrisch an die Eingangsklemme **310** angeschlossen, und eine negative Klemme **322** der Photovoltaikvorrichtung **304** ist elektrisch an die Eingangsklemme **312** angeschlossen, sodass die Photovoltaikvorrichtung **304** mit dem Eingangsanschluss **308** elektrisch in Reihe geschaltet ist. Die Klemmen **310**, **320** bilden einen Teil eines positiven Versorgungsknotens oder einer Versorgungsschiene (V_{ddh}), und die Klemmen **312**, **322** bilden einen Teil eines Referenz-Versorgungsknotens oder einer -Versorgungsschiene (V_{ss}). Die Photovoltaikvorrichtung **304** ist zum Beispiel ein Photovoltaikmodul, enthaltend eine Vielzahl von miteinander verbundenen Photovoltaikzellen, eine Einfach-Photovoltaikzelle oder eine Mehrfach-Photovoltaikzelle.

[0035] Das System **300** enthält wahlweise einen oder mehrere Eingangskondensatoren **324**, die über dem Eingangsanschluss **308** elektrisch verbunden sind. Die Kondensatoren **324** helfen, die Welligkeitskomponente des Eingangsstroms I_{in} des Reglers **302** zuzuführen und tragen dadurch dazu bei, den Betrag des Welligkeitsstroms zu minimieren, der durch die Photovoltaikvorrichtung **304** fließt. Ein niedriger Betrag des Welligkeitsstroms durch die Photovoltaikvorrichtung **304** begünstigt wiederum effiziente Funktion der Vorrichtung. In bestimmten Ausführungsformen, in denen der MPPT-Regler **302** bei einer relativ hohen Frequenz schaltet, wie etwa bei 500 Kilohertz oder höher, sind die Kondensatoren **324** Vielschicht-Keramikkondensatoren, um geringe Kondensatorgröße und lange Kondensatorlebensdauer zu begünstigen.

[0036] Der MPPT-Regler **302** enthält einen Schaltkreis **326**, der über dem Eingangsanschluss **308** elektrisch verbunden ist. Der Schaltkreis **326** enthält eine Regel-Schaltvorrichtung **328**, die zwischen der Eingangsklemme **310** und einem Schaltknoten V_x elektrisch verbunden ist, und eine freilaufende Schaltvorrichtung **330**, die zwischen dem Schaltknoten V_x und der Eingangsklemme **312** elektrisch verbunden ist. Die Ausgangsklemme **316** ist mit dem Schaltknoten V_x elektrisch verbunden, und die Ausgangsklemme **318** ist mit der Eingangsklemme **312** elektrisch verbunden. In diesem Dokument umfasst eine Schaltvorrichtung, ohne darauf beschränkt zu sein, einen bipolaren Sperrschichttransistor, einen Feldeffekttransistor (z.B. einen N-Kanal- oder P-Kanal-Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (MOSFET)), wie etwa einen lateral diffundierten Metall-Oxid-Halbleiter-Transistor (LDMOS), einen Sperrschicht-Feldeffekttransistor, einen Metall-Halbleiter-Feldeffekttransistor), einen bipolaren Sperrschichttransistor mit isoliertem Gate, einen Thyristor oder einen steuerbaren Silizium-

gleichrichter. Obwohl die Schaltvorrichtungen **328**, **330** als N-Kanal-Anreicherungs-Feldeffekttransistoren gezeigt sind, könnten die Schaltvorrichtungen **328**, **330** durch alternative Schaltvorrichtungen ersetzt werden, ohne vom Geltungsbereich des Vorliegenden abzuweichen.

[0037] Die Last **306** ist mit dem Ausgangsanschluss **314** elektrisch in Reihe geschaltet, um einen Teil einer Ausgangsschaltung **332** zu bilden, die die Last **306** mit dem Schaltkreis **326** elektrisch verbindet. Die Last **306** enthält zum Beispiel einen Umrichter oder ein Batterieladegerät. Ein oder mehrere Ausgangskondensatoren **334** sind über der Last **306** elektrisch verbunden, um die Welligkeitskomponente des Ausgangsstroms I_{out} zu absorbieren. Die Kondensatoren **334** sind jedoch wahlweise in Ausführungsformen weggelassen, wo die Last **306** bedeutende Kapazität enthält, wie etwa in Ausführungsformen, wo die Last **306** ein Umrichter mit bedeutender Eingangskapazität ist. In bestimmten Ausführungsformen, in denen der MPPT-Regler **302** bei einer relativ hohen Frequenz schaltet, wie etwa bei 500 Kilohertz oder höher, sind die Kondensatoren **334** Vielschicht-Keramikkondensatoren, um geringe Kondensatorgröße und lange Kondensatorlebensdauer zu begünstigen. Die Ausgangsschaltung **332** enthält eine Energiespeicherinduktivität **336**. In einigen Ausführungsformen enthält die Energiespeicherinduktivität **336** eine oder mehrere diskrete Induktivitäten, wie in **Fig. 3** symbolisch gezeigt. Jedoch sind in einigen anderen Ausführungsformen diskrete Energiespeicherinduktivitäten weggelassen, und die zu einer Schleife, die die Ausgangsschaltung **332** bildet, gehörige „parasitäre“ Verbindungsinduktivität dient als Energiespeicherinduktivität **336**.

[0038] Der MPPT-Regler **302** enthält weiter ein Regel-Untersystem **338**. Der Schaltkreis **326**, die Energiespeicherinduktivität **336** und die Kondensatoren **334** bilden gemeinsam einen durch das Regel-Untersystem **338** geregelten Abwärtswandler. In einem MPPT-Betriebsmodus des Reglers **302** ist das Regel-Untersystem **338** ausgelegt, das Schalten des Schaltkreises **326** so zu regeln, dass der Abwärtswandler Leistung vom Eingangsanschluss **308** zum Ausgangsanschluss **314** überträgt und dadurch Leistung von der Photovoltaikvorrichtung **304** zur Last **306** überträgt. Genauer veranlasst das Regel-Untersystem **338** die Regel-Schaltvorrichtung **328**, wiederholt zwischen ihrem leitenden und nichtleitenden Zustand umzuschalten, typischerweise bei einer Frequenz von mindestens 100 Kilohertz, um Leistung vom Eingangsanschluss **308** zum Ausgangsanschluss **314** zu übertragen. Die Schaltvorrichtung **328** ist als „Regel“-Schaltvorrichtung bezeichnet, weil das Verhältnis von Eingangsspannung V_{in} zu Ausgangsspannung V_{out} über der Last **306** eine Funktion des Tastverhältnisses der Schaltvorrichtung **328** ist.

[0039] Das Regel-Untersystem **338** steuert auch das Schalten der freilaufenden Schaltvorrichtung **330** derart, dass sie eine freilaufende Funktion durchführt, oder mit anderen Worten, derart, dass die freilaufende Schaltvorrichtung **330** einen Pfad für den zwischen den Ausgangsklemmen **316**, **318** fließenden Ausgangsstrom I_{out} vorsieht, wenn sich die Regel-Schaltvorrichtung **328** in ihrem nichtleitenden Zustand befindet. In einigen alternativen Ausführungsformen ist die freilaufende Schaltvorrichtung **330** durch eine alternative freilaufende Vorrichtung ersetzt, wie etwa eine Diode, deren Anode mit dem Referenzknoten V_{ss} elektrisch verbunden ist, und deren Kathode mit dem Schaltknoten V_x elektrisch verbunden ist.

[0040] Der MPPT-Regler **302** enthält wahlweise weiter ein Stromrekonstruktions-Untersystem **340**, ausgelegt, ein Signal I_o zu erzeugen, das den Ausgangsstrom I_{out} darstellt, der aus dem Ausgangsanschluss **314** fließt. In einigen Ausführungsformen verwendet das Stromrekonstruktions-Untersystem **340** zum Erzeugen des Signals I_o Systeme und Verfahren, die in einem oder mehreren der US-Patente Nr. 6,160,441 und 6,445,244 an Stratakos et al. offenbart sind, von denen jedes hier durch Bezug aufgenommen ist. Jedoch kann das Stromrekonstruktions-Untersystem **340** auf andere Weisen ausgeführt sein, ohne vom Geltungsbereich des Vorliegenden abzuweichen. In einigen Ausführungsformen ist das Signal I_o für MPPT verwendet, um Prüfen der Photovoltaikvorrichtung **304** zu erkennen und/oder Rückwärtsstrom zu erkennen, d.h. wenn der Ausgangsstrom I_o einen negativen Wert aufweist.

[0041] Der MPPT-Regler **302** enthält weiter wahlweise einen Spannungsregler **342**, der aus V_{ddh}/V_{ss} einen „Eigenbetriebs“-Stromversorgungs-Knoten oder eine -Schiene (V_{cc}) erzeugt. V_{cc} ist zum Beispiel verwendet, um zumindest teilweise das Regel-Untersystem **338** zu versorgen, wie gezeigt.

[0042] Obwohl Eingangskondensatoren **324**, Ausgangskondensatoren **334** und Energiespeicherinduktivität **336** als extern zum MPPT-Regler **302** gezeigt sind, könnten eins oder mehrere dieser Bauteile im Regler **302** integriert sein, ohne vom Geltungsbereich des Vorliegenden abzuweichen. Außerdem ist einiges oder die Gesamtheit des MPPT-Reglers **302** in bestimmten Ausführungsformen in einer gemeinsamen integrierten Schaltung ausgeführt, um kleine Bauform, kleine parasitäre Impedanz zwischen Bauteilen und schnelle Signal-Übertragungszeiten zu begünstigen. In diesen Ausführungsformen ist die integrierte Schaltung wahlweise mit der Photovoltaikvorrichtung **304** in einem Gehäuse verpackt, um geringe Systembaugröße und minimale Im-

pedanz zwischen der Vorrichtung **304** und dem Regler **302** zu begünstigen. Jedoch ist der MPPT-Regler **302** nicht auf eine Ausführung als integrierte Schaltung beschränkt und könnte stattdessen teilweise oder vollständig aus diskreten Bauteilen ausgebildet sein.

[0043] Wie oben beschrieben, weist der MPPT-Regler **302** mindestens zwei Betriebsmodi auf, nämlich einen MPPT-Betriebsmodus und einen Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis. Im MPPT-Betriebsmodus veranlasst das Regel-Untersystem **338** die Regel-Schaltvorrichtung **328**, wiederholt zwischen ihrem leitenden und nichtleitenden Zustand umzuschalten, um zumindest im Wesentlichen einen aus einer Photovoltaikvorrichtung **304** ausgekoppelten und an die Last **306** gelieferten Leistungsbetrag zu maximieren. Zum Beispiel maximiert in einigen Ausführungsformen das Regel-Untersystem **338** die Leistung in den Eingangsanschluss **308** und maximiert dadurch die aus der Photovoltaikvorrichtung **304** ausgekoppelte Leistung. In einigen anderen Ausführungsformen maximiert das Regel-Untersystem **338** die Leistung aus dem Ausgangsanschluss **314**, was effektiv die aus der Photovoltaikvorrichtung **304** ausgekoppelte Leistung maximiert, da die Leistung aus dem Ausgangsanschluss **314** dieselbe ist wie die Leistung in den Eingangsanschluss **308**, wenn man Verluste im MPPT-Regler **302** vernachlässigt.

[0044] Der MPPT-Regler **302** kann ausgelegt sein, die Leistung des Eingangsanschlusses oder des Ausgangsanschlusses im MPPT-Betriebsmodus direkt zu maximieren. Zum Beispiel schätzt in einigen Ausführungsformen das Regel-Untersystem **338** die Eingangsleistung aus dem Produkt der Eingangsspannung V_{in} und des Eingangsstroms i_{in} und regelt den Betrieb des Schaltkreises **326**, um die Eingangsleistung zu maximieren. Als weiteres Beispiel schätzt das Regel-Untersystem **338** die Ausgangsleistung aus dem Produkt des Ausgangsstroms i_{out} und der Ausgangsspannung V_{out} oder des Mittelwerts der Schaltknoten-Spannung V_p und regelt den Betrieb des Schaltkreises **326**, um die Ausgangsleistung zu maximieren. Jedoch kann der MPPT-Regler **302** alternativ ausgelegt sein, die Eingangs- oder Ausgangsanschluss-Leistung durch Maximieren eines Signals zu maximieren, das sich auf Eingangs- oder Ausgangsanschluss-Leistung bezieht. Zum Beispiel maximiert der Regler **338** in einer bestimmten Ausführungsform, in der der Ausgangsstrom i_{out} im Wesentlichen konstant ist, die Ausgangsanschluss-Leistung durch Maximieren der Ausgangsspannung V_{out} oder eines Mittelwerts der Schaltknoten-/Ausgangsanschluss-Spannung V_p .

[0045] Im Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis veranlasst das Regel-Untersystem **338** die Regel-Schaltvorrichtung **328**, bei einem festen Tastverhältnis zu arbeiten, um eine bekannte Gleichstrom-Transformation zwischen Eingangsanschluss **308** und Ausgangsanschluss **314** zu erreichen. In vielen Ausführungsformen veranlasst das Regel-Untersystem **338** die Regel-Schaltvorrichtung **328**, bei einem großen festen Tastverhältnis zu arbeiten, wie etwa einem Tastverhältnis von neunzig Prozent oder hundert Prozent, um das Prüfen zu erleichtern und Verluste zu minimieren, wie unten beschrieben. Im Kontext dieses Dokuments bezieht sich „Tastverhältnis“ auf den Teil jedes Schaltzyklus, in dem eine Schaltvorrichtung in ihrem leitenden Zustand arbeitet. Man betrachte zum Beispiel ein Szenario, in dem die Regel-Schaltvorrichtung **328** zwischen ihrem leitenden und nichtleitenden Zustand bei einer Frequenz von 100 Kilohertz umschaltet, sodass die Schaltvorrichtung **328** eine Schaltperiode von zehn Mikrosekunden aufweist. Wenn die Regel-Schaltvorrichtung **328** neun Mikrosekunden von jeder Schaltperiode in ihrem leitenden Zustand arbeitet, weist die Regel-Schaltvorrichtung **328** ein Tastverhältnis von neunzig Prozent auf. Wenn die Regel-Schaltvorrichtung **328** durchgehend in ihrem leitenden Zustand arbeitet, weist die Regel-Schaltvorrichtung **328** ein Tastverhältnis von einhundert Prozent auf.

[0046] Das Betreiben der Regel-Schaltvorrichtung **328** bei einem festen Tastverhältnis erleichtert das Bestimmen von V_{oc} , I_{sc} und P_{mp} aus gemessenen i_{out} - und V_{out} -Werten während des Flash-Testens. Insbesondere arbeitet der MPPT-Regler **302** als fester Gleichspannungstransformator, wenn die Regel-Schaltvorrichtung **328** bei einem festen Tastverhältnis arbeitet, sodass die folgenden Beziehungen während des Betriebs im Modus kontinuierlicher Leitung gelten, wobei D das Tastverhältnis der Regel-Schaltvorrichtung **328** ist:

$$V_{out} = D \cdot V_{in} \quad \text{Gl. 2}$$

$$i_{out} = i_{in}/D \quad \text{Gl. 3}$$

[0047] Somit können Spannung und Strom der Photovoltaikvorrichtung **304** im Betrieb mit festem Tastverhältnis einfach durch Skalieren des Ausgangsspannungsmesswerts V_o und des Ausgangsstrommesswerts I_o um D bestimmt werden. Wenn der MPPT-Regler **302** dagegen während des Flash-Testens nicht bei einem festen Tastverhältnis arbeitete, wäre es schwierig, Spannung und Strom der Photovoltaikvorrichtung **304** aus den Messwerten für V_o und I_o zu bestimmen, da das Tastverhältnis aufgrund der MPPT-Funktion variieren würde.

[0048] Außerdem erleichtert Betreiben der Regel-Schaltvorrichtung **328** bei einem festen Tastverhältnis EL-Testen, indem ermöglicht wird, den Betrag des Prüfstroms durch die Photovoltaikvorrichtung **304** ohne weiteres zu bestimmen. Wie oben beschrieben, ist das Verhältnis von Regler-Eingangs- und -Ausgangsstrom eine Funktion des Tastverhältnisses. Somit kann der Betrag des EL-Prüfstroms durch die Photovoltaikvorrichtung **304** einfach durch Skalieren des Betrags des an den Ausgangsanschluss **314** angelegten EL-Prüfstroms bestimmt werden, wenn das Tastverhältnis fest ist. Wenn der MPPT-Regler **302** dagegen während des EL-Testens nicht bei einem festen Tastverhältnis arbeitete, wäre es schwierig, den Betrag des Stroms der Photovoltaikvorrichtung **304** aus dem an den Ausgangsanschluss **314** angelegten Strom zu bestimmen, da das Tastverhältnis aufgrund der MPPT-Funktion variieren würde.

[0049] Weiter erleichtert Betreiben der Regel-Schaltvorrichtung **328** bei einem großen Tastverhältnis Flash- und EL-Testen sowie Rückwärtsstrombetrieb, indem es niedrigen Betrag des Stroms begünstigt. Wie aus Gl. 3 bestimmt werden kann, ist der Betrag des Regler-Ausgangsstroms umgekehrt proportional zum Betrag des Regler-Eingangsstroms. Somit ist für einen gegebenen Betrag des Eingangsstroms der Betrag des Ausgangsstroms durch Betreiben bei einem großen Tastverhältnis minimiert, wie etwa einem Tastverhältnis von mindestens neunzig Prozent. Ein niedriger Betrag des Ausgangsstroms begünstigt wiederum niedrige Verluste des Reglers **302**, da sich Verluste im Regler **302** im Allgemeinen mit steigendem Betrag des Ausgangsstroms erhöhen. Niedrige Verluste im Regler **302** tragen dazu bei, Aufwärmung während Flash-Tests, EL-Tests und Rückwärtsstrombetrieb zu minimieren. Niedrige Verluste im Regler **302** tragen auch dazu bei, den während Flash-Tests und EL-Tests benötigten Betrag des Stroms zu minimieren. Niedrige Verluste des Reglers **302** können besonders wichtig während des EL-Testens sein, weil EL-Testen typischerweise einen relativ hohen Betrag des Prüfstroms erfordert.

[0050] Obwohl Rückwärtsstrombetrieb hier im Allgemeinen in Verbindung mit Betrieb mit festem Tastverhältnis beschrieben ist, sollte verstanden sein, dass das Tastverhältnis während des Rückwärtsstrombetriebs nicht fest zu sein braucht, da eine feste Gleichstromtransformation nicht erforderlich ist. Stattdessen muss das Tastverhältnis nur groß sein, wie etwa neunzig Prozent oder größer, um niedrige Verluste zu erreichen, wie oben beschrieben.

[0051] Fig. 4 zeigt ein Beispiel des EL-Testens der Photovoltaikvorrichtung **304** mit dem elektrisch daran angeschlossenen MPPT-Regler **302**. Eine elektrisch mit dem Ausgangsanschluss **314** in Reihe geschaltete Prüfstromquelle **402** injiziert einen Prüfstrom I_{test} in den Ausgangsanschluss **314**. I_{test} wird als „Rückwärts“-Prüfstrom betrachtet, weil er in den Ausgangsanschluss **314** in einer Richtung entgegengesetzt zu dem Ausgangsstrom I_{out} während des normalen Systembetriebs fließt. Der MPPT-Regler **302** arbeitet in seinem Modus mit festem Tastverhältnis, wobei das Regel-Untersystem **338** die Regel-Schaltvorrichtung **328** veranlasst, bei einem festen Tastverhältnis zu arbeiten und dadurch eine bekannte Gleichstrom-Transformation zwischen Eingangsanschluss **308** und Ausgangsanschluss **314** vorzusehen. Der Strom I_{test} fließt durch die Photovoltaikvorrichtung **304** in einer Richtung entgegengesetzt zu der des Normalbetriebs, was die Photovoltaikvorrichtung **304** veranlasst, Infrarotlicht **404** auszusenden, das zu Zwecken der Qualitätssicherung der Vorrichtung abgebildet wird. In Ausführungsformen, in denen die Energiespeicherinduktivität **336** aus einer oder mehreren diskreten Induktivitäten besteht, ist die Induktivität **336** wahlweise während der EL-Prüfung weggelassen.

[0052] Fig. 5 zeigt ein Beispiel des Flash-Testens der Photovoltaikvorrichtung **304** mit dem daran elektrisch angeschlossenen MPPT-Regler **302**. Eine Lichtquelle **502** projiziert Licht **504** bekannter Intensität auf die Photovoltaikvorrichtung **304**, während eine Last **506** von Leerlauf bis Kurzschluss durchläuft. Die Ausgangsspannung V_{out} und der Ausgangsstrom I_{out} werden während des Lastdurchlaufs aufgezeichnet, und diese Werte werden verwendet, um V_{oc} , I_{sc} und P_{mp} der Photovoltaikvorrichtung **304** zu bestimmen. Der MPPT-Regler **302** arbeitet während des Flash-Tests in seinem Modus mit festem Tastverhältnis, sodass das Regel-Untersystem **338** die Regel-Schaltvorrichtung **328** veranlasst, bei einem festen Tastverhältnis zu schalten. Betreiben der Regel-Schaltvorrichtung **328** bei einem festen Tastverhältnis sieht eine bekannte Gleichstromtransformation zwischen der Photovoltaikvorrichtung **304** und der Last **506** vor und erleichtert dadurch Messen des Ausgangsstroms I_{out} während des Lastdurchlaufs. In Ausführungsformen, in denen die Energiespeicherinduktivität **336** aus einer oder mehreren diskreten Induktivitäten besteht, ist die Induktivität **336** wahlweise während der Flash-Prüfung weggelassen.

[0053] Fig. 6 zeigt ein Beispiel des Rückwärtsstrombetriebs der Photovoltaikvorrichtung **304** mit dem elektrisch daran angeschlossenen MPPT-Regler **302**. Eine externe Schaltung (nicht gezeigt), wie etwa eine oder mehrere parallel geschaltete Photovoltaikvorrichtungen, treibt einen Rückwärtsstrom I_{reverse} in den Ausgangsanschluss **314**. I_{reverse} wird als „Rückwärts“-Strom betrachtet, weil er in den Ausgangsanschluss **314** in einer Richtung entgegengesetzt zum Ausgangsstrom I_{out} während des normalen Systembetriebs fließt. Der

MPPT-Regler **302** arbeitet in seinem Modus mit festem Tastverhältnis, wobei das Regel-Untersystem **338** die Regel-Schaltvorrichtung **328** veranlasst, bei einem großen Tastverhältnis zu arbeiten und dadurch einen Weg zum Fließen des Rückwärtsstroms I_{reverse} durch die Photovoltaikvorrichtung **304** vorzusehen. Wie oben beschrieben, ist für den Rückwärtsstrombetrieb kein festes Tastverhältnis erforderlich. Somit arbeitet in einigen alternativen Ausführungsformen die Regel-Schaltvorrichtung **328** bei einem großen, nicht festen Tastverhältnis, wie etwa neunzig Prozent oder größer, wenn sie I_{reverse} leitet.

[0054] Das Regel-Untersystem **338** ist wahlweise ausgelegt, ein Tastverhältnis der Regel-Schaltvorrichtung **328** zu veranlassen, bis zu seinem festen Tastverhältnis anzusteigen, wenn begonnen wird, den MPPT-Regler **302** in seinem Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis zu betreiben, statt unmittelbar beim festen Tastverhältnis zu starten. Eine solche Steuerung der Änderung des Tastverhältnisses, die manchmal als „Softstart“ bezeichnet wird, trägt dazu bei, parasitäres Einschwingen zu beseitigen, das mit Änderungen des Betriebszustands verknüpft ist.

[0055] In einigen Ausführungsformen veranlasst jedes Mal, wenn der MPPT-Regler **302** anläuft, das Regel-Untersystem **338** den MPPT-Regler **302**, in seinem Modus mit festem Tastverhältnis zu arbeiten. In einigen anderen Ausführungsformen arbeitet der MPPT-Regler **302** in seinem Modus mit festem Tastverhältnis als Reaktion auf ein externes Signal, wie etwa ein Signal, das durch Prüfeinrichtungen erzeugt ist, die ausgelegt sind, Flash- und/oder EL-Testen durchzuführen. In bestimmten Ausführungsformen bestimmt das Regel-Untersystem **338**, ob Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis angemessen ist, und falls ja, betreibt es den Regler **302** in seinem Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis.

[0056] Zum Beispiel stellt **Fig. 7** ein Verfahren **700** zum Betreiben des MPPT-Reglers **302** dar, das das Bestimmen enthält, ob Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis angemessen ist. Das Verfahren **700** wird zum Beispiel beim Anlauf des MPPT-Reglers **302** ausgeführt, sodass der Regler **302** in seinem Modus mit festem Tastverhältnis anläuft, falls angemessen. Jedoch ist das Verfahren **700** nicht auf die Verwendung beim Anlauf des Reglers **302** beschränkt und könnte stattdessen in anderen Situationen ausgeführt werden, wie etwa nach einem Fehlerzustand.

[0057] Das Verfahren **700** beginnt mit einem Entscheidungsschritt **702** des Bestimmens, ob Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis angemessen ist. Ein Beispiel des Schritts **702** ist Bestimmen durch das Regel-Untersystem **338**, ob Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis angemessen ist. Einige besondere Beispiele des Schritts **702** sind unten bezüglich **Fig. 8** und **Fig. 9** beschrieben. Wenn der Entscheidungsschritt **702** bestimmt, dass Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis nicht angemessen ist, geht das Verfahren **700** voran zum MPPT-Betriebsmodus **704**. Ein Beispiel des Schritts **704** besteht darin, dass das Regel-Untersystem **338** den MPPT-Regler **302** in seinem MPPT-Betriebsmodus betreibt.

[0058] Wenn andererseits der Entscheidungsschritt **702** bestimmt, dass Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis angemessen ist, geht das Verfahren **700** voran zum Schritt **706** mit Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis. Ein Beispiel von Schritt **706** besteht darin, dass das Regel-Untersystem **338** die Regel-Schaltvorrichtung **328** veranlasst, bei einem festen Tastverhältnis von mindestens neunzig Prozent zu arbeiten. Der Entscheidungsschritt **708** bestimmt, ob der Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis abgeschlossen ist. Falls nicht, läuft der Betrieb **706** im Modus mit festem Tastverhältnis weiter. Falls der Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis abgeschlossen ist, geht das Verfahren voran zum MPPT-Betriebsmodus **704**. Ein Beispiel des Schritts **708** ist das Bestimmen durch das Regel-Untersystem **338**, ob Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis abgeschlossen ist. Einige besondere Beispiele des Schritts **708** sind unten bezüglich **Fig. 10** und **Fig. 11** beschrieben.

[0059] Das Verfahren **700** könnte abgeändert werden, um einen oder mehrere zusätzliche Betriebsmodi zusätzlich zum MPPT-Modus **704** und zum Modus mit festem Tastverhältnis **706** zu enthalten. Zum Beispiel enthalten einige alternative Ausführungsformen weiter einen Umgehungs-Betriebsmodus, in dem die Regel-Schaltvorrichtung **328** in ihrem nichtleitenden Zustand arbeitet und die freilaufende Schaltvorrichtung **330** in ihrem leitenden Zustand arbeitet. In diesen alternativen Ausführungsformen wird in den Umgehungs-Betriebsmodus zum Beispiel von Entscheidungsschritt **702** oder **708** her eingetreten, falls Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis nicht angemessen ist oder abgeschlossen ist und der Betrag der Eingangsspannung V_{in} zu niedrig ist, um MPPT-Betrieb zu rechtfertigen. Der Betrieb geht anschließend vom Umgehungsmodus zum MPPT-Betriebsmodus **704** voran, wenn zum Beispiel der Betrag von V_{in} ausreichend ansteigt, um MPPT-Betrieb zu unterstützen.

[0060] In einigen Ausführungsformen bestimmt das Regel-Untersystem **338** auf Grundlage von Kenngrößen seiner Betriebsumgebung, ob Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis angemessen ist. Zum Beispiel stellt **Fig. 8** ein Verfahren **800** zum Bestimmen dar, ob beim Anfahren eines MPPT-Reglers Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis angemessen ist. Das Verfahren **800** wird zum Beispiel als Teil des Schritts **702** des Verfahrens **700** ausgeführt. Jedoch ist das Verfahren **800** nicht auf die Verwendung beim Verfahren **700** beschränkt, sondern könnte in anderen Situationen verwendet werden. Außerdem ist der Schritt **702** nicht auf die Verwendung beim Verfahren **800** beschränkt.

[0061] Das Verfahren **800** beginnt mit dem Entscheidungsschritt **802** des Erkennens des Vorhandenseins einer Ausgangsanschluss-Spannung vor dem Betrieb des Schaltkreises beim Anfahren, wenn sich die Vorrichtungen des Schaltkreises in ihren nichtleitenden Zuständen befinden. Vorhandensein einer Ausgangsanschluss-Spannung unter diesen Bedingungen zeigt an, dass der MPPT-Regler von seinem Ausgangsanschluss her statt von seinem Eingangsanschluss her versorgt ist, wodurch mögliches Vorhandensein eines Prüfstroms und einer EL-Prüfung angezeigt wird. Man betrachte beispielsweise das EL-Prüfbeispiel von **Fig. 4**. In diesem Beispiel bewirkt die Prüfstromquelle **402**, dass eine Spannung V_p am Ausgangsanschluss **314** vorhanden ist, bevor der Schaltkreis **326** beginnt zu arbeiten. Wenn dagegen die Quelle **402** nicht vorhanden wäre, wäre die Ausgangsanschluss-Spannung V_p vor dem Betrieb des Schaltkreises **326** typischerweise im Wesentlichen gleich null, wenn der Ausgangsanschluss **314** nicht auf andere Weise getrieben würde. Demgemäß bestimmt der Entscheidungsschritt **802**, dass Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis angemessen ist, falls der Betrag der Ausgangsanschluss-Spannung höher ist als ein Schwellwert, wobei der Schwellwert null oder ein kleiner positiver Wert ist. Ein Beispiel des Schritts **802** besteht darin, dass das Regel-Untersystem **338** vor dem Betrieb des Schaltkreises **326** beim Anlaufen, während sich die Schaltvorrichtungen **328**, **330** in ihren nichtleitenden Zuständen befinden, die Schaltknoten- oder Ausgangsanschluss-Spannung V_p oder ein Signal, das V_p darstellt, mit einem Schwellwert vergleicht und den MPPT-Regler **302** veranlasst, in seinem Modus mit festem Tastverhältnis zu arbeiten, falls V_p größer als ein Schwellwert ist.

[0062] Wenn der Entscheidungsschritt **802** bestimmt, dass Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis nicht angemessen ist, geht das Verfahren **800** voran zum Eintritt in den MPPT-Betriebsmodus in Schritt **804**. In einigen alternativen Ausführungsformen tritt das Verfahren jedoch in Schritt **804** anstelle des MPPT-Modus in einen alternativen Betriebsmodus ein, wie etwa in den oben beschriebenen Umgehungsmodus.

[0063] Wenn andererseits der Entscheidungsschritt **802** bestimmt, dass Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis angemessen ist, geht das Verfahren **800** voran zum Eintritt in den Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis in Schritt **806**. Jedoch enthalten einige Ausführungsformen des Verfahrens **800** wahlweise Schritte **808** und **810**, wie gezeigt. Diese Schritte verzögern den Eintritt in den Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis, bis eine Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers einen Pegel erreicht hat, der zum Unterstützen zuverlässigen Reglerbetriebs notwendig ist.

[0064] Insbesondere vergleicht der Entscheidungsschritt **808** einen Betrag einer Spannung auf einer Regler-Stromversorgungsschiene, wie etwa den Betrag von V_{cc} im Regler **302**, mit einem für zuverlässigen MPPT-Reglerbetrieb erforderlichen Minimalwert (V_{min}). Falls der Betrag der Spannung der Stromversorgungsschiene größer oder gleich V_{min} ist, geht das Verfahren voran zu Schritt **806**, um in den Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis einzutreten. Sonst geht der Betrieb voran zu Schritt **810**, in dem der Schaltkreis deaktiviert wird, sodass sich seine Schaltvorrichtungen in ihren nichtleitenden Zuständen befinden. Das Verfahren **800** kehrt von Schritt **810** zu Schritt **808** zurück, sodass der Schaltkreis deaktiviert bleibt, bis die Spannung der Stromversorgungsschiene V_{min} erreicht. Ein Beispiel der Schritte **808** und **810** besteht darin, dass das Regel-Untersystem **338** die Schaltvorrichtungen **328**, **330** veranlasst, in ihren nichtleitenden Zuständen zu bleiben, bis V_{cc} einen für zuverlässigen Betrieb des Wandlers **302** erforderlichen Minimalwert erreicht.

[0065] Einbeziehen der wahlweisen Schritte **808** und **810** in das Verfahren **800** kann in einigen Ausführungsformen das Anfahren des MPPT-Reglers **302** beschleunigen. Man betrachte beispielsweise wieder das EL-Prüfbeispiel von **Fig. 4**. Der die Regel-Schaltvorrichtung **328** umsetzende Transistor enthält eine Bodydiode **344** mit einer elektrisch mit dem Schaltknoten V_x verbundenen Anode und einer elektrisch mit der Eingangsklemme **310** verbundenen Kathode. Demgemäß fließt der Prüfstrom I_{test} durch die Bodydiode **344**, wie durch den Strom I_{diode} in **Fig. 4** dargestellt, in die positive Stromversorgungsschiene V_{ddh} , bevor der Schaltkreis **326** in Betrieb ist. Der Prüfstrom lädt die positive Stromversorgungsschiene V_{ddh} . Außerdem lädt der Prüfstrom die Eigenbetriebs-Stromversorgungsschiene V_{cc} über die positive Stromversorgungsschiene V_{ddh} und den Spannungsregler **342**. Demgemäß werden die Stromversorgungsschienen V_{ddh} und V_{cc} während der EL-Prüfung oder während des Rückwärtsstrombetriebs im Modus mit festem Tastverhältnis vom Ausgangsanschluss **314** her versorgt. Verzögern des Betriebs im Modus mit festem Tastverhältnis, bis V_{cc} einen für zuverlässigen

lässigen Betrieb des Reglers **302** erforderlichen Minimalwert erreicht, begünstigt schnelles Laden der Vddh-/Vcc-Schienen und nachfolgenden Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis. Wenn andererseits die Schritte **808**, **810** weggelassen sind, kann die freilaufende Schaltungsvorrichtung **330** während des Ladens der Vddh-/Vcc-Schienen leiten und dadurch Laden der Schienen und Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis verzögern.

[0066] Fig. 9 stellt ein weiteres Verfahren **900** zum Bestimmen dar, ob eine Betriebsart mit festem Tastverhältnis angemessen ist. Das Verfahren **900** wird zum Beispiel als Teil des Schritts **702** des Verfahrens **700** ausgeführt. Jedoch ist das Verfahren **900** nicht auf die Verwendung beim Verfahren **700** beschränkt, sondern könnte in anderen Situationen verwendet werden. Außerdem ist der Schritt **702** nicht auf die Verwendung beim Verfahren **900** beschränkt.

[0067] Das Verfahren **900** beginnt mit Schritt **902** des Bestimmens, ob aus dem Ausgangsanschluss des MPPT-Reglers fließender Strom einen negativen Wert aufweist, oder mit anderen Worten, ob Strom in den Ausgangsanschluss fließt. Eine solche Bedingung stellt mögliches Treiben des Wandlers mit einem Prüfstrom und zugehörige EL-Prüfung oder Rückwärtsstrombetrieb dar. Man betrachte beispielsweise wieder das EL-Prüfbeispiel von Fig. 4. Während der EL-Prüfung treibt die Prüfstromquelle **402** den Prüfstrom I_{test} in den Ausgangsanschluss **314**, sodass I_{out} einen negativen Wert aufweist. Als weiteres Beispiel betrachte man das Rückwärtsstrombeispiel von Fig. 6. Eine externe Schaltung (nicht gezeigt) treibt einen Rückwärtsstrom I_{reverse} in den Ausgangsanschluss **314**, sodass I_{out} einen negativen Wert aufweist. Demgemäß ist Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis angemessen, falls der Ausgangsstromwert geringer ist als ein Schwellwert I_{th} , wobei I_{th} null oder ein Wert nahe null ist. Obwohl Schritt **902** erkennen soll, wenn der Ausgangsstrom negativ ist, kann es dennoch erwünscht sein, I_{th} auf einen anderen Wert als null zu setzen, wie etwa einen Wert leicht unterhalb von null, um fälschliches Auslösen des Modus mit festem Tastverhältnis aufgrund von Fehlern beim Messen des Ausgangsstroms I_{out} zu verhindern. Ein Beispiel des Schritts **902** ist Vergleichen durch das Regel-Untersystem **338** des Signals I_{o} , das den Strom aus dem Ausgangsanschluss **314** darstellt, mit einem Schwellwert, wie etwa null oder einem Wert nahe null, und Bestimmen, dass Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis angemessen ist, falls der Betrag von I_{o} niedriger als der Schwellwert ist.

[0068] Wenn der Entscheidungsschritt **902** bestimmt, dass Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis nicht angemessen ist, geht das Verfahren **900** voran zum Eintritt in den MPPT-Modus in Schritt **904**. In einigen alternativen Ausführungsformen tritt das Verfahren jedoch in Schritt **904** anstelle des MPPT-Modus in einen alternativen Betriebsmodus ein, wie etwa in den oben beschriebenen Umgehungsmodus.

[0069] Wenn andererseits der Entscheidungsschritt **902** bestimmt, dass Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis angemessen ist, geht das Verfahren **900** voran zum Eintritt in den Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis in Schritt **906**. Jedoch enthalten einige Ausführungsformen des Verfahrens **900** wahlweise Schritte **908** und **910**, wie gezeigt. Diese Schritte, die analog zu den Schritten **808** und **810** von Fig. 8 sind, verzögern den Eintritt in den Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis, bis eine Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers einen Pegel erreicht hat, der zum Unterstützen des zuverlässigen Reglerbetriebs notwendig ist.

[0070] Fig. 10 stellt ein Verfahren **1000** des Bestimmens dar, wann der Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis zu verlassen ist. Das Verfahren **1000** wird zum Beispiel als Teil des Schritts **708** des Verfahrens **700** ausgeführt. Jedoch ist das Verfahren **1000** nicht auf die Verwendung beim Verfahren **700** beschränkt, sondern könnte stattdessen verwendet werden, um in anderen Situationen zu bestimmen, wann der Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis zu verlassen ist. Außerdem ist der Schritt **708** nicht auf die Verwendung beim Verfahren **1000** beschränkt.

[0071] Das Verfahren **1000** beginnt mit einem Entscheidungsschritt **1002** des Bestimmens, ob ein vorgegebener Zeitraum verstrichen ist. Dieser vorgegebene Zeitraum ist so gewählt, um ausreichende Zeit zum Abschließen anwendbarer Prüfungen der Photovoltaikvorrichtung zuzulassen, wie etwa EL- und Flash-Testen. Falls der vorgegebene Zeitraum noch nicht verstrichen ist, wiederholt sich der Schritt **1002**; sonst geht das Verfahren voran zum Eintritt in den MPPT-Modus in Schritt **1004**. Ein Beispiel der Schritte **1002**, **1004** besteht darin, dass das Regel-Untersystem **338** zu Beginn des Betriebs im Modus mit festem Tastverhältnis einen Zeitgeber startet und in den MPPT-Modus eintritt, nachdem ein vorgegebener Zeitraum verstrichen ist. In einigen alternativen Ausführungsformen tritt das Verfahren jedoch in Schritt **1004** anstelle des MPPT-Modus in einen alternativen Betriebsmodus ein, wie etwa in den oben beschriebenen Umgehungsmodus.

[0072] Fig. 11 stellt ein Verfahren **1100** des Bestimmens dar, wann der Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis zu verlassen ist. Das Verfahren **1100** wird zum Beispiel als Teil des Schritts **708** des Verfahrens **700** ausgeführt. Jedoch ist Verfahren **1100** nicht auf die Verwendung beim Verfahren **700** beschränkt, sondern

könnte stattdessen verwendet werden, um in anderen Situationen zu bestimmen, wann der Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis zu verlassen ist. Außerdem ist der Schritt **708** nicht auf die Verwendung beim Verfahren **1100** beschränkt.

[0073] Das Verfahren **1100** beginnt mit einem Entscheidungsschritt **1102** des Bestimmens, ob eine Spannung über dem Eingangsanschluss oder eine Spannung, die eine Funktion der Eingangsanschluss-Spannung ist, unter einen Schwellwert gefallen ist. Der Schwellwert ist typischerweise mit null oder einem Wert nahe null gewählt, sodass der Schritt **1102** erkennt, wenn die Eingangsanschluss-Spannung oder eine zugehörige Spannung im Wesentlichen null ist. Eine Eingangsanschluss-Spannung von null kann Abschluss der Prüfung der Photovoltaikvorrichtung anzeigen. Zum Beispiel ist die Eingangsanschluss-Spannung im Wesentlichen null beim Abschluss des Flash-Testens, wenn eine Last von Leerlauf bis Kurzschluss durchläuft. Als weiteres Beispiel kann die Eingangsanschluss-Spannung nach Entfernen einer EL-Test-Stromquelle auf nahe null fallen. Falls die Spannung nicht niedriger ist als der Schwellwert, wiederholt sich Schritt **1102**; sonst geht das Verfahren voran zum Eintritt in den MPPT-Modus in Schritt **1104**.

[0074] Ein Beispiel der Schritte **1102**, **1104** besteht darin, dass das Regel-Untersystem **338** die Eingangsanschluss-Spannung V_{in} oder die Stromversorgungsschienen-Spannung V_{cc} mit einem Schwellwert vergleicht und in den MPPT-Modus eintritt, falls die Spannung niedriger ist als der Schwellwert. In einigen alternativen Ausführungsformen tritt das Verfahren jedoch in Schritt **1104** anstelle des MPPT-Modus in einen alternativen Betriebsmodus ein, wie etwa in den oben beschriebenen Umgehungsmodus.

[0075] Flash-Testen kann in einigen Anwendungen schwierig zu erkennen sein, da Strom durch die Photovoltaikvorrichtung während des Flash-Testens in seiner normalen Richtung fließt. Demgemäß sind einige Ausführungsformen des Reglers **302** ausgelegt, nach Abschluss des EL-Testens in ihrem Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis zu bleiben, um anschließendes Flash-Testen zu ermöglichen, während sie im Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis bleiben. Der Modus mit festem Tastverhältnis könnte auch in Ausführungsformen betrieben werden, die, wie oben bezüglich **Fig. 9** beschrieben, negativen Ausgangsstrom erkennen, indem anfangs der Ausgangsanschluss mit einem Rückwärtsstrom getrieben wird.

[0076] Betriebsmodi mit festem Tastverhältnis können auch in MPPT-Regler-Anwendungen mit einer anderen Topologie als einer Abwärtswandler-Topologie umgesetzt sein, wie einer Aufwärtswandler-Topologie oder einer Abwärts-Aufwärtswandler-Topologie. Zum Beispiel stellt **Fig. 12** ein Stromerzeugungssystem **1200** dar, das einen MPPT-Regler **1202** enthält, der zwischen einer Photovoltaikvorrichtung **1204** und einer Last **1206** elektrisch angeschlossen ist. Der MPPT-Regler **1202** ist ähnlich dem MPPT-Regler **302**, ist aber ausgelegt, eine Aufwärtswandler-Topologie anstelle einer Abwärtswandler-Topologie zu unterstützen.

[0077] Der MPPT-Regler **1202** enthält einen Eingangsanschluss **1208** mit den Eingangsklemmen **1210**, **1212** und einen Ausgangsanschluss **1214** mit den Ausgangsklemmen **1216**, **1218**. Eine positive Klemme **1220** der Photovoltaikvorrichtung **1204** ist an die Eingangsklemme **1210** elektrisch angeschlossen, und eine negative Klemme **1222** der Photovoltaikvorrichtung **1204** ist an die Eingangsklemme **1212** elektrisch angeschlossen, sodass die Photovoltaikvorrichtung **1204** mit dem Eingangsanschluss **1208** elektrisch in Reihe geschaltet ist. Die Klemmen **1210**, **1220** bilden einen Teil eines positiven Versorgungsknotens oder einer Versorgungsschiene (V_{ddh}), und die Klemmen **1212**, **1222** bilden einen Teil eines Referenz-Versorgungsknotens oder einer -Versorgungsschiene (V_{ss}). Die Photovoltaikvorrichtung **1204** ist zum Beispiel ein Photovoltaikmodul, enthaltend eine Vielzahl von miteinander verbundenen Photovoltaikzellen, eine Einfach-Photovoltaikzelle oder eine Mehrfach-Photovoltaikzelle.

[0078] Das System **1200** enthält wahlweise einen oder mehrere Eingangskondensatoren **1224**, die über dem Eingangsanschluss **1208** elektrisch verbunden sind. Die Kondensatoren **1224** tragen dazu bei, die Welligkeitskomponente des Eingangsstroms i_{in} des Reglers **1202** zuzuführen und tragen dadurch dazu bei, den Betrag des Welligkeitsstroms zu minimieren, der durch die Photovoltaikvorrichtung **1204** fließt. Der MPPT-Regler **1202** enthält weiter eine zwischen der Eingangsanschlussklemme **1210** und einem Schaltknoten V_x elektrisch verbundene Energiespeicherinduktivität **1236**. Die Energiespeicherinduktivität **1236** kann eine oder mehrere diskrete Induktivitäten enthalten, wie gezeigt.

[0079] Der MPPT-Regler **1202** enthält weiter einen zwischen der Energiespeicherinduktivität **1236** und dem Ausgangsanschluss **1214** elektrisch verbundenen Schaltkreis **1226**. Der Schaltkreis **1226** enthält eine zwischen dem Schaltknoten V_x und den Eingangs- und Ausgangsanschluss-Klemmen **1212**, **1218** elektrisch verbundene Regel-Schaltvorrichtung **1228** und eine zwischen dem Schaltknoten V_x und der Ausgangsklemme **1216** elektrisch verbundene freilaufende Schaltvorrichtung **1230**. Die Ausgangsklemme **1218** ist mit der

Eingangsklemme **1212** elektrisch verbunden. Obwohl die Schaltvorrichtungen **1228**, **1230** als N-Kanal-Anreicherungs-Feldeffekttransistoren gezeigt sind, könnten die Schaltvorrichtungen **1228**, **1230** durch alternative Schaltvorrichtungen ersetzt werden, ohne vom Geltungsbereich des Vorliegenden abzuweichen.

[0080] Die Last **1206** ist mit dem Ausgangsanschluss **1214** elektrisch in Reihe geschaltet. Die Last **1206** enthält zum Beispiel einen Umrichter oder ein Batterieladegerät. Ein oder mehrere Ausgangskondensatoren **1234** sind über der Last **1206** elektrisch verbunden, um die Welligkeitskomponente des Ausgangsstroms I_{out} zu absorbieren. Die Kondensatoren **1234** sind jedoch wahlweise in Ausführungsformen weggelassen, in denen die Last **1206** bedeutende Kapazität enthält, wie etwa in Ausführungsformen, in denen die Last **1206** ein Umrichter mit bedeutender Eingangskapazität ist.

[0081] Der MPPT-Regler **1202** enthält weiter ein Regel-Untersystem **1238**. Der Schaltkreis **1226**, die Energiespeicherinduktivität **1236** und die Kondensatoren **1234** bilden gemeinsam einen durch das Regel-Untersystem **1238** geregelten Aufwärtswandler. In einem MPPT-Betriebsmodus des Reglers **1202** ist das Regel-Untersystem **1238** ausgelegt, Schalten des Schaltkreises **1226** so zu regeln, dass der Aufwärtswandler Leistung vom Eingangsanschluss **1208** zum Ausgangsanschluss **1214** überträgt und dadurch Leistung von der Photovoltaikvorrichtung **1204** zur Last **1206** überträgt. Genauer veranlasst das Regel-Untersystem **1238** die Regel-Schaltvorrichtung **1228**, wiederholt zwischen ihrem leitenden und nichtleitenden Zustand umzuschalten, typischerweise bei einer Frequenz von mindestens 100 Kilohertz, um Leistung vom Eingangsanschluss **1208** zum Ausgangsanschluss **1214** zu übertragen. Die Schaltvorrichtung **1228** ist als „Regel“-Schaltvorrichtung bezeichnet, weil das Verhältnis von Eingangsspannung V_{in} zu Ausgangsspannung V_{out} über der Last **1206** eine Funktion des Tastverhältnisses der Schaltvorrichtung **1228** ist.

[0082] Das Regel-Untersystem **1238** steuert auch das Schalten der freilaufenden Schaltvorrichtung **1230** derart, dass sie eine freilaufende Funktion ausführt, oder mit anderen Worten derart, dass die freilaufende Schaltvorrichtung **1230** einen Pfad für den durch die Energiespeicherinduktivität **1236** fließenden Strom vorsieht, wenn sich die Regel-Schaltvorrichtung **1228** in ihrem nichtleitenden Zustand befindet.

[0083] Der MPPT-Regler **1202** enthält wahlweise weiter ein Stromrekonstruktions-Untersystem **1240**, ausgelegt, ein Signal I_o zu erzeugen, das den aus dem Ausgangsanschluss **1214** fließenden Ausgangsstrom I_{out} darstellt. Außerdem enthält in einigen Ausführungsformen der MPPT-Regler **1202** weiter einen Spannungsregler **1242**, der aus V_{ddh}/V_{ss} einen „Eigenbetriebs“-Stromversorgungs-Knoten oder eine -Schiene (V_{cc}) erzeugt. V_{cc} ist zum Beispiel verwendet, um zumindest teilweise das Regel-Untersystem **1238** zu versorgen, wie gezeigt.

[0084] Obwohl Eingangskondensatoren **1224** und Ausgangskondensatoren **1234** als extern zum MPPT-Regler **1202** gezeigt sind, könnten eins oder mehrere dieser Bauteile im Regler **1202** integriert sein, ohne vom Geltungsbereich des Vorliegenden abzuweichen. Außerdem könnten in Fällen, in denen die Energiespeicherinduktivität **1236** aus einer oder mehreren diskreten Induktivitäten besteht, die Induktivitäten extern zum Regler **1202** angeordnet sein. Weiter ist einiges oder die Gesamtheit des MPPT-Reglers **1202** in bestimmten Ausführungsformen in einer gemeinsamen integrierten Schaltung ausgeführt, um kleine Bauform, kleine parasitäre Impedanz zwischen Bauteilen und schnelle Signal-Übertragungszeiten zu begünstigen. In diesen Ausführungsformen ist die integrierte Schaltung wahlweise mit der Photovoltaikvorrichtung **1204** in einem Gehäuse verpackt, um geringe Systembaugröße und minimale Impedanz zwischen der Vorrichtung **1204** und dem Regler **1202** zu begünstigen. Jedoch ist der MPPT-Regler **1202** nicht auf eine Ausführung als integrierte Schaltung beschränkt und könnte stattdessen teilweise oder vollständig aus diskreten Bauteilen ausgebildet sein. Der MPPT-Regler **1202** weist mindestens zwei Betriebsmodi auf, nämlich einen MPPT-Betriebsmodus und einen Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis. Im MPPT-Betriebsmodus veranlasst das Regel-Untersystem **1238** die Regel-Schaltvorrichtung **1228**, wiederholt zwischen ihrem leitenden und nichtleitenden Zustand umzuschalten, um zumindest im Wesentlichen einen Betrag der aus einer Photovoltaikvorrichtung **1204** ausgekoppelten und an die Last **1206** gelieferten Leistung zu maximieren. Zum Beispiel maximiert in einigen Ausführungsformen das Regel-Untersystem **1238** die Leistung in den Eingangsanschluss **1208** und maximiert dadurch die aus der Photovoltaikvorrichtung **1204** ausgekoppelte Leistung. In einigen anderen Ausführungsformen maximiert das Regel-Untersystem **1238** die Leistung aus dem Ausgangsanschluss **1214**, was effektiv die aus der Photovoltaikvorrichtung **1204** ausgekoppelte Leistung maximiert, da die Leistung aus dem Ausgangsanschluss **1214** dieselbe ist wie die Leistung in den Eingangsanschluss **1208**, wenn man die Verluste im MPPT-Regler **1202** vernachlässigt.

[0085] Im Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis veranlasst das Regel-Untersystem **1238** den MPPT-Regler **1202**, eine feste Gleichstromtransformation zwischen den Eingangs- und Ausgangsanschlüssen **1208**, **1214**

vorzusehen, um Prüfen der Photovoltaikvorrichtung **1204** oder Rückwärtsstrombetrieb zu erleichtern, auf ähnliche Weise wie oben bezüglich des MPPT-Reglers **302** (Fig. 3) beschrieben. Genauer veranlasst das Regel-Untersystem **1238** die Regel-Schaltvorrichtung **1228**, bei einem festen Tastverhältnis zu arbeiten, um eine feste Gleichstromtransformation zwischen Eingangsanschluss **1208** und Ausgangsanschluss **1214** zu erreichen. Jedoch veranlasst im Gegensatz zum MPPT-Regler **302** das Regel-Untersystem **1238** typischerweise die frei laufende Schaltvorrichtung **1230** anstelle der Regel-Schaltvorrichtung **1228**, bei einem großen Tastverhältnis zu arbeiten, wie etwa einem Tastverhältnis von mindestens neunzig Prozent.

[0086] Das Regel-Untersystem **1238** ist zum Beispiel ausgelegt, unter Verwendung einer oder mehrerer Techniken ähnlich den oben bezüglich des MPPT-Reglers **302** beschriebenen zu bestimmen, wann der Regler **1202** in seinem Modus mit festem Tastverhältnis zu betreiben ist, und wann der Regler **1202** von seinem Modus mit festem Tastverhältnis in den MPPT-Modus umzuschalten ist. Zum Beispiel ist das Regel-Untersystem **1238** in einigen Ausführungsformen ausgelegt, auf ähnliche Weise wie das oben bezüglich Fig. 8 und Fig. 9 beschriebene zu bestimmen, dass der Betrieb im Modus mit festem Tastverhältnis angemessen ist, falls beim Anlauf Spannung über dem Ausgangsanschluss **1214** vorhanden ist, oder falls der Ausgangsstrom laut einen negativen Wert aufweist. Als weiteres Beispiel ist das Regel-Untersystem **1238** in einigen Ausführungsformen ausgelegt, den Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis nach Ablauf eines vorgegebenen Zeitraums zu verlassen, oder falls die Spannung über dem Eingangsanschluss **1208** unter einen Schwellwert fällt, auf ähnliche Weise wie oben bezüglich Fig. 10 und Fig. 11 beschrieben.

[0087] In Anwendungen mit Abwärts-Aufwärtswandler-Topologie ist die Regel-Schaltvorrichtung in einem Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis bei einem festen Tastverhältnis betrieben, wie etwa einem Tastverhältnis um fünfzig Prozent, um eine feste Gleichstromtransformation zu erreichen.

[0088] Die Verwendung von MPPT-Reglern, die Modi mit festem Tastverhältnis enthalten, ist nicht auf photovoltaische Stromerzeugungssysteme mit einzelner Photovoltaikvorrichtung und einzelner MPPT-Regler beschränkt. Zum Beispiel stellt Fig. 13 ein photovoltaisches Stromerzeugungssystem **1300** dar, das N Realisierungen des MPPT-Reglers **302** in einer photovoltaischen Anwendung enthält, wobei N eine ganze Zahl größer als eins ist. In diesem Dokument kann auf bestimmte Realisierungen eines Gegenstands durch Verwendung einer Zahl in Klammern (z.B. MPPT-Regler **302(1)**) Bezug genommen sein, während sich Zahlen ohne Klammern auf einen beliebigen solchen Gegenstand beziehen (z.B. MPPT-Regler **302**). Einige der Aufbaublöcke der MPPT-Regler **302** sind in Fig. 13 nicht gezeigt, um eine deutliche Darstellung zu begünstigen.

[0089] Der Eingangsanschluss **308** jedes MPPT-Reglers **302** ist an eine jeweilige Photovoltaikvorrichtung **1304** eines gemeinsamen Photovoltaikmoduls **1305** elektrisch angeschlossen. Photovoltaikvorrichtungen **1304** sind zum Beispiel einzelne Photovoltaikzellen oder Gruppen von elektrisch miteinander verbundenen Photovoltaikzellen. Jedoch kann die Anordnung von Photovoltaikvorrichtungen **1304** variiert werden, ohne vom Geltungsbereich des Vorliegenden abzuweichen. Zum Beispiel sind in einigen alternativen Ausführungsformen Photovoltaikvorrichtungen **1304** diskrete Photovoltaikvorrichtungen und sind nicht Teil eines gemeinsamen Moduls. In einem weiteren Beispiel weisen in einigen anderen Ausführungsformen zwei oder mehr Photovoltaikvorrichtungen **1304** unterschiedliche Anordnungen auf. Ein jeweiliger Eingangskondensator **1324** ist auch über jedem Eingangsanschluss **308** elektrisch verbunden.

[0090] Die Ausgangsanschlüsse **314** der MPPT-Regler **302** sind mit einer Last **1306** elektrisch in Reihe geschaltet. Ein oder mehrere Ausgangskondensatoren **1334** sind über der Last **1306** elektrisch verbunden und sind von jedem der N MPPT-Regler **1302** gemeinsam genutzt. Jedoch enthält in einigen alternativen Ausführungsformen die Last **1306** bedeutende Kapazität, und die Kondensatoren **1334** sind daher weggelassen. Außerdem weist in einigen alternativen Ausführungsformen jeder MPPT-Regler **302** einen jeweiligen Kondensator (nicht gezeigt) auf, der über seinen Ausgangsanschluss **314** elektrisch verbunden ist.

[0091] Die MPPT-Regler **302** nutzen die Zwischenverbindungs-Induktivität **1336** eines Ausgangskreises **1332**, der die Schaltkreise **326** mit der Last **1306** elektrisch verbindet, als Energiespeicherinduktivität. Obwohl diese Zwischenverbindungs-Induktivität symbolisch als ein einzelnes Element gezeigt ist, ist sie tatsächlich entlang einer Schleife verteilt, die den Ausgangskreis **1332** bildet. Einige alternative Ausführungsformen enthalten jedoch eine oder mehrere diskrete Induktivitäten (nicht gezeigt), die mit dem Ausgangskreis **1332** elektrisch in Reihe geschaltet sind. Zum Beispiel ist es in Ausführungsformen, in denen jeder MPPT-Regler **302** einen jeweiligen, über seinem Ausgangsanschluss **314** elektrisch verbundenen Kondensator aufweist, typischerweise erforderlich, dass jeder MPPT-Regler **302** eine jeweilige diskrete Induktivität aufweist, die mit seinem Ausgangsanschluss **314** elektrisch in Reihe geschaltet ist.

[0092] Jeder MPPT-Regler **302** arbeitet im Wesentlichen in derselben Weise wie bezüglich Stromerzeugungssystemen beschrieben, die eine einzelne Ausführung des MPPT-Reglers **302** enthalten. Zum Beispiel maximiert in einem MPPT-Betriebsmodus jeder MPPT-Regler **302** die aus seiner jeweiligen Photovoltaikvorrichtung **1304** ausgekoppelte Leistung. In einem Betriebsmodus mit festem Tastverhältnis arbeitet andererseits jeder MPPT-Regler so, dass seine Regel-Schaltvorrichtung ein festes Tastverhältnis aufweist. Flash-Testen kann zum Beispiel durch Ersetzen der Last **1306** durch eine veränderliche Last und durchlaufen Lassen des Lastwiderstands durchgeführt werden, während die Photovoltaikvorrichtungen **1304** einer Lichtquelle bekannter Stärke ausgesetzt ist. EL-Testen kann durch Ersetzen der Last **1306** durch eine Prüfstromquelle und Treiben eines Prüfstroms in die Ausgangsanschlüsse **314** in einer Richtung entgegengesetzt zum normalen Ausgangsstrom laut durchgeführt werden.

[0093] Betrieb im Rückwärtsstrommodus kann Probleme beim gemeinsamen Nutzen von Strömen in Anwendungen mit zwei oder mehr elektrisch parallel geschalteten MPPT-Reglern **302** bereiten. Zum Beispiel stellt **Fig. 14** ein photovoltaisches Stromerzeugungssystem **1400** dar, das drei parallel geschaltete Strings **1403** enthält, wo jeder String drei Ausführungen des MPPT-Reglers **302** mit elektrisch in Reihe geschalteten Ausgangsanschlüssen **314** enthält. Eine jeweilige Photovoltaikvorrichtung **1404** ist an den Eingangsanschluss **308** jedes Reglers **302** elektrisch angeschlossen. Zur deutlichen Darstellung sind nur die Eingangs- und Ausgangsanschlüsse **308**, **314** der Regler **302** gezeigt.

[0094] Man betrachte ein Szenario, in dem der String **1403(1)** einen größeren photogenerateden Strom erzeugt als entweder String **1403(2)** oder **1403(3)**, wie etwa aufgrund teilweisen Beschattens der Strings **1403(2)**, **1403(3)**. Der Vorwärtsstrom **1405** des starken Strings **1403(1)** spannt die schwächeren Strings **1403(2)**, **1403(3)** in Vorwärtsrichtung vor, sodass Rückwärtsströme **1407**, **1409** durch die Strings **1403(2)** bzw. **1403(3)** fließen. Falls die Strings **1403(2)**, **1403(3)** dieselben Strom-Spannungs-Kennlinien aufweisen, ist der Betrag der Rückwärtsströme **1407**, **1409** derselbe. Falls die Strings **1403(2)**, **1403(3)** verschiedene Strom-Spannungs-Kennlinien aufweisen, weisen die Rückwärtsströme **1407**, **1409** verschiedene Beträge auf, sodass die Strings **1403(2)**, **1403(3)** den Rückwärtsstrom nicht gleich aufteilen.

[0095] Die Rückwärtsstrom-Ungleichheit kann aufgrund der Strom-Spannungs-Kennlinien der Photovoltaikvorrichtungen **1404** groß sein. Insbesondere weist eine Photovoltaikzelle eine ähnliche Strom-Spannungs-Kennlinie wie eine Diode auf, wie durch das Modell von **Fig. 1** angedeutet, was dazu führt, dass die Zellspannung relativ unempfindlich gegenüber dem Betrag des Stroms ist, sobald die Zelle Rückwärtsstrom leitet. Somit kann jedes Spannungs-Ungleichgewicht, das zwischen zwei eigenständigen Zellen bestehen könnte, wenn sie mit demselben Betrag des Rückwärtsstroms vorgespannt sind, zu einem großen Strom-Ungleichgewicht führen, wenn die Zellen parallel geschaltet sind.

[0096] Zum Beispiel zeigt **Fig. 15** eine Kurve **1500** des Rückwärtsstroms über der Spannung für eine Photovoltaikzelle **1502**. Angenommen, die Zelle **1502** arbeite mit einer Spannung **1504**, wenn sie mit einem Rückwärtsstrom **1506** vorgespannt ist. Nun sei angenommen, die Zelle **1502** sei mit einer anderen Photovoltaikzelle (nicht gezeigt) mit anderer Strom-Spannungs-Kennlinie parallel geschaltet, sodass die Zelle **1502** aufgrund der Parallelschaltung bei der Spannung **1508** arbeiten muss. Der Betrag des Rückwärtsstroms springt zu **1510**, was eine große Änderung **1512** des Betrags des Rückwärtsstroms ergibt, um eine kleine Änderung **1514** des Betrags der Spannung zu kompensieren. Somit können kleine Unterschiede der Strom-Spannungs-Kennlinie zwischen parallel geschalteten Photovoltaikvorrichtungen bedeutendes Rückwärtsstrom-Ungleichgewicht in den Vorrichtungen verursachen.

[0097] Ungleiches Aufteilen des Rückwärtsstroms kann bewirken, dass ein String einen zu hohen Betrag des Rückwärtsstroms erfährt, was möglicherweise Regler **302** und/oder Photovoltaikvorrichtungen **1404** des Strings beschädigen kann. Außerdem werden Strings **1403** typischerweise aus Sicherheitsgründen abgesichert, und zu hoher Betrag des Rückwärtsstroms in einem String kann die Sicherung des Strings durchbrennen lassen und dadurch verursachen, dass der String außer Betrieb ist und keine Energie erzeugt, bis die Sicherung ersetzt ist.

[0098] Demgemäß sind bestimmte Ausführungsformen des MPPT-Reglers **302** ausgelegt, in einem dritten, manchmal als Rückwärtsstrom-Betriebsmodus bezeichneten Betriebsmodus, unter Rückwärtsstrombedingungen, zu arbeiten. In diesen Ausführungsformen ist das Regel-Untersystem **338** ausgelegt, die Regel-Schaltvorrichtung **328** zu veranlassen, wiederholt zwischen ihrem leitenden und nichtleitenden Zustand bei einem Tastverhältnis umzuschalten, das eine vorgegebene Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie des Reglers beibehält, gesehen von einer Last aus in den Ausgangsanschluss **314**. Betreiben jedes MPPT-Reglers derart, dass er eine gemeinsame Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie aufweist, ermöglicht, dass jeder String eine

gemeinsame Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie aufweist, was gleiche Stromaufteilung unter den Strings **1403** im Rückwärtsstrombetrieb begünstigt. Das Regel-Untersystem **308** bewirkt, dass der MPPT-Regler **302** in den Rückwärtsstrom-Betriebsmodus eintritt, wenn der Betrag des Signals I_o zum Beispiel niedriger als ein oder gleich einem Schwellwert ist, wobei der Schwellwert negativen oder sehr kleinen Ausgangsstrom darstellt.

[0099] In einigen Ausführungsformen, die den Rückwärtsstrom-Betriebsmodus unterstützen, ist die vorgegebene Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie linear, sodass sich der Betrag der mittleren Spannung über dem Ausgangsanschluss **314** linear mit einer Änderung des mittleren Stroms in den Ausgangsanschluss **314** ändert. **Fig. 16** zeigt ein Beispiel einer linearen Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie **1600**. In einigen anderen Ausführungsformen, die den Rückwärtsstrom-Betriebsmodus unterstützen, ist die vorgegebene Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie nichtlinear, sodass sich der Betrag der mittleren Spannung über dem Ausgangsanschluss **314** nichtlinear mit einer Änderung des mittleren Stroms in den Ausgangsanschluss **314** ändert. **Fig. 17** zeigt ein Beispiel einer nichtlinearen Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie **1700**.

[0100] Die Tatsache, dass die Kennlinien **1600**, **1700** relativ große effektive Widerstände aufweisen, d.h. den Wert der Spannung über dem Strom, begünstigt auch die Stromaufteilung. Insbesondere führt der Widerstand eines Strings zu negativer Rückkopplung, weil der Widerstand bewirkt, dass die Stringspannung mit dem Betrag des Stroms steigt und dadurch den zum Erreichen einer gegebenen Spannung benötigten Betrag des Stroms reduziert. Die nichtlineare Kennlinie **1700** weist einen besonders großen effektiven Widerstand bei großen Beträgen des Stroms auf, wodurch sich möglicherweise große negative Rückkopplung bei großen Beträgen des Stroms ergibt. Eine rückwärts vorgespannte Photovoltaikzelle weist dagegen einen relativ kleinen effektiven Widerstand auf, was zu geringer negativer Rückkopplung bei Anwendungen mit Parallelschaltung führt.

[0101] Ein Rückwärtsstrom-Betriebsmodus ist wahlweise im MPPT-Regler **1202** (**Fig. 12**) in ähnlicher Weise umgesetzt wie beim MPPT-Regler **302**.

Kombinationen von Merkmalen

[0102] Die oben beschriebenen sowie die nachstehend beanspruchten Merkmale können auf verschiedene Weise kombiniert werden, ohne vom vorliegenden Geltungsbereich abzuweichen. Die folgenden Beispiele stellen einige mögliche Kombinationen dar.

(A1) Ein Verfahren zum Betreiben eines Reglers für das Maximum Power Point Tracking (MPPT-Reglers), der einen Schaltkreis enthält, ausgelegt, Leistung zwischen einem Eingangsanschluss und einem Ausgangsanschluss zu übertragen, kann folgende Schritte enthalten: (a) in einem ersten Betriebsmodus des MPPT-Reglers Veranlassen einer ersten Schaltvorrichtung des Schaltkreises, bei einem festen Tastverhältnis zu arbeiten; und (b) in einem zweiten Betriebsmodus des MPPT-Reglers Veranlassen einer Regel-Schaltvorrichtung des Schaltkreises, wiederholt zwischen ihrem leitenden und nichtleitenden Zustand umzuschalten, um einen aus einer an den Eingangsanschluss elektrisch angeschlossenen Photovoltaikvorrichtung ausgekoppelten Betrag an Leistung zu maximieren.

(A2) In dem als (A1) bezeichneten Verfahren kann die erste Schaltvorrichtung mindestens eins aus der Regel-Schaltvorrichtung des Schaltkreises und einer freilaufenden Schaltvorrichtung des Schaltkreises enthalten.

(A3) In jedem der beiden als (A1) oder (A2) bezeichneten Verfahren kann das feste Tastverhältnis ein Tastverhältnis von mindestens neunzig Prozent sein.

(A4) In jedem der beiden als (A1) oder (A2) bezeichneten Verfahren kann das feste Tastverhältnis ein Tastverhältnis von einhundert Prozent sein.

(A5) Beliebige der als (A1) bis (A4) bezeichneten Verfahren können weiter enthalten: Betreiben des MPPT-Reglers in seinem ersten Betriebsmodus als Reaktion auf das Bestimmen vor dem Betrieb des Schaltkreises beim Anlauf des MPPT-Reglers, dass ein Betrag eines Signals, das die Spannung über dem Ausgangsanschluss darstellt, größer ist als ein erster Schwellwert.

(A6) Beliebige der als (A1) bis (A5) bezeichneten Verfahren können weiter enthalten: Veranlassen des Schaltkreises, in seinem nichtleitenden Zustand zu arbeiten, bis ein Betrag einer Spannung auf einer Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers einen vorgegebenen Wert überschreitet.

(A7) Das als (A6) bezeichnete Verfahren kann weiter enthalten: im ersten Betriebsmodus des MPPT-Reglers Versorgen der Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers vom Ausgangsanschluss her.

(A8) in dem als (A7) bezeichneten Verfahren kann die erste Schaltvorrichtung einen ersten Transistor enthalten, und das Verfahren kann elektrisches Einspeisen von Strom in die Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers unter Verwendung einer Bodydiode des ersten Transistors enthalten.

(A9) Beliebige der als (A1) bis (A8) bezeichneten Verfahren können weiter enthalten: Betreiben des MPPT-Reglers in seinem ersten Betriebsmodus als Reaktion auf das Bestimmen, dass ein Signal, das aus dem Ausgangsanschluss fließenden Strom darstellt, niedriger als ein oder gleich einem zweiten Schwellwert ist.

(A10) In dem als (A9) bezeichneten Verfahren kann der zweite Schwellwert darstellen, dass Strom aus dem Ausgangsanschluss in einer negativen Richtung fließt.

(A11) Weiter kann das als (A10) bezeichnete Verfahren Weiterbetreiben des MPPT-Reglers in seinem ersten Betriebsmodus enthalten, nachdem ein Betrag aus dem Ausgangsanschluss fließenden Stroms auf null gefallen ist.

(A12) Beliebige der als (A1) bis (A11) bezeichneten Verfahren können weiter enthalten: Betreiben des MPPT-Reglers in seinem ersten Betriebsmodus als Reaktion auf ein externes Signal.

(A13) Beliebige der als (A1) bis (A12) bezeichneten Verfahren können weiter enthalten: Betreiben des MPPT-Reglers in seinem ersten Betriebsmodus jedes Mal, wenn der MPPT-Regler anläuft.

(A14) Beliebige der als (A1) bis (A13) bezeichneten Verfahren können weiter enthalten: Veranlassen, dass ein Tastverhältnis der ersten Schaltvorrichtung zum festen Tastverhältnis hochläuft, wenn der MPPT-Regler beginnt, in seinem ersten Betriebsmodus zu arbeiten.

(A15) Beliebige der als (A1) bis (A14) bezeichneten Verfahren können weiter enthalten: Schalten vom ersten Betriebsmodus zu einem anderen Betriebsmodus des MPPT-Reglers nach einem vorgegebenen Zeitraum.

(A16) Beliebige der als (A1) bis (A15) bezeichneten Verfahren können weiter enthalten: Schalten vom ersten Betriebsmodus zu einem anderen Betriebsmodus des MPPT-Reglers, wenn ein erstes Spannungssignal unter einen dritten Schwellwert fällt.

(A17) In dem als (A16) bezeichneten Verfahren kann das erste Spannungssignal eine Funktion einer Spannung über dem Eingangsanschluss sein.

(A18) In jedem der als (A15) bis (A17) bezeichneten Verfahren kann der andere Betriebsmodus der zweite Betriebsmodus des MPPT-Reglers sein.

(A19) Beliebige der als (A1) bis (A18) bezeichneten Verfahren können weiter enthalten: Veranlassen der Regel-Schaltvorrichtung, in einem dritten Betriebsmodus des MPPT-Reglers wiederholt zwischen ihrem leitenden und nichtleitenden Zustand bei einem Tastverhältnis umzuschalten, das eine vorgegebene Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie des MPPT-Reglers beibehält.

(A20) Das als (A19) bezeichnete Verfahren kann weiter enthalten: Betreiben des MPPT-Reglers in seinem dritten Betriebsmodus als Reaktion auf das Bestimmen, dass ein Signal, das aus dem Ausgangsanschluss fließenden Strom darstellt, niedriger als ein oder gleich einem vierten Schwellwert ist, wobei der vierte Schwellwert darstellen kann, dass Strom aus dem Ausgangsanschluss in einer negativen Richtung fließt.

(A21) In jedem der beiden als (A19) und (A20) bezeichneten Verfahren kann die vorgegebene Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie des MPPT-Reglers linear sein, sodass sich der Betrag der mittleren Spannung über dem Ausgangsanschluss linear mit einer Änderung des Betrags eines in den Eingangsanschluss fließenden mittleren Stroms ändert.

(A22) In jedem der beiden als (A19) und (A20) bezeichneten Verfahren kann die vorgegebene Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie des MPPT-Reglers nichtlinear sein, sodass sich der Betrag der mittleren Spannung über dem Ausgangsanschluss nichtlinear mit einer Änderung des Betrags eines in den Eingangsanschluss fließenden mittleren Stroms ändert.

(B1) Ein Verfahren zum Prüfen einer mit einem Eingangsanschluss eines Reglers für das Maximum Power Point Tracking (MPPT-Reglers) elektrisch verbundenen Photovoltaikvorrichtung, wobei der MPPT-Regler einen Schaltkreis enthält, ausgelegt, Leistung zwischen dem Eingangsanschluss und einem Ausgangsanschluss des MPPT-Reglers zu übertragen, kann folgende Schritte enthalten: (a) Treiben eines Prüfstroms in den Ausgangsanschluss des MPPT-Reglers; (b) Erkennen des Vorhandenseins des Prüfstroms; und (c) als Reaktion auf das Erkennen des Vorhandenseins des Prüfstroms Veranlassen des Schaltkreises, einen Weg für den Prüfstrom vom Ausgangsanschluss zur Photovoltaikvorrichtung vorzusehen.

(B2) In dem als (B1) bezeichneten Verfahren kann der Schritt des Veranlassens des Schaltkreises, einen Weg für den Prüfstrom vom Ausgangsanschluss zur Photovoltaikvorrichtung vorzusehen, das Veranlassen einer Schaltvorrichtung des Schaltkreises enthalten, bei einem festen Tastverhältnis zu arbeiten.

(B3) In dem als (B2) bezeichneten Verfahren kann das feste Tastverhältnis ein Tastverhältnis von mindestens neunzig Prozent sein.

(B4) In dem als (B2) bezeichneten Verfahren kann das feste Tastverhältnis ein Tastverhältnis von einhundert Prozent sein.

(B5) In jedem der als (B1) bis (B4) bezeichneten Verfahren kann der Schritt des Veranlassens des Schaltkreises, einen Weg für den Prüfstrom vom Ausgangsanschluss zur Photovoltaikvorrichtung vorzusehen, das Veranlassen des MPPT-Reglers enthalten, als fester Gleichstromtransformator zu wirken, der den Prüfstrom mit der Photovoltaikvorrichtung elektrisch verbindet.

(B6) In jedem der als (B1) bis (B5) bezeichneten Verfahren kann der Schritt des Erkennens des Vorhandenseins des Prüfstroms das Erkennen des Vorhandenseins von Strom enthalten, der von einer externen Quelle in den Ausgangsanschluss fließt.

(B7) In jedem der als (B1) bis (B6) bezeichneten Verfahren kann der Schritt des Erkennens des Vorhandenseins des Prüfstroms das Erkennen von Spannung über dem Ausgangsanschluss des Schaltkreises enthalten.

(B8) In dem als (B7) bezeichneten Verfahren kann der Schritt des Erkennens von Spannung über dem Ausgangsanschluss des Schaltkreises das Vergleichen eines Signals, das die Spannung über dem Ausgangsanschluss darstellt, mit einem Schwellwert enthalten.

(C1) Ein Regler für das Maximum Power Point Tracking (MPPT-Regler) kann einen Eingangs- und einen Ausgangsanschluss, einen Schaltkreis, ausgelegt, Leistung zwischen dem Eingangs- und dem Ausgangsanschluss zu übertragen, und ein Regel-Untersystem enthalten. Das Regel-Untersystem kann ausgelegt sein, (a) in einem ersten Betriebsmodus des MPPT-Reglers eine erste Schaltvorrichtung des Schaltkreises zu veranlassen, bei einem festen Tastverhältnis zu arbeiten; und (b) in einem zweiten Betriebsmodus des MPPT-Reglers eine Regel-Schaltvorrichtung des Schaltkreises zu veranlassen, wiederholt zwischen ihrem leitenden und nichtleitenden Zustand umzuschalten, um einen aus einer an den Eingangsanschluss elektrisch angeschlossenen Photovoltaikvorrichtung ausgekoppelten Betrag an elektrischer Leistung zu maximieren.

(C2) In dem als (C1) bezeichneten MPPT-Regler kann die erste Schaltvorrichtung mindestens eins aus der Regel-Schaltvorrichtung des Schaltkreises und einer freilaufenden Schaltvorrichtung des Schaltkreises enthalten.

(C3) In jedem der beiden als (C1) oder (C2) bezeichneten MPPT-Regler kann das feste Tastverhältnis ein Tastverhältnis von mindestens neunzig Prozent sein.

(C4) In jedem der beiden als (C1) oder (C2) bezeichneten MPPT-Regler kann das feste Tastverhältnis ein Tastverhältnis von einhundert Prozent sein.

(C5) In jedem der als (C1) bis (C4) bezeichneten MPPT-Regler kann das Regel-Untersystem weiter ausgelegt sein: (a) vor dem Betrieb des Schaltkreises beim Anlauf des MPPT-Reglers einen Betrag eines Signals, das die Spannung über dem Ausgangsanschluss darstellt, mit einem ersten Schwellwert zu vergleichen; und (b) den MPPT-Regler in seinem ersten Betriebsmodus zu betreiben als Reaktion auf das Bestimmen, dass der Betrag des Signals, das Spannung über dem Ausgangsanschluss darstellt, größer ist als der erste Schwellwert.

(C6) In jedem der als (C1) bis (C5) bezeichneten MPPT-Regler kann das Regel-Untersystem weiter ausgelegt sein, den Schaltkreis zu veranlassen, in seinem nichtleitenden Zustand zu arbeiten, bis ein Betrag einer Spannung auf einer Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers einen vorgegebenen Wert überschreitet.

(C7) In dem als (C6) bezeichneten MPPT-Regler kann der MPPT-Regler weiter so ausgelegt sein, dass im ersten Betriebsmodus des MPPT-Reglers die Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers vom Ausgangsanschluss her versorgt ist.

(C8) In jedem der als (C1) bis (C7) bezeichneten MPPT-Regler: (a) kann die Regel-Schaltvorrichtung zwischen einer ersten Klemme des Eingangsanschlusses und einer ersten Klemme des Ausgangsanschlusses elektrisch verbunden sein; (b) kann der Schaltkreis weiter eine freilaufende Vorrichtung enthalten, die zwischen der ersten Klemme des Ausgangsanschlusses und einer zweiten Klemme des Ausgangsanschlusses elektrisch verbunden ist, wobei die freilaufende Vorrichtung ausgelegt ist, einen Weg für zwischen der ersten und der zweiten Klemme des Ausgangsanschlusses fließenden Strom vorzusehen, wenn sich die Regel-Schaltvorrichtung in ihrem nichtleitenden Zustand befindet; (c) kann die erste Schaltvorrichtungen die Regel-Schaltvorrichtung sein; und (d) kann die erste Klemme des Ausgangsanschlusses mit einem Schaltknoten elektrisch verbunden sein.

(C9) In dem als (C8) bezeichneten MPPT-Regler kann die Regel-Schaltvorrichtung ein Regel-Transistor sein, wobei der Regel-Transistor eine Bodydiode mit einer mit dem Schaltknoten elektrisch verbundenen Anode und einer mit der ersten Klemme des Eingangsanschlusses verbundenen Kathode enthält.

(C10) In jedem der als (C1) bis (C9) bezeichneten MPPT-Regler kann das Regel-Untersystem weiter ausgelegt sein: (a) ein Signal, das aus dem Ausgangsanschluss fließenden Strom darstellt, mit einem zweiten Schwellwert zu vergleichen; und (b) den MPPT-Regler in seinem ersten Betriebsmodus zu betreiben als Reaktion auf das Bestimmen, dass das Signal, das aus dem Ausgangsanschluss fließenden Strom darstellt, niedriger als der oder gleich dem zweiten Schwellwert ist.

(C11) In dem als (C10) bezeichneten Verfahren kann der zweite Schwellwert darstellen, dass Strom aus dem Ausgangsanschluss in einer negativen Richtung fließt.

(C12) In dem als (C11) bezeichneten MPPT-Regler kann das Regel-Untersystem weiter ausgelegt sein, den MPPT-Regler weiter in seinem ersten Betriebsmodus zu betreiben, nachdem ein Betrag aus dem Ausgangsanschluss fließenden Stroms auf null gefallen ist.

(C13) In jedem der als (C1) bis (C12) bezeichneten MPPT-Regler kann das Regel-Untersystem weiter ausgelegt sein, den MPPT-Regler als Reaktion auf ein externes Signal in seinem ersten Betriebsmodus zu betreiben.

(C14) In jedem der als (C1) bis (C13) bezeichneten MPPT-Regler kann das Regel-Untersystem weiter ausgelegt sein, den MPPT-Regler jedes Mal, wenn der MPPT-Regler anläuft, in seinem ersten Betriebsmodus zu betreiben.

(C15) In jedem der als (C1) bis (C14) bezeichneten MPPT-Regler kann das Regel-Untersystem weiter ausgelegt sein zu veranlassen, dass ein Tastverhältnis der ersten Schaltvorrichtung zum festen Tastverhältnis hochläuft, wenn der MPPT-Regler beginnt, in seinem ersten Betriebsmodus zu arbeiten.

(C16) In jedem der als (C1) bis (C15) bezeichneten MPPT-Regler kann das Regel-Untersystem weiter ausgelegt sein, den MPPT-Regler zu veranlassen, nach einem vorgegebenen Zeitraum von seinem ersten Betriebsmodus zu einem anderen Betriebsmodus umzuschalten.

(C17) In jedem der als (C1) bis (C16) bezeichneten MPPT-Regler kann das Regel-Untersystem weiter ausgelegt sein: (a) ein erstes Spannungssignal mit einem dritten Schwellwert zu vergleichen, wobei das erste Spannungssignal eine Funktion einer Spannung über dem Eingangsanschluss ist; und (b) den MPPT-Regler zu veranlassen, von seinem ersten Betriebsmodus zu einem anderen Betriebsmodus des MPPT-Reglers umzuschalten, wenn das erste Spannungssignal unter den dritten Schwellwert fällt.

(C18) In jedem der beiden als (C16) oder (C17) bezeichneten Verfahren kann der andere Betriebsmodus der zweite Betriebsmodus des MPPT-Reglers sein.

(C19) In jedem der als (C1) bis (C18) bezeichneten MPPT-Regler kann das Regel-Untersystem weiter ausgelegt sein, die Regel-Schaltvorrichtung zu veranlassen, in einem dritten Betriebsmodus des MPPT-Reglers wiederholt zwischen ihrem leitenden und nichtleitenden Zustand bei einem Tastverhältnis umzuschalten, das eine vorgegebene Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie des MPPT-Reglers beibehält.

(C20) In dem als (C19) bezeichneten MPPT-Regler kann das Regel-Untersystem weiter ausgelegt sein: (a) ein Signal, das aus dem Ausgangsanschluss fließenden Strom darstellt, mit einem vierten Schwellwert zu vergleichen; und (b) den MPPT-Regler in seinem dritten Betriebsmodus zu betreiben als Reaktion auf das Bestimmen, dass das Signal, das aus dem Ausgangsanschluss fließenden Strom darstellt, niedriger als der oder gleich dem vierten Schwellwert ist.

(C21) In dem als (C20) bezeichneten MPPT-Regler kann der vierte Schwellwert darstellen, dass Strom aus dem Ausgangsanschluss in einer negativen Richtung fließt.

(C22) In jedem der als (C19) bis (C21) bezeichneten MPPT-Regler kann die vorgegebene Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie des MPPT-Reglers linear sein, sodass sich der Betrag der mittleren Spannung über dem Ausgangsanschluss linear mit einer Änderung des Betrags eines in den Eingangsanschluss fließenden mittleren Stroms ändert.

(C23) In jedem der als (C19) bis (C21) bezeichneten MPPT-Regler kann die vorgegebene Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie des MPPT-Reglers nichtlinear sein, sodass sich der Betrag der mittleren Spannung über dem Ausgangsanschluss nichtlinear mit einer Änderung des Betrags eines in den Eingangsanschluss fließenden mittleren Stroms ändert.

[0103] Änderungen können an den obigen Verfahren und Systeme vorgenommen werden, ohne vom vorliegenden Geltungsbereich abzuweichen. Zum Beispiel könnten bei geeigneten Änderungen an der zugehörigen Schaltung N-Kanal-Feldeffekttransistoren durch P-Kanal-Feldeffekttransistoren ersetzt werden oder umgekehrt. Als weiteres Beispiel könnten bei geeigneten Änderungen an der zugehörigen Schaltung Feldeffekttransistoren durch bipolare Sperrschichttransistoren ersetzt werden. Es ist daher anzumerken, dass der in der obigen Beschreibung enthaltene und in der begleitenden Zeichnung gezeigte Gegenstand als erläuternd und nicht im einschränkenden Sinn ausgelegt werden sollte. Die folgenden Ansprüche sollen generische und spezifische, hier beschriebene Merkmale sowie alle Angaben über den Geltungsbereich des vorliegenden Verfahrens und Systems abdecken, von denen sprachlich gesagt werden könnte, dass sie dazwischen fallen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Reglers für das Maximum Power Point Tracking (MPPT-Regler), der einen Schaltkreis enthält, ausgelegt, Leistung zwischen einem Eingangsanschluss und einem Ausgangsanschluss zu übertragen, umfassend folgende Schritte:
in einem ersten Betriebsmodus des MPPT-Reglers Veranlassen einer ersten Schaltvorrichtung des Schaltkreises, bei einem festen Tastverhältnis zu arbeiten; und
in einem zweiten Betriebsmodus des MPPT-Reglers Veranlassen einer Regel-Schaltvorrichtung des Schaltkreises, wiederholt zwischen ihren leitenden und nichtleitenden Zuständen umzuschalten, um einen aus einer an den Eingangsanschluss elektrisch angeschlossenen Photovoltaikvorrichtung ausgekoppelten Betrag an Leistung zu maximieren.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste Schaltvorrichtung mindestens eins aus der Regel-Schaltvorrichtung des Schaltkreises und einer freilaufenden Schaltvorrichtung des Schaltkreises enthält.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das feste Tastverhältnis ein Tastverhältnis von mindestens neunzig Prozent ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das feste Tastverhältnis ein Tastverhältnis von einhundert Prozent ist.
5. Verfahren nach Anspruch 2, weiter umfassend das Betreiben des MPPT-Reglers in seinem ersten Betriebsmodus als Reaktion auf das Bestimmen vor dem Betrieb des Schaltkreises beim Anlauf des MPPT-Reglers, dass ein Betrag eines Signals, das die Spannung über dem Ausgangsanschluss darstellt, größer ist als ein Schwellwert.
6. Verfahren nach Anspruch 5, weiter umfassend das Veranlassen des Schaltkreises, in seinem nichtleitenden Zustand zu arbeiten, bis ein Betrag einer Spannung auf einer Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers einen vorgegebenen Wert überschreitet.
7. Verfahren nach Anspruch 6, weiter umfassend im ersten Betriebsmodus des MPPT-Reglers das Versorgen der Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers vom Ausgangsanschluss her.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die erste Schaltvorrichtung einen ersten Transistor enthält und das Verfahren weiter elektrisches Einspeisen von Strom in die Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers unter Verwendung einer Bodydiode des ersten Transistors enthält.
9. Verfahren nach Anspruch 2, weiter umfassend das Betreiben des MPPT-Reglers in seinem ersten Betriebsmodus als Reaktion auf das Bestimmen, dass ein Signal, das aus dem Ausgangsanschluss fließenden Strom darstellt, niedriger als ein oder gleich einem Schwellwert ist.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei der Schwellwert darstellt, dass Strom aus dem Ausgangsanschluss in einer negativen Richtung fließt.
11. Verfahren nach Anspruch 10, weiter umfassend das Veranlassen des Schaltkreises, in seinem nichtleitenden Zustand zu arbeiten, bis ein Betrag einer Spannung auf einer Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers einen vorgegebenen Wert überschreitet.
12. Verfahren nach Anspruch 11, weiter umfassend im ersten Betriebsmodus des MPPT-Reglers das Versorgen der Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers vom Ausgangsanschluss her.
13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei die erste Schaltvorrichtung einen ersten Transistor enthält und das Verfahren elektrisches Einspeisen von Strom in die Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers unter Verwendung einer Bodydiode des ersten Transistors enthält.
14. Verfahren nach Anspruch 10, weiter umfassend das Weiterbetreiben des MPPT-Reglers in seinem ersten Betriebsmodus, nachdem ein Betrag eines aus dem Ausgangsanschluss fließenden Stroms auf null gefallen ist.
15. Verfahren nach Anspruch 2, weiter umfassend das Betreiben des MPPT-Reglers in seinem ersten Betriebsmodus als Reaktion auf ein externes Signal.
16. Verfahren nach Anspruch 2, weiter umfassend das Betreiben des MPPT-Reglers in seinem ersten Betriebsmodus jedes Mal, wenn der MPPT-Regler anläuft.
17. Verfahren nach Anspruch 2, weiter umfassend das Veranlassen, dass ein Tastverhältnis der ersten Schaltvorrichtung zum festen Tastverhältnis hochläuft, wenn der MPPT-Regler beginnt, in seinem ersten Betriebsmodus zu arbeiten.
18. Verfahren nach Anspruch 2, weiter umfassend das Schalten vom ersten Betriebsmodus zu einem anderen Betriebsmodus des MPPT-Reglers nach einem vorgegebenen Zeitraum.

19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei der andere Betriebsmodus der zweite Betriebsmodus des MPPT-Reglers ist.
20. Verfahren nach Anspruch 2, weiter umfassend das Schalten vom ersten Betriebsmodus zu einem anderen Betriebsmodus des MPPT-Reglers, wenn ein erstes Spannungssignal unter einen Schwellwert fällt.
21. Verfahren nach Anspruch 20, wobei das erste Spannungssignal eine Funktion einer Spannung über dem Eingangsanschluss ist.
22. Verfahren nach Anspruch 20, wobei der andere Betriebsmodus der zweite Betriebsmodus des MPPT-Reglers ist.
23. Verfahren nach Anspruch 2, weiter umfassend das Veranlassen der Regel-Schaltvorrichtung, in einem dritten Betriebsmodus des MPPT-Reglers wiederholt zwischen ihrem leitenden und nichtleitenden Zustand bei einem Tastverhältnis umzuschalten, das eine vorgegebene Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie des MPPT-Reglers beibehält.
24. Verfahren nach Anspruch 23, weiter umfassend das Betreiben des MPPT-Reglers in seinem dritten Betriebsmodus als Reaktion auf das Bestimmen, dass ein Signal, das aus dem Ausgangsanschluss fließenden Strom darstellt, niedriger als ein oder gleich einem Schwellwert ist.
25. Verfahren nach Anspruch 24, wobei der Schwellwert darstellt, dass Strom aus dem Ausgangsanschluss in einer negativen Richtung fließt.
26. Verfahren nach Anspruch 23, wobei die vorgegebene Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie des MPPT-Reglers linear ist, sodass sich der Betrag der mittleren Spannung über dem Ausgangsanschluss linear mit einer Änderung des Betrags eines in den Eingangsanschluss fließenden mittleren Stroms ändert.
27. Verfahren nach Anspruch 23, wobei die vorgegebene Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie des MPPT-Reglers nichtlinear ist, sodass sich der Betrag der mittleren Spannung über dem Ausgangsanschluss nichtlinear mit einer Änderung des Betrags eines in den Eingangsanschluss fließenden mittleren Stroms ändert.
28. Verfahren zum Prüfen einer mit einem Eingangsanschluss eines Reglers für das Maximum Power Point Tracking (MPPT-Reglers) elektrisch verbundenen Photovoltaikvorrichtung, wobei der MPPT-Regler einen Schaltkreis enthält, ausgelegt, Leistung zwischen dem Eingangsanschluss und einem Ausgangsanschluss des MPPT-Reglers zu übertragen, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:
Treiben eines Prüfstroms in den Ausgangsanschluss des MPPT-Reglers;
Erkennen des Vorhandenseins des Prüfstroms; und
als Reaktion auf das Erkennen des Vorhandenseins des Prüfstroms Veranlassen des Schaltkreises, einen Weg für den Prüfstrom vom Ausgangsanschluss zur Photovoltaikvorrichtung vorzusehen.
29. Verfahren nach Anspruch 28, wobei der Schritt des Veranlassens des Schaltkreises, einen Weg für den Prüfstrom vom Ausgangsanschluss zur Photovoltaikvorrichtung vorzusehen, das Veranlassen einer Schaltvorrichtung des Schaltkreises umfasst, bei einem festen Tastverhältnis zu arbeiten.
30. Verfahren nach Anspruch 29, wobei das feste Tastverhältnis ein Tastverhältnis von mindestens neunzig Prozent ist.
31. Verfahren nach Anspruch 30, wobei das feste Tastverhältnis ein Tastverhältnis von einhundert Prozent ist.
32. Verfahren nach Anspruch 28, wobei der Schritt des Veranlassens des Schaltkreises, einen Weg für den Prüfstrom vom Ausgangsanschluss zur Photovoltaikvorrichtung vorzusehen, das Veranlassen des MPPT-Reglers umfasst, als fester Gleichstromtransformator zu wirken, der den Prüfstrom mit der Photovoltaikvorrichtung elektrisch verbindet.
33. Verfahren nach Anspruch 28, wobei der Schritt des Erkennens des Vorhandenseins des Prüfstroms das Erkennen des Vorhandenseins von Strom umfasst, der von einer externen Quelle in den Ausgangsanschluss fließt.

34. Verfahren nach Anspruch 28, wobei der Schritt des Erkennens des Vorhandenseins des Prüfstroms das Erkennen von Spannung über dem Ausgangsanschluss des Schaltkreises umfasst.
35. Verfahren nach Anspruch 34, wobei der Schritt des Erkennens von Spannung über dem Ausgangsanschluss des Schaltkreises das Vergleichen eines Signals, das die Spannung über dem Ausgangsanschluss darstellt, mit einem Schwellwert umfasst.
36. Regler für das Maximum Power Point Tracking (MPPT-Regler), umfassend:
einen Eingangs- und einen Ausgangsanschluss;
einen Schaltkreis, ausgelegt, Leistung zwischen dem Eingangs- und dem Ausgangsanschluss zu übertragen;
und
ein Regel-Untersystem, ausgelegt:
in einem ersten Betriebsmodus des MPPT-Reglers eine erste Schaltvorrichtung des Schaltkreises zu veranlassen, bei einem festen Tastverhältnis zu arbeiten, und
in einem zweiten Betriebsmodus des MPPT-Reglers eine Regel-Schaltvorrichtung des Schaltkreises zu veranlassen, wiederholt zwischen ihrem leitenden und nichtleitenden Zustand umzuschalten, um einen aus einer an den Eingangsanschluss elektrisch angeschlossenen Photovoltaikvorrichtung ausgekoppelten Betrag an elektrischer Leistung zu maximieren.
37. MPPT-Regler nach Anspruch 36, wobei die erste Schaltvorrichtung mindestens eins aus der Regel-Schaltvorrichtung des Schaltkreises und einer freilaufenden Schaltvorrichtung des Schaltkreises enthält.
38. MPPT-Regler nach Anspruch 37, wobei das feste Tastverhältnis ein Tastverhältnis von mindestens neunzig Prozent ist.
39. MPPT-Regler nach Anspruch 38, wobei das feste Tastverhältnis ein Tastverhältnis von einhundert Prozent ist.
40. MPPT-Regler nach Anspruch 37, wobei das Regel-Untersystem weiter ausgelegt ist:
vor dem Betrieb des Schaltkreises beim Anlauf des MPPT-Reglers einen Betrag eines Signals, das die Spannung über dem Ausgangsanschluss darstellt, mit einem Schwellwert zu vergleichen; und
den MPPT-Regler in seinem ersten Betriebsmodus zu betreiben als Reaktion auf das Bestimmen, dass der Betrag des Signals, das Spannung über dem Ausgangsanschluss darstellt, größer ist als der Schwellwert.
41. MPPT-Regler nach Anspruch 40, wobei das Regel-Untersystem weiter ausgelegt ist, den Schaltkreis zu veranlassen, in seinem nichtleitenden Zustand zu arbeiten, bis ein Betrag einer Spannung auf einer Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers einen vorgegebenen Wert überschreitet.
42. MPPT-Regler nach Anspruch 41, wobei der MPPT-Regler weiter so ausgelegt ist, dass im ersten Betriebsmodus des MPPT-Reglers die Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers vom Ausgangsanschluss her versorgt ist.
43. MPPT-Regler nach Anspruch 41, wobei
die Regel-Schaltvorrichtung zwischen einer ersten Klemme des Eingangsanschlusses und einer ersten Klemme des Ausgangsanschlusses elektrisch verbunden ist;
der Schaltkreis weiter eine freilaufende Vorrichtung umfasst, die zwischen der ersten Klemme des Ausgangsanschlusses und einer zweiten Klemme des Ausgangsanschlusses elektrisch verbunden ist, wobei die freilaufende Vorrichtung ausgelegt ist, einen Weg für zwischen der ersten und der zweiten Klemme des Ausgangsanschlusses fließenden Strom vorzusehen, wenn sich die Regel-Schaltvorrichtung in ihrem nichtleitenden Zustand befindet;
die erste Schaltvorrichtungen die Regel-Schaltvorrichtung ist;
und
die erste Klemme des Ausgangsanschlusses mit einem Schaltknoten elektrisch verbunden ist.
44. MPPT-Regler nach Anspruch 43, wobei die Regel-Schaltvorrichtung einen Regel-Transistor umfasst, wobei der Regel-Transistor eine Bodydiode mit einer mit dem Schaltknoten elektrisch verbundenen Anode und einer mit der ersten Klemme des Eingangsanschlusses verbundenen Kathode enthält.
45. MPPT-Regler nach Anspruch 37, wobei das Regel-Untersystem weiter ausgelegt ist:

ein Signal, das aus dem Ausgangsanschluss fließenden Strom darstellt, mit einem Schwellwert zu vergleichen; und
den MPPT-Regler in seinem ersten Betriebsmodus zu betreiben als Reaktion auf das Bestimmen, dass das Signal, das aus dem Ausgangsanschluss fließenden Strom darstellt, niedriger als der oder gleich dem Schwellwert ist.

46. MPPT-Regler nach Anspruch 45, wobei der Schwellwert darstellt, dass Strom aus dem Ausgangsanschluss in einer negativen Richtung fließt.

47. MPPT-Regler nach Anspruch 46, wobei das Regel-Untersystem weiter ausgelegt ist, den Schaltkreis zu veranlassen, in seinem nichtleitenden Zustand zu arbeiten, bis ein Betrag einer Spannung auf einer Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers einen vorgegebenen Wert überschreitet.

48. MPPT-Regler nach Anspruch 47, wobei der MPPT-Regler so ausgelegt ist, dass im ersten Betriebsmodus des MPPT-Reglers die Stromversorgungsschiene des MPPT-Reglers vom Ausgangsanschluss her versorgt ist.

49. MPPT-Regler nach Anspruch 47, wobei die Regel-Schaltvorrichtung zwischen einer ersten Klemme des Eingangsanschlusses und einer ersten Klemme des Ausgangsanschlusses elektrisch verbunden ist;
der Schaltkreis weiter eine freilaufende Vorrichtung umfasst, die zwischen der ersten Klemme des Ausgangsanschlusses und einer zweiten Klemme des Ausgangsanschlusses elektrisch verbunden ist, wobei die freilaufende Vorrichtung ausgelegt ist, einen Weg für zwischen der ersten und der zweiten Klemme des Ausgangsanschlusses fließenden Strom vorzusehen, wenn sich die Regel-Schaltvorrichtung in ihrem nichtleitenden Zustand befindet; und
die erste Schaltvorrichtung die Regel-Schaltvorrichtung ist.

50. MPPT-Regler nach Anspruch 49, wobei die Regel-Schaltvorrichtung einen Regel-Transistor umfasst, wobei der Regel-Transistor eine Bodydiode mit einer mit der ersten Klemme des Ausgangsanschlusses elektrisch verbundenen Anode und einer mit der ersten Klemme des Eingangsanschlusses verbundenen Kathode enthält.

51. MPPT-Regler nach Anspruch 46, wobei das Regel-Untersystem weiter ausgelegt ist, den MPPT-Regler weiter in seinem ersten Betriebsmodus zu betreiben, nachdem ein Betrag eines aus dem Ausgangsanschluss fließenden Stroms auf null gefallen ist.

52. MPPT-Regler nach Anspruch 37, wobei das Regel-Untersystem weiter ausgelegt ist, den MPPT-Regler als Reaktion auf ein externes Signal in seinem ersten Betriebsmodus zu betreiben.

53. MPPT-Regler nach Anspruch 37, wobei das Regel-Untersystem weiter ausgelegt ist, den MPPT-Regler jedes Mal, wenn der MPPT-Regler anläuft, in seinem ersten Betriebsmodus zu betreiben.

54. MPPT-Regler nach Anspruch 37, wobei das Regel-Untersystem weiter ausgelegt ist zu veranlassen, dass ein Tastverhältnis der ersten Schaltvorrichtung zum festen Tastverhältnis hochläuft, wenn der MPPT-Regler beginnt, in seinem ersten Betriebsmodus zu arbeiten.

55. MPPT-Regler nach Anspruch 37, wobei das Regel-Untersystem weiter ausgelegt ist, den MPPT-Regler zu veranlassen, nach einem vorgegebenen Zeitraum von seinem ersten Betriebsmodus zu einem anderen Betriebsmodus umzuschalten.

56. MPPT-Regler nach Anspruch 55, wobei der andere Betriebsmodus der zweite Betriebsmodus des MPPT-Reglers ist.

57. MPPT-Regler nach Anspruch 37, wobei das Regel-Untersystem weiter ausgelegt ist:
ein erstes Spannungssignal mit einem Schwellwert zu vergleichen, wobei das erste Spannungssignal eine Funktion einer Spannung über dem Eingangsanschluss ist; und
den MPPT-Regler zu veranlassen, von seinem ersten Betriebsmodus zu einem anderen Betriebsmodus des MPPT-Reglers umzuschalten, wenn das erste Spannungssignal unter den Schwellwert fällt.

58. MPPT-Regler nach Anspruch 57, wobei der andere Betriebsmodus der zweite Betriebsmodus des MPPT-Reglers ist.

59. MPPT-Regler nach Anspruch 37, wobei das Regel-Untersystem weiter ausgelegt ist, die Regel-Schaltvorrichtung zu veranlassen, in einem dritten Betriebsmodus des MPPT-Reglers wiederholt zwischen ihrem leitenden und nichtleitenden Zustand bei einem Tastverhältnis umzuschalten, das eine vorgegebene Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie des MPPT-Reglers beibehält.

60. MPPT-Regler nach Anspruch 59, wobei das Regel-Untersystem weiter ausgelegt ist:
ein Signal, das aus dem Ausgangsanschluss fließenden Strom darstellt, mit einem Schwellwert zu vergleichen;
und
den MPPT-Regler in seinem dritten Betriebsmodus zu betreiben als Reaktion auf das Bestimmen, dass das Signal, das aus dem Ausgangsanschluss fließenden Strom darstellt, niedriger als der oder gleich dem Schwellwert ist.

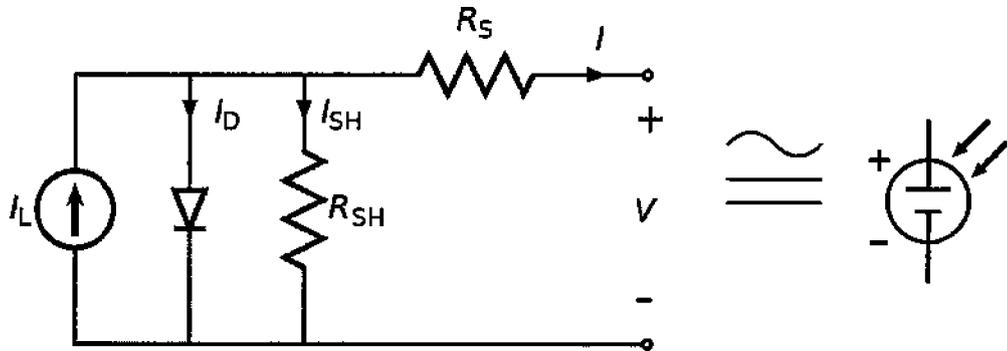
61. MPPT-Regler nach Anspruch 60, wobei der Schwellwert darstellt, dass Strom aus dem Ausgangsanschluss in einer negativen Richtung fließt.

62. MPPT-Regler nach Anspruch 59, wobei die vorgegebene Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie des MPPT-Reglers linear ist, sodass sich der Betrag der mittleren Spannung über dem Ausgangsanschluss linear mit einer Änderung des Betrags eines in den Eingangsanschluss fließenden mittleren Stroms ändert.

63. MPPT-Regler nach Anspruch 59, wobei die vorgegebene Ausgangs-Strom-Spannungs-Kennlinie des MPPT-Reglers nichtlinear ist, sodass sich der Betrag der mittleren Spannung über dem Ausgangsanschluss nichtlinear mit einer Änderung des Betrags eines in den Eingangsanschluss fließenden mittleren Stroms ändert.

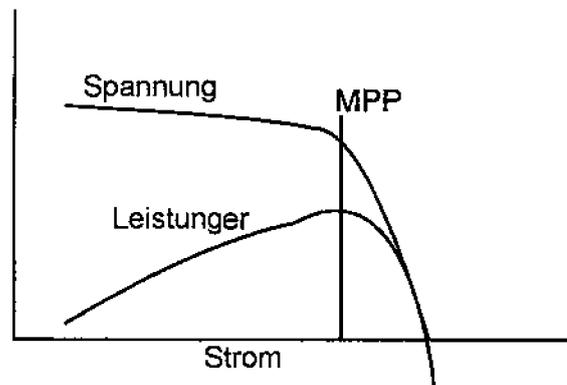
Es folgen 14 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



(STAND DER TECHNIK)

FIG. 1



(STAND DER TECHNIK)

FIG. 2

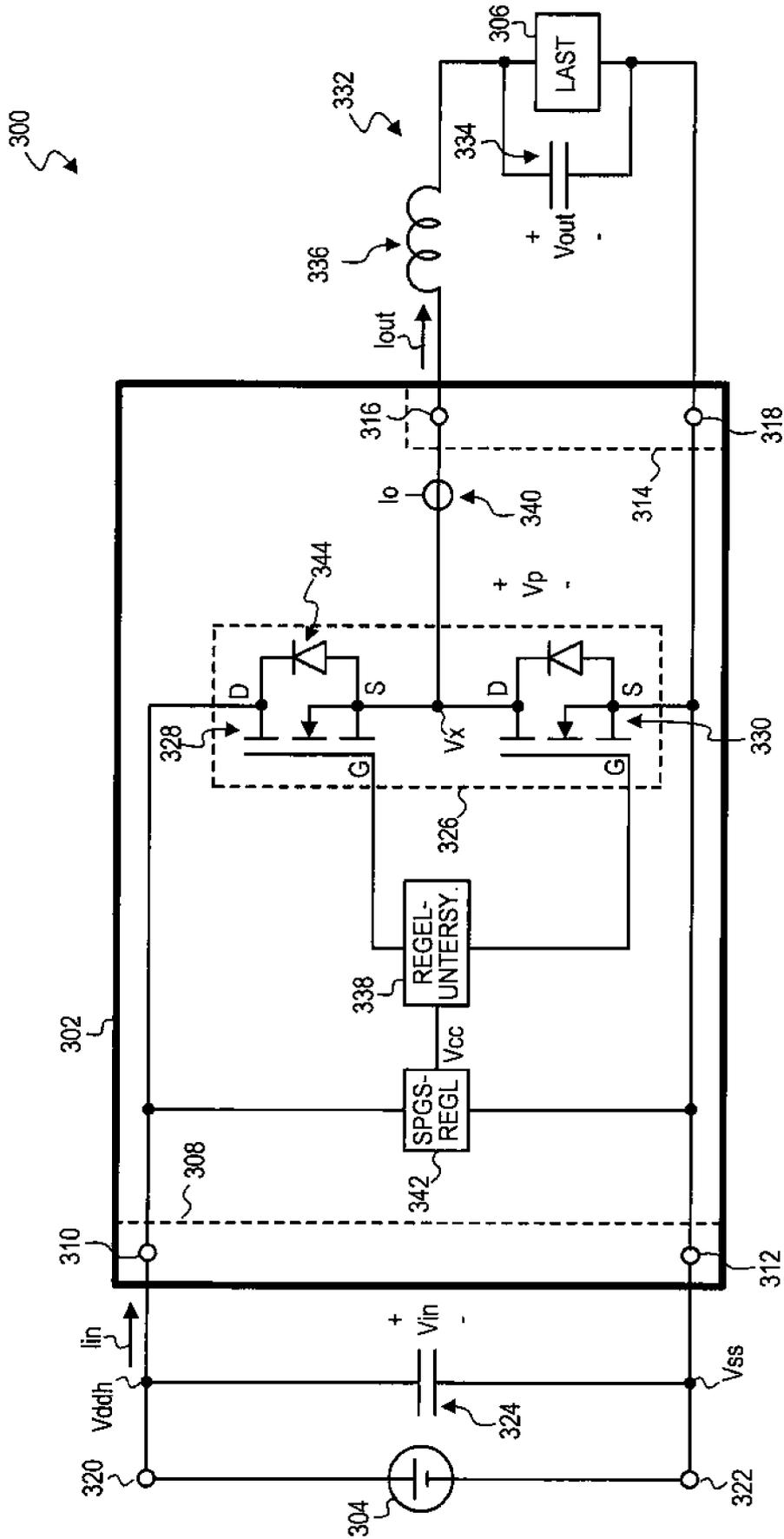


FIG. 3

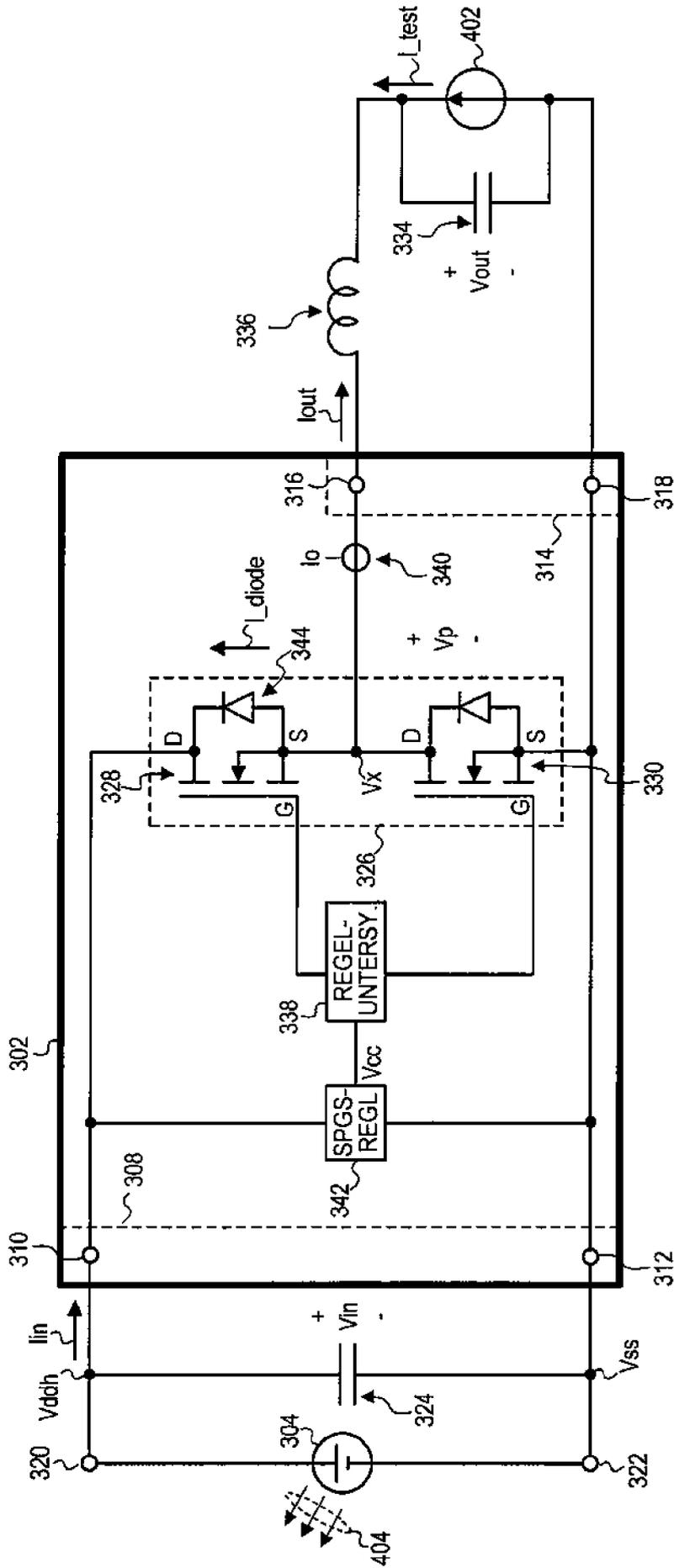


FIG. 4

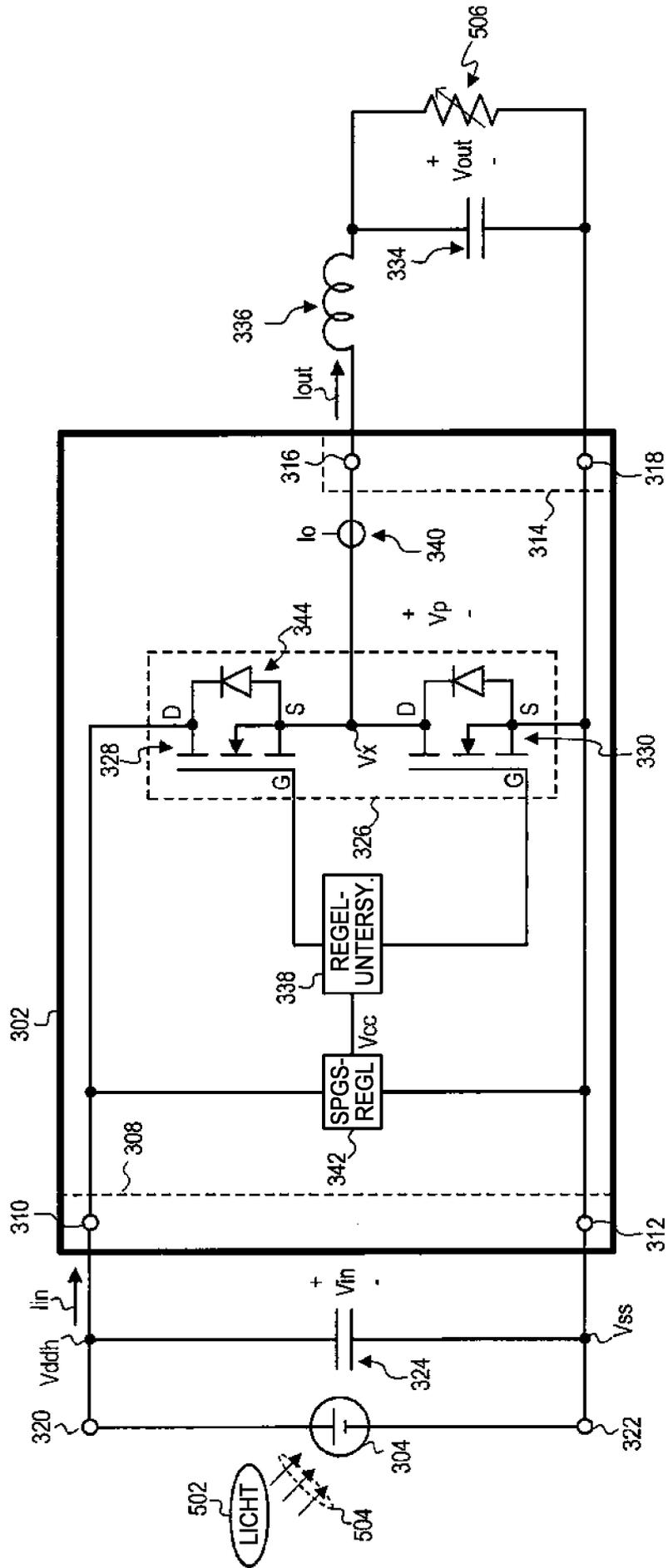


FIG. 5

700

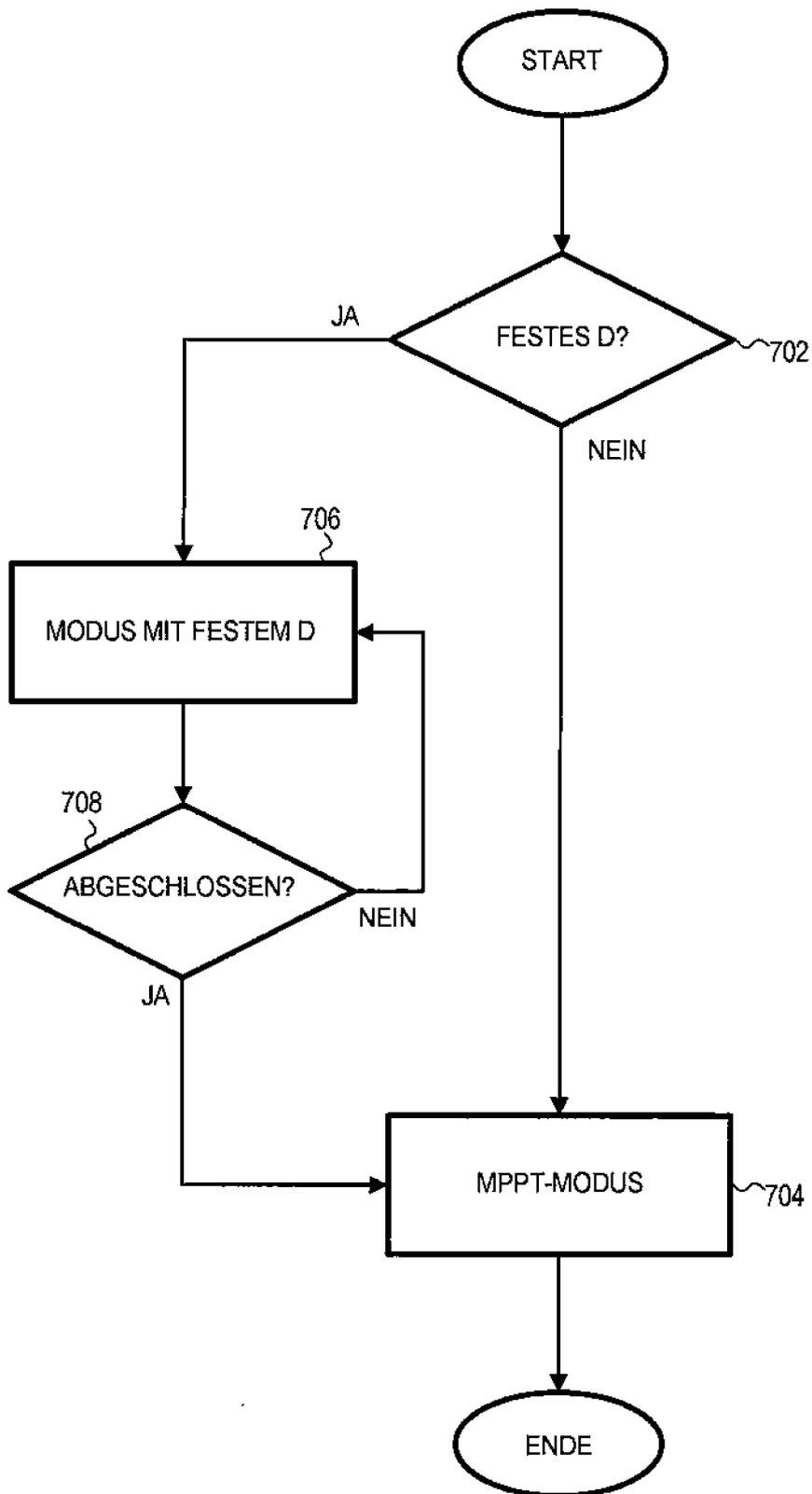
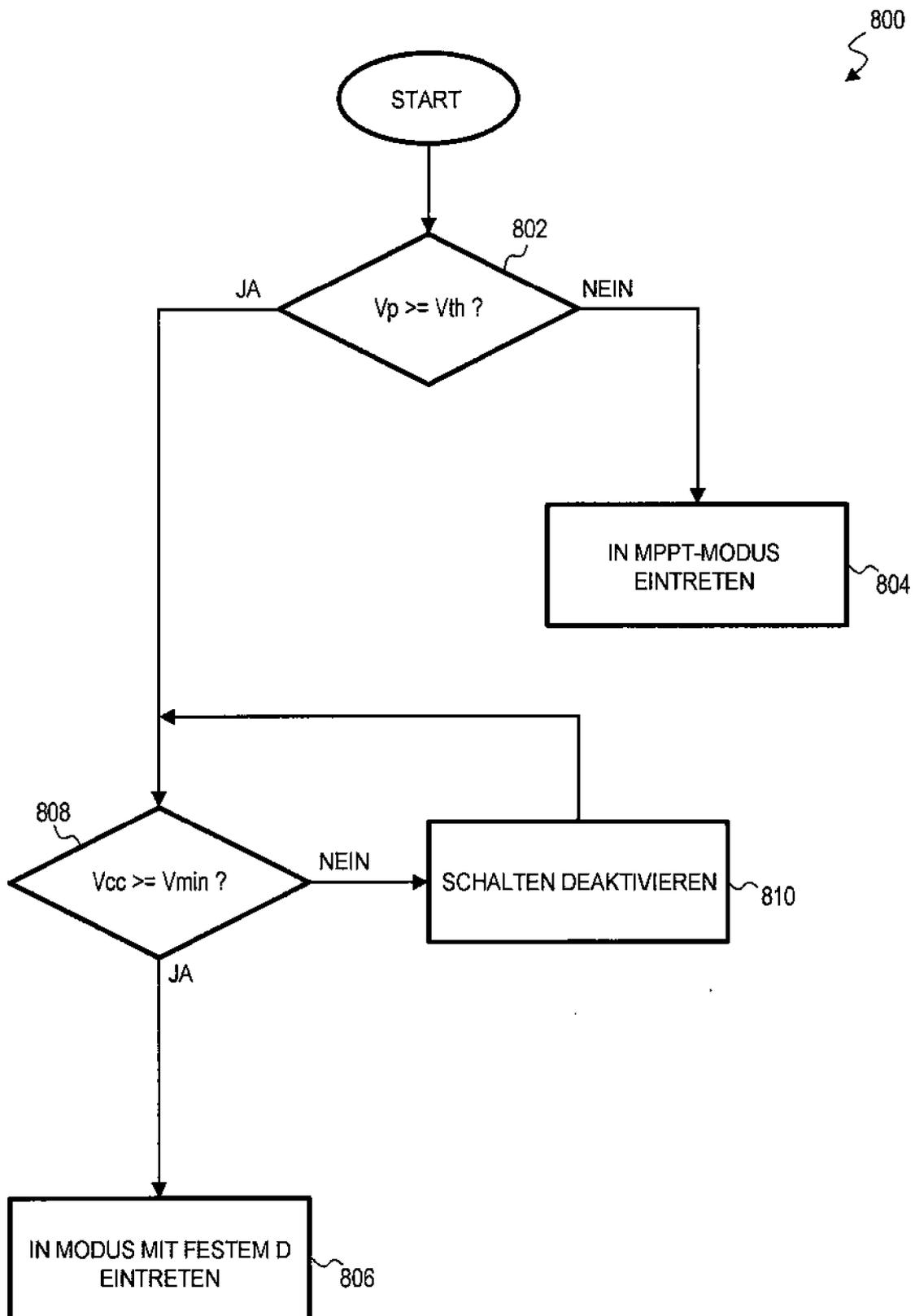
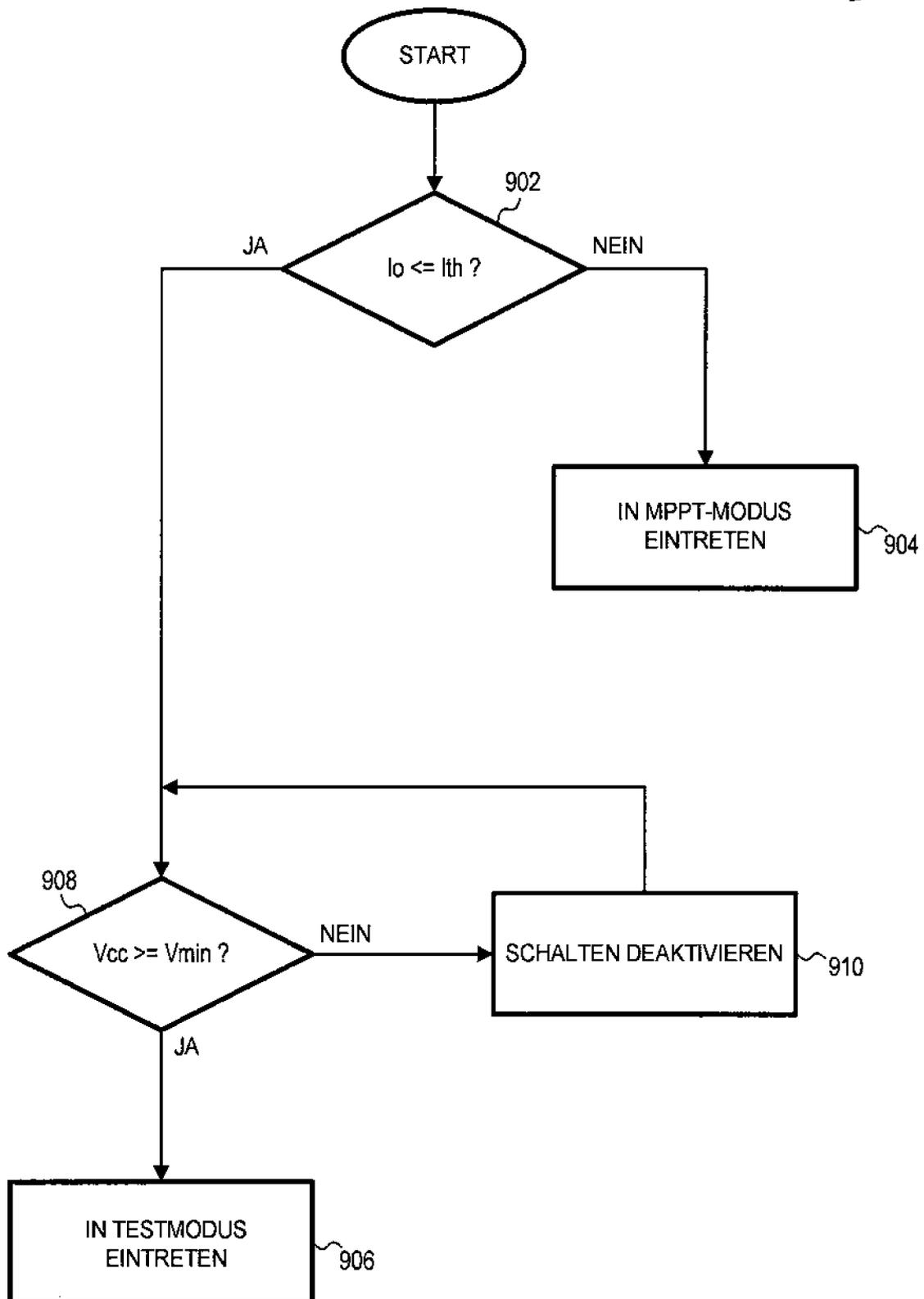


FIG. 7

**FIG. 8**

900

**FIG. 9**

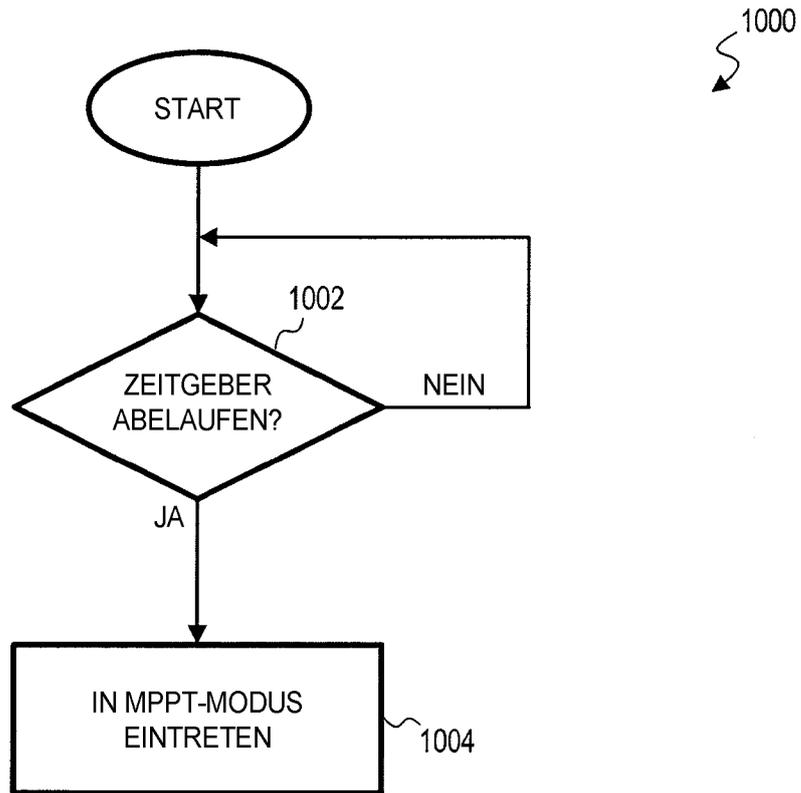


FIG. 10

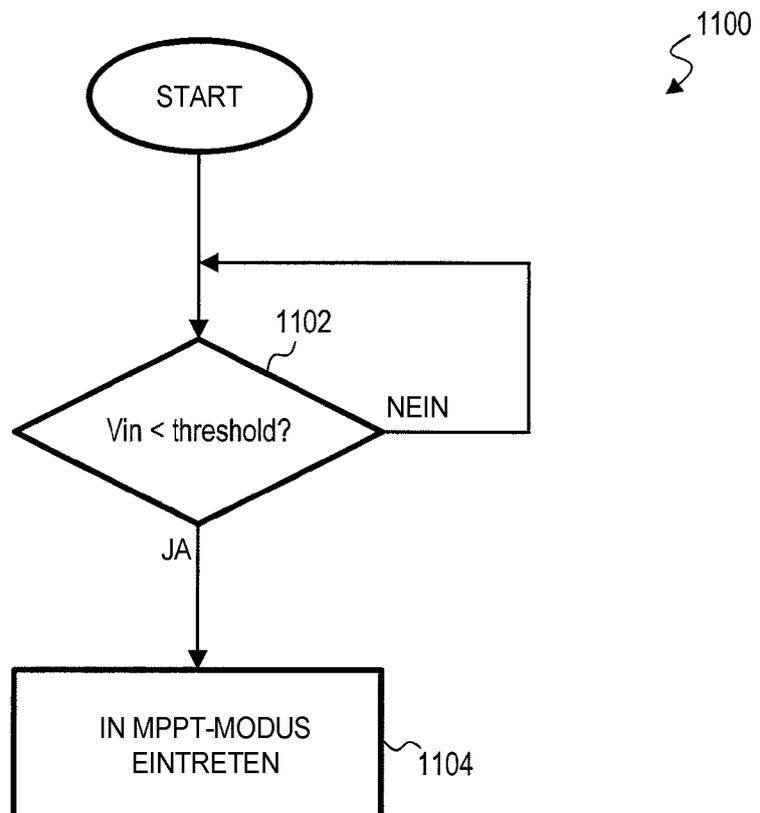


FIG. 11

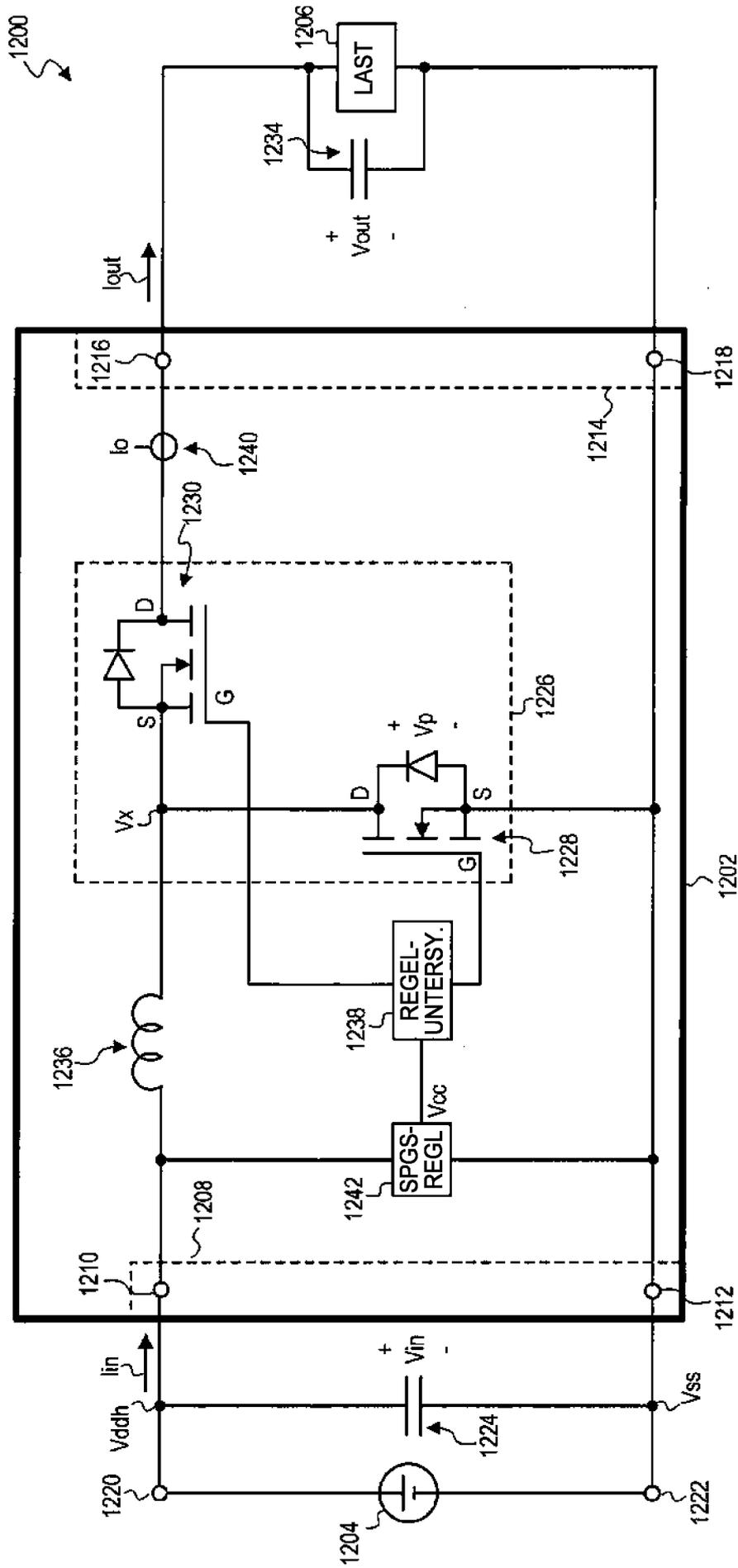


FIG. 12

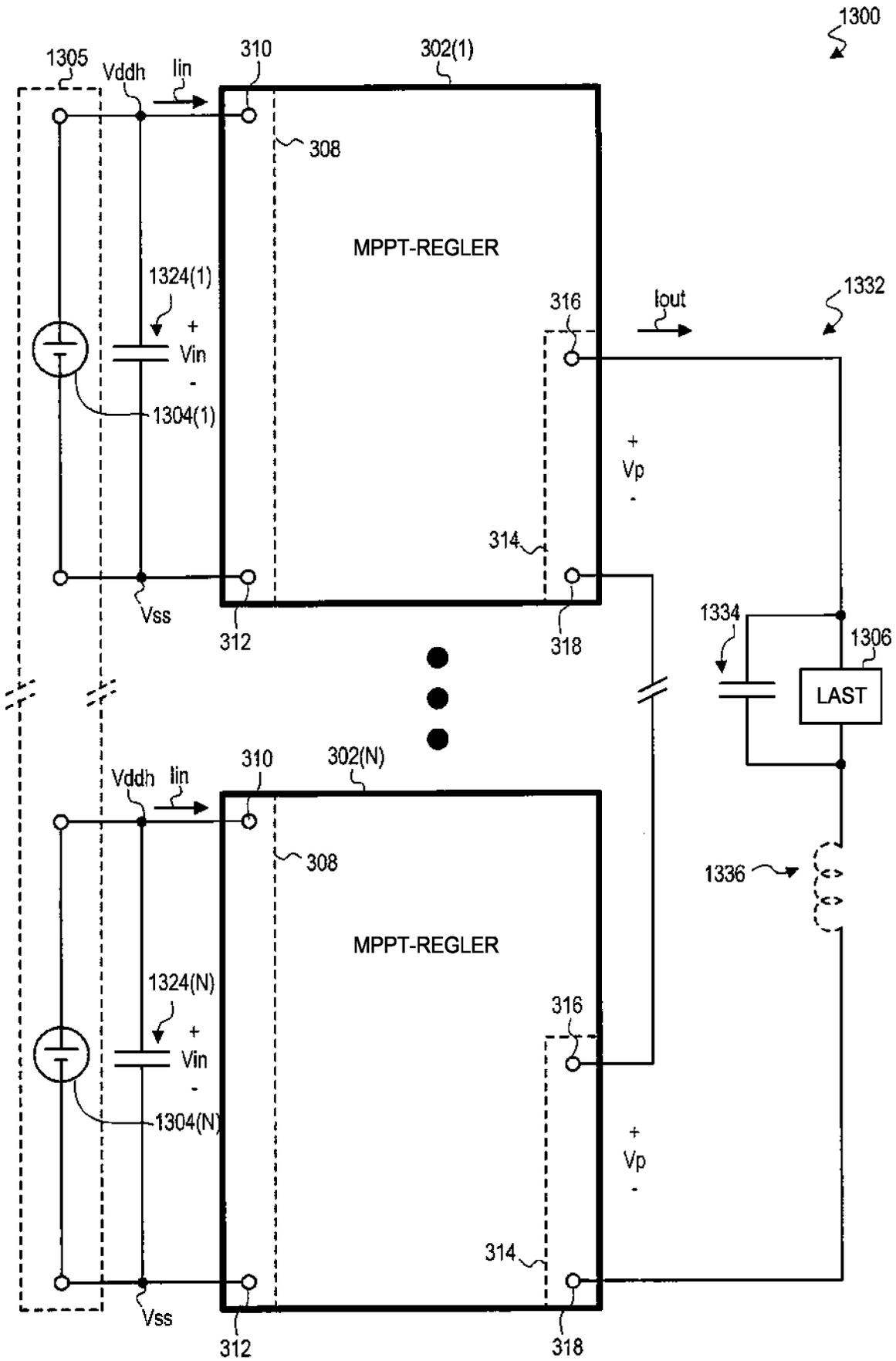


FIG. 13

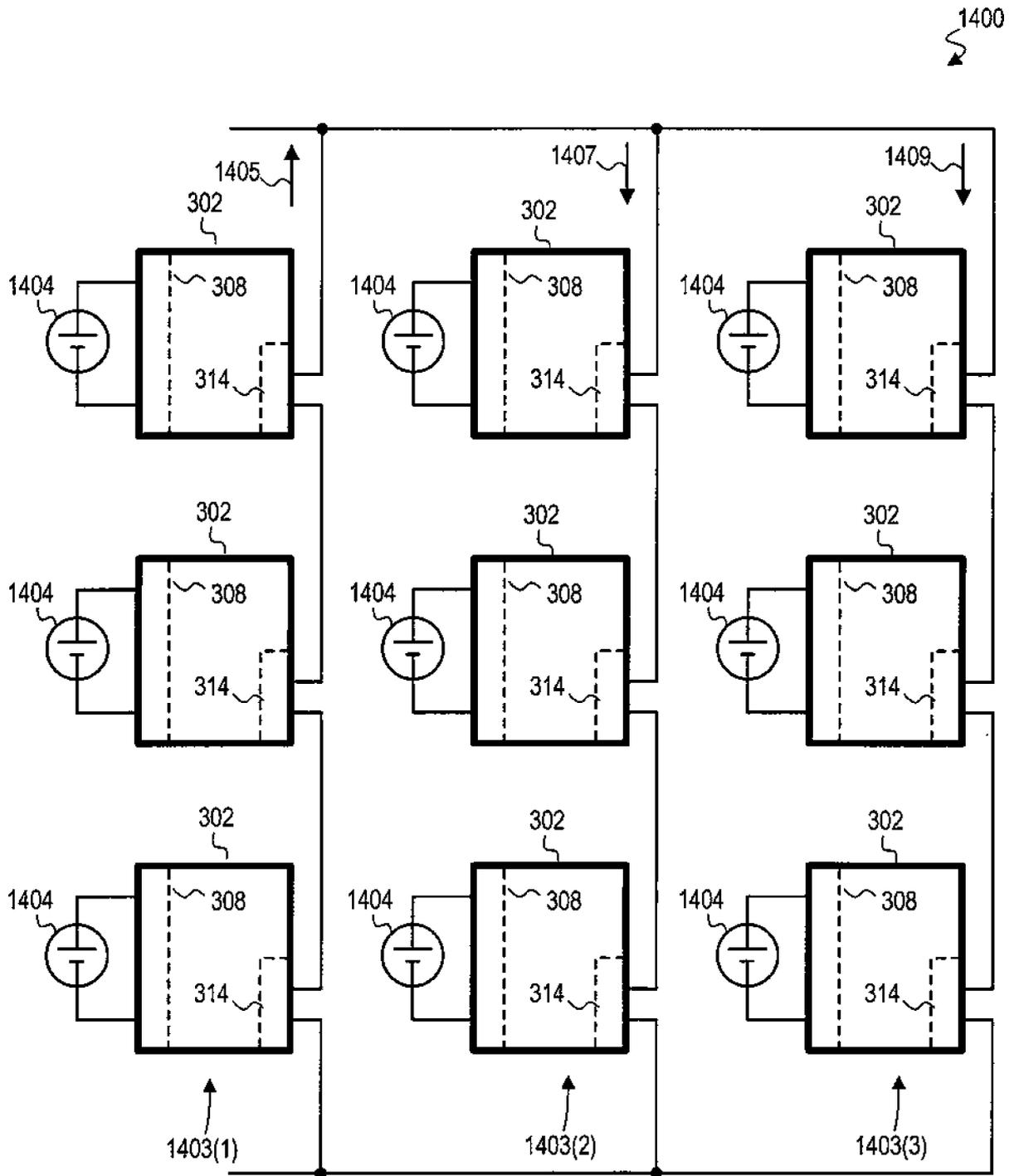
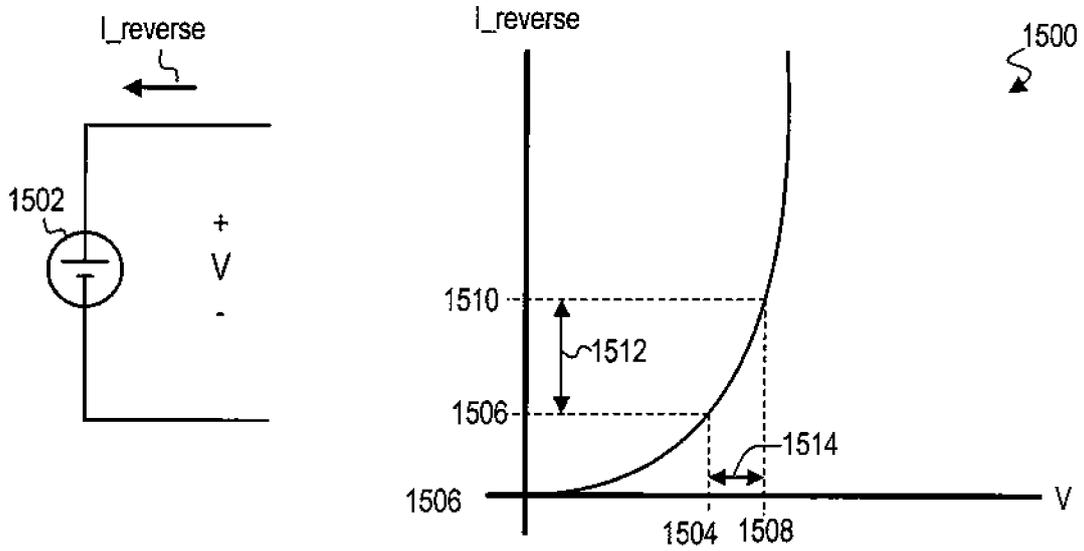


FIG. 14



(STAND DER TECHNIK)

FIG. 15

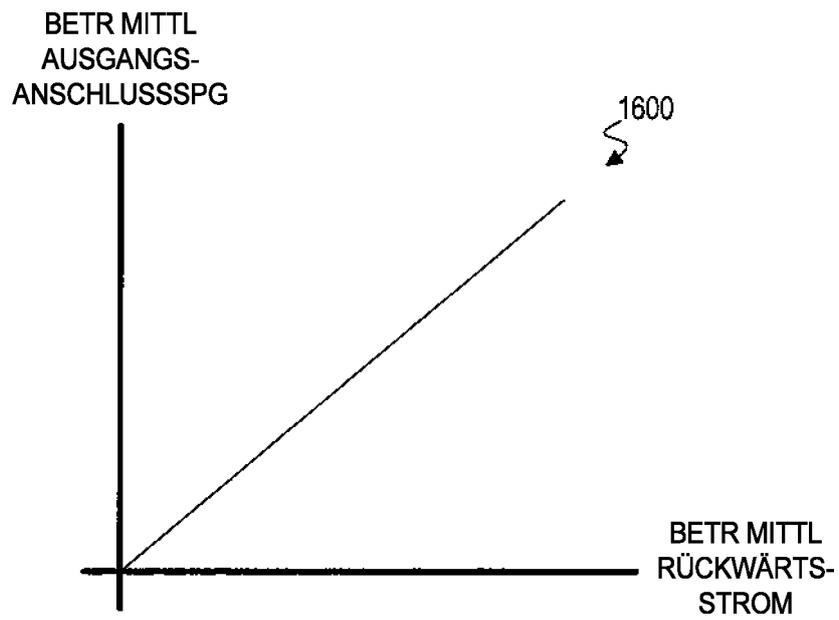


FIG. 16

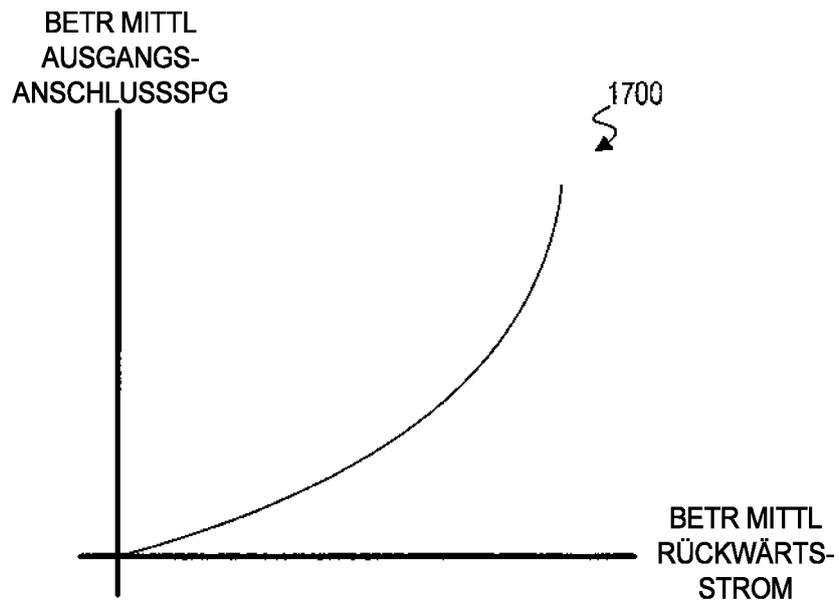


FIG. 17