



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 126 696.8**

(22) Anmeldetag: **14.11.2017**

(43) Offenlegungstag: **16.05.2019**

(51) Int Cl.: **H02M 3/335 (2006.01)**

(71) Anmelder:
Infineon Technologies Austria AG, Villach, AT

(74) Vertreter:
Kraus & Weisert Patentanwälte PartGmbB, 80539 München, DE

(72) Erfinder:
Deboy, Gerald, Klagenfurt, AT; Gong, Xiaowu, Singapur, SG; Teo, Yong Siang, Singapur, SG; Wang, Zan, Singapur, SG

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2015 114 036 A1
US 2015 / 0 016 153 A1

E. Adib; H. Farzanehfar: New zero voltage switching PWM flyback converter. In: 1st Power Electronic & Drive Systems & Technologies Conference (PEDSTC), 2010, 196-200.

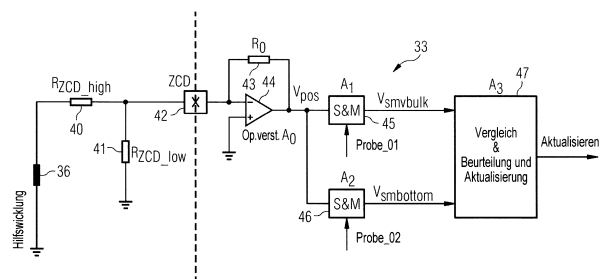
Texas Instruments: Datenblatt UCC28780. USA, Okt. 2017. - Firmenschrift

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Spannungswandlersteuerung, Spannungswandler und Verfahren zum Betreiben eines Spannungswandlers**

(57) Zusammenfassung: Spannungswandlersteuerung, Spannungswandler und Verfahren werden hinsichtlich der Einstellung einer Ein-Zeit eines Hilfsschalters eines Spannungswandlers erörtert. Eine erste und eine zweite Spannung werden gemessen, bevor ein Primärschalter des Spannungswandlers eingeschaltet wird und während der Primärschalter eingeschaltet ist, und die Ein-Zeit wird basierend auf den Spannungen eingestellt.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Anmeldung bezieht sich allgemein auf Spannungswandler, Spannungswandlersteuerungen und entsprechende Verfahren.

Hintergrund

[0002] Spannungswandler dienen zum Bereitstellen einer Eingangsspannung basierend auf einer Ausgangsspannung. Spannungswandler werden beispielsweise in Stromversorgungen für eine Vielfalt von Anwendungen, zum Beispiel Mobiltelefonen und anderen elektrischen Geräten, eingesetzt. Manche Spannungswandler bieten galvanische Trennung zwischen einem Eingang und einem beliebigen Ausgang, z. B. durch Verwendung eines Transformators. Beispiele für derartige Spannungswandler schließen Sperrwandler ein. Eine spezielle Art von Sperrwandler ist ein asymmetrischer Pulsweitenmodulation-(PWM)-Halbbrückensperrwandler, bei dem ein Induktor des Wandlers im Wesentlichen geteilt ist, um einen Transformator zu bilden, sodass Spannungsverhältnisse basierend auf einem Wicklungsverhältnis des Transformators vervielfacht werden, mit einem zusätzlichen Vorteil der Bereitstellung galvanischer Trennung.

[0003] Bei manchen Wandlern wird ein Primärschalter an einer primärseitigen Schaltung des Wandlers, d. h. an einer Seite, die mit dem Eingang zum Empfangen der Eingangsspannung gekoppelt ist, verwendet. Eine mit dem Ausgang zum Ausgeben der Ausgangsspannung gekoppelte Seite wird hierin als sekundärseitige Schaltung bezeichnet, wobei primärseitige Schaltung und sekundärseitige Schaltung galvanisch voneinander getrennt sein können. Schalter wie ein derartiger Primärschalter werden häufig als Transistoren implementiert, zum Beispiel als Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors, MOSFETs). Bei manchen Implementierungen weisen derartige Feldeffekttransistoren parasitäre Kapazitäten auf, die hier auch als Ausgangskapazitäten bezeichnet werden. Wird ein derartiger Schalter mit einer über dem Transistor angelegten Spannung geschaltet, so wird die Kapazität geladen, und im Schaltfall kann diese Ladung verloren gehen, was zu Gesamtverlusten des Wandlers führt.

[0004] Daher wurden verschiedene Ansätze unternommen, um spannungsloses Schalten (Zero Voltage Switching, **ZVS**) zu erhalten, was bedeutet, dass der Primärschalter geschaltet wird, insbesondere eingeschaltet wird, während keine Spannung über dem Schalter angelegt ist (zum Beispiel zwischen Source und Drain eines MOSFET-Schalters). Derartige Ansätze bringen häufig einen Hilfsschalter mit sich, der

Energie derart einspeist, dass **ZVS** erhalten wird. Der Zeitpunkt der Steuerung eines derartigen Hilfsschalters ist wichtig, um einerseits **ZVS** zu erhalten und andererseits Energieverluste zu vermeiden, die verursacht werden können, wenn ein derartiger Hilfsschalter längere Zeit geschlossen ist.

[0005] Bei derzeitigen Ansätzen wird ein zusätzlicher Pin einer Steuerung, der den Spannungswandler steuert, zum Konfigurieren und Einstellen der Ein-Zeit eines derartigen zusätzlichen Schalters verwendet. Derartige zusätzliche Pins erhöhen die Produktionskosten. Ferner liefern derzeitige Ansätze möglicherweise nicht eine optimale zeitliche Steuerung eines Hilfsschalters.

Kurzfassung

[0006] Eine Spannungswandlersteuerung, wie in Anspruch 1 oder 15 definiert, ein Spannungswandler, wie in Anspruch 21 definiert und ein Verfahren, wie in Anspruch 8 oder 25 definiert, werden bereitgestellt. Die abhängigen Ansprüche definieren weitere Ausführungsformen.

[0007] Gemäß einer Ausführungsform wird eine Spannungswandlersteuerung bereitgestellt, umfassend:

- eine Treiberschaltung, die zum Steuern des Schaltens eines Primärschalters an einer primärseitigen Schaltung einer Spannungssteuerung und eines Hilfsschalters zum Einstellen einer Schaltspannung des Primärschalters konfiguriert ist,

- einen Anschluss, der zum Empfangen einer Spannung von einer Hilfswicklung eines Transformators der Spannungssteuerung konfiguriert ist,

- eine Abtastschaltung, die zum Bereitstellen einer ersten Spannung basierend auf der Spannung am Anschluss, bevor der Primärschalter eingeschaltet wird, und einer zweiten Spannung basierend auf der Spannung am Anschluss, während der Primärschalter eingeschaltet ist, konfiguriert ist, und

- eine Einstellungsschaltung, die zum Einstellen einer Einschaltzeit des Hilfsschalters basierend auf der ersten Spannung und der zweiten Spannung konfiguriert ist.

[0008] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird eine Spannungswandlersteuerung bereitgestellt, umfassend:

- eine Treiberschaltung, die zum Steuern des Schaltens eines Primärschalters an einer primärseitigen Schaltung einer Spannungssteuerung und eines Hilfsschalters zum Einstellen ei-

ner Schaltspannung des Primärschalters konfiguriert ist, und

eine Einstellungsschaltung, die zum Einstellen einer Einschaltzeit des Hilfsschalters zum Erhalten einer Schaltspannung des Primärschalters von größer als null und unterhalb eines Wendepunkts einer Kurve von in einer Ausgangskapazität des Primärschalters gespeicherter Ladung versus Spannung konfiguriert ist.

[0009] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird ein Spannungswandler bereitgestellt, umfassend:

eine primärseitige Schaltung, die zum Empfangen einer Eingangsspannung konfiguriert ist,

eine sekundärseitige Schaltung, die zum Ausgeben einer Ausgangsspannung konfiguriert ist,

einen Transformator, der die primärseitige Schaltung und die sekundärseitige Schaltung koppelt,

wobei die primärseitige Schaltung einen Primärschalter umfasst, und wobei der Spannungswandler weiterhin einen Hilfsschalter umfasst, der zum Einstellen einer Schaltspannung über dem Primärschalter, wenn der Primärschalter eingeschaltet wird, konfiguriert ist, und eine Spannungswandlersteuerung, wie oben erwähnt.

[0010] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird ein Verfahren bereitgestellt, umfassend:

Messen einer ersten Spannung unter Verwendung einer Hilfswicklung eines Transformators eines Spannungswandlers vor Schließen eines Primärschalters einer primärseitigen Schaltung der Spannungssteuerung,

Messen einer zweiten Spannung unter Verwendung der Hilfswicklung, während der Primärschalter eingeschaltet ist, und

Einstellen einer Ein-Zeit eines Hilfsschalters zum Einstellen einer Schaltspannung über dem Primärschalter, wenn der Primärschalter eingeschaltet wird, basierend auf der ersten und der zweiten Spannung.

[0011] Gemäß einer noch weiteren Ausführungsform wird ein Verfahren bereitgestellt, umfassend:

Betätigen eines Primärschalters eines Spannungswandlers und Einstellen einer Ein-Zeit eines Hilfsschalters des Spannungswandlers zum Erhalten einer Schaltspannung des Primärschalters von größer als null und unterhalb eines Wendepunkts einer Kurve von in einer Ausgangskapazität des Primärschalters gespeicherter Ladung versus Spannung.

[0012] Die obige Kurzfassung soll lediglich einen kurzen Überblick über einige Aspekte gewisser Ausführungsformen geben und soll nicht in einem einschränkenden Sinne aufgefasst werden. Insbesondere können andere Ausführungsformen andere Merkmale als die oben explizit aufgeführten einschließen.

Figurenliste

Fig. 1 ist ein Blockdiagramm eines Spannungswandlers gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 2 ist ein Ablaufdiagramm, das ein Verfahren gemäß einer Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 3 ist ein Schaltplan eines Spannungswandlers gemäß einer Ausführungsform.

Fig. 4 ist ein Schaltplan, der eine Einstellungsschaltung einer Spannungswandlersteuerung gemäß einer Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 5 ist ein Ablaufdiagramm, das ein Verfahren gemäß einer Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 6 ist ein Signaldiagramm, das Betrieb der Ausführungsform von **Fig. 3** veranschaulicht.

Fig. 7A bis Fig. 7C sind Signaldiagramme, die Betrieb der Ausführungsform von **Fig. 3** veranschaulichen.

Fig. 8 ist ein Schaltplan eines Spannungswandlers gemäß einer weiteren Ausführungsform.

Fig. 9 ist ein Signaldiagramm, das Betrieb der Ausführungsform von **Fig. 9** veranschaulicht.

Fig. 10 ist eine schematische Darstellung eines Spannungswandlers gemäß einer weiteren Ausführungsform.

Fig. 11 bis Fig. 13 sind Diagramme, die Wahl einer Schaltspannung gemäß einigen Ausführungsformen veranschaulichen.

Detaillierte Beschreibung

[0013] Im Folgenden werden verschiedene Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen genau beschrieben. Diese Ausführungsformen werden nur als Beispiele gegeben und sind in keiner Weise als einschränkend aufzufassen. Während bei einer Beschreibung von Ausführungsformen zum Beispiel angegeben sein kann, dass sie eine Vielzahl von Merkmalen oder Elementen umfassen, ist dies nicht als einschränkend aufzufassen, und es ist möglich, dass bei anderen Ausführungsformen einige der Merkmale oder Elemente weggelassen und/oder durch alternative Merkmale oder Elemente ersetzt werden. Zusätzlich zu den ausdrücklich gezeigten und beschriebenen Merkmalen oder Elementen können weitere Merkmale oder Elemente, zum Beispiel Merkmale oder Elemente, die übli-

cherweise bei Spannungswandlern wie Sperrwandlern vorgesehen sind, beispielsweise Schutzmechanismen wie Überstromschutz oder Rückkopplungssteuerung, bereitgestellt werden.

[0014] Merkmale von verschiedenen Ausführungsformen können miteinander kombiniert werden, um weitere Ausführungsformen zu bilden, sofern nicht anderweitig angegeben. Bezüglich einer der Ausführungsformen beschriebene Variationen und Modifikationen können auch für andere Ausführungsformen anwendbar sein.

[0015] Bei den gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen kann eine beliebige direkte elektrische Verbindung oder Kopplung zwischen Elementen, d. h. eine Verbindung oder Kopplung ohne Zwischenelemente (wie eine Metallbahn), durch eine indirekte Verbindung oder Kopplung, d. h. eine Verbindung oder Kopplung, die ein oder mehrere zusätzliche Zwischenelemente umfasst, ersetzt werden, und umgekehrt, solange der allgemeine Zweck der Verbindung oder Kopplung, zum Beispiel Bereitstellen einer bestimmten Art von Signal, einer bestimmten Art von Information oder einer bestimmten Art von Steuerung im Wesentlichen beibehalten wird. Mit anderen Worten, Verbindungen oder Kopplungen können modifiziert werden, solange der allgemeine Zweck und die allgemeine Funktion der Verbindung oder Kopplung im Wesentlichen unverändert bleibt.

[0016] Ausführungsformen beziehen sich auf Spannungswandler, Steuerungen für Spannungswandler und zugehörige Verfahren. Während bei manchen der unten beschriebenen Ausführungsformen Sperrwandler als Beispiele für Spannungswandler verwendet werden, geschieht dies nur zu veranschaulichenden Zwecken, und andere Spannungswandler, insbesondere Spannungswandler, die galvanische Trennung mittels eines Transformators bereitstellen, können verwendet werden.

[0017] Hierin beschriebene Ausführungsformen verwenden Schalter, insbesondere Transistorschalter. Wie hierin verwendet, ist ein Schalter aus, in einem Aus-Zustand oder offen, wenn er im Wesentlichen nichtleitend zwischen seinen Lastanschlüssen, zum Beispiel zwischen den Anschlüssen Source und Drain im Falle eines Schalters auf MOS-Transistor-Basis, ist. Im Wesentlichen nichtleitend bedeutet in dieser Hinsicht nichtleitend im Gegensatz zu möglichen unerwünschten Leckklemmenströmen, die bei Vorrichtungen auftreten können. Ein Schalter wird als ein, in einem Ein-Zustand befindlich oder als geschlossen bezeichnet, wenn er eine niederohmige Verbindung zwischen seinen Lastanschlüssen bereitstellt.

[0018] Bezugnehmend auf die Figuren veranschaulicht **Fig. 1** einen Spannungswandler **10** gemäß ei-

ner Ausführungsform. Der Spannungswandler von **Fig. 10** umfasst eine primärseitige Schaltung **11**, die eine Eingangsspannung V_{in} erhält. Ferner umfasst der Spannungswandler von **Fig. 10** eine sekundärseitige Schaltung **13**, die eine Ausgangsspannung V_{out} ausgibt. Ein Transformator **12** koppelt die primärseitige Schaltung **11** und die sekundärseitige Schaltung **13** unter Bereitstellung von galvanischer Trennung. Bei manchen Implementierungen kann der Spannungswandler **10** ein Sperrwandler sein.

[0019] Außerdem umfasst Spannungswandler **10** eine Steuerung **14** einschließlich einer Einstellungsschaltung. Steuerung **14** steuert Betrieb des Spannungswandlers **10**, insbesondere durch Schließen eines Primärschalters der primärseitigen Schaltung **11** zur selektiven Energieübertragung von primärseitiger Schaltung **11** zu sekundärseitiger Schaltung **13**. Durch Einstellen einer Ein-Zeit eines derartigen Primärschalters kann die Ausgangsspannung V_{out} auf einen vordefinierten Wert geregelt werden.

[0020] Außerdem steuert Steuerung **14** einen Hilfsschalter, um ein Schalten des Primärschalters bei einer gewünschten Spannung über dem Primärschalter sicherzustellen, zum Beispiel bei einer Null-Spannung für spannungsloses Schalten oder bei einer Spannung etwas über null, wie weiter unten erläutert wird. Dieser Hilfsschalter kann an der primärseitigen Schaltung **11** oder an der sekundärseitigen Schaltung **13** bereitgestellt werden, wie weiter unten genauer erläutert wird.

[0021] Die Einstellungsschaltung der Steuerung **14** misst eine erste Spannung vor Schließen des Primärschalters und eine zweite Spannung, während der Primärschalter geschlossen ist. Diese erste und zweite Spannung sind jeweils indikativ für eine Drain-Spannung des Primärschalters vor Schließen des Primärschalters und eine Drain-Spannung des Primärschalters, bevor der Primärschalter geschlossen wird. Wie später genauer erläutert wird, kann basierend auf diesen Spannungen eine Aus-Zeit (Schließzeit) des Hilfsschalters eingestellt werden, um ein Schalten des Primärschalters bei einer gewünschten Spannung zu erhalten. Die Spannung über dem Primärschalter, wenn der Primärschalter schaltet, d. h. eingeschaltet (geschlossen) wird, wird hierin auch als Schaltspannung bezeichnet.

[0022] **Fig. 2** ist ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform. Obwohl das Verfahren von **Fig. 2** als eine Abfolge von Betätigungen oder Ereignissen gezeigt und veranschaulicht ist, ist die Reihenfolge, in der diese Betätigungen oder Ereignisse beschrieben sind, nicht als einschränkend aufzufassen. Das Verfahren von **Fig. 2** kann unter Verwendung des Spannungswandlers von **Fig. 1**, insbesondere der Steuerung **14** davon, implementiert

werden, kann aber auch unabhängig davon implementiert werden.

[0023] Bei **20** umfasst das Verfahren Messen einer ersten Spannung vor Schließen eines Primärschalters eines Spannungswandlers unter Verwendung einer Hilfswicklung eines Transformators des Spannungswandlers. Die erste Spannung kann indikativ für eine Drain-Spannung des Primärschalters sein, während der Primärschalter geschlossen wird. „Indikativ für“ bedeutet, dass die gemessene Spannung nicht die Drain-Spannung selbst sein muss, sondern eine gewisse Spannung, die mit der Drain-Spannung variiert, sodass sie als eine Anzeige dienen kann.

[0024] Der Ausdruck „vor Schließen“ kann auf eine Messung kurz vor Schließen hinweisen, z. B. unmittelbar zuvor oder wenn der Primärschalter ein Steuersignal zum Schließen des Primärschalters erhält.

[0025] Bei **21** umfasst das Verfahren Messen einer zweiten Spannung, während der Primärschalter geschlossen ist, unter Verwendung der Hilfswicklung. Die zweite Spannung kann indikativ für eine Gleichspannungszwischenkreisspannung sein, während der Primärschalter geschlossen ist. Bei einigen Ausführungsformen, wie unten genauer beschrieben wird, können die erste und die zweite Spannung unter Verwendung einer mit dem Transformator **12** gekoppelten Hilfswicklung gemessen werden.

[0026] Bei **22** umfasst das Verfahren Einstellen einer Ein-Zeit eines Hilfsschalters basierend auf der ersten und der zweiten Spannung zum Einstellen einer Spannung, bei der der Primärschalter auf einen vordefinierten Wert schaltet, zum Beispiel auf 0 V oder einen Wert etwas über 0 V. Beispiele werden weiter unten genauer beschrieben.

[0027] Anschließend werden konkrete Beispiele für Spannungswandler, bei denen die oben beschriebenen Techniken implementiert werden können, und Implementierungsbeispiele dafür erörtert. Diese dienen nur zu veranschaulichenden Zwecken und sind nicht als einschränkend aufzufassen.

[0028] **Fig. 3** ist ein Schaltplan eines Spannungswandlers, in diesem Fall eines Sperrwandlers, gemäß einer Ausführungsform. Der Spannungswandler von **Fig. 3** empfängt eine Eingangsspannung an einer primärseitigen Schaltung **37** und gibt eine Ausgangsspannung an eine Last **310** durch eine sekundärseitige Schaltung **39** aus. Primärseitige Schaltung **37** und sekundärseitige Schaltung **39** sind durch einen Transformator **38** gekoppelt. Bei der Ausführungsform von **Fig. 3** empfängt die primärseitige Schaltung **37** die Eingangsspannung als eine Wechselstrom-(Alternating Current, AC)-Eingangsspannung an Anschluss **30** und richtet diese AC-Spannung über ei-

nen Gleichrichter **32** gleich, um eine Gleichstrom-(Direct Current, DC)-Eingangsspannung zu erhalten.

[0029] Primärseitige Schaltung **37** umfasst einen Primärschalter **311**, der durch eine primärseitige Schaltungssteuerung **33** gesteuert wird. Primärseitige Schaltungssteuerung **33** steuert Primärschalter **311**, zum Beispiel gemäß einem Pulsweitenmodulationssteuerschema (PWM-Steuerschema), um eine der Last **310** gelieferte Ausgangsspannung auf einen vordefinierten Wert zu regeln. Hierzu empfängt die primärseitige Schaltungssteuerung **33** Informationen, die für die Ausgangsspannung indikativ sind, über eine Rückkopplungsscheife **312**.

[0030] Außerdem umfasst der Spannungswandler von **Fig. 3** eine aktive Klemme **34** einschließlich eines Hilfsschaltertransistors **35** und Kopplung mit einer Induktivität **313**. Durch Einschalten des Hilfstransistors **35** vor Einschalten des Primärschalters **311** kann eine Spannung über dem Primärschalter **311**, wenn der Primärschalter **311** eingeschaltet wird, eingestellt werden, zum Beispiel auf ungefähr 0 V, um spannungsloses Schalten zu erhalten, oder etwas über 0 V, um Energieverluste weiter zu optimieren, wie weiter unten erläutert wird.

[0031] Außerdem umfasst der Spannungswandler von **Fig. 3** eine Hilfstransformatorwicklung **36**, die mit der primärseitigen Schaltungssteuerung **33** gekoppelt ist. Über die Hilfswicklung **306** kann die primärseitige Schaltungssteuerung **33** für eine Drain-Spannung des Primärschalters **311** indikative Spannungen messen und kann Schalten des Hilfsschalters **35** einstellen, gemäß Techniken, wie unter Bezugnahme auf **Fig. 1** und **Fig. 2** erörtert, und wie unter Bezugnahme auf **Fig. 4** bis **Fig. 7** weiter erörtert. Auf diese Weise kann Betrieb der aktiven Klemme **34** eingestellt werden, um eine gewünschte Spannung über dem Primärschalter **311** zu erhalten, wenn der Primärschalter **311** eingeschaltet wird.

[0032] **Fig. 4** ist ein Schaltplan, der einen Teil der primärseitigen Schaltungssteuerung **33** gemäß einer Ausführungsform, insbesondere eine Einstellungsschaltung davon, veranschaulicht. Hilfswicklung **36** von **Fig. 3** ist mit einem Anschluss **42** (beispielsweise Pin) der primärseitigen Schaltungssteuerung **33** gekoppelt. Anschluss **42** wird auch als Nulldurchgangserkennungsanschluss (Zero Crossing Detection (ZCD)-Anschluss) bezeichnet.

[0033] Wie **Fig. 4** gezeigt, ist bei dieser Ausführungsform die Hilfswicklung **36** mit dem Anschluss **42** über einen Widerstand **40 RZCD_high** gekoppelt und ein Widerstand **41 RZCD_low** koppelt einen Knoten zwischen Widerstand **40** und Anschluss **42** an Masse.

[0034] Hilfswicklung **36** gestattet zusammen mit Widerständen **40, 41** Erkennen einer Spannung, die für eine Drain-Spannung des Primärschalters **311** während Betriebs des Spannungswandlers indikativ ist. Die Spannung V_{bulk} (Eingangsspannung nach Gleichrichter **32**, Drain-Spannung entsprechend) wird durch die Hilfswicklung **36** zum ZCD-Anschluss **42** reflektiert und kann daher gemessen werden. Wenn Primärschalter **311** eingeschaltet wird, ist die zum Anschluss **42** gelieferte Spannung eine negative Spannung. Bei der Ausführungsform von **Fig. 4** wandelt ein durch einen Operationsverstärker **44** mit einem Rückkopplungswiderstand **43** gebildeter Inverter diese negative Spannung in eine positive Spannung V_{pos} um. Bei anderen Ausführungsformen kann die negative Spannung ohne Umwandlung in eine positive Spannung verwendet werden.

[0035] Die positive Spannung V_{pos} wird in einer ersten Abtastschaltung **45** und in einer zweiten Abtastschaltung **46** abgetastet. Abtastschaltungen **45, 46** können beispielsweise als Latches oder Flipflops implementiert sein. Die erste Abtastschaltung **45** wird durch eine Signalprobe_01 gesteuert, um V_{pos} abzutasten, bevor Primärschalter **311** eingeschaltet wird. Die abgetastete Spannung wird hierin als $V_{smvbulk}$ bezeichnet. Die zweite Abtastschaltung **46** wird durch eine Signalprobe_02 gesteuert, um Spannung V_{pos} abzutasten, bevor Primärschalter **311** eingeschaltet wird. Diese abgetastete Spannung wird hierin als $V_{smbottom}$ bezeichnet. Eine Vergleichs-, Beurteilungs- und Aktualisierungslogikschaltung **47** verarbeitet Spannungen $V_{smvbulk}$, $V_{smbottom}$ und aktualisiert eine Einschaltzeit des zweiten Hilfsschalters **35** basierend auf dem Vergleich.

[0036] Insbesondere kann Schaltung **47** eine Differenz zwischen $V_{smvbulk}$ und $V_{smbottom}$ mit Schwellenwerten vergleichen, um zu bestimmen, ob eine Einschaltzeit des Hilfsschalters **35** erhöht, vermindert oder unverändert belassen werden sollte.

[0037] Wenn zum Beispiel bei einer Ausführungsform $V_{smvbulk} - V_{smbottom}$ größer als eine erste Referenzspannung V_{ref1} ist, kann dies darauf hinweisen, dass die Einschaltzeit des Hilfsschalters **35** zu erhöhen ist. Dies kann zum Beispiel darauf hinweisen, dass Primärschalter **311** bei einer Nicht-Null-Spannung eingeschaltet wird und die Einschaltzeit des Hilfsschalters **35** erhöht wird, um spannungsloses Schalten sicherzustellen. Bei anderen Ausführungsformen kann Schalten zu einer anderen vordefinierten Spannung erhalten werden, wie später erörtert.

[0038] Wenn $V_{smvbulk} - V_{smbottom}$ unter einer zweiten Referenzspannung V_{ref2} liegt, kann dies darauf hinweisen, dass der Primärschalter **311** beim korrekten Schalterpunkt eingeschaltet wird, beispielsweise bei null Spannung, die Einschaltzeit des Hilfs-

schalters **311** aber unnötig lang sein kann. Eine längere Einschaltzeit als erforderlich kann zu unnötigen Verlusten führen. Daher kann bei Ausführungsformen in diesem Fall die Ein-Zeit des Hilfsschalters **35** reduziert werden.

[0039] Wenn $V_{ref2} < V_{smvbulk} - V_{smbottom} < V_{ref1}$ ist, so bedeutet dies, dass der Primärschalter **311** bei einer gewünschten Spannung (zum Beispiel null Spannung) eingeschaltet wird, sodass die Einschaltzeit des Hilfsschalters **35** nicht geändert werden muss. V_{ref1} und V_{ref2} werden basierend auf der gewünschten Schaltspannung für Primärschalter **35** gewählt, beispielsweise zum Sicherstellen von spannungslosem Schalten oder Schalten bei einer Spannung etwas über null. Die Einschaltzeit des Hilfsschalters **35** kann zum Beispiel durch Ändern einer Pulsweite eines den Hilfsschalter **35** steuernden pulsweitenmodulierten Signals modifiziert werden. Beispielssignale werden weiter unten genauer erörtert.

[0040] Der Betrieb der Ausführungsform von **Fig. 3** läuft wie folgt ab:

[0041] Wenn Hilfsschalter **35** eingeschaltet wird, wird eine Klemmenspannung über einem Klemmenkondensator der aktiven Klemme **34** entladen, um eine Ausgangsinduktion der aktiven Klemme **34** zu magnetisieren. Wenn Hilfsschalter **35** wieder ausgeschaltet wird, fährt der Reststrom fort, die Drain-Spannung des Primärschalters **311** von $V_{in} + nP/nS \times V_{out}$ bis 0 zu entladen, wobei V_{in} die Eingangsspannung nach Gleichrichtung (nach Gleichrichter **32**) ist, V_{out} die Ausgangsspannung ist und nP/nS das Wicklungsverhältnis zwischen primärseitiger und sekundärseitiger Schaltung des Transformators **38** ist. Die entsprechende Spannung, wie am ZCD-Anschluss **42** von **Fig. 2** zu sehen, wenn Primärschalter **311** eingeschaltet wird, beträgt $-V_{bulk} \times nA/nP \times (RZCD_{low}/RZCD_{low} + RZCD_{high})$, wobei nA/nP das Wicklungsverhältnis zwischen Hilfswicklung **36** und der Primärwicklung des Transformators **38** ist. Um spannungsloses Schalten zu erzielen, sollte zum Beispiel die in der Magnetisierinduktivität gespeicherte Energie größer sein als $\frac{1}{2} \times COSS \times VDS^2$, wobei VDS die Drain-Source-Spannung des Primärschalters **311** ist und $COSS$ die Ausgangskapazität des Primärschalters **311** ist.

[0042] Durch kurzzeitiges Einschalten des Hilfsschalters kann daher die Drain-Source-Spannung des Primärschalters **311** entladen werden, bevor Primärschalter **311** auf einen gewünschten Pegel eingeschaltet wird.

[0043] Während Einschaltens von Primärschalter **311** wird die Spannung am Anschluss **42** negativ, wie oben erläutert, bei $-V_{bulk} \times nA/nP \times (RZCD_{low}/RZCD_{low} + RZCD_{high})$ sein. Die Drain-Source-Spannung von Primärschalter **311**, bevor Primärschalter

311 eingeschaltet wird, hängt von der Länge der Ein-Zeit des Hilfsschalters **35** ab. Durch entsprechendes Einstellen der obigen Schwelle **Vref1** und **Vref2** kann eine für spannungsloses Schalten oder eine andere gewünschte Schaltspannung erforderliche Einschaltzeit erhalten werden.

[0044] Zur weiteren Veranschaulichung zeigt ein Ablaufdiagramm in **Fig. 5** ein Verfahren gemäß einer Ausführungsform. Das Verfahren von **Fig. 5** kann bei den Ausführungsformen der **Fig. 3** und **Fig. 4** implementiert werden, insbesondere unter Verwendung der primärseitigen Schaltungssteuerung **33**, und wird unter Bezugnahme auf die **Fig. 3** und **Fig. 4** zur Erleichterung der Veranschaulichung erläutert. Verwendung des Verfahrens von **Fig. 5** ist jedoch nicht auf die Ausführungsformen der **Fig. 3** und **Fig. 4** beschränkt.

[0045] Das Verfahren von **Fig. 5** ist als eine Reihe von Betätigungen oder Ereignissen dargestellt und kann Teil eines fortlaufenden Betriebs eines Spannungswandlers sein. Daher können, wie unten genauer erläutert, die im Folgenden unter Bezugnahme auf **Fig. 5** beschriebenen Betätigungen oder Ereignisse wiederholt durchgeführt werden.

[0046] Bei **50** in **Fig. 5** umfasst das Verfahren Einschalten eines als Primärschalter fungierenden Hauptleistung-MOSFETs, zum Beispiel Primärschalter **311** von **Fig. 3**.

[0047] Bei **51** umfasst das Verfahren Abtasten der Spannung am ZCD-Anschluss (oder einer davon abgeleiteten Spannung, zum Beispiel V_{pos} bei **Fig. 4**), während der Leistung-MOSFET eingeschaltet ist. Bei der Ausführungsform von **Fig. 4** erfolgt dies durch Steuern der Abtastschaltung **45**.

[0048] Danach wird der Hauptleistung-MOSFET ausgeschaltet.

[0049] Bei **52**, wenn eine Spannung an Anschluss **42** einen höchsten Wert (Spitzenwert) hat, wird ein Hilfsleistung-MOSFET, beispielsweise einer aktiven Klemme, wie Hilfsschalter **35** in **Fig. 3**, mit einem festen Pulsweitensteuersignal eingeschaltet, was zu einer festen Einschaltzeit führt. Dies reduziert, wie oben erläutert, die Spannung über dem Hauptleistung-MOSFET.

[0050] Bei **53** umfasst das Verfahren Abtasten und Halten der Spannung am ZCD-Anschluss, was wiederum die reflektierte Drain-Spannung oder Bulk-Spannung ist. Die Bulk-Spannung (manchmal als V_{bulk} bezeichnet) ist die Spannung über einem Kondensator **C1** in **Fig. 3** oder **CBULK** in **Fig. 8**. Die Drain-Spannung, manchmal als V_{drain} bezeichnet, ist die Spannung über dem Hauptschalter, z. B. Schalter **311** von **Fig. 8**. Dieses Abtasten bei **53** der

Ausführungsform von **Fig. 4** erfolgt durch die Abtastschaltung **46**.

[0051] Die Ergebnisse der Abtastvorgänge bei **51** und **53** werden bei **56**, wie oben erläutert verarbeitet, zum Beispiel durch Vergleichen eines Unterschieds der Abtastergebnisse bei **51** und **53** mit oben erwähnten Referenzspannungen wie **Vref1**, **Vref2**. Basierend auf dem Vergleich wird die Einschaltzeit des Hilfsleistung-MOSFETs modifiziert, zum Beispiel durch Modifizieren der Pulsweite eines entsprechenden Steuersignals.

[0052] Bei **55** wird nach einer gewissen Totzeit nach Öffnen des Hilfsleistung-MOSFETs der Hauptleistung-MOSFET wieder eingeschaltet. **54** ist eine Wiederholung von **50** im nächsten Zyklus, sodass das Verfahren, wie bei **55** angegeben, wiederholt wird.

[0053] Nun werden der Betrieb der Ausführungsform von **Fig. 3** und **Fig. 4** sowie das Verfahren von **Fig. 5** unter Verwendung von Beispielssignalen weiter veranschaulicht.

[0054] Es wird darauf hingewiesen, dass hierin gezeigte Signalwellenformen lediglich als veranschaulichende Beispiele dienen und Signalwellenformen je nach einer spezifischen Vorrichtungsimplementierung variieren können.

[0055] In **Fig. 6** bezeichnet **V_{gs}** eine Gate-Source-Spannung. Mit **SA** gekennzeichnete Abschnitte stellen eine zum Schließen des Hilfsschalters **35** von **Fig. 3** angewendete Gate-Source-Spannung dar und mit **Sw** gekennzeichnete Abschnitte stellen eine zum Schließen des Primärschalters **311** angewendete Gate-Source-Spannung dar. Ströme **I_p**, **I_{Lm}**, **I_c** und **I_s** sind in **Fig. 3** gezeigt und bezeichnen jeweils einen primärseitigen Schaltungsstrom, einen Strom durch Induktivität **313**, einen Strom durch Hilfsschalter **35** und einen sekundärseitigen Schaltungsstrom. **V_{ds_Sw}** bezeichnet eine Drain-Source-Spannung des Primärschalters **311**. Ein Rahmen **60** veranschaulicht das Verhalten vor Einschalten von Primärschalter **311**. Durch Schließen von Hilfsschalter **35** wird die Drain-Source-Spannung **V_{ds_Sw}** zu einem Zeitpunkt, wenn Primärschalter **Sw** eingeschaltet wird (Zeit t_8 in **Fig. 6**), auf null gebracht. Bei anderen Ausführungsformen wird die Ein-Zeit von Sekundärschalter **35** verwendet, um ein Schalten bei einer Drain-Source-Spannung **V_{ds_Sw}** von etwas über null bereitzustellen, wie weiter unten erörtert wird.

[0056] **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** sind Wellenformdiagramme, die den oben beschriebenen Betrieb weiter veranschaulichen. In **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** ist **V_{pos}** die Spannung **V_{pos}** von **Fig. 4**, **V_{ZCD(V)}** ist die Spannung an Anschluss **42** (**V_{pos}** ist im Wesentlichen - **V_{ZCD}**), **V_{out}** ist eine Ausgangsspannung

nung des Spannungswandlers, V_{ds} ist die Drain-Source-Spannung von Primärschalter **311**, V_{fb} ist eine durch Rückkopplungsschleife **312** bereitgestellte Rückkopplungsspannung, V_{GD1} veranschaulicht eine auf Hilfsschalter **35** angewendete Steuerspannung, V_{GDO} veranschaulicht eine auf Primärschalter **311** angewendete Steuerspannung (jeweils Gate-Source-Spannungen) und V_{bulk} entspricht der bereits erwähnten, in **Fig. 3** gezeigten Spannung V_{bulk} . **Fig. 7A** veranschaulicht einen Fall, in dem die Einschaltzeit von Hilfsschalter **35** für spannungsloses Schalten zu kurz ist, sodass noch eine gewisse Drain-Source-Spannung V_{ds} vorhanden ist, wenn der Primärschalter gemäß Spannung V_{GDO} eingeschaltet wird. Bezugszeichen **70** veranschaulicht einen Zeitpunkt, zu dem die Spannung V_{pos} vor Einschalten des Schalters abgetastet wird, um die Spannung $V_{smbottom}$ (Abtastschaltung **46** von **Fig. 4**, **Fig. 53** von **Fig. 5**) zu erhalten, und Bezugszeichen **70** gibt einen Zeitpunkt an, zu dem die Spannung V_{pos} abgetastet wird, während der Primärschalter ein ist (Abtastschaltung **45** von **Fig. 4** zum Erhalten von V_{smbulk} , **51** von **Fig. 5**). Basierend auf den so abgetasteten Spannungen würde die Pulsweite von Signal V_{GD1} erhöht werden, wenn spannungsloses Schalten auf Basis der Spannungen in **Fig. 7A** erhalten werden sollte.

[0057] Dies kann zum Beispiel zur Situation von **Fig. 7B** führen, in der die Drain-Source-Spannung beim Einschalten des Primärschalters null ist, wie durch Bezugszeichen **72** angezeigt.

[0058] Um ein nicht einschränkendes Beispiel zu geben, kann die Einschaltzeit des Hilfsschalters in **Fig. 7A** 225 ns betragen, welche in **Fig. 7B** auf 440 ns erhöht werden kann.

[0059] **Fig. 7C** zeigt eine Situation, in der die Einschaltzeit des Hilfsschalters weiter erhöht wird. Bezugszeichen **73** und **74** geben jeweils den Bezugszeichen **70** und **71** in **Fig. 7A** entsprechende Abtastpunkte an, d. h. Abtasten vor Einschalten des Primärschalters und Abtasten, während der Primärschalter eingeschaltet ist. Während auch im Falle von **Fig. 7C** spannungsloses Schalten erzielt wird, führt die verhältnismäßig lange Einschaltzeit des Hilfsschalters **35** verglichen mit **Fig. 7B** zu zusätzlichen Verlusten.

[0060] In diesem Fall würden die Aktualisierung durch die Vergleichs-, Beurteilungs- und Aktualisierungsschaltung **47** und/oder Vergleich und Beurteilung bei **56** in **Fig. 5** zu einer Verminderung der Einschaltzeit des Hilfsschalters **35** führen.

[0061] Oben wurde eine Ausführungsform beschrieben, bei der ein Hilfsschalter in einer aktiven Klemme verwendet wird, um Schalten eines Primärschalters bei einer gewünschten Spannung, zum Beispiel Schalten bei null Spannung, bereitzustellen. Bei an-

deren Ausführungsformen können andere Anordnungen von Hilfsschaltern verwendet werden, um Schalten eines Primärschalters bei einer gewünschten Spannung, zum Beispiel Schalten bei null Spannung, bereitzustellen. Beispiele für derartige alternative Anordnungen werden im Folgenden unter Bezugnahme auf **Fig. 8** bis **Fig. 10** beschrieben.

[0062] **Fig. 8** veranschaulicht einen Spannungswandler gemäß einer weiteren Ausführungsform. Um Wiederholungen zu vermeiden, tragen Elemente des Spannungswandlers von **Fig. 8**, der dem Spannungswandler von **Fig. 3** entspricht, dieselben Bezugszeichen und werden nicht erneut im Detail erörtert.

[0063] Statt der aktiven Klemme **34** von **Fig. 3** umfasst der Spannungswandler von **Fig. 8** eine zusätzliche Hilfswicklung **84**, die mit einem Hilfsschalter **81** gekoppelt ist. Eine primärseitige Schaltungssteuerung **82**, der ähnliche Funktionen durchführt wie die beschriebene primärseitige Schaltungssteuerung **33** von **Fig. 3**, steuert Schalten des Primärschalters **311** und des Hilfsschalters **81**. Insbesondere kann durch Schließen von Hilfsschalter **81** vor Schließen von Primärschalter **311** Schalten des Primärschalters **11** bei einer gewünschten Spannung, zum Beispiel spannungsloses Schalten, erhalten werden.

[0064] Hierzu tastet die primärseitige Schaltungssteuerung **82** am Anschluss **42** empfangene Spannungen mittels Hilfswicklung **36** ab, zum Beispiel durch Verwendung einer Schaltung, wie in **Fig. 4** gezeigt. Mit anderen Worten, eine Ein-Zeit des Hilfsschalters **81** kann eingestellt werden, wie oben für die Ein-Zeit des Hilfsschalters **35** erläutert worden ist.

[0065] Zusätzlich kann die primärseitige Schaltungssteuerung **82** bei der Ausführungsform von **Fig. 8** unter Verwendung einer Konfigurations- und integrierter Kalibrierschaltung **83** auf beliebige herkömmliche Weise konfiguriert und kalibriert werden. Bei anderen Ausführungsformen kann die Konfigurations- und Kalibrierschaltung **83** weggelassen werden und/oder eine derartige Kalibrierschaltung kann für die primärseitige Schaltungssteuerung **33** vorgesehen werden.

[0066] **Fig. 9** zeigt einen beispielhaften Betrieb der Ausführungsform von **Fig. 8**. In **Fig. 9** veranschaulicht V_{GD1} ein auf Hilfsschalter **81** angewendetes Steuersignal und V_{GDO} veranschaulicht eine auf einen Gate-Anschluss des Primärschalters **311** angewendete Steuerspannung. Wie zum Beispiel in einem Rahmen **90** gezeigt, wird vor Einschalten von Primärschalter **311**, Hilfsschalter **81** für eine kurze Dauer eingeschaltet. Dies induziert eine Entladung an Hilfswicklung **84**, wie durch eine Spannung V_{ZVS} in **Fig. 9** angezeigt. Der Strom in der Hilfswicklung erzeugt einen negativen Strom in der Magnetisierinduktivität, was wiederum die Drain-Spannung V_{drain} von Primärschalter **311** entlädt, sodass im Beispiel

von **Fig. 9** spannungsloses Schalten erhalten werden kann. **Imag** veranschaulicht den Magnetisierstrom.

[0067] Daher kann auch durch Verwendung einer zusätzlichen mit Hilfsschalter **81** gekoppelten Hilfswicklung **84** Schalten eines Primärschalters bei einer gewünschten Spannung, zum Beispiel spannungsloses Schalten, erhalten werden.

[0068] **Fig. 10** veranschaulicht schematisch einen Teil eines Spannungswandlers gemäß einer weiteren Ausführungsform. Erneut tragen bereits unter Bezugnahme auf **Fig. 3** und **Fig. 8** erörterte Elemente dieselben Bezugszeichen und werden nicht nochmals erörtert. Außerdem sind in **Fig. 10** nur einige Komponenten des Spannungswandlers gezeigt, während andere Komponenten wie Rückkopplung **312** und primärseitige Schaltungssteuerung **33** oder **82** sowie Hilfswicklung **36** in **Fig. 10** weggelassen sind, jedoch auf gleiche Weise wie unter Bezugnahme auf **Fig. 3**, **Fig. 4** und **Fig. 8** erörtert implementiert werden können. In **Fig. 10** ist ein Hilfsschalter **101** an einer sekundärseitigen Schaltung **39** gekoppelt mit einer Spannungsquelle **100** und einer sekundärseitigen Wicklung **102** vorgesehen. Durch Schließen des Schalters **101** wird Energie von sekundärseitiger Schaltung **39** in primärseitige Schaltung **37** eingespeist, was wiederum zum Entladen einer Spannung über Primärschalter **311** zum Sicherstellen von Schalten bei einer gewünschten Spannung dienen kann. Auf ähnliche Weise wie oben erläutert kann eine Hilfsschalter-Ein-Zeit basierend auf Spannungsmessungen, wie unter Bezugnahme auf **Fig. 4** und **Fig. 5** erläutert, geregelt werden, um Schalten von Primärschalter **311** bei einer gewünschten Spannung, zum Beispiel spannungsloses Schalten, zu erhalten.

[0069] Wie ersichtlich, können daher hierin erörterte Techniken auf eine Vielfalt von Architekturen bei Spannungswandlern angewendet werden, um eine Einschaltzeit eines Hilfsschalters, entweder an einer primärseitigen Schaltung oder an einer sekundärseitigen Schaltung, zum Erhalten einer gewünschten Schaltspannung für einen Primärschalter, zum Beispiel spannungsloses Schalten, einzustellen.

[0070] Wie oben erläutert, wird bei einigen Ausführungsformen spannungsloses Schalten erhalten. Bei anderen Ausführungsformen kann Schalten bei einer Spannung von etwas über null erhalten werden, um Gesamtverluste zu optimieren, wie nun unter Bezugnahme auf **Fig. 11** bis **Fig. 13** erläutert wird.

[0071] Insbesondere erfordert Erhalten spannungslosen Schaltens über einem Primärschalter wie Primärschalter **11** Energie, zum Beispiel von einer sekundärseitigen Schaltung wie in **Fig. 10** eingespeiste Energie, wegen aktiver Klemmung wie in **Fig. 3** verwendete Energie oder Energie für Verwenden ei-

ner zusätzlichen Hilfswicklung wie in **Fig. 8**. Wie unten erörtert, können bei einigen Ausführungsformen Gesamtenergieverluste optimiert werden, indem eine Schaltspannung des Primärschalters nicht genau bei 0 V, sondern etwas über 0 V gewählt wird.

[0072] Bei einigen Ausführungsformen kann Hilfsschalter **101** an sekundärseitiger Schaltung **39** ein synchroner Gleichrichtungsschalter eines Synchrongleichrichters sein, der bei dieser Ausführungsform zum Erhalten einer gewünschten Schaltspannung an der primärseitigen Schaltung verwendet wird.

[0073] **Fig. 11** veranschaulicht Ladung und Energie in einer Ausgangskapazität eines Primärschalters (z. B. in der oben erwähnten parasitären Kapazität), in diesem Beispiel ein Superjunction-Leistungsschalter, für verschiedene Schaltspannungen. Insbesondere zeigt eine Kurve **110** die gespeicherte Ladung Q_{oss} und eine Kurve **111** zeigt die gespeicherte Energie E_{oss} über der Spannung über dem Primärschalter. Wie in **Fig. 1** zu sehen ist, senkt Einspeisung von etwa 10 % der maximalen Ladung Q_{oss} in den Primärschalter die Spannung von 500 V auf 28 V. Diese Ladung/Entladung muss durch Schließen des Hilfsschalters erzeugt werden. In diesem Fall können zum Beispiel 90 % der Verluste eingespart werden, wenn die Vorrichtung nur auf 28 V statt Herunterladen auf 0 V entladen wird, und die in der Ausgangskapazität gespeicherte Energie wird in diesem Fall um mehr als zwei Drittel reduziert, wie durch einen Balken **112** angezeigt.

[0074] Insbesondere, wie in **Fig. 11** zu sehen ist, liegt bei niedrigeren Spannungen (etwas unter 25 V in **Fig. 11**) ein scharfer Knick in Kurven **110** und **111** vor, wobei die Steigung der Kurve stark variieren kann, z. B. um mehr als 20 %. Dieser Knick wird hierin auch als Wendepunkt oder Wenderegion bezeichnet. Der Wendepunkt kann als eine Spannung definiert werden, wobei eine erste Ableitung $p = d(R_{on} \cdot Q_{oss}) / dV$ einer vordefinierten Schwelle entspricht, zum Beispiel 0,1, und R_{on} der Ein-Widerstand des Primärschalters ist. Mit anderen Worten, Parameter p ist die erste Ableitung des Produkts aus R_{on} und Q_{oss} . Dieser Parameter p nimmt im Spannungsintervall von 0 V bis 500 V von 2,3 zu 0,003 monoton ab. Nach dieser Definition liegt der Wendepunkt für **Fig. 11** bei **Fig. 26, Fig. 5 V**.

[0075] **Fig. 12** zeigt ein weiteres Beispiel der Berücksichtigung verschiedener Leitungsverluste. Für das Beispiel von **Fig. 12** wird angenommen, dass Energie unter Verwendung eines synchronen Gleichrichtungsschalters eingespeist wird, wie unter Bezugnahme auf **Fig. 10** erläutert.

[0076] In **Fig. 12** veranschaulicht eine Kurve **120** einen Verlust von im Primärschalter gespeicherter Energie (E_{oss} -Verlust), wie bereits hinsichtlich **Fig. 11**

erläutert, der für spannungsloses Schalten null ist. Eine Kurve **121** veranschaulicht zusätzliche Schaltverluste an einer sekundärseitigen Schaltung, die vom Ausschalten von Strom durch einen synchronen Gleichrichtungsschalter an der sekundärseitigen Schaltung herrühren, eine Kurve **122** zeigt Leitungsverluste an der zweiten Seite aus positiven Strömen, eine Kurve **123** zeigt Leitungsverluste an der sekundärseitigen Schaltung wegen zusätzlicher negativer (synchron gleichgerichteter) Ströme und eine Kurve **124** zeigt zusätzliche primäre Leitungsverluste wegen etwas höherer Spitzenströme an der Primärseite. Die Verluste sind allesamt über einer Spannung über dem Primärschalter, wenn der Primärschalter eingeschaltet wird, abgetragen. Wie zu sehen ist, während der Verlust gemäß Kurve **120** bei 0 V null ist, weisen die anderen Verluste ihren höchsten Wert bei 0 V auf und nehmen dann zu höheren Spannungen ab, da zum Erzielen spannungslosen Schaltens Energie erforderlich ist.

[0077] Fig. 13 zeigt eine Verlustbilanz, wobei Nullverlustbilanz die minimalen Gesamtverluste unter Berücksichtigung aller Verluste von Fig. 12 zusammen angibt. Wie zu sehen ist, werden die niedrigsten Verluste nicht bei einer Schaltspannung von 0 V, d. h. nicht bei spannungslosem Schalten, sondern bei einer etwas höheren Spannung, ungefähr bei 10 V im Beispiel von Fig. 13, erhalten. Schalten bei 0 V erzeugt 0,5 μJ mehr Verluste als bei diesem optimalen Punkt, während Schalten beim Wendepunkt von Fig. 11 (ungefähr 26 V im Beispiel von Fig. 11) 0,9 μJ höhere Verluste für jedes Schaltereignis erzeugt. Die optimale Schaltspannung liegt daher grob in der Mitte zwischen null Volt und dem Wendepunkt, zum Beispiel zwischen 30 % und 70 % der Spannung am Wendepunkt oder zwischen 40 % und 60 % der Spannung am Wendepunkt.

[0078] Während Energieeinspeisung von der sekundärseitigen Schaltung, wie hinsichtlich Fig. 10 gezeigt, als ein Beispiel in Fig. 12 and 13 verwendet worden ist, gelten ähnliche Überlegungen für andere Anordnungen, zum Beispiel die unter Bezugnahme auf Fig. 3 and 8 erörterten Anordnungen. Im Wesentlichen kann durch alle diese Verfahren eine Ausgangskapazität des Primärschalters geladen/entladen werden.

[0079] Neben den Aspekten der Verluste kann bei einigen Ausführungsformen Verwenden einer Schaltspannung von etwas über 0 V auch vorteilhaft bezüglich Einschaltdauerverlustes bei einigen Ausführungsformen sein, da Einspeisen von zu viel Energie, zum Beispiel, um den Primärschalter völlig bis zu 0 V zu entladen, längere Einschaltdauer erfordert und in manchen Fällen zu Steuerungsbeschränkungen hinsichtlich einer Totzeit führen kann, die erforderlich ist, um Entladen einer Ausgangskapazität des Primärschalters zu gestatten.

[0080] Es wird darauf hingewiesen, dass, da die Qoss-Kurve wenigstens für moderne Superjunction-Leistungsschalter für Spannungen über dem Wendepunkt verhältnismäßig flach ist, die unter Bezugnahme auf Fig. 13 erörterte optimale Schaltspannung grundsätzlich nicht mit der Eingangsspannung des Spannungswandlers variiert, zum Beispiel Entladen von 500 V oder von 200 V ändert die optimale Schaltspannung nicht wesentlich, die in beiden Fällen zwischen 10 und 11 V für den unter Bezugnahme auf Fig. 11 bis Fig. 13 erörterten beispielhaften Schalter liegt. Während bestimmte Werte Argumente bezüglich Fig. 11-13 sind, hängen diese Werte von der konkreten Schalterimplementierung ab.

[0081] Bei anderen Ausführungsformen, bei denen das Verhalten der Qoss-Kurve wie Kurve 110 in Fig. 11 weniger ausgeprägt ist, d. h. ohne einen starken Knick und mit steilerer Steigung für höhere Spannungen, kann es zu einer Verschiebung der optimalen Spannung in Abhängigkeit von der Eingangsspannung kommen. Bei einer niedrigeren Eingangsspannung kann die Schaltspannung zum Beispiel auf einen niedrigeren Volt-Wert eingestellt werden als für höhere Eingangsspannungen. Die genaue optimale Spannung, d. h. Spannung, wo immer Verluste minimiert werden, hängt allgemein von der Topologie, dem Ein-Widerstand des primärseitigen und des sekundärseitigen Schaltungsschalters, Spitzenströmen an der primärseitigen und der sekundärseitigen Schaltung etc. ab.

[0082] Außerdem umfassen Leitungsverluste an der primärseitigen Schaltung und Leitungsverluste aus positiven Strömen an der sekundärseitigen Schaltung (siehe Fig. 12) einen linearen Term, der vom Laststrom jeweils an der primärseitigen und der sekundärseitigen Schaltung abhängt. Dadurch ergibt sich eine leichte Lastabhängigkeit von der optimalen Spannung zu höheren Spannungen mit zunehmender Last, da die Eoss-Verluste (Kurve 120) unabhängig vom Laststrom gleich bleiben. Bei manchen Ausführungsformen kann die Schaltspannung daher in Abhängigkeit vom Laststrom eingestellt werden. Bei anderen Ausführungsformen kann die Schaltspannung unabhängig vom Laststrom konstant bleiben. Weiter wird darauf hingewiesen, dass bei Ausführungsformen keine Einstellung auf den optimalen Wert erforderlich ist, aber ein Wert zwischen dem Wendepunkt der Qoss/Eoss-Kurven und 0 V gewählt werden kann, der beispielsweise nur ungefähr am Optimum liegen kann.

[0083] Es wird darauf hingewiesen, dass, während die Einstellung der Schaltspannung des primärseitigen Schalters auf eine Spannung zwischen null und dem Wendepunkt, wie oben erläutert, unter Verwendung der oben erörterten Steuertechniken durchgeführt werden kann, d. h. Verwenden von zwei mittels einer Hilfswicklung gemessenen Spannungen,

dies auch in Verbindung mit anderen Steuertechniken, zum Beispiel konventionellen Techniken, verwendet werden kann.

[0084] Wie oben erläutert, ist das Konzept auf verschiedene Wandlertopologien anwendbar, zum Beispiel wie unter Bezugnahme auf **Fig. 3**, **Fig. 8** oder **Fig. 10** erläutert, wo eine Spannung über einem Primärschalter aktiv durch Einspeisen von Energie unter Verwendung eines Hilfsschalters gesenkt wird.

[0085] Daher dienen die spezifischen, oben erörterten Implementierungen nur als Beispiele und sind in keiner Weise als einschränkend aufzufassen.

[0086] Wenigstens einige der Ausführungsformen sind durch die nachstehend gegebenen Beispiele definiert.

[0087] Beispiel 1: Eine Spannungswandlersteuerung, umfassend: eine Treiberschaltung, die zum Steuern des Schaltens eines Primärschalters an einer primärseitigen Schaltung einer Spannungssteuerung und eines Hilfsschalters zum Einstellen einer Schaltspannung des Primärschalters konfiguriert ist, einen Anschluss, der zum Empfangen einer Spannung von einer Hilfswicklung eines Transformators der Spannungssteuerung konfiguriert ist, eine Abtastschaltung, die zum Bereitstellen einer ersten Spannung basierend auf der Spannung am Anschluss, bevor der Primärschalter eingeschaltet wird, und einer zweiten Spannung basierend auf der Spannung am Anschluss, während der Primärschalter eingeschaltet ist, konfiguriert ist, und eine Einstellungsschaltung, die zum Einstellen einer Einschaltzeit des Hilfsschalters basierend auf der ersten Spannung und der zweiten Spannung konfiguriert ist.

[0088] Beispiel 2: Spannungswandlersteuerung von Beispiel 1, wobei die Einstellungsschaltung zum Einstellen einer Einschaltzeit des Sekundärschalters basierend auf einem Vergleich einer Differenz zwischen der ersten Spannung und der zweiten Spannung mit wenigstens einem Schwellenwert konfiguriert ist.

[0089] Beispiel 3: Spannungswandlersteuerung von Beispiel 2, wobei die Einstellungsschaltung zum Reduzieren der Ein-Zeit des Hilfsschalters, wenn die Differenz über einem ersten Schwellenwert der wenigstens einen Schwellenspannung liegt, und zum Reduzieren der Ein-Zeit des Hilfsschalters, wenn die Differenz zwischen der ersten Spannung und der zweiten Spannung unter einem zweiten Schwellenwert der wenigstens einen Schwellenspannung liegt, konfiguriert ist.

[0090] Beispiel 4: Spannungswandlersteuerung eines beliebigen der Beispiele 1 bis 3, wobei die Einstellungsschaltung dazu konfiguriert ist, die Einschaltzeit des Hilfsschalters so einzustellen, dass

spannungsloses Schalten des Primärschalters erhalten wird.

[0091] Beispiel 5: Spannungswandlersteuerung eines beliebigen der Beispiele 1 bis 3, wobei die Spannungswandlersteuerung dazu konfiguriert ist, die Einschaltzeit des Hilfsschalters so einzustellen, dass Schalten des Primärschalters bei einer Schaltspannung über dem Primärschalter von größer als null und unterhalb eines Wendepunkts einer Kurve von in einer Ausgangskapazität des Primärschalters gespeicherter Ladung versus Spannung erhalten wird.

[0092] Beispiel 6: Spannungswandlersteuerung von Beispiel 5, wobei die Schaltspannung zwischen 8 V und 15 V liegt.

[0093] Beispiel 7: Spannungswandlersteuerung eines beliebigen der Beispiele 1 bis 6, wobei die Einstellungsschaltung zum Einstellen der Einschaltzeit des Sekundärschalters in Abhängigkeit von einem Laststrom der Spannungswandlersteuerung konfiguriert ist.

[0094] Beispiel 8: Ein Spannungswandler, umfassend:

eine primärseitige Schaltung, die zum Empfangen einer Eingangsspannung konfiguriert ist,

eine sekundärseitige Schaltung, die zum Ausgeben einer Ausgangsspannung konfiguriert ist,

einen Transformator, der die primärseitige Schaltung und die sekundärseitige Schaltung koppelt,

wobei die primärseitige Schaltung einen Primärschalter umfasst, und wobei der Spannungswandler weiterhin einen Hilfsschalter umfasst, der zum Einstellen einer Schaltspannung über dem Primärschalter, wenn der Primärschalter eingeschaltet wird, konfiguriert ist, und eine Spannungswandlersteuerung eines beliebigen der Beispiele 1 bis 7.

[0095] Beispiel 9: Spannungswandler von Beispiel 8, weiterhin umfassend eine Hilfswicklung des Transformators, wobei die Hilfswicklung mit dem Anschluss der Spannungswandlersteuerung gekoppelt ist.

[0096] Beispiel 10: Spannungswandlersteuerung eines beliebigen der Beispiele 8 oder 9, wobei der Hilfsschalter einer eines Aktivklemmenhelfsschalters, eines mit einer zusätzlichen Hilfswicklung gekoppelten Hilfsschalters oder eines Hilfsschalters der sekundärseitigen Schaltung ist.

[0097] Beispiel 11: Spannungswandler eines beliebigen der Beispiele 8 bis 10, wobei die Spannungssteuerung ein Sperrwandler ist.

[0098] Beispiel 12: Ein Verfahren, umfassend:

Messen einer ersten Spannung unter Verwendung einer Hilfswicklung eines Transformators eines Spannungswandlers vor Schließen eines Primärschalters einer primärseitigen Schaltung der Spannungssteuerung,

Messen einer zweiten Spannung unter Verwendung der Hilfswicklung, während der Primärschalter eingeschaltet ist, und

Einstellen einer Ein-Zeit eines Hilfsschalters zum Einstellen einer Schaltspannung über dem Primärschalter, wenn der Primärschalter eingeschaltet wird, basierend auf der ersten und der zweiten Spannung.

[0099] Beispiel 13: Verfahren von Beispiel 12, wobei das Einstellen Vergleichen einer Differenz zwischen der ersten und der zweiten Spannung mit wenigstens einem Schwellenwert umfasst.

[0100] Beispiel 14: Verfahren von Beispiel 13, wobei das Vergleichen Erhöhen einer Ein-Zeit des Hilfsschalters, wenn die Differenz unter einem ersten Schwellenwert der wenigstens einen Schwellenspannung liegt, und Erhöhen des Reduzierens der Ein-Zeit des Hilfsschalters, wenn die Differenz über einem zweiten Schwellenwert der wenigstens einen Schwellenwerts liegt, umfasst.

[0101] Beispiel 15: Verfahren von Beispiel 13 oder 14, wobei der wenigstens eine Schwellenwert so gewählt wird, dass spannungsloses Schalten erhalten wird.

[0102] Beispiel 16: Verfahren eines beliebigen der Beispiele 13 oder 14, wobei der wenigstens eine Schwellenwert so gewählt wird, dass Schalten bei einer Schaltspannung von größer als null und unterhalb eines Wendepunkts, an dem eine über der Spannung abgetragene, in einer Ausgangskapazität des Primärschalters gespeicherte Energie ihre Steigung um wenigstens 20 % ändert, erhalten wird.

[0103] Beispiel 17: Verfahren eines beliebigen der Beispiele 12 bis 16, weiterhin umfassend Einstellen der Ein-Zeit des Hilfsschalters basierend auf einer Laststromausgabe durch den Spannungswandler.

[0104] Beispiel 18: Verfahren eines beliebigen der Beispiele 12 bis 17, wobei der Hilfsschalter einer eines Aktivklemmschalters, eines mit einer Hilfswicklung gekoppelten Schalters oder eines Schalters an einer sekundärseitigen Schaltung des Spannungswandlers ist.

[0105] Beispiel 19: Eine Spannungswandlersteuerung, umfassend: eine Treiberschaltung, die zum Steuern des Schaltens eines Primärschalters an einer primärseitigen Schaltung einer Spannungssteuerung

und eines Hilfsschalters zum Einstellen einer Schaltspannung des Primärschalters konfiguriert ist, und

eine Einstellungsschaltung, die zum Einstellen einer Einschaltzeit des Hilfsschalters zum Erhalten einer Schaltspannung des Primärschalters von größer als null und unterhalb eines Wendepunkts einer Kurve von in einer Ausgangskapazität des Primärschalters gespeicherter Ladung versus Spannung konfiguriert ist.

[0106] Beispiel 20: Spannungswandlersteuerung nach Anspruch 19, wobei der Wendepunkt bei einer Spannung liegt, an der eine erste Ableitung eines Produkts aus einem Ein-Widerstand des Primärschalters und der in der Ausgangskapazität gespeicherten Ladung bezüglich Spannung einer vordefinierten Schwelle entspricht.

[0107] Beispiel 21: Spannungswandlersteuerung nach Anspruch 20, wobei die vordefinierte Schwelle 0,1 ist.

[0108] Beispiel 22: Spannungswandlersteuerung eines beliebigen der Beispiele 19 bis 21, wobei die Schaltspannung so gewählt wird, dass ein Gesamtenergieverlust minimiert wird.

[0109] Beispiel 23: Spannungswandler eines beliebigen der Beispiele 19 bis 22, wobei die Schaltspannung auf einen Wert zwischen 30 % und 70 % der Spannung des Wendepunkts eingestellt wird.

[0110] Beispiel 24: Spannungswandler eines beliebigen der Beispiele 19 bis 23, wobei die Schaltspannung auf einen Wert zwischen 8 V und 15 V eingestellt wird.

[0111] Beispiel 25: Ein Spannungswandler, umfassend:

eine primärseitige Schaltung, die zum Empfangen einer Eingangsspannung konfiguriert ist,

eine sekundärseitige Schaltung, die zum Ausgeben einer Ausgangsspannung konfiguriert ist,

einen Transformator, der die primärseitige Schaltung und die sekundärseitige Schaltung koppelt,

wobei die primärseitige Schaltung einen Primärschalter umfasst, und wobei der Spannungswandler weiterhin einen Hilfsschalter umfasst, der zum Einstellen einer Schaltspannung über dem Primärschalter, wenn der Primärschalter eingeschaltet wird, konfiguriert ist, und eine Spannungswandlersteuerung eines beliebigen der Beispiele 19 bis 24.

[0112] Beispiel 26: Spannungswandlersteuerung von Beispiel 25, wobei der Hilfsschalter einer eines

Aktivklemmenhilfsschalters, eines mit einer zusätzlichen Hilfswicklung gekoppelten Hilfsschalters oder eines Hilfsschalters der sekundärseitigen Schaltung ist.

[0113] Beispiel 27: Spannungswandler von Beispiel 25 oder 26, wobei die Spannungssteuerung ein Sperrwandler ist.

[0114] Beispiel 28: Ein Verfahren, umfassend:

Betätigen eines Primärschalters eines Spannungswandlers und Einstellen einer Ein-Zeit eines Hilfsschalters des Spannungswandlers zum Erhalten einer Schaltspannung des Primärschalters von größer als null und unterhalb eines Wendepunkts einer Kurve von in einer Ausgangskapazität des Primärschalters gespeicherter Ladung versus Spannung.

[0115] Beispiel 29: Verfahren von Beispiel 28, wobei der Wendepunkt bei einer Spannung liegt, an der eine erste Ableitung eines Produkts aus einem Ein-Widerstand des Primärschalters und der in der Ausgangskapazität gespeicherten Ladung bezüglich Spannung einer vordefinierten Schwelle entspricht.

[0116] Beispiel 30: Verfahren von Beispiel 29, wobei die vordefinierte Schwelle 0,1 ist.

[0117] Beispiel 31: Verfahren eines beliebigen der Beispiele 28 bis 30, wobei die Schaltspannung so gewählt wird, dass ein Gesamtenergieverlust minimiert wird.

[0118] Beispiel 32: Verfahren eines beliebigen der Beispiele 28 bis 31, wobei die Schaltspannung auf einen Wert zwischen 30 % und 70 % der Spannung des Wendepunkts eingestellt wird.

[0119] Beispiel 33: Verfahren eines beliebigen der Beispiele 28 bis 32, wobei die Schaltspannung auf einen Wert zwischen 8 V und 15 V eingestellt wird.

[0120] Wie aus den verschiedenen oben erörterten Modifikationen und Variationen ersichtlich ist, dienen die dargestellten und beschriebenen Ausführungsformen lediglich als nicht begrenzende Beispiele, die in keinem Fall in einem einschränkenden Sinne aufzufassen sind.

Patentansprüche

1. Spannungswandlersteuerung, umfassend: eine Treiberschaltung, die zum Steuern des Schaltens eines Primärschalters an einer primärseitigen Schaltung einer Spannungssteuerung und eines Hilfsschalters zum Einstellen einer Schaltspannung des Primärschalters konfiguriert ist,

einen Anschluss, der zum Empfangen einer Spannung von einer Hilfswicklung eines Transformators der Spannungssteuerung konfiguriert ist, eine Abtastschaltung, die zum Bereitstellen einer ersten Spannung basierend auf der Spannung am Anschluss, bevor der Primärschalter eingeschaltet wird, und einer zweiten Spannung basierend auf der Spannung am Anschluss, während der Primärschalter eingeschaltet ist, konfiguriert ist, und eine Einstellungsschaltung, die zum Einstellen einer Einschaltzeit des Hilfsschalters basierend auf der ersten Spannung und der zweiten Spannung konfiguriert ist.

2. Spannungswandlersteuerung nach Anspruch 1, wobei die Einstellungsschaltung zum Einstellen einer Einschaltzeit des Sekundärschalters basierend auf einem Vergleich einer Differenz zwischen der ersten Spannung und der zweiten Spannung mit wenigstens einem Schwellenwert konfiguriert ist.

3. Spannungswandlersteuerung nach Anspruch 2, wobei die Einstellungsschaltung zum Reduzieren der Ein-Zeit des Hilfsschalters, wenn die Differenz über einem ersten Schwellenwert der wenigstens einen Schwellenspannung liegt, und zum Reduzieren der Ein-Zeit des Hilfsschalters, wenn die Differenz zwischen der ersten Spannung und der zweiten Spannung unter einem zweiten Schwellenwert der wenigstens einen Schwellenspannung liegt, konfiguriert ist.

4. Spannungswandlersteuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Einstellungsschaltung dazu konfiguriert ist, die Einschaltzeit des Hilfsschalters so einzustellen, dass ein spannungsloses Schalten des Primärschalters erhalten wird.

5. Spannungswandlersteuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Spannungswandlersteuerung dazu konfiguriert ist, die Einschaltzeit des Hilfsschalters so einzustellen, dass Schalten des Primärschalters bei einer Schaltspannung über dem Primärschalter von größer als null und unterhalb eines Wendepunkts einer Kurve von in einer Ausgangskapazität des Primärschalters gespeicherter Ladung über der Spannung erhalten wird.

6. Spannungswandlersteuerung nach Anspruch 5, wobei die Schaltspannung zwischen 8 V und 15 V liegt.

7. Spannungswandlersteuerung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Einstellungsschaltung zum Einstellen der Einschaltzeit des Sekundärschalters in Abhängigkeit von einem Laststrom der Spannungswandlersteuerung konfiguriert ist.

8. Verfahren, umfassend: Messen einer ersten Spannung unter Verwendung einer Hilfswicklung eines Transformators eines Span-

nungswandlers vor einem Schließen eines Primärschalters einer primärseitigen Schaltung der Spannungssteuerung,

Messen einer zweiten Spannung unter Verwendung der Hilfswicklung, während der Primärschalter eingeschaltet ist, und

Einstellen einer Ein-Zeit eines Hilfsschalters zum Einstellen einer Schaltspannung über dem Primärschalter, wenn der Primärschalter eingeschaltet wird, basierend auf der ersten und der zweiten Spannung.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei das Einstellen ein Vergleichen einer Differenz zwischen der ersten und der zweiten Spannung mit wenigstens einem Schwellenwert umfasst.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das Vergleichen ein Erhöhen einer Ein-Zeit des Hilfsschalters, wenn die Differenz unter einem ersten Schwellenwert der wenigstens einen Schwellenspannung liegt, und ein Erhöhen des Reduzierens der Ein-Zeit des Hilfsschalters, wenn die Differenz über einem zweiten Schwellenwert des wenigstens einen Schwellenwerts liegt, umfasst.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, wobei der wenigstens eine Schwellenwert so gewählt wird, dass ein spannungsloses Schalten erhalten wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, wobei der wenigstens eine Schwellenwert so gewählt wird, dass Schalten bei einer Schaltspannung von größer als null und unterhalb eines Wendepunkts, an dem eine über der Spannung abgetragene, in einer Ausgangskapazität des Primärschalters gespeicherte Energie ihre Steigung um wenigstens 20 % ändert, erhalten wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12, weiterhin umfassend Einstellen der Ein-Zeit des Hilfsschalters basierend auf einer Laststromausgabe durch den Spannungswandler.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 13, wobei der Hilfsschalter einer eines Aktivklemmschalters, eines mit einer Hilfswicklung gekoppelten Schalters oder eines Schalters an einer sekundärseitigen Schaltung des Spannungswandlers ist.

15. Spannungswandlersteuerung, umfassend: eine Treiberschaltung, die zum Steuern des Schaltens eines Primärschalters an einer primärseitigen Schaltung einer Spannungssteuerung und eines Hilfsschalters zum Einstellen einer Schaltspannung des Primärschalters konfiguriert ist, und eine Einstellungsschaltung, die zum Einstellen einer Einschaltzeit des Hilfsschalters zum Erhalten einer Schaltspannung des Primärschalters von größer als null und unterhalb eines Wendepunkts einer Kurve von in einer Ausgangskapazität des Primärschalters

gespeicherter Ladung über der Spannung konfiguriert ist.

16. Spannungswandlersteuerung nach Anspruch 15, wobei der Wendepunkt bei einer Spannung liegt, an der eine erste Ableitung eines Produkts aus einem Ein-Widerstand des Primärschalters und der in der Ausgangskapazität gespeicherten Ladung bezüglich Spannung einer vordefinierten Schwelle entspricht.

17. Spannungswandlersteuerung nach Anspruch 16, wobei die vordefinierte Schwelle 0,1 ist.

18. Spannungswandlersteuerung nach einem beliebigen der Ansprüche 15 bis 18, wobei die Schaltspannung so gewählt wird, dass ein Gesamtenergieverlust minimiert wird.

19. Spannungswandler nach einem beliebigen der Ansprüche 15 bis 18, wobei die Schaltspannung auf einen Wert zwischen 30 % und 70 % der Spannung des Wendepunkts eingestellt wird.

20. Spannungswandler nach einem beliebigen der Ansprüche 15 bis 19, wobei die Schaltspannung auf einen Wert zwischen 8 V und 15 V eingestellt wird.

21. Spannungswandler, umfassend: eine primärseitige Schaltung, die zum Empfangen einer Eingangsspannung konfiguriert ist, eine sekundärseitige Schaltung, die zum Ausgeben einer Ausgangsspannung konfiguriert ist, einen Transformator, der die primärseitige Schaltung und die sekundärseitige Schaltung koppelt, wobei die primärseitige Schaltung einen Primärschalter umfasst, und wobei der Spannungswandler weiterhin einen Hilfsschalter umfasst, der zum Einstellen einer Schaltspannung über dem Primärschalter, wenn der Primärschalter eingeschaltet wird, konfiguriert ist, und eine Spannungswandlersteuerung nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 7 oder 15 bis 20.

22. Spannungswandlersteuerung nach Anspruch 21, wobei der Hilfsschalter einer eines Aktivklemmhilfsschalters, eines mit einer zusätzlichen Hilfswicklung gekoppelten Hilfsschalters oder eines Hilfsschalters der sekundärseitigen Schaltung ist.

23. Spannungswandler nach Anspruch 21 oder 22, wobei die Spannungssteuerung ein Sperrwandler ist.

24. Spannungswandler nach einem beliebigen der Ansprüche 21 bis 23, wobei die Spannungswandlersteuerung nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 7 implementiert ist, weiterhin umfassend eine Hilfswicklung des Transformators, wobei die Hilfswicklung mit dem Anschluss der Spannungswandlersteuerung gekoppelt ist.

25. Verfahren, umfassend:

Betätigen eines Primärschalters eines Spannungswandlers und Einstellen einer Ein-Zeit eines Hilfschalters des Spannungswandlers zum Erhalten einer Schaltspannung des Primärschalters von größer als null und unterhalb eines Wendepunkts einer Kurve von in einer Ausgangskapazität des Primärschalters gespeicherter Ladung versus Spannung.

26. Verfahren nach Anspruch 25, wobei der Wendepunkt bei einer Spannung liegt, an der eine erste Ableitung eines Produkts aus einem Ein-Widerstand des Primärschalters und der in der Ausgangskapazität gespeicherten Ladung bezüglich Spannung einer vordefinierten Schwelle entspricht.

27. Verfahren nach Anspruch 26, wobei die vordefinierte Schwelle 0,1 ist.

28. Verfahren nach einem beliebigen der Ansprüche 25 bis 27, wobei die Schaltspannung so gewählt wird, dass ein Gesamtenergieverlust minimiert wird.

29. Verfahren nach einem beliebigen der Ansprüche 25 bis 28, wobei die Schaltspannung auf einen Wert zwischen 30 % und 70 % der Spannung des Wendepunkts eingestellt wird.

30. Verfahren nach einem beliebigen der Ansprüche 25 bis 29, wobei die Schaltspannung auf einen Wert zwischen 8 V und 15 V eingestellt wird.

Es folgen 12 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

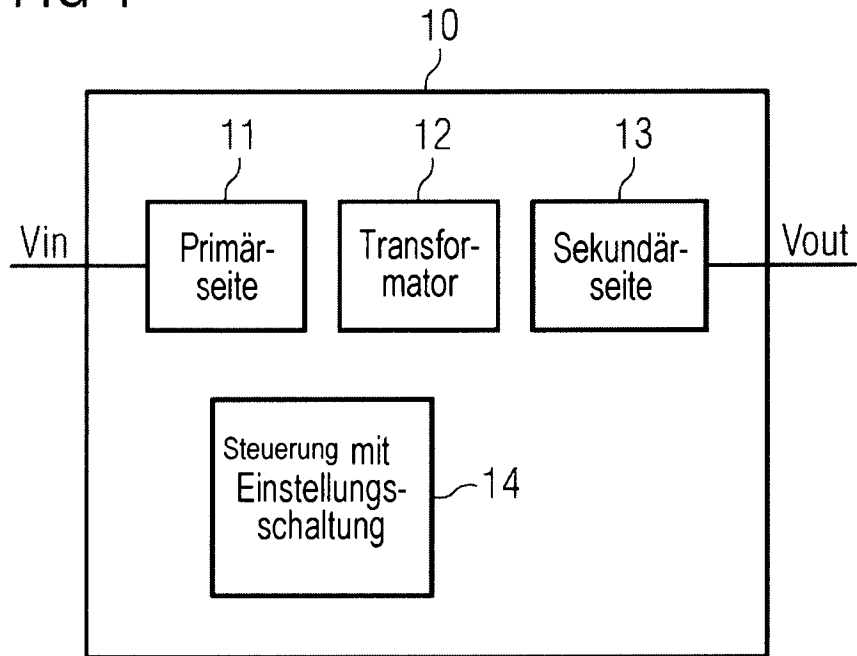
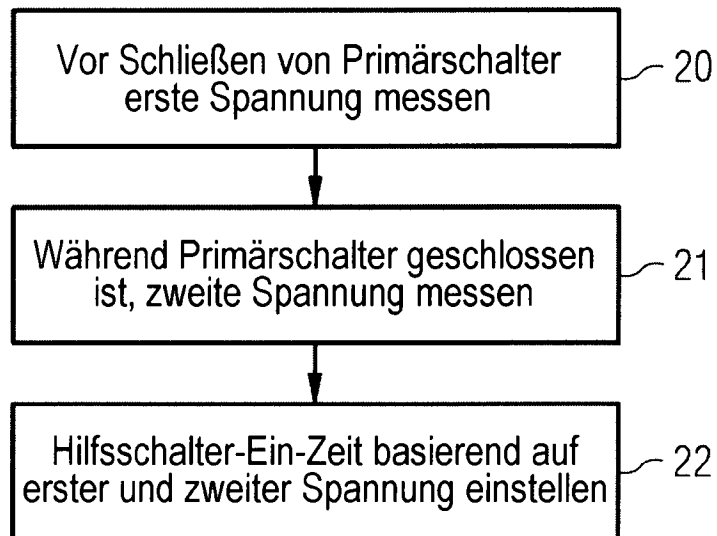


FIG 2



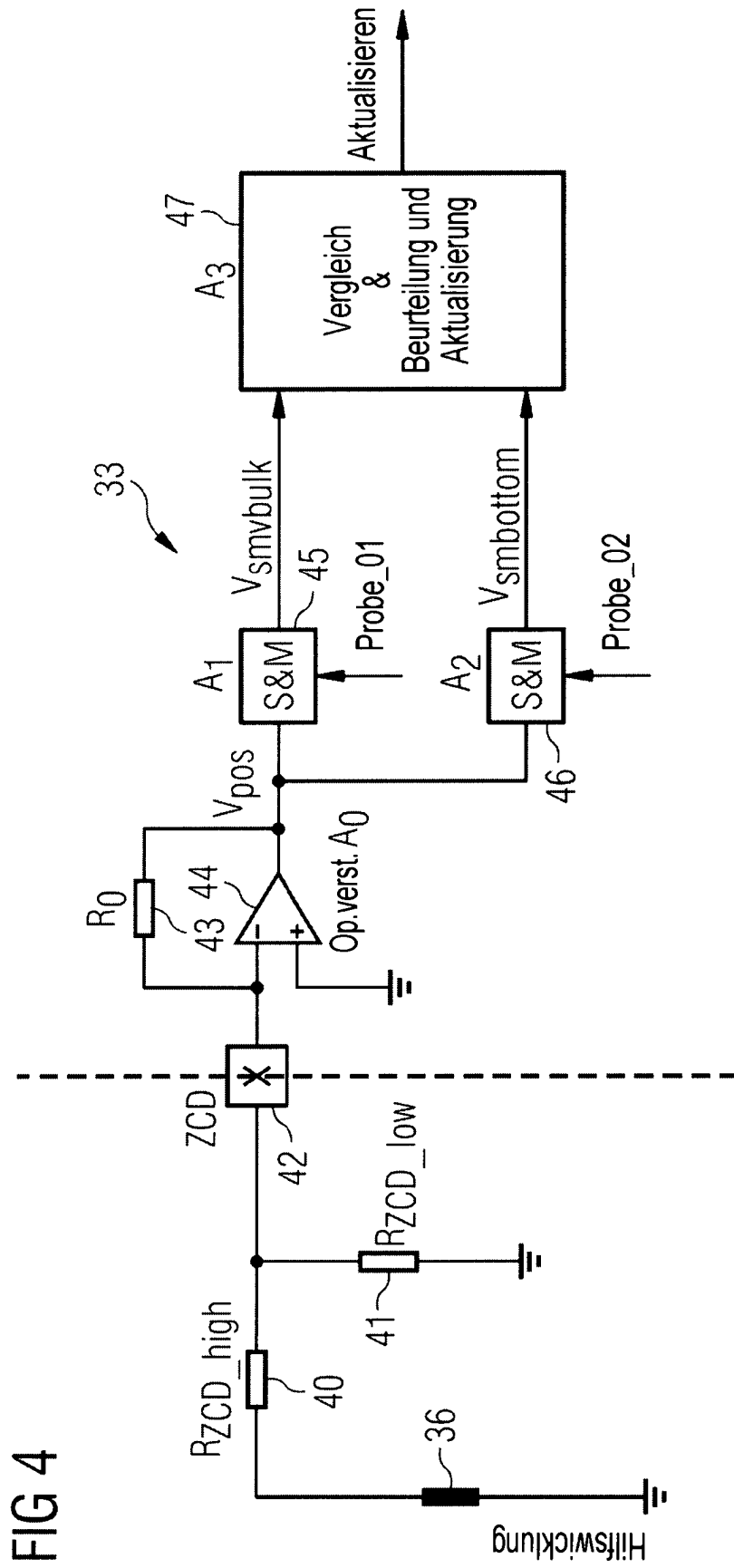


FIG 4

FIG 5

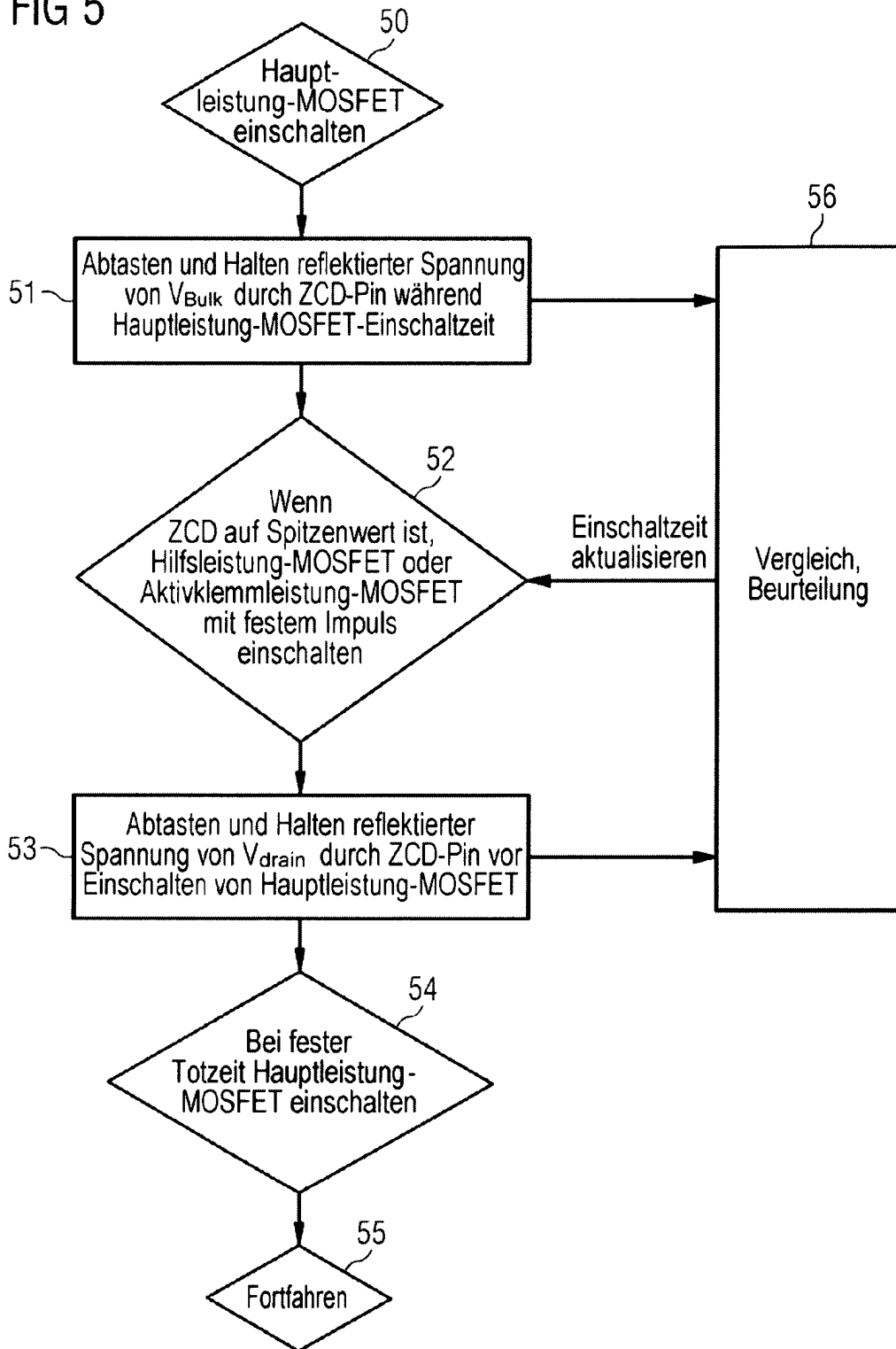


FIG 6

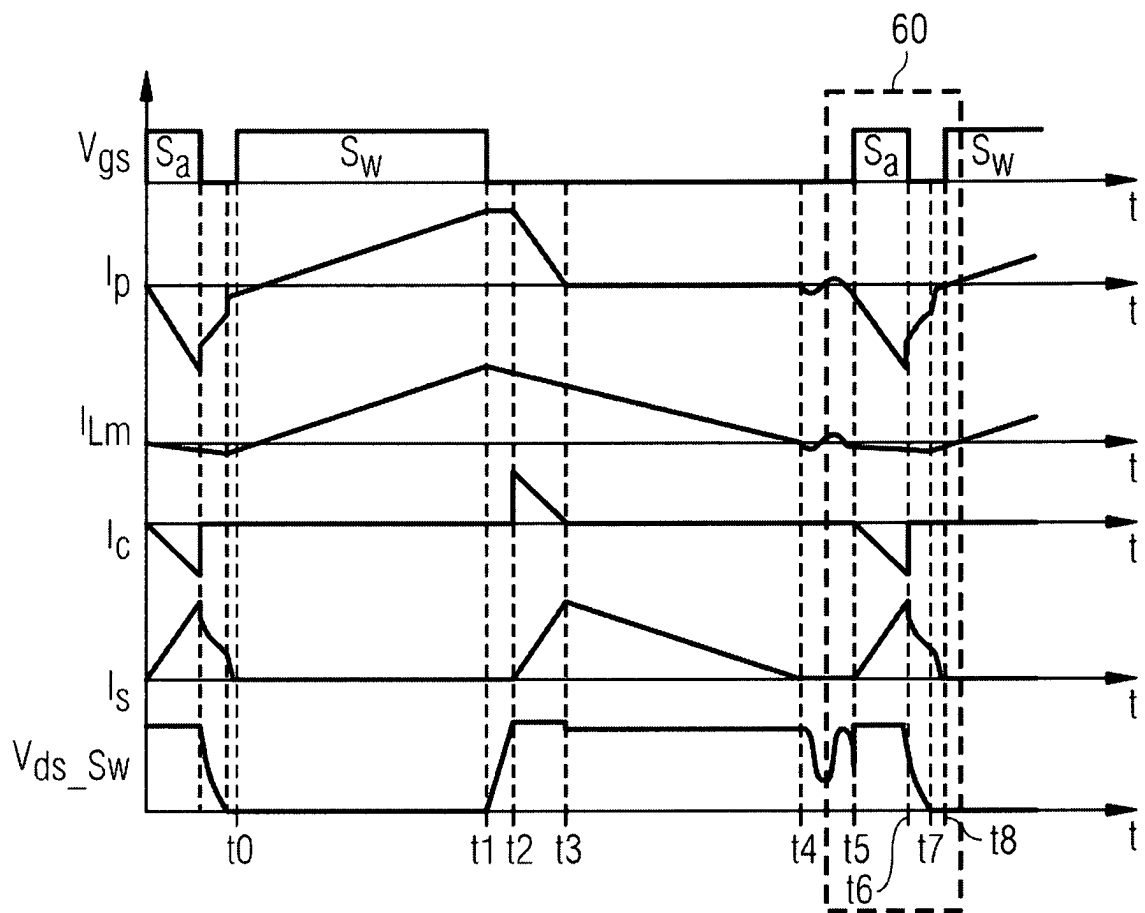


FIG 7A

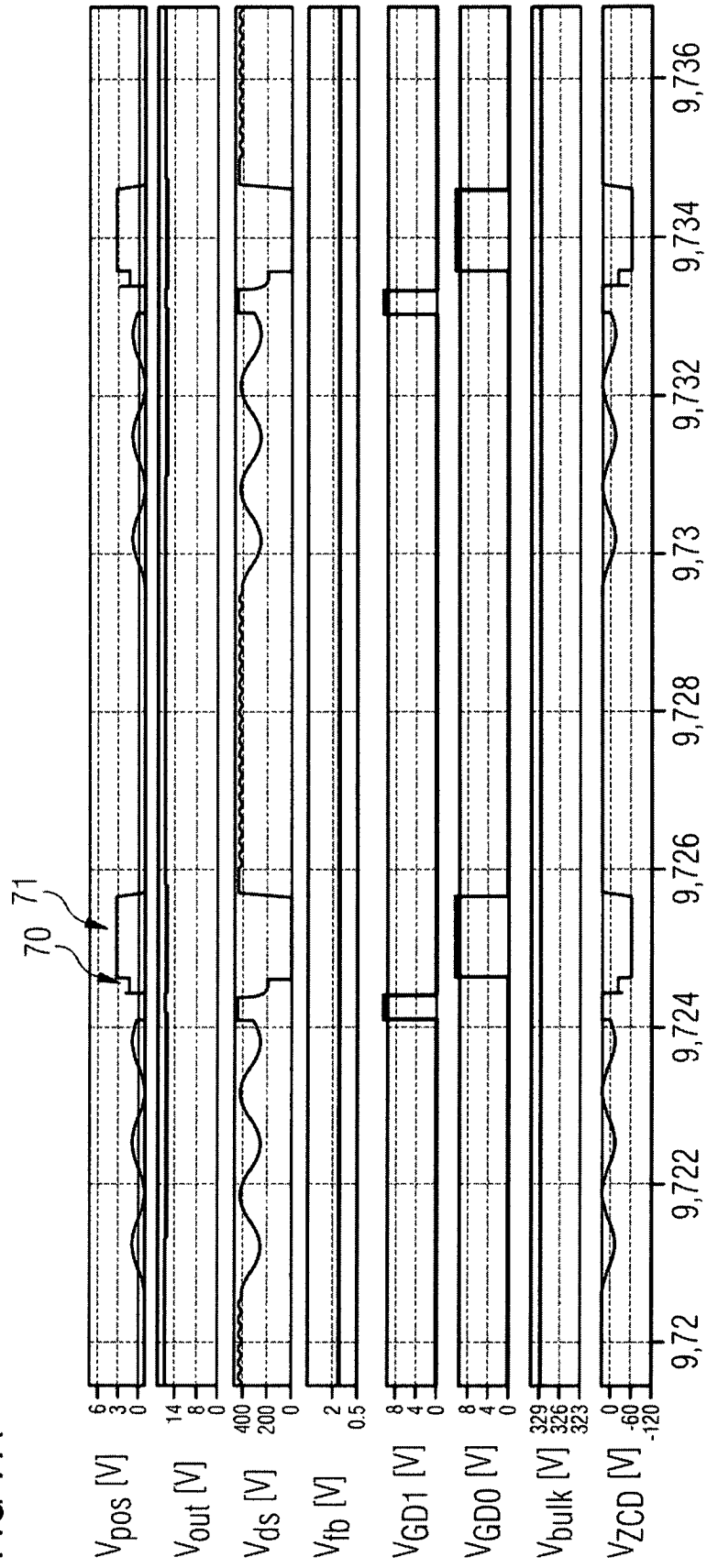


FIG 7B

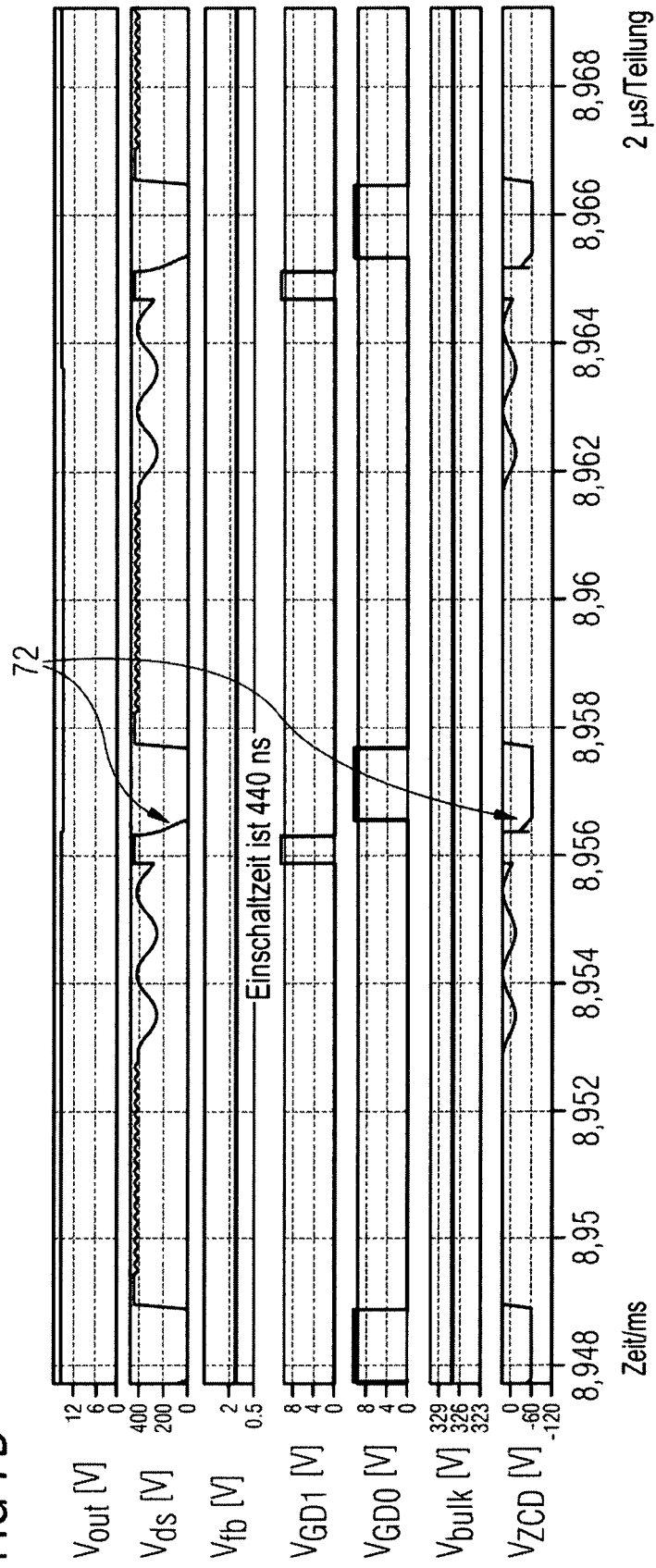
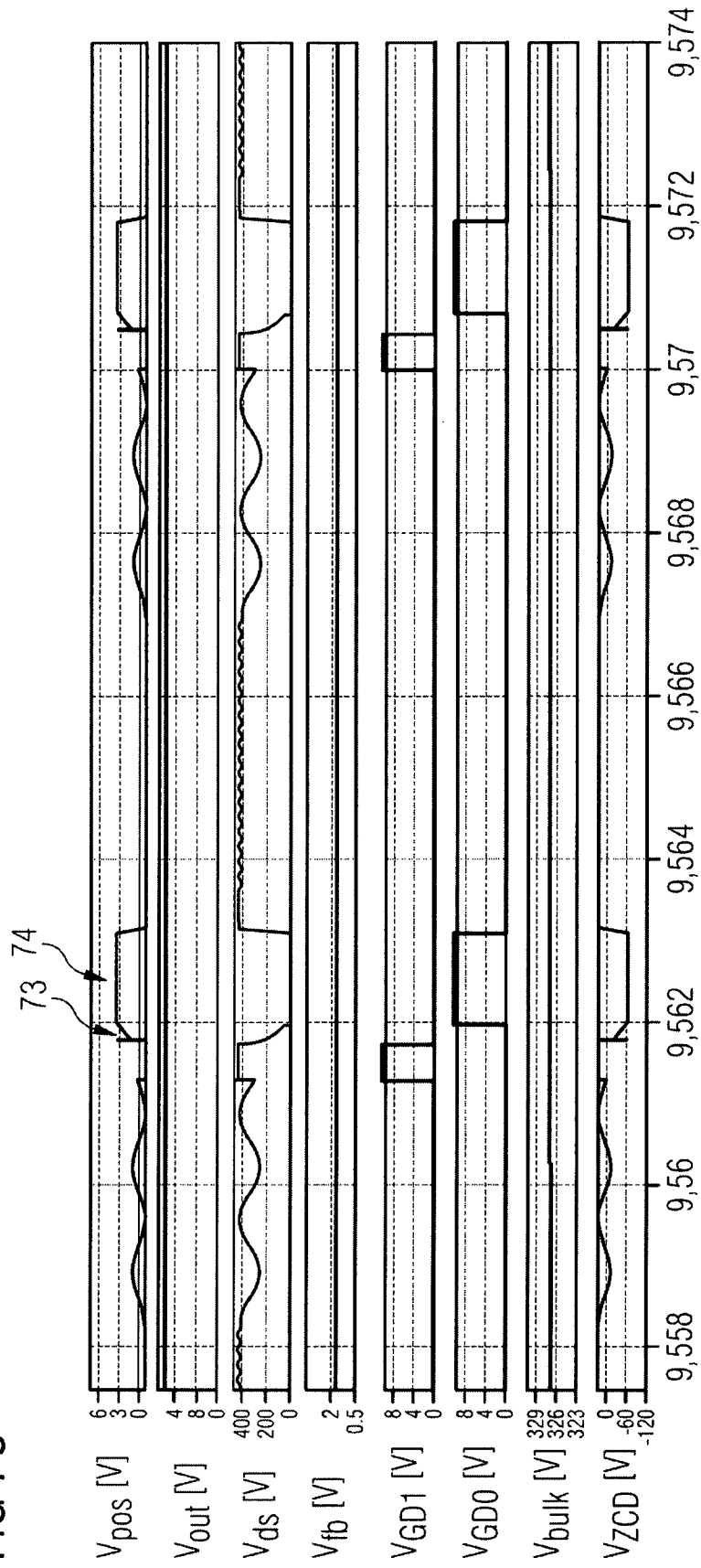
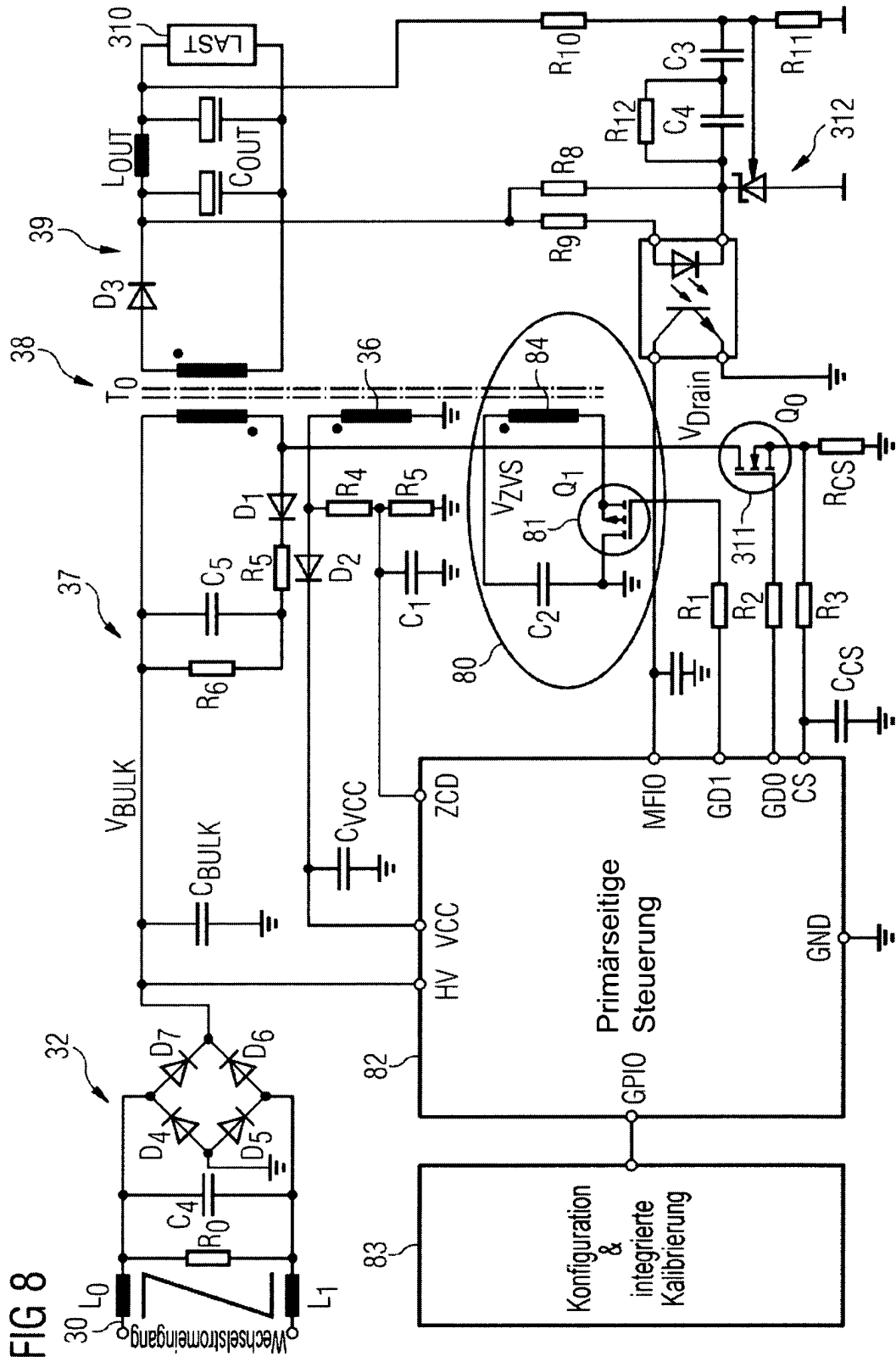


FIG 7C





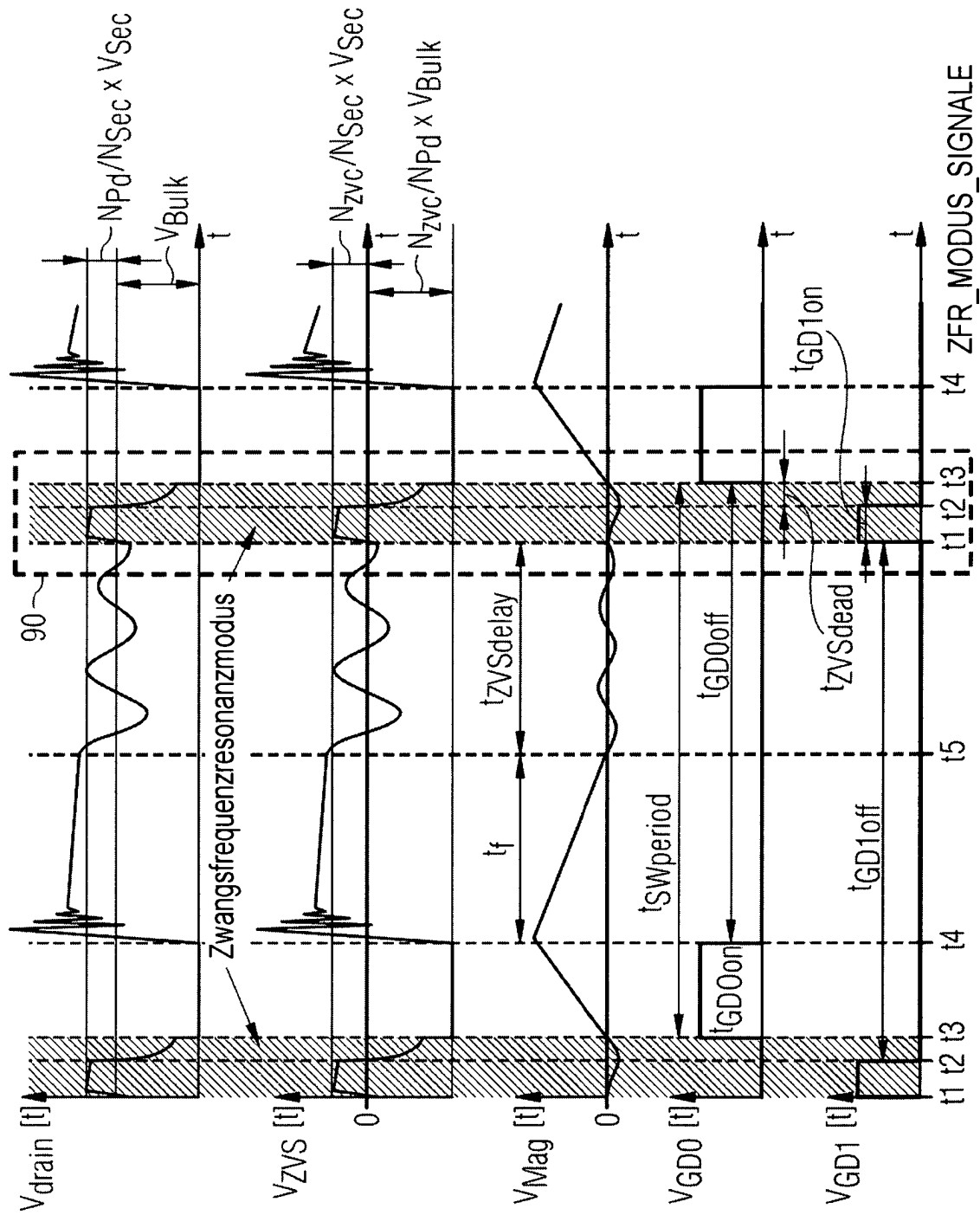


FIG 9

FIG 10

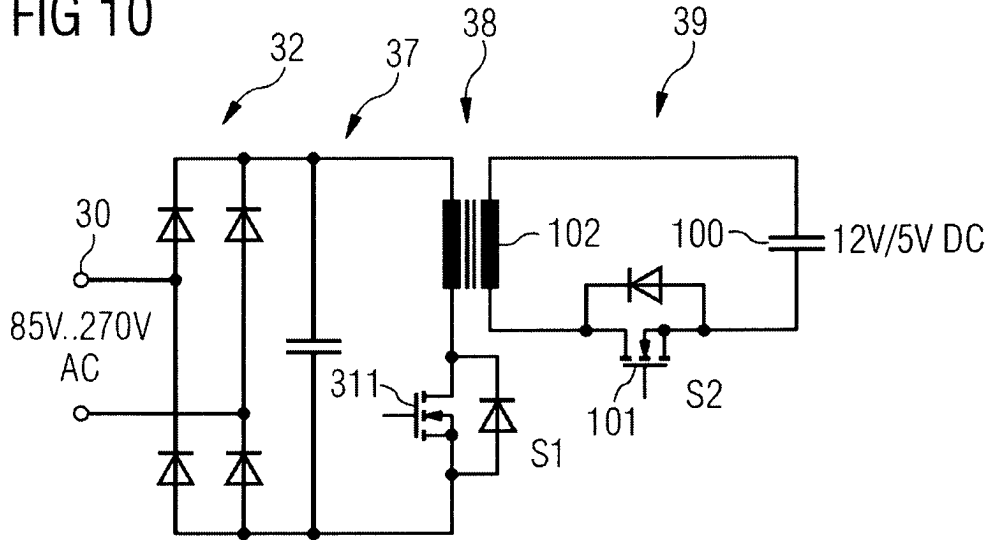


FIG 11

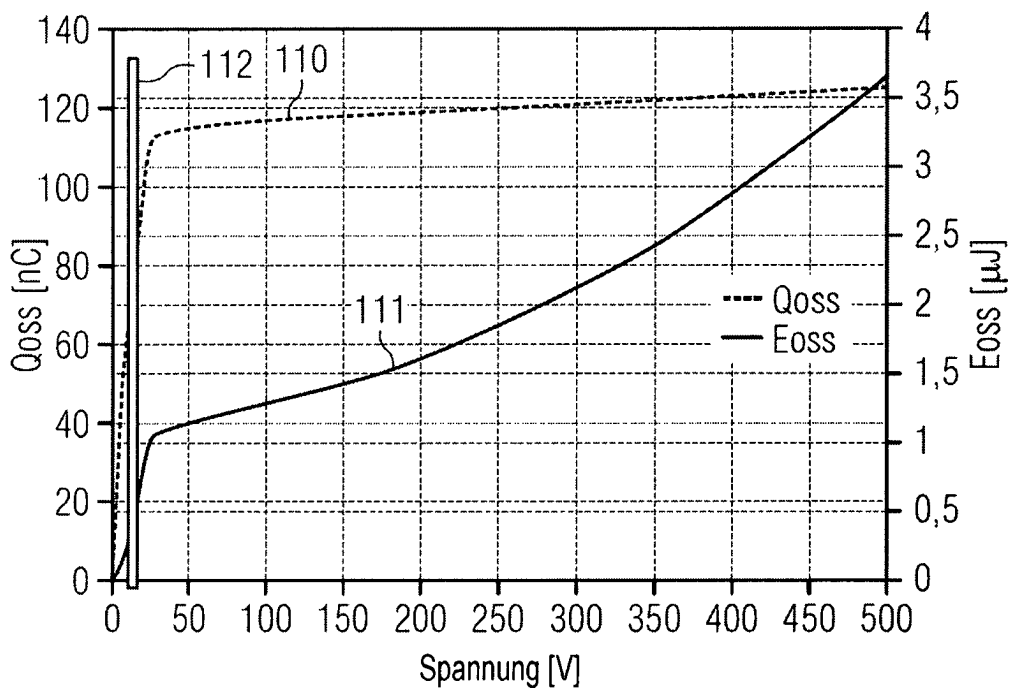


FIG 12

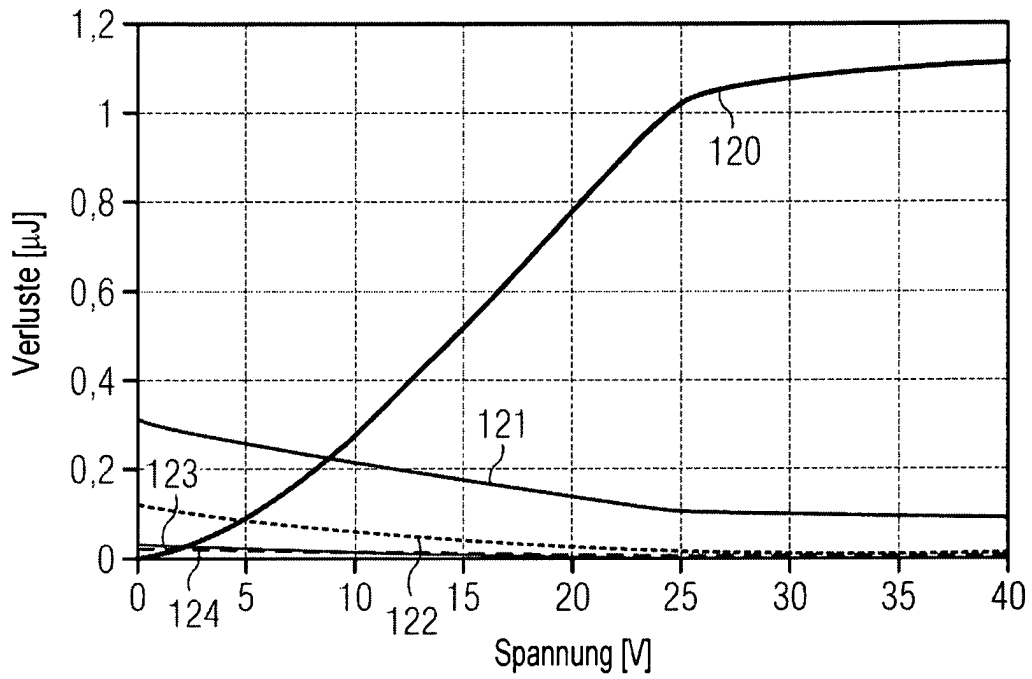


FIG 13

