

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

(19) Weltorganisation für geistiges  
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum  
12. März 2015 (12.03.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2015/032529 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
*H02M 3/156* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/064666

(22) Internationales Anmeldedatum:  
9. Juli 2014 (09.07.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2013 217 730.5  
5. September 2013 (05.09.2013) DE

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE];  
Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: **HERMANN, Carsten**; Kantstr. 31, 72762  
Reutlingen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,  
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,

DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,  
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,  
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,  
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,  
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,  
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,  
ZM, ZW.

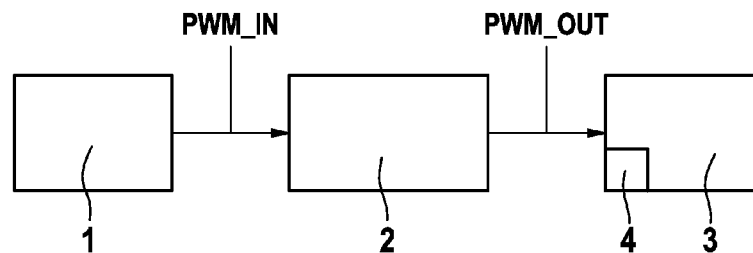
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,  
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,  
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,  
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,  
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,  
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,  
GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz  
3)

(54) Title: CIRCUIT FOR LIMITING DUTY RATIO IN A SWITCHED-MODE REGULATOR, AND METHOD FOR  
OPERATING A SWITCHED-MODE REGULATOR

(54) Bezeichnung : SCHALTUNG ZUR TASTVERHÄLTNISBEGRENZUNG BEI EINEM SCHALTREGLER SOWIE  
VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES SCHALTREGLERS



**FIG. 1**

(57) Abstract: A circuit for limiting duty ratio in a switched-mode regulator (1) having an output stage (3) actuated by a PWM signal is described in which a duty ratio limiter (2) is in contact with the switched-mode regulator (1) for transmission of the signal (PWM\_IN) to the duty ratio limiter (2), the duty ratio limiter (2) is set up to generate from the signal (PWM\_IN) a signal (PWM\_OUT) whose duty ratio is limited at the top, and the duty ratio limiter (2) is in contact with the output stage (3) for transmission of the limited signal (PWM\_OUT) to the output stage (3). In addition, a method for operating a switched-mode regulator (1) having a downstream circuit (3), which is actuated by a signal (PWM\_IN) from the switched-mode regulator (1), and a capacitor (4), which is charged when the downstream circuit (3) is switched off, is proposed in which the duty ratio of the signal (PWM\_IN) is limited to an upper limit value such that a predetermined charging time is available for the capacitor (4).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2015/032529 A1



---

Es wird eine Schaltung zur Tastverhältnisbegrenzung bei einem Schaltregler (1) mit einer von einem PWM-Signal angesteuerten Endstufe (3) beschrieben, bei der ein Tastverhältnisbegrenzer (2) mit dem Schaltregler (1) zur Übertragung des Signals (PWMJN) an den Tastverhältnisbegrenzer (2) in Verbindung steht, der Tastverhältnisbegrenzer (2) eingerichtet ist, aus dem Signal (PWMJN) ein im Tastverhältnis nach oben limitiertes begrenztes Signal (PWM\_OUT) zu generieren, und der Tastverhältnisbegrenzer (2) mit der Endstufe (3) zur Übertragung des begrenzten Signals (PWMJDUT) an die Endstufe (3) in Verbindung steht. Ferner wird ein Verfahren zum Betrieb eines Schaltreglers (1) mit einer nachgeordneten Schaltung (3), die von einem Signal (PWMJN) des Schaltreglers (1) angesteuert wird, und einem Kondensator (4), der bei ausgeschalteter nachgeordneter Schaltung (3) geladen wird, vorgeschlagen, bei dem das Tastverhältnis des Signals (PWMJN) bei einem oberen Grenzwert derart begrenzt wird, dass eine vorbestimmte Ladezeit für den Kondensator (4) zur Verfügung steht.

5 Beschreibung

Titel

Schaltung zur Tastverhältnisbegrenzung bei einem Schaltregler sowie Verfahren zum Betrieb eines Schaltreglers

10

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Schaltung zur Tastverhältnisbegrenzung bei einem Schaltregler, ein Verfahren zum Betrieb eines Schaltreglers sowie ein Kraftfahrzeug mit einer Schaltung zur Tastverhältnisbegrenzung bei einem Schaltregler.

15

Stand der Technik

Signale, wie zum Beispiel Taktsignale oder PWM (pulsweitenmodulierte) Signale, weisen ein Tastverhältnis, das auch Tastgrad genannt wird, auf. Das  
20 Tastverhältnis definiert das Verhältnis von Impulsdauer, das heißt aktivem Signalteil, zu der Periodendauer des Signals. Der nicht aktive Signalteil kann auch als Ausschaltzeit bezeichnet werden.

25

Wird ein Schaltregler als Abwärtswandler betrieben, so stellt sich ein Tastverhältnis ein, das idealisiert dem Verhältnis von Ausgangs- zu Eingangsspannung entspricht. Wird zum Beispiel aus einer Eingangsspannung von 14 V eine Ausgangsspannung von 6 V erzeugt, so stellt sich ein Tastverhältnis von circa 43 % ein. Bei einem derartigen  
Tastverhältnis wäre die Endstufe des Schaltreglers die ersten 43 % einer Taktperiode eingeschaltet und die sich anschließenden 57 % der Taktperiode ausgeschaltet. In der  
30 Ausschaltzeit, das heißt, wenn die Endstufe ausgeschaltet ist, wird ein Energiespeicher, zum Beispiel ein Boost-Kondensator, nachgeladen, dessen Ladung in der nächsten Periode wieder zum Einschalten und/oder Halten einer Gate-Spannung der Endstufe benötigt wird.

35

Wird der Schaltregler nun nahe des Dropbereiches betrieben, das heißt, dass die Eingangsspannung nur geringfügig größer ist als die Ausgangsspannung, stellt sich ein

Tastverhältnis ein, das nahe an 100 % heranreicht. Dieser Betriebszustand kann im Auto beispielsweise während des Startvorgangs auftreten. Hier kann die Batteriespannung stark einbrechen.

5 Wenn der Ladestand des Boost-Kondensators nicht ausreichend hoch ist, kann die Endstufe in der folgenden Taktperiode nicht mehr eingeschaltet werden. Dies führt dann dazu, dass die Ausgangsspannung absinkt und das Tastverhältnis vom Regler auf 100 % eingestellt wird. Solange der Boost-Kondensator jedoch nicht die erforderliche Ladung hat, kann die Endstufe auch bei einem eingestellten  
10 Tastverhältnis von 100% nicht mehr eingeschaltet werden. Üblicherweise wird der Boost-Kondensator dann über einen Notladestrompfad wieder aufgeladen. Dieser Mechanismus greift jedoch erst, nachdem die Ausgangsspannung deutlich abgesunken ist und das Tastverhältnis längere Zeit 100 % beträgt und somit auch keine Ladung mehr für Einschaltversuche beziehungsweise vergebliche  
15 Einschaltvorgänge aus dem Boost-Kondensator entnommen wurde. Dies führt dann dazu, dass keine Ladung mehr für Einschaltvorgänge aus dem Boost-Kondensator entnommen werden kann. Dieser Effekt macht sich als ungewollter Ripple beziehungsweise als ungewolltes Schwingen der Ausgangsspannung bemerkbar, was den Regelkreis instabil macht.

20

#### Offenbarung der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betrieb eines Schaltreglers mit einer nachgeordneten Schaltung, die von einem Signal des Schaltreglers angesteuert  
25 wird, und einem Energiespeicher, wie einem Kondensator oder einem Boost-Kondensator, der bei ausgeschalteter nachgeordneter Schaltung geladen wird, umfasst grundsätzlich, dass das Tastverhältnis des Signals bei einem oberen Grenzwert derart begrenzt wird, dass eine vorbestimmte Ladezeit für den Kondensator zur Verfügung steht.

30

Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, dass ein Schaltregler auch nahe der Dropspannung stabil betrieben werden kann, indem das Tastverhältnis des (pulsweitenmodulierten) Signals, wie zum Beispiel einem (pulsweitenmodulierten) PWM-Signal oder einem Rechtecksignal, bei oder durch einen Grenzwert nach oben  
35 begrenzt wird. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass der Kondensator stets die zum

Einschalten und/oder Halten der Gatespannung der nachgeordneten Schaltung, wie zum Beispiel einer Endstufe, erforderliche Ladung zur Verfügung stellen kann.

Die vorbestimmte Ladezeit kann zum einen anhand von Eigenschaften des Kondensators, wie zum Beispiel Kapazität oder Typ des Kondensators, oder zum anderen basierend auf Eigenschaften der nachgeordneten Schaltung, wie zum Beispiel einer Gatespannung, definiert werden. Gatespannungen können zum Beispiel im Bereich von circa 1,8 V für energieoptimierte FETs (Feldeffekttransistor), von etwa 10 V für MOSFETs (Metall-Isolator-Halbleiter-Feldeffekttransistor) oder von etwa 20 V für IGBTs (Bipolartransistor mit isolierter Gate-Elektrode) liegen. Für reine Bipolartransistoren werden Basisströme zur Ansteuerung benötigt, die meist im  $\mu\text{A}$  Bereich liegen. Die Ladezeit eines Kondensators berechnet sich aus  $C \times U / I$ , das heißt der Kapazität des Kondensators mal der Spannung geteilt durch den Strom.

Der für die nachgeordnete Schaltung verwendete oder dimensionierte Kondensator kann anhand der vorbestimmten Ladezeit auf einen Ladestand zwischen 50% und 100%, vorzugsweise zwischen 70% und 90% und besonders bevorzugt zwischen 90% und 100% aufgeladen werden.

Alternativ kann vorgesehen sein, die vorbestimmte Ladezeit über ein Signal, zum Beispiel über das Tastverhältnis des Signals, zu definieren. So kann vorgesehen sein, die Ausschaltzeit des begrenzten Signals als einen Teil oder ein Vielfaches des Taktes, des Tastverhältnisses oder der Impulsdauer des Signals zu definieren.

Vorteilhafterweise kann das Tastverhältnis auf einen Wert zwischen Null und dem Grenzwert oder auf einen Wert von 100% eingestellt werden. So bleibt ein Tastverhältnis von 100 %, bei dem die Endstufe dauerhaft eingeschaltet ist, weiterhin möglich. Durch die Begrenzung kann das Tastverhältnis jedoch keine Werte mehr zwischen dem Grenzwert und 100 % annehmen.

Das Tastverhältnis jeder n-ten Periode des Signals kann begrenzt werden. Wie beschrieben, wird der Kondensator nachgeladen, während die nachgeordnete Schaltung beziehungsweise die Endstufe ausgeschaltet ist. Die endliche Flankensteilheit beim Ein- und Ausschalten verkürzt jedoch die Ladezeit. Die

Effizienz des Verfahrens kann nun erhöht werden, wenn nur in jeder n-ten Periode statt in jeder Periode das Tastverhältnis begrenzt wird.

Vorteilhafterweise wird die Ausschaltzeit entsprechend verlängert, sodass das effektive Tastverhältnis, gemittelt über n Perioden, gleich bleibt. Damit verlängert sich die verfügbare Nachladezeit des Kondensators, gemittelt über n Perioden, bei n größer 1 gegenüber der Nachladezeit bei n gleich 1 bei gleicher effektiver Tastverhältnisbegrenzung.

Mit Vorteil kann n gleich 3 gewählt werden. Dieser Wert hat sich in der Praxis als vorteilhaft erwiesen. Auch haben sich Werte von 2 bis 5, insbesondere von 3 bis 5, beziehungsweise bis kleiner gleich 10 als vorteilhaft gezeigt.

Der Grenzwert kann berechnet werden als  $(n \times T - t_{\text{aus}})/(n \times T)$ , wobei T die Periodendauer des Signals und  $t_{\text{aus}}$  die ausgeschaltete beziehungsweise auszuschaltende Zeit der nachgeordneten Schaltung ist. Dies ist eine einfach und schnell auszuführende Berechnung, die unter anderem auf der gewünschten Ausschaltzeit des Signals beziehungsweise der auszuschaltenden Zeit der nachgeordneten Schaltung basiert.

Vorteilhafterweise wird das Tastverhältnis begrenzt, wenn das durchschnittliche Tastverhältnis über n Perioden größer als der Grenzwert ist. Anstatt das Tastverhältnis zu einer bestimmten Periode fix zu begrenzen, beispielsweise für n gleich 3 zu jeder dritten Periode, kann vorteilhafterweise vorgesehen sein, das Tastverhältnis nur dann zu begrenzen, wenn das durchschnittliche Tastverhältnis über eine gewisse Anzahl von Perioden größer ist als der Grenzwert. Diese gezielte Aktivierung der Tastverhältnisbegrenzung erlaubt eine effiziente Durchführung des Verfahrens.

Das Tastverhältnis kann in der n-ten Periode begrenzt werden, wenn das durchschnittliche Tastverhältnis der ersten bis (n-1)-ten Periode größer als der Grenzwert ist. Wenn die erste bis (n - 1)-te Periode ein Tastverhältnis größer als der Grenzwert aufweist, so kann angenommen werden, dass auch die n-te Periode mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ein größeres Tastverhältnis haben wird. Dies führt dazu, dass das gemittelte Tastverhältnis größer als die angestrebte Tastverhältnisbegrenzung sein wird. Mit diesem Kriterium kann die Begrenzung des Tastverhältnisses bereits direkt in der n-ten Periode aktiviert werden. Dies hat den Vorteil einer schnellen Reaktion.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist eine Schaltung zur Tastverhältnisbegrenzung bei einem Schaltregler mit einer von einem Signal angesteuerten Endstufe darauf gerichtet, dass ein Tastverhältnisbegrenzer mit dem Schaltregler zur Übertragung des Signals an den Tastverhältnisbegrenzer in Verbindung steht, der Tastverhältnisbegrenzer eingerichtet ist, aus dem Signal ein im Tastverhältnis nach oben limitiertes begrenztes Signal zu generieren, und der Tastverhältnisbegrenzer mit der Endstufe zur Übertragung des begrenzten Signals an die Endstufe in Verbindung steht. Gemäß der Erfindung wird das vom Regler generierte Signal zur Ansteuerung der Endstufe, wie ein PWM (pulsweitenmoduliertes) Signal oder Rechtecksignal, nicht direkt zur Ansteuerung der Endstufe verwendet, sondern wird zunächst in einem Tastverhältnisbegrenzer bearbeitet, oder anders ausgedrückt, es wird ein neues Signal generiert, was dann zur Ansteuerung der Endstufe verwendet wird. Diese einfache Struktur erlaubt eine Integration auch in bereits bestehende Systeme sowie eine leichte Planung neuer Systeme.

Die Ausschaltzeit des begrenzten Signals kann derart bemessen sein, dass eine vorbestimmte Ladezeit für einen Kondensator der Endstufe zur Verfügung gestellt ist. Die Erzeugung des begrenzten Signals, insbesondere des nicht aktiven Signalteils der Ausschaltzeit, ist darauf optimiert, einen Kondensator zu laden, beziehungsweise einen definierten Ladestand zu halten, wenn die Endstufe ausgeschaltet ist.

Gemäß einem noch weiteren Aspekt der Erfindung umfasst ein Kraftfahrzeug eine vorgenannte Schaltung, wobei der Schaltregler mit einem Bordnetz des Kraftfahrzeugs verbunden ist. Für die besonderen Anforderungen im Kraftfahrzeugbereich ist die erfindungsgemäße Schaltung besonders geeignet. Im Übrigen gelten die zuvor beschriebenen Vorteile und Modifikationen.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben und in der Beschreibung beschrieben.

#### Zeichnungen

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der Zeichnungen und der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein Blockschaltbild der Tastverhältnisbegrenzung,

Figur 2 ein Diagramm der Wirkungsweise der Tastverhältnisbegrenzung,

5

Figur 3 ein Schaltbild der Schaltung zur Tastverhältnisbegrenzung und

Figur 4 beispielhafte Signalverläufe der Schaltung aus Figur 3.

10

Ausführungsformen der Erfindung

In der Figur 1 ist eine Tastverhältnisbegrenzung gemäß der Erfindung gezeigt, bei der ein Schaltregler 1, der zum Beispiel als Abwärtswandler betrieben wird, mit einem Tastverhältnisbegrenzer 2, der eine in Figur 3 gezeigte Schaltung zur  
15 Tastverhältnisbegrenzung enthält, verbunden ist. Der Schaltregler 1 gibt ein Signal, hier ein pulswidenmoduliertes Signal, PWM\_IN an den Tastverhältnisbegrenzer 2 aus. Der Tastverhältnisbegrenzer 2 ist mit einer Endstufe 3, zum Beispiel des Schaltreglers, verbunden und gibt ein Signal, hier ein pulswidenmoduliertes Signal PWM\_OUT, an die Endstufe 3 aus. In der Endstufe 3 ist ein Kondensator 4, zum Beispiel in Form  
20 eines Boost-Kondensators, enthalten. Die Ladung des Boost-Kondensators kann dazu verwendet werden, die Endstufe einzuschalten beziehungsweise eine Gate-Spannung der Endstufe 3 zu halten. Die Endstufe 3 ist hier beispielhaft für eine nachgeordnete Schaltung dargestellt.

25

Der Kondensator 4 kann, wie dargestellt, in der Endstufe 3 oder im Schaltregler 1 enthalten sein oder kann separat von der Endstufe 3 beziehungsweise dem Schaltregler 1 angeordnet sein. Die Endstufe 3 und/oder der Tastverhältnisbegrenzer 2 können Bestandteil des Schaltreglers 1 sein.

30

Der Kondensator 4 wird geladen, während die Endstufe 3 ausgeschaltet ist. Die Ladezeit oder Nachladezeit  $t_{ld}$  des Kondensators 4 wird durch die endliche Flankensteilheit  $t_r$  beim Ein- und Ausschalten der Endstufe 3 verkürzt.

Somit berechnet sich die Nachladezeit  $t_{ld}$  zu

35

$$(1) \quad t_{ld} = t_{aus} - 2 \times t_{rf}$$

Nun wird nur das Tastverhältnis jeder n-ten Periode begrenzt, die Ausschaltzeit  $t_{aus}$  der Endstufe 3 dafür aber entsprechend verlängert. Somit bleibt das effektive  
5 Tastverhältnis, über n Perioden gemittelt, gleich.

Ein oberer Grenzwert für die Tastverhältnisbegrenzung beziehungsweise eine effektive Tastverhältnisbegrenzung TVB berechnet sich zu

$$(2) \quad TVB = (n \times T - t_{aus}) / (n \times T).$$

Damit verlängert sich die Nachladezeit des Kondensators, betrachtet über n Perioden, bei n größer 1 gegenüber der Nachladezeit bei n gleich 1 bei gleicher effektiver  
15 Tastverhältnisbegrenzung TVB. Benötigt die Endstufe 3 beispielsweise  $t_{rf} = 20$  ns zum Umschalten bei einem Schaltreglertakt von 1 MHz, was einer Periodendauer  $t = 1$   $\mu$ s entspricht, so ergibt sich bei einem Grenzwert TVB = 95 %, bei n = 1 beziehungsweise n = 3 jeweils eine Ausschaltzeit von

$$(3) \quad t_{aus,n=1} = n \times T \times (1 - TVB) = 1 \times 1 \mu s \times (1 - 0.95) = 50 ns$$

$$(4) \quad t_{aus,n=3} = 3 \times 1 \mu s \times (1 - 0.95) = 150 ns$$

Mit entsprechenden Ladezeiten von

$$(5) \quad t_{ld,n=1} = t_{aus,n=1} - 2 \times t_{rf} = 50 ns - 2 \times 20 ns = 10 ns$$

$$(6) \quad t_{ld,n=3} = t_{aus,n=3} - 2 \times t_{rf} = 150 ns - 2 \times 20 ns = 110 ns$$

Aus dieser Berechnung ist erkennbar, dass bei gleicher effektiver  
30 Tastverhältnisbegrenzung pro Periode aufgrund der längeren Ladedauer mehr Ladung zum Einschalten der Endstufe 3 zur Verfügung steht, je größer n ist. In der Praxis hat sich n = 3 als guter Wert erwiesen.

Als Schaltregler-Endstufe kann ein externer Transistor verwendet werden, das heißt,  
35 der Transistor ist nicht in dem ASIC (Anwendungsspezifische integrierte Schaltung,

englisch Application-Specific Integrated Circuit) integriert sondern als diskretes Bauelement vorgesehen. Dann verstärkt sich das Problem der Ladehaltung des Kondensators 4, da die Flankensteilheit des externen Transistors nicht in dem Maße kontrollierbar beziehungsweise spezifizierbar ist wie bei einer internen

5 Schaltreglerendstufe. Dies hat zur Folge, dass bei einem externen Transistor und  $n = 1$  eine zu große Nachladezeit für den Kondensator 4 vorgehalten werden müsste. Die sich daraus ergebende Tastverhältnisbegrenzung TVB würde eine zu große Unstetigkeit in der Einstellbarkeit des Tastverhältnisses für den Regelkreis bedeuten, was sich wiederum als ungewollter Ripple beziehungsweise als ungewolltes

10 Schwingen der Ausgangsspannung bemerkbar machen könnte.

Deshalb kann vorgesehen sein, die Tastverhältnisbegrenzung nur auf jede  $n$ -te Periode anzuwenden. In dem Beispiel (TVB = 95 %,  $T = 1 \mu\text{s}$  und  $n = 3$ ) würde also jede dritte Periode auf ein Tastverhältnis von 85 % begrenzt werden, während jede

15 erste und zweite Periode nicht begrenzt wird.

In Figur 2 sind beispielhafte Verläufe des PWM-Signals PWM\_IN, das heißt des ursprünglichen PWM-Signals vom Regler 1, und des Signals PWM\_OUT, also des PWM-Signals mit begrenztem Tastverhältnis, dargestellt. In den ersten beiden

20 Perioden 100 und 101 ist das Tastverhältnis TV kleiner als der Grenzwert beziehungsweise die effektive Tastverhältnisbegrenzung TVB. Für die ersten beiden Perioden sind deshalb die beiden Signale PWM\_IN und PWM\_OUT identisch, da die Tastverhältnisbegrenzung nicht aktiviert ist. Die Perioden sind hier an der Ausschaltzeit der Periode gekennzeichnet, eine Periode erstreckt sich von einer steigenden bis zur

25 nächsten steigenden Flanke.

In der dritten Periode 102 und der vierten Periode 103 ist für eine erste und zweite Periode das Tastverhältnis TV größer als der obere Grenzwert TVB. Auch hier wird jedoch nicht begrenzt, da die Anzahl der Perioden, deren Tastverhältnis größer als der

30 Grenzwert TVB, noch kleiner als  $n$ , nämlich gleich 2 ist. Erst in der nächsten Periode 104 greift die Tastverhältnisbegrenzung. Dies ist erkennbar durch die sich nun unterscheidenden Signale PWM\_IN und PWM\_OUT.

Diese Periode 104 ist auf ein Tastverhältnis von 85 % begrenzt, um bei maximalen

35 Tastverhältnissen von jeweils 100 % in den beiden davorliegenden Perioden 102, 103

ein über diese drei Perioden gemittelttes Tastverhältnis von kleiner gleich 95 % zu erzielen. Das effektive Tastverhältnis muss nicht genau 95 % betragen, weil die beiden davorliegenden Perioden ein Tastverhältnis von kleiner 100 % haben könnten, was in die Mittelwertbildung einfließt. Die nächsten drei Perioden 105, 106 und 107 entsprechen den Perioden 102, 103 und 104, sodass die Signalverläufe identisch sind. In der Periode 108 wiederum ist das Tastverhältnis TV kleiner als der Grenzwert beziehungsweise die effektive Tastverhältnisbegrenzung TVB.

Es kann vorgesehen sein, die exakten Tastverhältnisse der beiden vorherliegenden oder auch aller Perioden zu messen, um so das Tastverhältnis der zu begrenzenden Periode exakt einzustellen, sodass sich ein effektives Tastverhältnis von 95 % beziehungsweise von einem anderen gewählten Grenzwert ergibt.

Für die Entscheidung, wann die Tastverhältnisbegrenzung aktiviert wird, wird das vom Regler 1 erzeugte ursprüngliche PWM-Signal PWM\_IN überwacht. Erst wenn das über n Perioden gemittelte Tastverhältnis TV des ursprünglichen PWM-Signals PWM\_IN größer ist als die angestrebte Tastverhältnisbegrenzung TVB beziehungsweise der Grenzwert TVB, wird das Tastverhältnis TV der jeweils n-ten Periode begrenzt. In diesem Beispiel wird also jede dritte Periode nur dann auf ein Tastverhältnis 85 % begrenzt, wenn es zuvor Perioden gab, deren Tastverhältnis so groß gewesen ist, dass das über drei Perioden gemittelte Tastverhältnis TV des ursprünglichen PWM-Signals PWM\_IN größer ist als die angestrebte Tastverhältnisbegrenzung von 95 %. Die dritte Periode muss demnach nicht die dritte Periode einer Reihenfolge sein, sondern kann die dritte Periode mit zu großem Tastverhältnis sein.

In der Praxis hat sich die Annahme bewährt, dass, wenn die erste bis (n -1)-te Periode ein Tastverhältnis von TV größer TVB haben, dann auch die n-te Periode mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ein Tastverhältnis von TV größer TVB haben wird. Daraus folgt, dass das gemittelte Tastverhältnis größer sein wird als die angestrebte Tastverhältnisbegrenzung. In diesem Beispiel (TVB = 95 %, T = 1  $\mu$ s und n = 3) würde die Tastverhältnisbegrenzung also in der dritten Periode aktiviert werden, wenn sowohl die erste als auch die zweite Periode jeweils ein Tastverhältnis von TV größer 95 % haben.

Entsprechend wird eine Schaltung mit einem Zähler realisiert, der hochgezählt wird, wenn das Tastverhältnis TV einer Periode größer ist als die angestrebte Tastverhältnisbegrenzung beziehungsweise der obere Grenzwert TVB. Hat der Zähler einen Stand von  $n - 1$  erreicht, wird die  $n$ -te Periode in ihrem Tastverhältnis auf  $(T - t_{\text{aus}}) / T$  begrenzt. Es kann vorteilhaft sein, den Zähler nicht zurückzusetzen, wenn es zwischendurch Perioden mit einem Tastverhältnis von TV kleiner TVB gibt. Das bedeutet, dass die Tastverhältnisbegrenzung auch dann für eine Periode aktiviert wird, wenn zuvor zwei beliebige Perioden und nicht nur die unmittelbar zurückliegenden beiden Perioden jeweils ein Tastverhältnis von TV größer TVB, hier 95 %, haben.

Als Vorbereitung für die in Figur 3 gezeigte Schaltungsrealisierung werden die folgenden Vorbetrachtungen angestellt. Für die Bewertung, ob das vom Regler 1 erzeugte PWM-Signal PWM\_IN die angestrebte Tastverhältnisbegrenzung TVB überschreitet, wird ein Taktsignal CLK<sub>1</sub> mit einem Tastverhältnis von TV<sub>1</sub> = TVB verwendet, mit dem das vom Regler 1 erzeugte PWM-Signal verglichen wird.

Zur Realisierung der oben beschriebenen effektiven Tastverhältnisbegrenzung TVB wird zusätzlich ein Taktsignal CLK<sub>2</sub> mit einem Tastverhältnis TV<sub>2</sub> verwendet, das sich aus der Ausschaltzeit  $t_{\text{aus}}$  der Endstufe 3 wie folgt berechnen lässt:

$$(7) \quad TV_2 = (T - t_{\text{aus}}) / T$$

In dem Beispiel (TVB = 95 %, T = 1  $\mu$ s und n = 3) ist eine Ausschaltzeit von

$$(8) \quad t_{\text{aus}} = n \times T \times (1 - TVB) = 3 \times 1 \mu\text{s} \times (1 - 0.95) = 150\text{ns}$$

und damit ein Taktsignal mit einem Tastverhältnis von

$$(9) \quad TV_2 = (1 \mu\text{s} - 150\text{ns}) / 1 \mu\text{s} = 85\%$$

vorgesehen. Vorteilhafterweise werden mögliche Toleranzen der Tastverhältnisse TV<sub>1</sub> und TV<sub>2</sub> bei der Dimensionierung berücksichtigt, um eine zu große Unstetigkeit in der Einstellbarkeit der Tastverhältnisse für den Regelkreis zu vermeiden. Denn eine zu große Unstetigkeit kann sich als ungewollter Ripple beziehungsweise als ungewolltes Schwingen der Ausgangsspannung bemerkbar machen.

Da die beiden Taktsignale  $CLK_1$  und  $CLK_2$  nicht gleichzeitig verwendet werden, kann ein gemeinsames Taktsignal CLK verwendet werden, dessen Tastverhältnis zwischen  $TV_1$  und  $TV_2$  umgeschaltet werden kann.

5

Anhand von Figur 3 wird nun beispielhaft die Schaltung 5 zur Tastverhältnisbegrenzung bei einem Schaltregler erläutert. Die Schaltung 5 kann in dem Tastverhältnisbegrenzer 2 aus Figur 1 enthalten sein. Zentrale Bestandteile der Schaltung 5 sind ein Zähler 6, ein JK-Flipflop 7 sowie ein Taktgenerator 8. Weiterhin enthält die Schaltung mehrere Logikelemente, die im weiteren Verlauf näher erläutert werden. Eingänge der Schaltung sind das von dem Regler 1 stammende PWM-Signal PWM\_IN sowie das Taktsignal CLK\_IN, der Ausgang der Schaltung 5 ist das begrenzte PWM-Signal PWM\_OUT, das von dem Tastverhältnisbegrenzer 2 an die Endstufe 3 ausgegeben wird.

10

15

Beispielhafte Signalverläufe zu der Schaltung 5 sind in Figur 4 dargestellt und werden gemeinsam mit der Diskussion von Figur 3 erläutert. Die Signalverläufe beziehungsweise die Signale können andere Formen oder Verhältnisse aufweisen, zum Beispiel trapezförmige Signalformen.

20

Der Zähler 6 und das JK-Flipflop 7 sind zu Beginn dieser Betrachtung auf Null gesetzt beziehungsweise gelöscht. Dies führt dazu, dass das Signal 110, das auch als EQN bezeichnet werden kann, das am Ausgang  $=(n-1)$  des Zählers 6 anliegt, gleich 0 ist. Der Ausgang des Zählers 6 ist mit dem J-Eingang des JK-Flipflops 7 verbunden. Der Clockeingang C1 des JK-Flipflops 7 ist mit dem Takteingang CLK\_IN der Schaltung 5 verbunden. Aufgrund der Null-Setzung beziehungsweise Löschung ist auch das Signal 111 am Q-Ausgang des JK-Flipflops 7 gleich Null. Das Signal 111 kann auch als TV\_SEL bezeichnet werden, da mit diesem Signal zwischen den Tastverhältnissen  $TV_1$  und  $TV_2$  umgeschaltet wird. Das Signal 111 wird an den K-Eingang des JK-Flipflops 7 zurückgekoppelt. Der Ausgang  $\overline{Q}$  des JK-Flipflops 7, an dem das Signal 112 oder RST\_CNT ausgegeben wird, ist mit dem Reset-Eingang R des Zählers 6 verbunden und dient zur Zurücksetzung des Zählers 6.

25

30

Das Signal 111, mit dem die Umschaltung zwischen dem Tastverhältnis TV1 und TV2 erfolgt, ist mit dem Taktgenerator 8 verbunden. An einem Clockeingang CLK\_IN des Taktgenerators 8 liegt der Eingangstakt CLK\_IN an. Aus dem Taktsignal CLK\_IN wird wegen  $111 = 0$  das Taktsignal CLK = CLK1 von dem Taktgenerator 8 generiert und an dessen Ausgang CLK\_OUT zur Verfügung gestellt. Das Taktsignal CLK1 hat ein Tastverhältnis TV1.

Der Taktausgang des Taktgenerators 8, der Ausgang des Zählers 6 sowie der Takteingang CLK\_IN sind mit einem NOR-Gatter 9 verbunden. Das NOR-Gatter 9 gibt ein Signal an ein UND-Gatter 10 aus, wenn alle drei Eingänge einen Signalpegel von 0 haben. Der zweite Eingang des UND-Gatters 10 ist mit dem Eingangssignal PWM\_IN verbunden. Der Ausgang des UND-Gatters 10 ist mit dem Inkrementeingang I des Zählers 6 verbunden.

Ist somit das ursprüngliche PWM-Signal PWM\_IN während der fallenden Flanke von CLK noch gesetzt ( $PWM\_IN = 1$ ), so ist das Tastverhältnis TV der aktuellen Periode 114 des PWM-Signals PWM\_IN größer als die angestrebte Tastverhältnisbegrenzung TVB. Der Zählerstand 113, auch als Counter bezeichnet, des Zählers 6 wird in diesem Fall mit der fallenden Flanke von CLK um 1 inkrementiert, sofern er vor dem Inkrement kleiner als  $n - 1$  ist. Die Perioden sind hier an der Ausschaltzeit der Periode gekennzeichnet, eine Periode erstreckt sich von einer steigenden bis zur nächsten steigenden Flanke.

Hat der Zähler 6 gegebenenfalls nach wiederholtem Zählen den Stand des Zählers  $n - 1$  erreicht, wird in Periode 115 das Ausgangssignal 110 des Zählers 6 gleich 1 gesetzt. Anschließend wird das JK-Flipflop 7 mit der steigenden Flanke von CLK gesetzt, sodass an dem Ausgang Q des JK-Flipflops 7 das Signal  $111 = 1$  gesetzt wird. Somit erzeugt der Taktgenerator 8 aus dem Taktsignal CLK\_IN in der aktuellen Periode das Taktsignal CLK = CLK2 mit dem Tastverhältnis TV = TV2.

Weil das JK-Flipflop 7 gesetzt ist, ist das an dem  $\overline{Q}$ -Ausgang ausgegebene Signal RST\_CNT = 0, was dazu führt, dass das ODER-Gatter 11 das Taktsignal CLK = CLK zu einem UND-Gatter 12 passieren lässt. In dem UND-Gatter 12 wird das Taktsignal CLK = CLK2 mit dem ursprünglichen PWM-Signal PWM\_IN verknüpft und erscheint so

in Periode 116 mit der fallenden Flanke von CLK als begrenztes PWM-Signal PWM\_OUT am Ausgang PWM\_OUT der Schaltung 5.

5 Mit der nächsten steigenden Flanke des Taktsignals CLK wird das JK-Flipflop 7 wieder zurückgesetzt, weil die Eingänge J und K gleich 1 sind. Dies führt dazu, dass die beiden Ausgangssignale  $111 = 0$  und  $112 = 1$  gesetzt werden. Mit der steigenden Flanke von 112 wird auch der Zähler 6 wieder auf Null gesetzt. Somit befindet sich die Schaltung 5 wieder in dem Zustand, den sie zu Beginn der Betrachtung hatte.

10

## 5 Ansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Schaltreglers (1) mit einer nachgeordneten  
Schaltung (3), die von einem Signal (PWM\_IN) des Schaltreglers (1)  
angesteuert wird, und einem Kondensator (4), der bei ausgeschalteter  
nachgeordneter Schaltung (3) geladen wird, dadurch gekennzeichnet, dass  
das Tastverhältnis des Signals (PWM\_IN) bei einem oberen Grenzwert (TVB)  
derart begrenzt wird, dass eine vorbestimmte Ladezeit für den Kondensator  
(4) zur Verfügung steht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Tastverhältnis auf einen Wert  
zwischen Null und dem Grenzwert (TVB) oder von 100% eingestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Tastverhältnis jeder n-ten  
Periode des Signals begrenzt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei  $2 \leq n \leq 5$ , bevorzugt n gleich 3 gewählt  
wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Grenzwert (TVB)  
berechnet wird als  $(n \times T - t_{\text{aus}})/(n \times T)$ , wobei T die Periodendauer des  
Signals und  $t_{\text{aus}}$  die ausgeschaltete Zeit der nachgeordneten Schaltung ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Tastverhältnis  
begrenzt wird, wenn das durchschnittliche Tastverhältnis über n Perioden  
größer als der Grenzwert (TVB) ist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Tastverhältnis in der  
n-ten Periode begrenzt wird, wenn das durchschnittliche Tastverhältnis der  
ersten bis (n-1)-ten Periode größer als der Grenzwert (TVB) ist.

8. Schaltung zur Tastverhältnisbegrenzung bei einem Schaltregler (1) mit einer von einem Signal angesteuerten Endstufe (3), dadurch gekennzeichnet, dass ein Tastverhältnisbegrenzer (2) mit dem Schaltregler (1) zur Übertragung des Signals (PWM\_IN) an den Tastverhältnisbegrenzer (2) in Verbindung steht, der Tastverhältnisbegrenzer (2) eingerichtet ist, aus dem Signal (PWM\_IN) ein im Tastverhältnis nach oben limitiertes begrenztes Signal (PWM\_OUT) zu generieren, und der Tastverhältnisbegrenzer (2) mit der Endstufe (3) zur Übertragung des begrenzten Signals (PWM\_OUT) an die Endstufe (3) in Verbindung steht.
9. Schaltung nach Anspruch 8, wobei die Ausschaltzeit des begrenzten Signals (PWM\_OUT) derart bemessen ist, dass eine vorbestimmte Ladezeit für einen Kondensator (4) der Endstufe (3) zur Verfügung gestellt ist.
10. Kraftfahrzeug mit einer Schaltung (5) nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Schaltregler (1) mit einem Bordnetz des Kraftfahrzeugs verbunden ist.

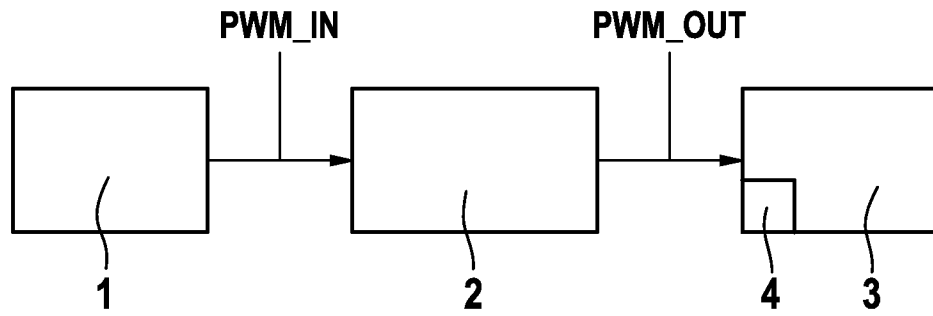


FIG. 1

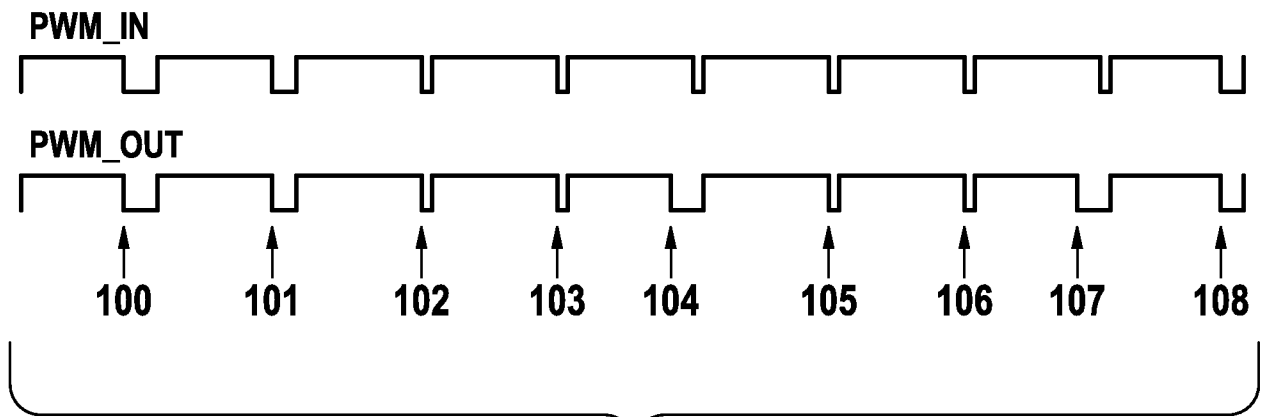


FIG. 2

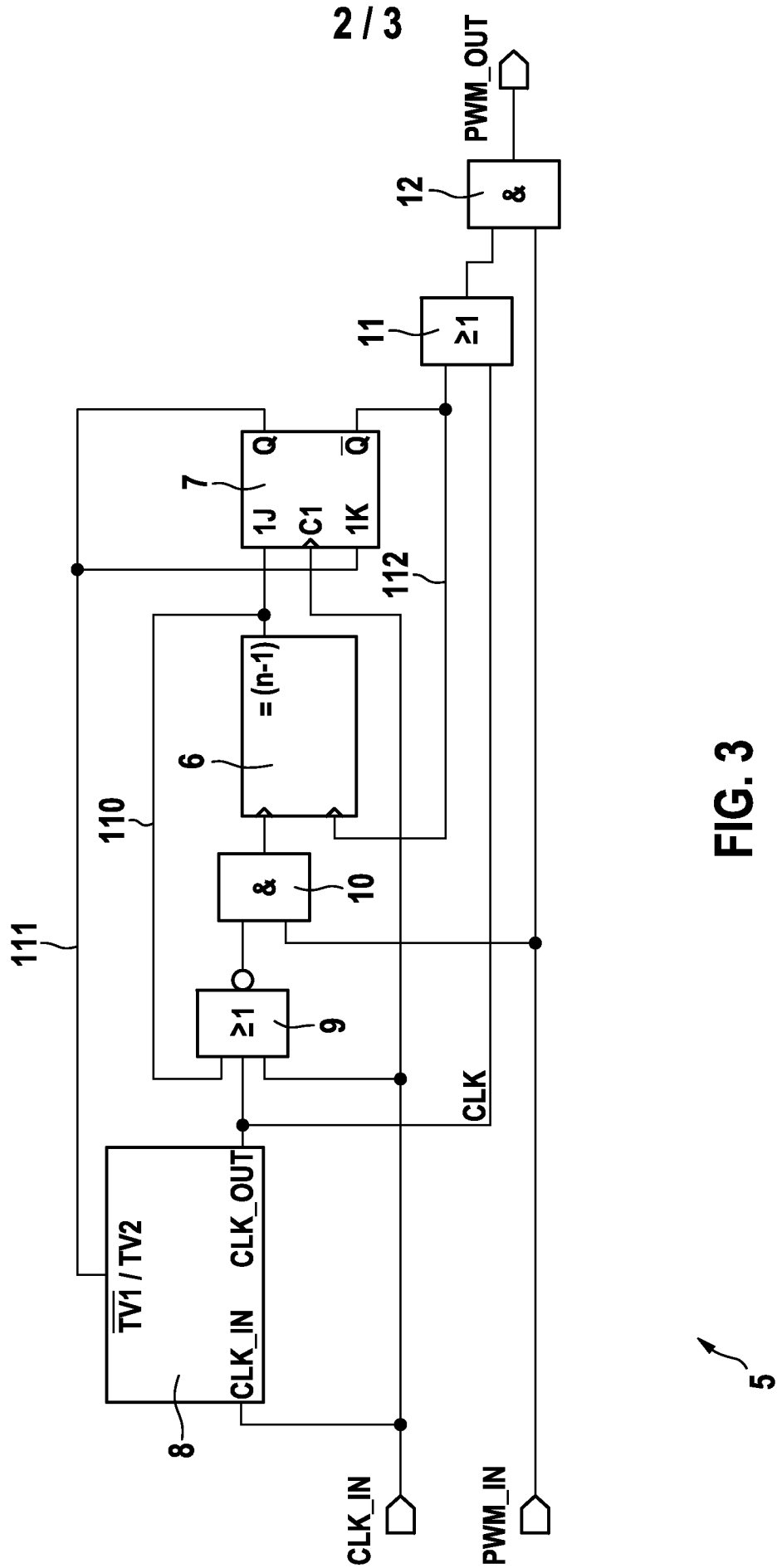


FIG. 3

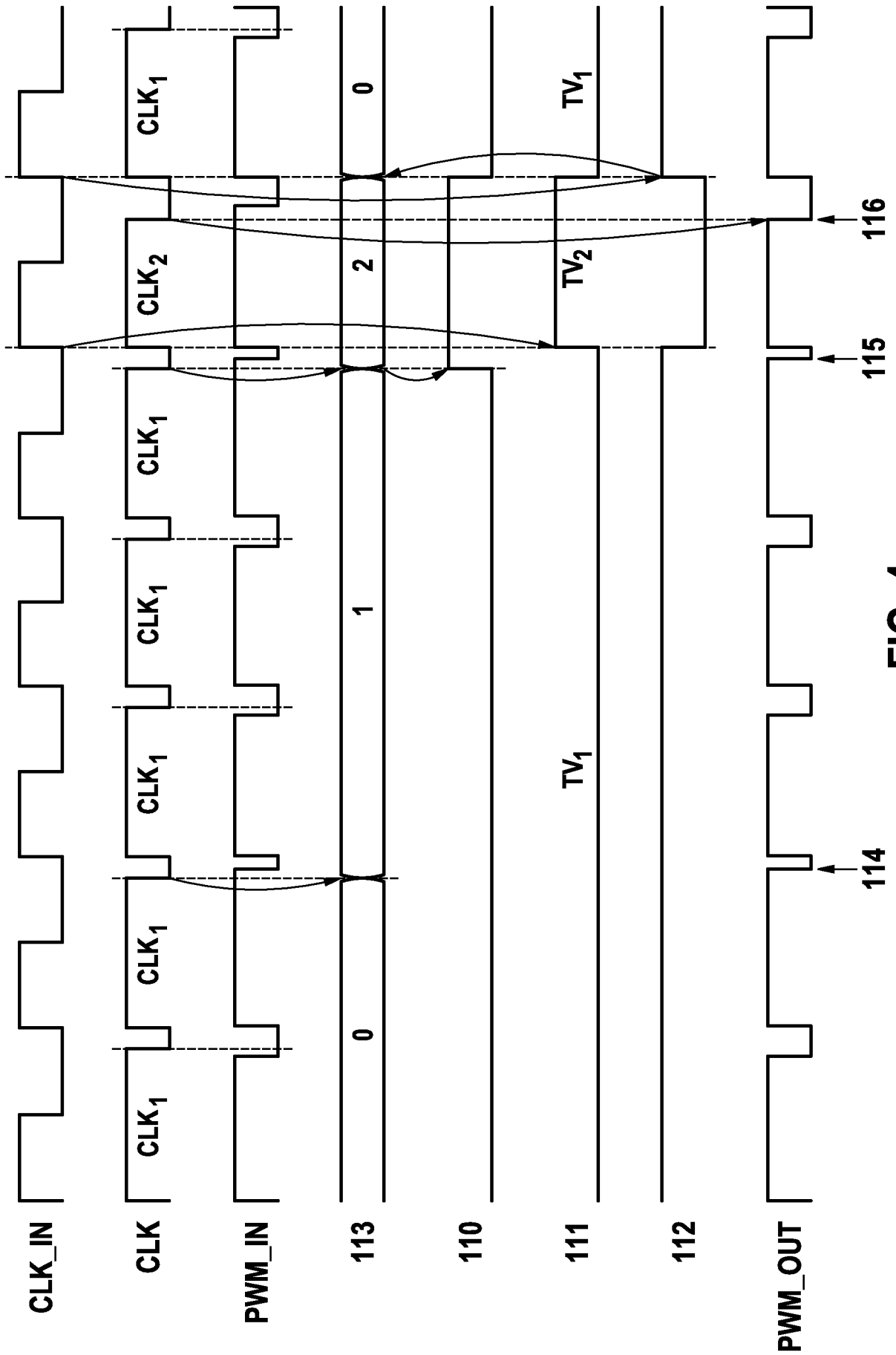


FIG. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2014/064666

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. H02M3/156  
ADD.  
  
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED  
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
H02M

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 627 460 A (BAZINET JOHN P [US] ET AL) 6 May 1997 (1997-05-06) column 1, lines 39-54 column 2, line 55 - column 4, line 64; figure 1 column 4, line 65 - column 6, line 36; figure 2 column 6, line 37 - column 7, line 10; figures 3-4 -----	1-10

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 September 2014

Date of mailing of the international search report

25/09/2014

Name and mailing address of the ISA/  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

van Wesenbeeck, R

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/064666

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5627460	A	NONE	06-05-1997
-----			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. H02M3/156  
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTER GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
 H02M

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 627 460 A (BAZINET JOHN P [US] ET AL) 6. Mai 1997 (1997-05-06) Spalte 1, Zeilen 39-54 Spalte 2, Zeile 55 - Spalte 4, Zeile 64; Abbildung 1 Spalte 4, Zeile 65 - Spalte 6, Zeile 36; Abbildung 2 Spalte 6, Zeile 37 - Spalte 7, Zeile 10; Abbildungen 3-4 -----	1-10



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

15. September 2014

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

25/09/2014

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

Bevollmächtigter Bediensteter

van Wesenbeek, R

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/064666

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5627460	A	06-05-1997	KEINE
-----			