



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**08.06.2022 Patentblatt 2022/23**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**H01H 47/02 (2006.01) H01H 47/32 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **21210988.8**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**H01H 47/325; H01H 47/02; H01H 2047/025**

(22) Anmeldetag: **29.11.2021**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

(72) Erfinder:  
• **Laske, Olaf**  
**12559 Berlin (DE)**  
• **Thron, Burkhard**  
**15712 Zernsdorf (DE)**

(74) Vertreter: **Maikowski & Ninnemann**  
**Patentanwälte Partnerschaft mbB**  
**Postfach 15 09 20**  
**10671 Berlin (DE)**

(30) Priorität: **01.12.2020 DE 102020131819**

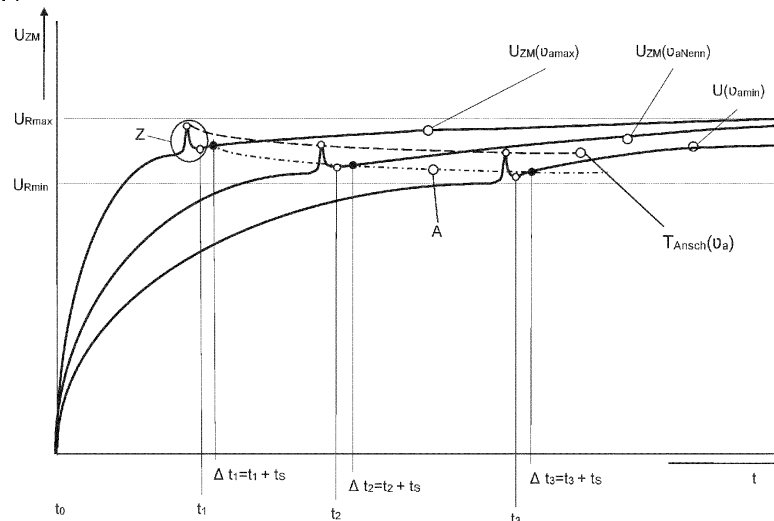
(71) Anmelder: **PTC Rail Services GmbH**  
**83607 Holzkirchen (DE)**

(54) **SCHALTUNGSANORDNUNG UND VERFAHREN ZUM ENERGIEOPTIMIERTEN BETRIEB ELEKTROMAGNETISCHER TRIEBSYSTEME**

(57) Eine Schaltungsanordnung zum Betätigen eines elektromagnetischen Triebsystems zum Schalten eines mechanischen Systems umfasst eine Spannungsquelle zur Erzeugung einer Steuerspannung, eine Ansteuerstufe zur Ansteuerung des elektromagnetischen Triebsystems zum Schalten des mechanischen Systems während eines Schaltvorgangs und einer Steuerschaltung zum Steuern der Ansteuerschaltung, wobei die Steuerschaltung ausgebildet ist, einen eine Temperatur des elektromagnetischen Triebsystems und/oder

eine Umgebungstemperatur anzeigenden ersten Kennwert und einen die Steuerspannung anzeigenden zweiten Kennwert zu erfassen und zumindest einen Ansteuerparameter zur Ansteuerung des elektromagnetischen Triebsystems anhand des ersten Kennwerts und des zweiten Kennwerts zu setzen. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Betätigen eines elektromagnetischen Triebsystems zum Schalten eines mechanischen Systems.

FIG. 1



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zum Betätigen eines elektromagnetischen Triebsystems zum Schalten eines mechanischen Systems nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein Verfahren zum Betätigen eines elektromagnetischen Triebsystems zum Schalten eines mechanischen Systems mit einer Schaltungsanordnung.

**[0002]** Eine derartige Schaltungsanordnung umfasst eine Steuerspannungsquelle zur Erzeugung einer Steuerspannung, eine Ansteuerstufe zur Ansteuerung des elektromagnetischen Triebsystems zum Schalten des mechanischen Systems während eines Schaltvorgangs und eine Steuerschaltung zum Steuern der Ansteuer-schaltung.

**[0003]** Elektromagnetische Triebsysteme werden in der Elektrotechnik zur Kraftbeaufschlagung beweglicher mechanischer Bauteile eingesetzt. Elektromagnetische Triebsysteme sind beispielsweise Zug-, Hub- oder Schubmagnete, aber auch andere auf elektromagnetischer Basis arbeitende Bauteile. Anwendung finden elektromagnetische Triebsysteme beispielsweise in elektromechanischen Vorrichtungen wie Schützen, Schutzschaltern, Relais und Magnetventilen.

**[0004]** Ein elektromagnetisches Triebsystem weist üblicherweise ein magnetisches System in Form einer Spule auf, die durch eine Steuerspannungsquelle erregt wird. Ein durch die Erregung der Spule induziertes Magnetfeld wirkt auf ein mechanisches System, z.B. einen Anker oder ein Hebelsystem, und beschleunigt dieses. Durch die Beschleunigung des mechanischen Systems wird die mechanische Wirkung des Triebsystems erreicht. Die mechanische Wirkung kann beispielsweise in dem Schließen eines Schalters oder dem Schließen eines Ventils bestehen.

**[0005]** Kraftverlauf und Schließgeschwindigkeit des mechanischen Systems sind von der Höhe der angelegten Spannung, der Temperatur sowie von den konstruktiven Gegebenheiten des Triebsystems abhängig. Eine direkte Beaufschlagung des Triebsystems mit der zur Verfügung stehenden Steuerspannung hat somit in der Regel den Nachteil, dass die eingespeiste Steuerspannung nicht dem erforderlichen Kraftverlauf des mechanischen Systems angepasst ist.

**[0006]** Zur Anpassung der Steuerspannung an die erforderliche Weg-Zeit-Charakteristik des Kraftverlaufs werden üblicherweise Vorschaltgeräte eingesetzt, die die Energieversorgung des Triebsystems so steuern, dass bei Betätigung des Triebsystems die Weg-Zeit-Charakteristik des Kraftverlaufs den Erfordernissen des mechanischen Systems entspricht.

**[0007]** Ein Vorschaltgerät taktet das Triebsystem direkt über einen oder mehrere elektronische Schalter. Nachteilig ist hierbei, dass die Steuerspannung so nur reduziert werden kann. Es gibt jedoch Einsatzfälle, beispielsweise Unterspannungssituationen, in denen eine Erhöhung der Steuerspannung erforderlich ist. Die direk-

te Taktung durch das Vorschaltgerät erzeugt ein Störspannungsspektrum, das sich negativ auf andere elektronische Bauteile auswirken kann. Die getaktete Betriebsweise führt zu einer Beaufschlagung mit steilen Spannungspulsen. Die Wicklungen elektromagnetischer Triebsysteme sind jedoch regelmäßig nur für den Gleichspannungsbetrieb oder einen niederfrequenten Wechselspannungsbetrieb ausgelegt, so dass es die getaktete Betriebsweise Schäden am Triebsystem verursachen kann.

**[0008]** In der WO 2017/093552 ist beispielsweise eine Schaltungsanordnung zur Betätigung eines elektromagnetischen Triebsystems und ein Verfahren zum Betrieb derselben offenbart, wobei das Triebsystem mit Gleichspannung mit einem zeitlichen Speiseverlauf gespeist wird. Die Schaltungsanordnung weist eine getaktete transformatorische Wandlerstufe und eine Steuerschaltung auf, wobei die Steuerschaltung die für den spezifischen Betrieb des elektromagnetischen Triebsystems erforderliche Speisecharakteristik im gesamten Eingangsspannungs- und Temperaturbereich ohne gepulste Beaufschlagung des Triebsystems bereitstellt.

**[0009]** Nachteilig hierbei ist, dass der eingespeiste Steuerstrom auf einer Zeitsteuerung basiert.

**[0010]** Werden derartige Triebsysteme an elektrischen Spannungsquellen mit einem weiten Spannungsbereich betrieben, ergeben sich aus der zeitlichen Steuerung regelmäßig unnötige Wärmebelastungen der Triebsysteme. Dies führt zu einer thermisch bedingten Degradation der Isolierstoffe und somit zu einer reduzierten Lebensdauer des Triebsystems. Die Taktung der möglichen Einschaltungen wird darüber hinaus nachteilig begrenzt.

**[0011]** Besondere Anforderungen bestehen beispielsweise für elektromagnetische Triebsysteme, beispielsweise Zugmagnete, von Batterieschutzschaltern, insbesondere in Batteriemanagementsystemen von Schienenfahrzeugen wie sie in DE 10 2018 109 594 offenbart und die oftmals für den Kurzzeitbetrieb ausgelegt sind. Diese müssen über einen weiten Spannungsbereich und einen weiten Temperaturbereich, insbesondere auch bei tiefen Temperaturen, einen sicheren Anzug gewährleisten. Im Gegensatz zu Schützen besteht bei Schutzschaltern dieser Art ein zeitlich stark ansteigender Kraftbedarf.

**[0012]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Schaltungsanordnung und ein Verfahren zum Betrieb elektromagnetischer Triebsysteme zur Verfügung zu stellen, die einen sicheren, mechanisch schonenden und energieoptimierten Betrieb des elektromagnetischen Triebsystems im gesamten Eingangsspannungs- und Temperaturbereich ermöglichen, ohne dass eine wesentliche Störaussendung verursacht wird. Insbesondere soll die sichere Auslösung solcher Triebsysteme gewährleistet sein, die einen zeitlich stark ansteigenden Kraftverlauf aufweisen und für eine Tieftemperaturanwendung vorgesehen sind.

**[0013]** Diese Aufgabe wird durch einen Gegenstand mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

**[0014]** Demnach ist die Steuerschaltung ausgebildet, einen eine Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems und/oder eine Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  anzeigenden ersten Kennwert und einen die Steuerspannung  $U_B$  anzeigenden zweiten Kennwert zu erfassen und zumindest einen Ansteuerparameter zur Ansteuerung des elektromagnetischen Triebsystems anhand des ersten Kennwerts und des zweiten Kennwerts zu setzen.

**[0015]** Die Ansteuerung erfolgt somit spezifisch in Abhängigkeit vom ersten und zweiten Kennwert. Der Ansteuerparameter wird in Abhängigkeit von dem eine Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems und/oder eine Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  anzeigenden ersten Kennwerts und dem die Steuerspannung  $U_B$  anzeigenden zweiten Kennwert bestimmt. Insbesondere wird der Absteuerparameter in Abhängigkeit von ersten und zweiten Kennwert so gewählt, dass eine sichere Auslösung, insbesondere ein sicherer Anzug, des elektromagnetischen Triebsystems gewährleistet ist.

**[0016]** Durch die individuelle, der vorliegenden Temperatur und Steuerspannung angepassten Wahl des Ansteuerparameters, wird ein energieoptimierter Betrieb des elektromagnetischen Triebsystems ermöglicht. Insbesondere für Triebssysteme, die auch bei tiefen Temperaturen zum Einsatz kommen und mit Steuerspannungsquellen mit einem weiten Spannungsbereich betrieben werden, lässt sich somit der Energiebedarf reduzieren und die mögliche Einschalthäufigkeit erhöhen. Unnötige Wärmebelastungen des Triebsystems werden durch die angepasste Einschaltdauer vermieden, wodurch sich die Lebensdauer des Triebsystems und seiner Komponenten erhöht.

**[0017]** Das elektromagnetische Triebsystem ist beispielsweise ein Elektromagnet mit einem Anker als mechanisches System. Das elektromagnetische Triebsystem ist insbesondere ein Zugmagnet. In einer Ausgestaltung ist das elektromagnetische Triebsystem, insbesondere der Zugmagnet, in einem Schutzschalter, beispielsweise einem Schutzschalter eines Batteriemanagementsystems, insbesondere eines Schienenfahrzeugs, angeordnet.

**[0018]** Die Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems ist beispielsweise die Temperatur des magnetischen Systems des elektromagnetischen Triebsystems, insbesondere die in den Wicklungen einer Spule des magnetischen Systems vorliegende Temperatur.

**[0019]** Die Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  ist beispielsweise die Temperatur in einer Umgebung des elektromagnetischen Triebsystems, insbesondere des magnetischen Systems des Triebsystems. Beispielsweise ist die Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  die in einer dem elektromagnetischen Triebsystems, insbesondere dem magnetischen Systems des Triebsystems, vor- oder nachgeschalteten elektrischen Komponente auftretende Temperatur.

**[0020]** Die Steuerspannung  $U_B$  ist in einer Ausgestaltung die von einer Batterie, insbesondere einer Batterie

eines Schienenfahrzeugs, zur Verfügung gestellte Betriebsspannung.

**[0021]** Insbesondere weist die Steuerschaltung eine Spannungserfassungsschaltung zur Erfassung des die Steuerspannung  $U_B$  anzeigenden zweiten Kennwerts auf. Die Spannungserfassungsschaltung weist bevorzugt ein Eingangsfilter auf.

**[0022]** In einer Ausgestaltung ist die Ansteuerstufe ausgebildet, das Triebsystem durch Anlegen der Steuerspannung  $U_B$  zum Schalten des mechanischen Systems zu bestromen. Insbesondere erfolgt eine Beaufschlagung des magnetischen Systems der elektromagnetischen Triebsystems mit der Steuerspannung  $U_B$ . Die Ansteuerstufe ist beispielsweise mit der Steuerspannungsquelle zur Erzeugung der Steuerspannung  $U_B$ , insbesondere der Batterie eines Schienenfahrzeugs, verbunden.

**[0023]** Gemäß einer Ausgestaltung ist die Steuerschaltung ausgebildet, als Ansteuerparameter eine Einschaltdauer  $\Delta t_n$  zur Ansteuerung des elektromagnetischen Triebsystems zu setzen. Die Einschaltdauer  $\Delta t_n$  ist die Zeitspanne, während der die Beaufschlagung des elektromagnetischen Triebsystems, insbesondere des magnetischen Systems des Triebsystems, mit einer Spannung, insbesondere der Steuerspannung  $U_B$ , erfolgt.

**[0024]** Die Einschaltdauer  $\Delta t_n$  wird gemäß dieser Ausgestaltung in Abhängigkeit vom ersten und zweiten Kennwert, somit insbesondere in Abhängigkeit von der Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems und/oder der Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  und der Steuerspannung  $U_B$  gewählt. Während bei einer Zeitsteuerung für die Beaufschlagung des Triebsystems die maximale Zeitdauer gewählt werden muss, die notwendig ist, um eine sichere Auslösung, beispielsweise einen sicheren Anzug, des Triebsystems im gesamten Temperatur- und Steuerspannungsbereich zu gewährleisten, ermöglicht die Schaltungsanordnung gemäß einer Ausgestaltung eine Anpassung der Einschaltdauer  $\Delta t_n$  an den Energiebedarf des Triebsystems bei gegebener, erfasster Temperatur  $\vartheta_c$  bzw.  $\vartheta_a$  und Steuerspannung  $U_B$ . Die so bestimmte Einschaltdauer  $\Delta t_n$  ist immer kürzer oder gleich der maximalen Zeitdauer, die für eine Zeitsteuerung verwendet werden muss. Die Einschaltdauer  $\Delta t_n$  ist beispielsweise die minimale Zeitdauer, die notwendig ist, um eine sichere Auslösung, insbesondere einen sicheren Anzug, des Triebsystems zu gewährleisten. In einer Ausgestaltung umfasst die Einschaltdauer  $\Delta t_n$  ein Sicherheitsintervall  $t_s$ .

**[0025]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung weist die Steuerschaltung eine Verknüpfungsschaltung auf, wobei die Verknüpfungsschaltung den Ansteuerparameter anhand eines Kennlinienfelds in Abhängigkeit von dem ersten Kennwert und dem zweiten Kennwert setzt. Insbesondere wird der Ansteuerparameter in Abhängigkeit vom ersten und zweiten Kennwert so gewählt, dass die sichere Auslösung, insbesondere der sichere Anzug, des elektromagnetischen Triebsystems gewährleis-

tet ist. Das Kennlinienfeld weist insbesondere eine Charakteristik auf, die den Zeitpunkt der Auslösung, insbesondere des sicheren Anzugs, des Triebsystems kennzeichnet.

**[0026]** Das Kennlinienfeld beschreibt beispielsweise den zeitlichen Verlauf der Spannung  $U_{ZM}$  am elektromagnetischen Triebssystem in Abhängigkeit von der Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems oder der Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  einerseits und der Steuerspannung  $U_B$  andererseits. Als Kennlinienfeld kann auch der zeitliche Verlauf des Stroms  $I_{ZM}$  am elektromagnetischen Triebssystem in Abhängigkeit von der Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems oder der Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  einerseits und der Steuerspannung  $U_B$  andererseits verwendet werden.

**[0027]** Durch Beaufschlagung des elektromagnetischen Triebsystems mit einer Steuerspannung entsteht am elektrischen Triebssystem eine Spannung  $U_{ZM}$  und ein Strom  $I_{ZM}$ . Der zeitliche Verlauf der Spannung  $U_{ZM}$  am bzw. des Stroms  $I_{ZM}$  im elektromagnetischen Triebssystem ist von der Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems bzw. der Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  und der angelegten Steuerspannung  $U_B$  abhängig. Die Spannung  $U_{ZM}$  am bzw. der Strom  $I_{ZM}$  im elektromagnetischen Triebssystem in Abhängigkeit von Zeit, Temperatur  $\vartheta_c$  bzw.  $\vartheta_a$  und Steuerspannung  $U_B$  definiert ein dreidimensionales Kennlinienfeld. Für eine bestimmte, erfasste Temperatur  $\vartheta_c$  bzw.  $\vartheta_a$  und eine bestimmte, erfasste Steuerspannung  $U_B$  ist die Spannung  $U_{ZM}$  am bzw. der Strom  $I_{ZM}$  im elektromagnetischen Triebssystem eine Funktion der Zeit.

**[0028]** Das elektromagnetische Triebssystem löst aus, wenn die Anzugkraft des elektromagnetischen Triebsystems erreicht wird. Der der Anzugkraft entsprechende Wert der Spannung  $U_{ZM}$  am Triebssystem bzw. der der Anzugkraft entsprechende Wert des Stroms  $I_{ZM}$  ist der Anzugswert. In einer Ausgestaltung ist die Einschaltdauer  $\Delta t_n$  der dem Anzugswert auf einer durch die erfasste Temperatur und die erfasste Steuerspannung definierten Kennlinie zugeordnete Zeitwert.

**[0029]** In einer Ausgestaltung der Erfindung gibt die Verknüpfungsschaltung ein Spannungsäquivalent der Einschaltdauer  $\Delta t_n$  aus. Gemäß einer Ausgestaltung weist die Steuerschaltung eine Sollwertaufbereitungsstufe zur Erzeugung einer angepassten Spannung  $U_{tSoll}$  zur Weiterleitung an die Ansteuerstufe auf, wobei der Sollwertaufbereitungsstufe das in der Verknüpfungsschaltung erzeugte Spannungsäquivalent zugeleitet wird.

**[0030]** In einer Ausgestaltung der Erfindung ist eine Temperaturerfassungsschaltung mit der Verknüpfungsschaltung verbunden und weist einen Temperatursensor zum Messen des eine Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems und/oder eine Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  anzeigenden ersten Kennwerts auf. Der Temperatursensor ermöglicht die Bestimmung des die Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems und/oder eine Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  kennzeichnen-

den ersten Kennwerts. Der Temperatursensor ist mit dem elektromagnetischen Triebssystem verbunden und weist beispielsweise einen Heißleiter, insbesondere einen NTC-Widerstand (negative temperature coefficient thermistor, NTC), auf. Somit ist eine direkte Erfassung des die Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems und/oder eine Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  anzeigenden ersten Kennwerts durch den Widerstand des Heißleiters, insbesondere des NTC-Widerstands, möglich.

**[0031]** Gemäß einer alternativen Ausgestaltung ist eine Temperaturerfassungsschaltung in der Verknüpfungsschaltung angeordnet, wobei die Temperaturerfassungsschaltung eine Schaltung zur Berechnung des eine Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems und/oder eine Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  anzeigenden ersten Kennwerts anhand eines elektrischen Widerstands des elektromagnetischen Triebsystems aufweist.

**[0032]** Somit kann auf einen Temperatursensor verzichtet werden. Dies minimiert etwaige Störsignale oder sonstige mit dem Temperatursensor verbundene Fehlerquellen sowie zeitliche Verzögerungen. Der die Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems und/oder eine Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  anzeigende erste Kennwert wird durch die Verknüpfungsschaltung direkt bestimmt.

**[0033]** Beispielsweise erfolgt die Berechnung unter Berücksichtigung des spezifischen Widerstands des Materials des magnetischen Systems des Triebsystems, insbesondere des Materials der Wicklungen des magnetischen Systems. Insbesondere erfolgt die Berechnung des ersten Kennwerts unter Berücksichtigung des spezifischen Widerstands von Kupfer.

**[0034]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung weist die Temperaturerfassungsschaltung einen Riemannintegrator zur Integration der Spannung  $U_{ZM}$  am elektromagnetischen Triebssystem und des Stroms  $I_{ZM}$  im elektromagnetischen Triebssystem auf. Der Riemannintegrator weist in einer Ausgestaltung einen Analogschalter in Zweifachausführung auf, dem der im elektromagnetischen Triebssystem anliegende Strom und die am elektromagnetischen Triebssystem anliegende Spannung zugeführt werden. Der Analogschalter ist mit einer monostabilen Kippstufe verbunden. Die monostabile Kippstufe gibt das Integrationsintervall vor. Weiterhin weist der Riemannintegrator beispielsweise einen als Divisor betriebenen Operationsverstärker und eine nachgeschaltete Multiplikatorstufe zur Bildung des Quotienten aus Spannung und Strom auf.

**[0035]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung weist die Sollwertaufbereitungsstufe eine Abtast-Halte-Schaltung auf. Die Sollwertaufbereitung weist beispielsweise weiter einen Negator auf. Der Negator verbindet die monostabile Kippstufe des Riemannintegrators mit dem Steuereingang der Abtast-Halte-Schaltung. Der Abtast-Halte-Schaltung ist in einer Ausgestaltung ein Spannungsteiler nachgeschaltet. Der Spannungsteiler leitet ein Spannungsäquivalent der Einschaltdauer der An-

steuerstufe zu.

**[0036]** Gemäß einer weiteren Ausgestaltung weist die Ansteuerstufe eine Pulsweitenmodulationsschaltung (PWM-Schaltung) mit einer monostabilen Kippstufe auf, wobei ein Steuereingang der monostabilen Kippstufe mit der Steuerschaltung verbunden ist und ein Ausgang der monostabilen Kippstufe mit der Pulsweitenmodulationsschaltung verbunden ist. Die monostabile Kippstufe stellt somit eine Einschaltzeitbegrenzung dar. Die Pulsdauer der PWM-Schaltung wird mittels der monostabilen Kippstufe durch die von der Steuerschaltung ausgegebene Spannung bestimmt und entspricht der Einschaltdauer  $\Delta t_n$ .

**[0037]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung weist die Schaltungsanordnung eine Leistungsstufe auf und die Ansteuerstufe eine Treiberschaltung zur Ansteuerung der Leistungsstufe auf.

**[0038]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung sind die Steuerschaltung und die Pulsweitenmodulationsschaltung als Microcontrollerschaltung ausgeführt. Dies ermöglicht eine kompakte Umsetzung sowie einen schnellen und kompakten Einbau der Schaltungsanordnung mit geringem Verdrahtungsaufwand. Insbesondere sind die Schaltungsteile Spannungserfassungsschaltung, Riemannintegrator, Abtast-Halte-Schaltung und PWM-Schaltung mit monostabiler Kippstufe als Microcontrollerschaltung ausgeführt.

**[0039]** Gemäß einer weiteren Ausgestaltung sind die Steuerschaltung, die Pulsweitenmodulationsschaltung und die Treiberschaltung zur Ansteuerung der Leistungsstufe in einer anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (application-specific integrated circuit, ASIC) oder in einem Hybridschaltkreis angeordnet. Insbesondere sind die Schaltungsteile Spannungserfassungsschaltung, Riemannintegrator, Abtast-Halte-Schaltung, PWM-Schaltung mit monostabiler Kippstufe und die Treiberschaltung der Leistungsstufe in einer ASIC oder in einem Hybridschaltkreis vereint.

**[0040]** Gemäß einer Ausgestaltung weist die Leistungsstufe einen Ausgangsgerichter, insbesondere mit Glättung, auf. Somit wird das elektromagnetische Triebssystem mit Gleichspannung beaufschlagt. Die Leistungsstufe weist in einer Ausgestaltung einen Leistungstransistor und einen Übertrager auf.

**[0041]** Gegenstand der Erfindung ist ferner ein Verfahren zum Betätigen eines elektromagnetischen Triebsystems zum Schalten eines mechanischen Systems mit einer Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 14.

**[0042]** Bei einem solchen Verfahren zum Betätigen eines elektromagnetischen Triebsystems zum Schalten eines mechanischen Systems mit einer Schaltungsanordnung nach der vorangehend beschriebenen Art wird durch die Steuerschaltung ein eine Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems und/oder eine Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  anzeigender erster Kennwert und ein die Steuerspannung  $U_B$  anzeigender zweiter Kennwert erfasst und durch die Steuerschaltung zumindest

ein Ansteuerparameter zur Ansteuerung des elektromagnetischen Triebsystems anhand des ersten Kennwerts und des zweiten Kennwert gesetzt.

**[0043]** Das erfindungsgemäße Verfahren setzt die Vorteile der Schaltungsanordnung auf Verfahrensebene um. Insbesondere wird ein Verfahren zur Verfügung gestellt, mit dem ein elektromagnetisches Triebssystem energieoptimiert betrieben wird.

**[0044]** Gemäß einer Ausgestaltung wird das Triebssystem durch Anlegen der Steuerspannung  $U_B$  zum Schalten des mechanischen Systems durch die Ansteuerstufe bestromt.

**[0045]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung wird durch die Steuerschaltung als Ansteuerparameter eine Einschaltdauer  $\Delta t_n$  zur Ansteuerung des elektromagnetischen Triebsystems gesetzt.

**[0046]** Dabei wird die Einschaltdauer  $\Delta t_n$  insbesondere so gewählt, dass eine Auslösung des Triebsystems, insbesondere der Anzugswert, innerhalb der Einschaltdauer  $\Delta t_n$  erreicht wird. Der Anzugswert ist abhängig von der Temperatur des Triebsystems  $\vartheta_c$  bzw. der Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  und der Steuerspannung  $U_B$ . Die Einschaltdauer  $\Delta t_n$  wird bevorzugt minimal gewählt. Dies ermöglicht einen energieoptimierten Betrieb. Bevorzugt weist die Einschaltdauer  $\Delta t_n$  ein Sicherheitsintervall  $t_s$  auf. Das Sicherheitsintervall  $t_s$  stellt eine zuverlässige Auslösung des Triebsystems innerhalb der Mess- und Schaltungstoleranzen sicher.

**[0047]** Gemäß einer Ausgestaltung wird die Einschaltdauer  $\Delta t_n$  unter Berücksichtigung eines Endlagenkriteriums mittels des dreidimensionalen Kennlinienfeld der Spannung  $U_{ZM}$  am oder des Stroms  $I_{ZM}$  im elektromagnetischen Triebssystem als Funktion der Steuerspannung  $U_B$ , der Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems oder der Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  und der Zeit bestimmt.

**[0048]** Bevorzugt ist der Anzugswert durch ein Endlagenkriterium des zeitlichen Verlaufs der Spannung  $U_{ZM}$  am oder des Stroms  $I_{ZM}$  im Triebssystem bei einer bestimmten, erfassten Temperatur  $\vartheta_c$  des Triebsystems bzw. einer bestimmten, erfassten Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  des Triebsystems und einer bestimmten, erfassten Steuerspannung  $U_B$  definiert. Bevorzugt ist der Anzugswert durch eine Spannungsspitze des zeitlichen Verlaufs der Spannung  $U_{ZM}$  am Triebssystem definiert. Der Anzugswert kann auch durch einen Stromeinbruch des zeitlichen Verlaufs des Stroms  $I_{ZM}$  im Triebssystem definiert werden.

**[0049]** Der der Erfindung zugrunde liegende Gedanke soll nachfolgend anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1 ein Kennlinienfeld der Spannung  $U_{ZM}$  am elektromagnetischen Triebssystem bei festgehaltener Steuerspannung  $U_B$  als Funktion der Zeit  $t$  für verschiedene Werte der Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$ ;

- Fig. 2 ein Kennlinienfeld der Spannung  $U_{ZM}$  am und des Stroms  $I_{ZM}$  im elektromagnetischen Triebssystem bei festgehaltener Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  als Funktion der Zeit  $t$  für verschiedene Werte der Steuerspannung  $U_B$ ;
- Fig. 3 ein Prinzipschaltbild der Schaltungsanordnung gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung;
- Fig. 4 ein Prinzipschaltbild der Schaltungsanordnung gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung; und
- Fig. 5 eine schematische Darstellung der Bestimmung des Widerstands  $R_{ZM}$  des elektromagnetischen Triebsystems.

**[0050]** Fig. 1 zeigt das Kennlinienfeld der Spannung  $U_{ZM}$  am elektromagnetischen Triebssystem 41 bei festgehaltener Steuerspannung  $U_B$  als Funktion der Zeit  $t$ . Die Spannung  $U_{ZM}$  des elektromagnetischen Triebsystems 41 hängt von der Steuerspannung  $U_B$ , der Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems 41 bzw. der Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  des elektromagnetischen Triebsystems 41 und der seit dem Einschaltmoment  $t_0$  verstrichenen Zeitdauer ab. Im folgenden ist der Nullpunkt als Einschaltmoment gewählt:  $t_0=0$ . Dieses dreidimensionale Kennlinienfeld ist zur Veranschaulichung als zwei-dimensionales Kennlinienfeld für eine festgehaltene Steuerspannung  $U_B$  in Fig. 1 und als zweidimensionales Kennlinienfeld für eine festgehaltene Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  des elektromagnetischen Triebsystems in Fig. 2 dargestellt.

**[0051]** Das elektromagnetische Triebssystem 41 weist ein Magnetsystem, insbesondere eine Spule mit Kern, und ein mechanisches System 6, insbesondere einen Anker, auf. Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist das elektromagnetische Triebssystem 41 ein Zugmagnet 41. Der Zugmagnet 41 wird mit einer Steuerspannung  $U_B$  beaufschlagt. Dabei ist zu dem Zeitpunkt des Einschaltens der Steuerspannung  $U_B$ . Die Beaufschlagung mit der Steuerspannung  $U_B$  führt zu einem Anstieg der Spannung  $U_{ZM}$  am Zugmagneten 41. Die magnetische Kraft auf den Anker nimmt zu. Beim Endanschlag des Ankers des Zugmagneten 41 kommt es zu einer Spannungsspitze  $Z$ .

**[0052]** Im vorliegenden Diagramm ist der Verlauf der Spannung  $U_{ZM}$  am Zugmagneten 41 für drei verschiedene Umgebungstemperaturwerte gezeigt: die maximale Umgebungstemperatur  $\vartheta_{amax}$ , die Nenntemperatur  $\vartheta_{aNenn}$  und die minimale Umgebungstemperatur  $\vartheta_{amin}$ . Der Endanschlag des Ankers muss über den gesamten Funktionstemperaturbereich von  $\vartheta_a=\vartheta_{amin}$  bis  $\vartheta_a=\vartheta_{amax}$  gewährleistet sein.

**[0053]** Der zeitliche Verlauf der Spannung  $U_{ZM}$  weist im Zeitpunkt des Anschlags  $T_{Anschl}$  ein Maximum auf. Die Anschlagszeit  $T_{Anschl}$  ist bei festgehaltener Steuer-

spannung  $U_B$  eine Funktion der Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$ . Je niedriger die Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$ , desto größer die Anschlagszeit  $T_{Anschl}$ : es wird mehr Zeit benötigt, um dem Zugmagneten 41 die zur Auslösung notwendige Energie zuzuführen. Ursache hierfür sind die veränderten magnetischen Eigenschaften des Zugmagneten 41 und die erhöhte Gleitreibung des Ankers des Zugmagneten 41 bei geringerer Temperatur  $\vartheta_a$ .

**[0054]** Das Ende des Anschlagvorgangs  $t_n$  ist mit dem Abfallen der Flanke der Spannungsspitze  $Z$  erreicht. Dabei bezeichnet  $t_1$  das Ende des Anschlagvorgangs bei maximaler Umgebungstemperatur  $\vartheta_{amax}$ ,  $t_2$  das Ende des Anschlagvorgangs bei Nenntemperatur  $\vartheta_{aNenn}$  und  $t_3$  das Ende des Anschlagvorgangs bei minimaler Umgebungstemperatur  $\vartheta_{amin}$ . Dabei ist das Zeitintervall von Einschaltmoment  $t_0$  bis Ende des Anschlagvorgangs  $t_1$  kleiner als das Zeitintervall von Einschaltmoment  $t_0$  bis Ende des Anschlagvorgangs  $t_2$ , das wiederum kleiner als das Zeitintervall von Einschaltmoment  $t_0$  bis Ende des Anschlagvorgangs  $t_3$  ist. Je niedriger die Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  desto größer die Zeitdauer  $t_n$  bis zum Ende des Anschlagvorgangs.

**[0055]** Das Ende des Anschlagvorgangs und das damit einhergehende Abfallen der Flanke der Spannungsspitze  $Z$  stellen ein Endlagenkriterium für das Erreichen der Endlage des Zugmagneten 41 dar. Die Einschaltdauer  $\Delta t_n$  wird durch das Endlagenkriterium bestimmt. Bevorzugt wird eine Sicherheitsintervall  $t_s$  zum Zeitpunkt  $t_n$  des Endes des Anschlagvorgangs addiert. Das resultierende Zeitintervall  $t_n+t_s$  ist die Einschaltdauer  $\Delta t_n = t_n+t_s$ . Die Einschaltdauer  $\Delta t$  ist die Zeitdauer, die der Zugmagnet 41 mit der Steuerspannung  $U_B$  bei der Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  beaufschlagt werden muss, damit das Erreichen der Endlage sichergestellt ist.

**[0056]** Wäre die Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  nicht bekannt, müsste die Beaufschlagung mit der Steuerspannung  $U_B$  mindestens für die Zeitdauer  $t_3+t_s$  erfolgen, um das Erreichen der Endlage über den gesamten Temperaturbereich zwischen minimaler und maximaler Umgebungstemperatur  $\vartheta_{amin}$  bis  $\vartheta_{amax}$  zu gewährleisten. Durch die Bestimmung der Einschaltdauer  $\Delta t_n$  in Abhängigkeit sowohl von der Steuerspannung  $U_B$  als auch der Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  wird die Beaufschlagungszeit verringert.

**[0057]** Dies ermöglicht einen energieoptimierten Betrieb des Triebsystems 41 auch für Tieftemperaturanwendungen, wie beispielsweise Batterieschutzschalter von Schienenfahrzeugen, deren erforderlicher Funktionstemperaturbereich zwischen  $-60^\circ\text{C}$  und  $85^\circ\text{C}$  liegt.

**[0058]** Fig. 2 zeigt das Kennlinienfeld der Spannung  $U_{ZM}$  und des Stroms  $I_{ZM}$  des elektromagnetischen Triebsystems 41 bei festgehaltener Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  als Funktion der Zeit  $t$  in Abhängigkeit von der Steuerspannung  $U_B$ .

**[0059]** Der zeitliche Verlauf der Spannung  $U_{ZM}$  am Triebssystem 41 ist für drei verschiedene Steuerspannungen  $U_B$  dargestellt: die maximale Steuerspannung  $U_{Bmax}$ , die Nennspannung  $U_{BNenn}$  und

die minimale Steuerspannung  $U_{Bmin}$ . Das sichere Erreichen der Endlage muss über den gesamten Steuerspannungsbereich von  $U_B=U_{Bmin}$  bis  $U_B=U_{Bmax}$  gewährleistet sein.

**[0060]** Je größer die Steuerspannung  $U_B$ , desto schneller wird die Endlage erreicht. Die Endlage ist durch eine Spannungsspitze Z gekennzeichnet. Die Einschalt-dauer  $\Delta t_n$  ergibt sich aus der Zeit  $t_n$ , zu der die Flanke der Spannungsspitze Z abgefallen ist, zuzüglich eines Sicherheitsintervalls  $t_s$ .

**[0061]** Wäre der Wert der Steuerspannung  $U_B$  nicht bekannt, müsste als Zeitdauer der Beaufschlagung des Zugmagneten 41 die längste Zeitdauer gewählt werden, d.h. die Zeitdauer  $t_3+t_s$ , die für eine Beaufschlagung mit der minimalen Steuerspannung  $U_{Bmin}$  zum Erreichen der Endlage notwendig ist.

**[0062]** Die Bestimmung der Einschalt-dauer  $\Delta t_n$  in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  und der Steuerspannung  $U_B$  ermöglicht eine Verringerung der Dauer der Beaufschlagung des Triebssystems 41. Dies ermöglicht einen energieoptimierten Betrieb des Triebssystems 41, insbesondere für Steuerspannungsquellen mit einem weiten Spannungsbereich, wie beispielsweise für Batterieschutzschalter von Schienenfahrzeugen, bei denen der sichere Anzug in einem weiten Spannungsbereich von 65V bis 150V gewährleistet sein muss, wobei die Nennsteuerspannung der Batterie 110V beträgt.

**[0063]** In Fig. 3 ist ein Prinzipschaltbild einer Schaltungsanordnung zum Betrieb eines elektromagnetischen Triebssystems 41 gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung dargestellt.

**[0064]** Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist das elektromagnetische Triebssystem 41 ein Zugmagnet eines Batterieschutzschalters, bevorzugt eines Batteriemanagementsystems in einem Schienenfahrzeug, beispielsweise ein Batterieschutzschalter des Typs BMR-437-01-V-S0-07-110-200A.

**[0065]** Das elektromagnetische Triebssystem 41 weist ein thermisch abhängiges Anzugverhalten auf. Das Anzugverhalten ist in Fig. 1 und Fig. 2 qualitativ dargestellt. Das Anzugverhalten ist von der Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  des elektromagnetischen Triebssystems 41, der Steuerspannung  $U_B$  und der Beaufschlagungsdauer abhängig. Anstelle der Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  des elektromagnetischen Triebssystems 41 kann auch die Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebssystems 41 als Referenzwert verwandt werden.

**[0066]** Für einen Batterieschutzschalter, insbesondere eines Batteriemanagementsystems eines Schienenfahrzeugs, muss der sichere Anzug des elektromagnetischen Triebssystems 41, insbesondere des Zugmagneten, in einem weiten Spannungsbereich  $U_B$  von  $U_{Bmin}=65V$  bis  $U_{Bmax}=150V$  sichergestellt sein. Die Nennbatteriespannung  $U_{BNenn}$  beträgt im dargestellten Ausführungsbeispiel  $U_{BNenn}=110V$ . Der erforderliche Funktionstemperaturbereich beträgt  $-60^\circ C$  bis  $85^\circ C$ . Das heisst, der sichere Anzug muss im gesamten Intervall von  $\vartheta_{amin}=-60^\circ C$  bis  $\vartheta_{amax}=85^\circ C$

gewährleistet sein.

**[0067]** Ein einfaches elektromagnetisches Triebssystem 41 ohne Vorschaltgerät kann einen sicheren Anzug in einem solch weiten Steuerspannungsbereich  $U_B$  nicht gewährleisten. Auch ist der sichere Anzug bei tiefen Temperaturen  $\vartheta_a$  ohne Vorschaltgerät nicht gewährleistet. Bei tiefen Temperaturen  $\vartheta_a$  verändert sich das Magnetsystem des elektromagnetischen Triebssystems 41, so dass längere Beaufschlagungszeiten notwendig werden, um den sicheren Anzug zu gewährleisten. Beispielsweise verändern sich die magnetischen Eigenschaften und die Gleiteigenschaften des Ankers. Dem Magnetsystem muss bei tieferen Temperaturen  $\vartheta_a$  mehr Energie zugeführt werden, um den Anzug auszulösen.

**[0068]** Zur Gewährleistung des sicheren Anzugs auch bei tiefen Temperaturen  $\vartheta_a$  und bei einem weiten Steuerspannungsbereich  $U_B$  ist eine Schaltungsanordnung vorgesehen. Diese Schaltungsanordnung stellt sicher, dass sowohl bei tiefen Temperaturen  $\vartheta_a$ , Fig. 1, als auch bei niedriger Steuerspannung  $U_B$ , Fig. 2, der Anzug gewährleistet ist, d.h. genügend Zeit zur Verfügung steht, um die notwendige Energie zuzuführen.

**[0069]** Die Schaltungsanordnung weist deshalb eine Steuerschaltung 1 auf, die der Ansteuerstufe 2 zumindest einen Ansteuerparameter zur Ansteuerung des elektromagnetischen Triebssystems 41 anhand des ersten Kennwerts und des zweiten Kennwert setzt. Der erste Kennwert zeigt eine Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebssystems 41 und/oder eine Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  an. Der zweite Kennwert zeigt die Steuerspannung  $U_B$  an. Insbesondere umfasst der zumindest eine Ansteuerparameter die Einschalt-dauer  $\Delta t_n$ . Die Steuerschaltung 1 und die Ansteuerstufe 2 werden mittels einer Stromversorgung 5 mit einer Steuerstromversorgungsspannung  $U_s$ , vorliegend mit  $U_s=15VDC$ , gespeist. Die Stromversorgung 5 ist durch einen schnellen Aufbau der Steuerstromversorgungsspannung  $U_s$  gekennzeichnet.

**[0070]** Die Schaltungsanordnung weist eine Temperaturfassungsschaltung zur Erfassung des die Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebssystems 41 und/oder die Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  anzeigenden ersten Kennwerts auf. Im dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst die Temperaturfassungsschaltung einen Temperatursensor 42, bevorzugt einen Heissleiter oder NTC-Widerstand. Der Temperatursensor 42 ist mit dem elektromagnetischen Triebssystem 41, insbesondere der Spule des Zugmagneten 41, thermisch gekoppelt.

**[0071]** Des weiteren weist die Steuerschaltung 1 eine Spannungserfassungsschaltung 11 zur Erfassung des die Steuerspannung  $U_B$  anzeigenden zweiten Kennwerts auf. Die Spannungserfassungsschaltung 11 erfasst beispielsweise die eingehende Steuerspannung  $U_B$  über ein Eingangsfilter.

**[0072]** Die Schaltungsanordnung weist ferner eine Verknüpfungsschaltung 12 zur Verknüpfung des ersten Kennwertes und des zweiten Kennwertes auf, wobei die Verknüpfungsschaltung 12 den Ansteuerparameter, insbesondere die Einschalt-dauer  $\Delta t_n$ , anhand eines Kenn-

linienfelds in Abhängigkeit von dem ersten Kennwert und dem zweiten Kennwert setzt. Die Verknüpfungsschaltung 12 weist einen ersten und einen zweiten Eingang auf, wobei der erste Eingang mit einem Ausgang der Spannungserfassungsschaltung 11 verbunden ist und wobei der zweite Eingang mit einem Ausgang der Temperaturerfassungsschaltung, insbesondere dem Temperatursensor 42, verbunden ist.

[0073] Die Verknüpfungsschaltung 12 bestimmt die Einschaltdauer  $\Delta t_n$  unter Berücksichtigung des Kennlinienfelds des zeitlichen Verlaufs der Spannung  $U_{ZM}$  am elektromagnetischen Triebssystem 41 in Abhängigkeit von der Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems oder der Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  einerseits und der Steuerspannung  $U_B$  andererseits. Die Verknüpfungsschaltung 12 weist einen Ausgang zur Ausgabe eines Spannungsäquivalents der so bestimmten Einschaltdauer  $\Delta t_n$  auf.

[0074] Die Steuerschaltung 1 weist außerdem eine Sollwertaufbereitung 13 zur Erzeugung einer angepassten Spannung  $U_{tsoll}$  auf. Ein Eingang der Sollwertaufbereitung 13 ist mit der Verknüpfungsschaltung 12 verbunden. Die Sollwertaufbereitung 13 erzeugt die angepasste Spannung  $U_{tsoll}$  aus dem von der Verknüpfungsschaltung 12 empfangenen Spannungsäquivalent der Einschaltdauer  $\Delta t_n$ .

[0075] Die Steuerschaltung 1 ist mit der Ansteuerstufe 2 verbunden und stellt dieser den Ansteuerparameter, d.h. insbesondere die unter Berücksichtigung des die Temperatur  $\vartheta_a$  des elektromagnetischen Triebsystems 41 und/oder die Umgebungstemperatur  $\vartheta_c$  anzeigenden ersten Kennwerts und des die Steuerspannung  $U_B$  anzeigenden zweiten Kennwerts bestimmte Einschaltdauer  $\Delta t_n$ , bereit.

[0076] Die Steuerschaltung 1 leitet der Ansteuerstufe 2 die in der Sollwertaufbereitung 13 erzeugte angepasste Spannung  $U_{tsoll}$  zu.

[0077] Dargestellt ist eine Ansteuerstufe 2 mit PWM-Schaltung 21 und einer Treiberschaltung 22 für eine nachgeschaltete Leistungsstufe 3. Die PWM-Schaltung 21 weist eine monostabile Kippstufe 211 auf, mittels derer die in der Sollwertaufbereitung 13 erzeugte angepasste Spannung  $U_{tsoll}$  in ein Einschaltintervall  $t_{soi}$  der PWM-Schaltung 21 umgewandelt wird. Die Impulse der PWM-Schaltung werden über die Treiberschaltung 22 der Leistungsstufe 3 zugeleitet, so dass das elektromagnetische Triebssystem 41 beaufschlagt wird.

[0078] Die Leistungsstufe 3 weist einen Ausgangs-gleichrichter 33 mit Glättung auf, so dass die Beaufschlagung des elektromagnetischen Triebsystems 41 mit Gleichspannung erfolgt. Im dargestellten Ausführungsbeispiel weist die Leistungsstufe 3 einen Leistungs-transistor 31 und einen Übertrager 32 auf.

[0079] Durch die Speisung des elektromagnetischen Triebsystems 41 mit einer Gleichspannung wird die Störaussendung, insbesondere bei längeren Verbindungsleitungen zwischen der Schaltungsanordnung und dem elektromagnetischen Triebsystems 41, verringert.

[0080] Die Schaltungsanordnung ist ferner mit einer Stromregelung ausgestattet. Über den Shuntwiderstand  $R_{sh}$  wird der Hauptstrom im Leistungskreis 3 erfasst und der Spannungserfassungsschaltung 11 zugeführt.

5 [0081] Somit wird eine Schaltungsanordnung zum Betrieb eines elektromagnetischen Triebsystems 41, insbesondere eines Zugmagneten 41 eines Batterieschutzschalters, zur Verfügung gestellt, die einen energieoptimierten Betrieb ermöglicht.

10 [0082] In Fig. 4 ist ein Prinzipschaltbild einer Schaltungsanordnung zum Betrieb eines elektromagnetischen Triebsystems 41, insbesondere eines Zugmagneten 41 eines Batterieschutzschalters, gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung dargestellt.

15 [0083] Gemäß der dargestellten Ausgestaltung ist eine Temperaturerfassungsschaltung in der Verknüpfungsschaltung 12 angeordnet, insbesondere erfolgen Verknüpfung und Temperaturerfassung in einer Schaltung. Die Temperaturerfassungsschaltung bestimmt den die Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems 41 und/oder die Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  des elektromagnetischen Triebsystems 41 anzeigenden ersten Kennwert mittels eines analogen Berechnungsverfahrens und verknüpft diesen mit dem mittels der Spannungserfassungsschaltung 11 erfassten die Steuer-  
25 spannung  $U_B$  anzeigenden zweiten Kennwert.

[0084] In der dargestellten Ausführungsform werden die Spannung  $U_{ZM}$  am elektromagnetischen Triebsystem 4 und der Strom  $I_{ZM}$  im elektromagnetischen Triebsystem 41 über die Erfassungsschaltung 11 erfasst. Die Erfassungsschaltung 11 weist ein Eingangsfilter für  $U_B$  und die am Shuntwiderstand  $R_{sh}$  abfallende Spannung  $U_{Rsh}$  auf. Bevorzugt ist das Eingangsfilter auf 500Hz eingestellt. Die Erfassungsschaltung 11 weist eine Einheit 30 111 zur Potentialtrennung, insbesondere einen Optokoppler z.B. des Typs CNY17-4, auf, dem die Spannung  $U_{ZM}$  zugeführt wird. Die Filterung von  $U_{ZM}$  und  $I_{ZM}$  bzw. URSH erfolgt beispielsweise mit einem Filter des Typs LMC 6482.

35 [0085] Die Ausgangssignale der Erfassungsschaltung 11, insbesondere des Eingangsfilters, werden der Verknüpfungsschaltung 12 zugeführt. Die Verknüpfungsschaltung 12 weist in der dargestellten Ausführungsform einen Riemannintegrator auf. Im Riemannintegrator werden die Spannung  $U_{ZM}$  am Zugmagneten 41 und der Strom  $I_{ZM}$  im Zugmagneten 41 für ein Integrationsintervall  $t_R$  gemessen und eine äquivalente Spannung durch Quotientenbildung aus  $U_{ZM}$  und  $I_{ZM}$  bzw.  $U_{Rsh}$  gebildet. Das Integrationsintervall  $t_R$  wird durch einen Analog-  
40 schalter 121 in Zweifachausführung, der durch eine monostabile Kippstufe 122 angesteuert wird, definiert. In der dargestellten Ausführungsform ist der Analogschalter 121 beispielsweise vom Typ MAX 320 MJA und die monostabile Kippstufe vom Typ NE 555 FE. Das Stromsignal  $I_{ZM}$  bzw.  $U_{Rsh}$  wird über einen Widerstand  $R_1$ , beispielsweise  $R_1=10k\Omega$ , einem Operationsverstärker 123 für die Division zugeführt. Der Operationsverstärker 123 ist beispielsweise vom Typ AD 711. In der Multiplikator-  
45



stufe 124 wird das Produkt aus Spannungssignal  $U_{ZM}$  und inversem Strom  $1/I_{ZM}$ , d.h. der Quotient aus Spannung  $U_{ZM}$  und Strom  $I_{ZM}$  gebildet.

**[0086]** Das Integrationsintervall  $t_R$  ist dabei sehr viel kleiner gewählt als die minimale Einschaltdauer  $\Delta t_{min}=t_{min}+t_s$ . Hierdurch wird sichergestellt, dass die minimale Einschaltdauer  $\Delta t_{min}=t_{min}+t_s$  durch die Erzeugung des Spannungsäquivalents bzw. der angepassten Spannung  $U_{tsoll}$  zur Ansteuerung der Ansteuerstufe 2, insbesondere der PWM-Schaltung 21, nicht beeinflusst wird.

**[0087]** Der Quotient wird der Sollwertaufbereitung 13 zugeleitet. Die Sollwertaufbereitung 13 weist einen Abtast-Halte-Schaltkreis 132 auf. Der Abtast-Halte-Schaltkreis 132 wird über die monostabile Kippstufe 122 als Zeitgeber geschaltet. Dazu wird das Ausgangssignal der monostabilen Kippstufe 122 einem Negator 131 zugeleitet, der mit dem Steuereingang des Abtast-Halte-Schaltkreises 132 verbunden ist. Das Ausgangssignal des Abtast-Halte-Schaltkreises 132 wird durch einen Spannungsteiler mit Widerständen  $R_3$ ,  $R_4$  mit dem  $\ln 2$  verknüpft.

**[0088]** Für kleine  $t_R$ , d.h. kurz nach dem Einschaltmoment  $t_0=0$ , steigen sowohl Spannung  $U_{ZM}$  als auch Strom  $I_{ZM}$  am Zugmagneten 41 exponentiell an, siehe **Fig. 5**. Aufgrund des exponentiellen Charakters der Spannungs- bzw. Stromkennlinie  $U_{ZM}$ ,  $I_{ZM}$  im Kleinsignalbereich kann das Riemannintegral mit dem Logarithmus von 2,  $\ln 2 \approx 0,693$ , verknüpft werden. Die Spule des Zugmagneten 41 ist aus einer Kupferleitung gewickelt. Der Widerstand des Zugmagneten  $R_{ZM}$  lässt sich somit unter Berücksichtigung des spezifischen Widerstands von Kupfer, gegeben für die entsprechende Temperatur, bestimmen zu:  $R_{ZM}=[U_{ZM}/I_{ZM}] \cdot \ln 2$ .

**[0089]** Die Ausgangsspannung des Abtast-Halte-Schaltkreises 132 liegt, je nach errechnetem Wert, zwischen 0 und 10VDC, so dass durch das Spannungsteilverhältnis  $R_3/R_4$  die ausgegebene angepasste Spannung  $U_{tsoll}$  quasi normiert hergeleitet wird.

**[0090]** Die so erzeugte angepasste Spannung  $U_{tsoll}$  gelangt auf den Eingang 211 zur Zeitsteuerung der PWM-Schaltung 21. Mit der Vorsteuerung durch  $U_B$ , welche über den Eingang 212 an die PWM-Schaltung 21 gelangt, bestimmt die angepasste Spannung  $U_{tsoll}$  die Einschaltdauer  $\Delta t_n$  entsprechend der in **Fig. 1** bzw. **Fig. 2** dargestellten Kennlinienfelder.

**[0091]** Die Impulse der PWM-Schaltung 21 werden über die Treiberschaltung 22 der Leistungsstufe 3 zugeleitet, so dass der Zugmagnet 41 beaufschlagt wird.

**[0092]** Die Steuerschaltung 1 sowie die Ansteuerstufe 2 werden durch die Stromversorgung 5 mit 15VDC gespeist. Die Stromversorgung 5 ist durch einen schnellen Aufbau der Versorgungsspannung  $U_s$  im Einschaltmoment  $t_0$  gekennzeichnet.

## BEZUGSZEICHENLISTE

**[0093]**

1	Steuerschaltung
11	Spannungserfassungsschaltung zur Erfassung des die Steuerspannung $U_B$ anzeigenden zweiten Kennwerts
5	111 Potentialtrennung mit Optokoppler
112	Eingangsfiler
12	Verknüpfungsschaltung zur Verknüpfung Steuerspannung $U_B$ und Temperatur $\vartheta_a, \vartheta_c$
121	Analogschalter in Zweifachausführung
10	122 monostabile Kippstufe (Monoflop)
123	Operationsverstärkerstufe für Division
124	Multiplikatorstufe
13	Sollwertaufbereitung
131	Negator
15	132 Abtast-und-Halte-Schaltkreis
2	Ansteuerstufe
21	Pulsweitenmodulations-Schaltung mit monostabiler Kippstufe
211	Eingang für Einschaltdauer $\Delta t$
20	212 Eingang für Vorsteuerung durch Steuerspannung $U_B$
213	Eingang für Stromregelung
22	Treiberschaltung für Leistungsstufe
3	Leistungsstufe
25	31 Leistungstransistor
32	Übertrager T1
33	Ausgangsgleichrichtung mit Glättung
41	elektromagnetisches Triebssystem
42	Temperatursensor
30	5 Steuerstromversorgung
6	mechanisches System
$U_s$	Steuerstromversorgungsspannung
$U_B$	Steuerspannung, Batteriespannung
$U_{ZM}$	Spannung am elektromagnetischen Triebssystem
35	$I_{ZM}$ Strom im elektromagnetischen Triebssystem
$R_{sh}$	Shuntwiderstand (0,1 $\Omega$ ), induktivitätsarm
$R_1$	Widerstand (10k $\Omega$ )
$R_2$	Widerstand (10k $\Omega$ )
40	$R_3$ Widerstand (3,61k $\Omega$ )
$R_4$	Widerstand (6,39k $\Omega$ )
MB	Minuspotential des Hauptstroms
$t$	Zeit
$t_0$	Einschaltzeitpunkt
45	$t_R$ Integrationsintervall
$t_n$	Zeitpunkt des Erreichens der Endlage
$t_s$	Sicherheitsintervall
$\Delta t_n$	Einschaltdauer
A	Endlage in Abhängigkeit von der Temperatur $\vartheta_a$ bei festgehaltener Steuerspannung $U_B$
50	B Endlage in Abhängigkeit von der Steuerspannung $U_B$ bei festgehaltener Temperatur $\vartheta_a$
Z	Spannungsspitze im Anschlagszeitpunkt/Zeitpunkt des Erreichens der Endlage
55	$\vartheta_a$ Umgebungstemperatur, insbesondere des elektromagnetischen Triebsystems
$\vartheta_c$	Temperatur des elektromagnetischen Triebsystems

## Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung zum Betätigen eines elektromagnetischen Triebsystems (41) zum Schalten eines mechanischen Systems (6), mit  
 5  
 einer Steuerspannungsquelle zur Erzeugung einer Steuerspannung ( $U_B$ ),  
 einer Ansteuerstufe (2) zur Ansteuerung des elektromagnetischen Triebsystems (41) zum Schalten des mechanischen Systems (6) während eines Schaltvorgangs und  
 einer Steuerschaltung (1) zum Steuern der Ansteuerstufe (2),  
 10  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerschaltung (1) ausgebildet ist, einen eine Temperatur ( $\vartheta_c$ ) des elektromagnetischen Triebsystems (41) und/oder eine Umgebungstemperatur ( $\vartheta_a$ ) anzeigenden ersten Kennwert und einen die Steuerspannung ( $U_B$ ) anzeigenden zweiten Kennwert zu erfassen und zumindest einen Ansteuerparameter zur Ansteuerung des elektromagnetischen Triebsystems (41) anhand des ersten Kennwerts und des zweiten Kennwerts zu setzen.  
 15  
 20  
 25
2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ansteuerstufe (2) ausgebildet ist, das Triebsystem (41) durch Anlegen der Steuerspannung ( $U_B$ ) zum Schalten des mechanischen Systems (6) zu bestromen.  
 30
3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerschaltung (1) ausgebildet ist, als Ansteuerparameter eine Einschaltdauer ( $\Delta t_n$ ) zur Ansteuerung des elektromagnetischen Triebsystems (41) zu setzen.  
 35
4. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerschaltung (1) eine Verknüpfungsschaltung (12) aufweist, wobei die Verknüpfungsschaltung (12) den Ansteuerparameter anhand eines Kennlinienfelds in Abhängigkeit von dem ersten Kennwert und dem zweiten Kennwert setzt.  
 40  
 45
5. Schaltungsanordnung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verknüpfungsschaltung (12) ein Spannungsäquivalent der Einschaltdauer ( $\Delta t_n$ ) ausgibt.  
 50
6. Schaltungsanordnung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerschaltung (1) eine Sollwertaufbereitungsstufe (13) zur Erzeugung einer angepassten Spannung ( $U_{tSoll}$ ) zur Weiterleitung an die Ansteuerstufe (2) aufweist, wobei der Sollwertaufbereitungsstufe (13) das in der Verknüpfungsschaltung (12) erzeugte Spannungsäquivalent  
 55
7. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Temperaturerfassungsschaltung mit der Verknüpfungsschaltung (12) verbunden ist und einen Temperatursensor (42) zum Messen des eine Temperatur ( $\vartheta_c$ ) des elektromagnetischen Triebsystems (41) und/oder eine Umgebungstemperatur ( $\vartheta_a$ ) anzeigenden ersten Kennwerts aufweist.  
 60
8. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Temperaturerfassungsschaltung in der Verknüpfungsschaltung (12) angeordnet ist, wobei die Temperaturerfassungsschaltung eine Schaltung zur Berechnung zur Berechnung des eine Temperatur  $\vartheta_c$  des elektromagnetischen Triebsystems (41) und/oder eine Umgebungstemperatur  $\vartheta_a$  anzeigenden ersten Kennwerts anhand eines elektrischen Widerstands ( $R_{ZM}$ ) des elektromagnetischen Triebsystems (41) aufweist.  
 65
9. Schaltungsanordnung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Temperaturerfassungsschaltung einen Riemannintegrator zur Integration der Spannung ( $U_{ZM}$ ) am elektromagnetischen Triebsystem (41) und des Stroms ( $I_{ZM}$ ) im elektromagnetischen Triebsystem (41) aufweist.  
 70
10. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sollwertaufbereitungsstufe (13) eine Abtast-Halte-Schaltung (132) aufweist.  
 75
11. Schaltungsanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ansteuerstufe (2) eine Pulsweitenmodulationsschaltung (21) mit einer monostabilen Kippstufe aufweist, wobei ein Steuereingang (211) der monostabilen Kippstufe mit der Steuerschaltung (1) verbunden ist und ein Ausgang der monostabilen Kippstufe mit der Pulsweitenmodulationsschaltung verbunden ist.  
 80
12. Schaltungsanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schaltungsanordnung eine Leistungsstufe (3) aufweist und die Ansteuerstufe (2) eine Treiberschaltung (22) zur Ansteuerung der Leistungsstufe (3) aufweist.  
 85
13. Schaltungsanordnung nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerschaltung (1) und die Pulsweitenmodulationsschaltung (21) als Microcontrollerschaltung ausgeführt sind.  
 90
14. Schaltungsanordnung nach Anspruch 11 oder 12,

zugeleitet wird.

**dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerschaltung (1), die Pulsweitenmodulationsschaltung (21) und die Treiberschaltung (22) zur Ansteuerung der Leistungsstufe (3) in einer anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (application-specific integrated circuit, ASIC) oder in einem Hybridschaltkreis angeordnet sind. 5

15. Verfahren zum Betätigen eines elektromagnetischen Triebsystems (41) zum Schalten eines mechanischen Systems (6) mit einer Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, 10
- dadurch gekennzeichnet, dass**
- durch die Steuerschaltung ein eine Temperatur ( $\vartheta_c$ ) des elektromagnetischen Triebsystems (41) 15
- und/oder eine Umgebungstemperatur ( $\vartheta_a$ ) anzeigender erster Kennwert und ein die Steuerspannung ( $U_B$ ) anzeigender zweiter Kennwert erfasst werden und durch die Steuerschaltung zumindest ein Ansteuerparameter zur Ansteuerung des elektromagnetischen Triebsystems (41) anhand des ersten Kennwerts und des zweiten Kennwert gesetzt wird. 20

25

30

35

40

45

50

55

FIG. 1

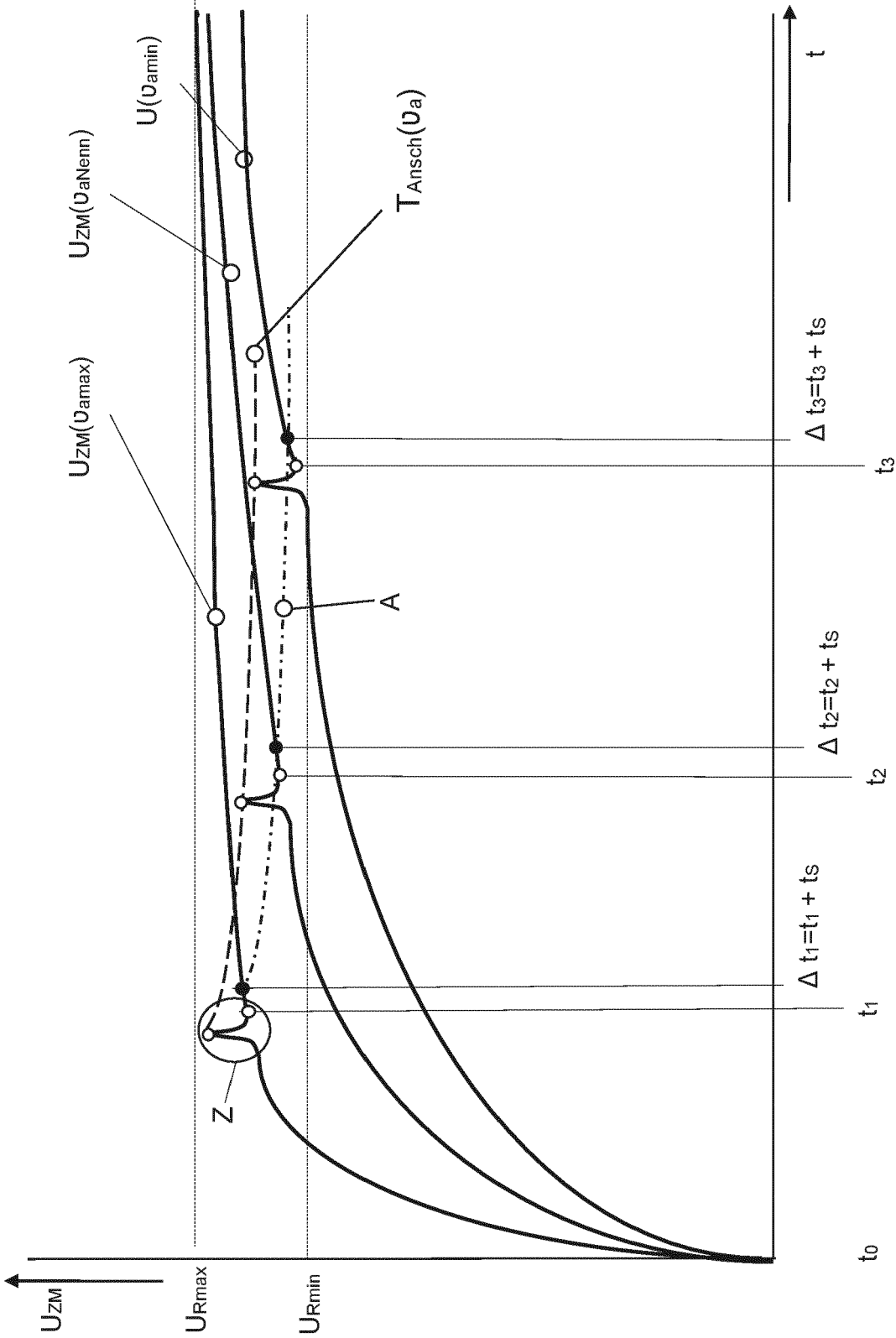


Fig. 2

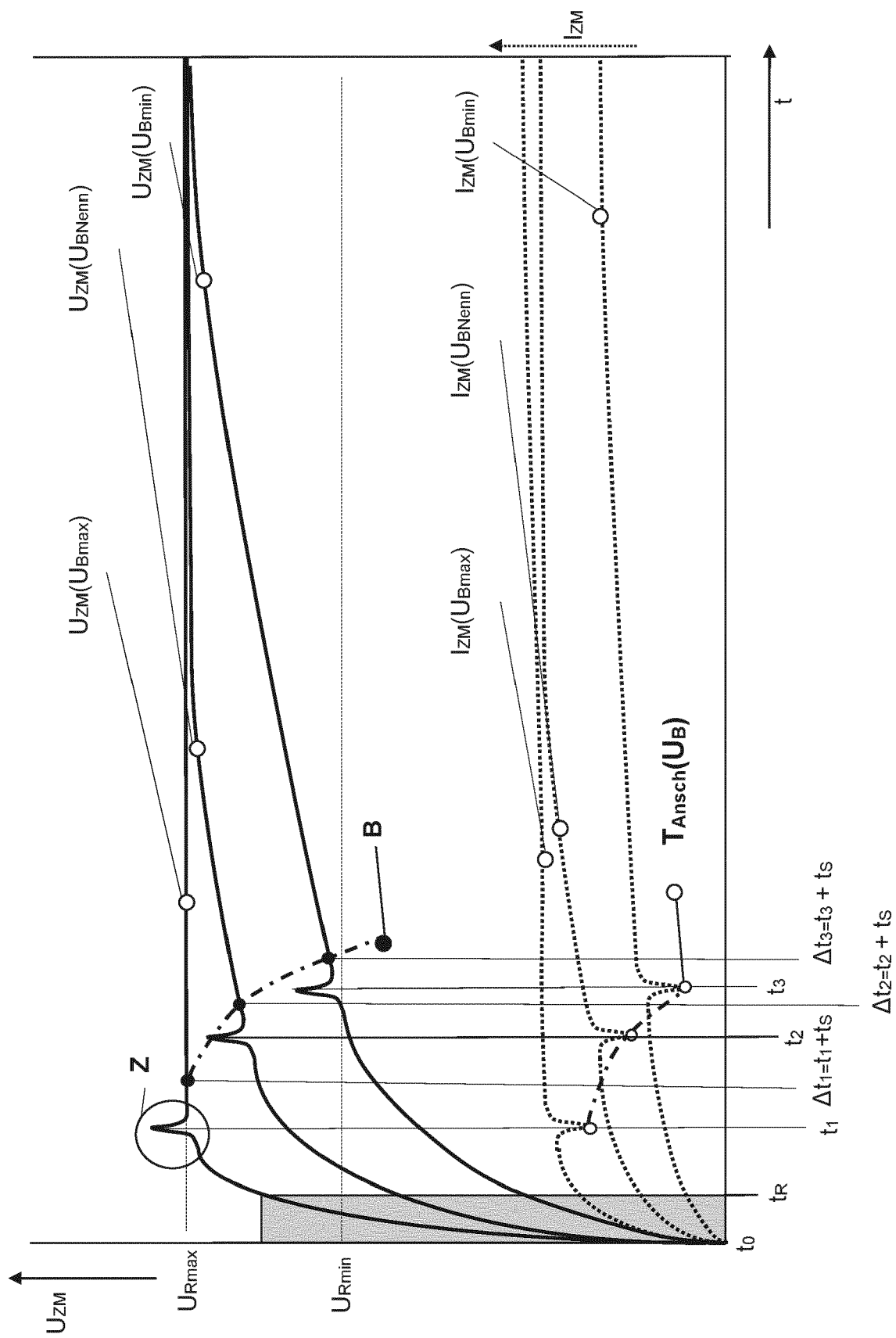


FIG. 3

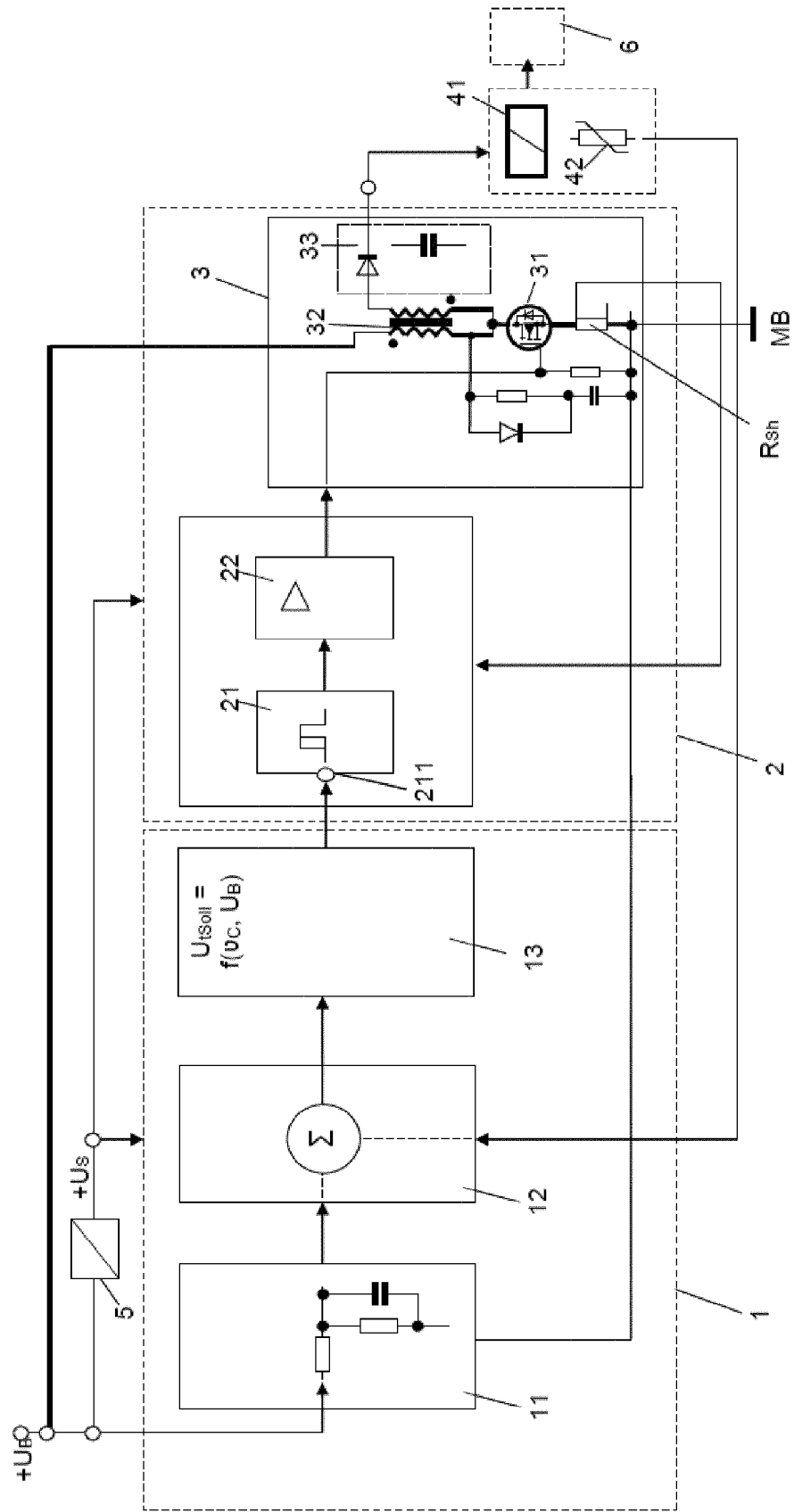


FIG. 4

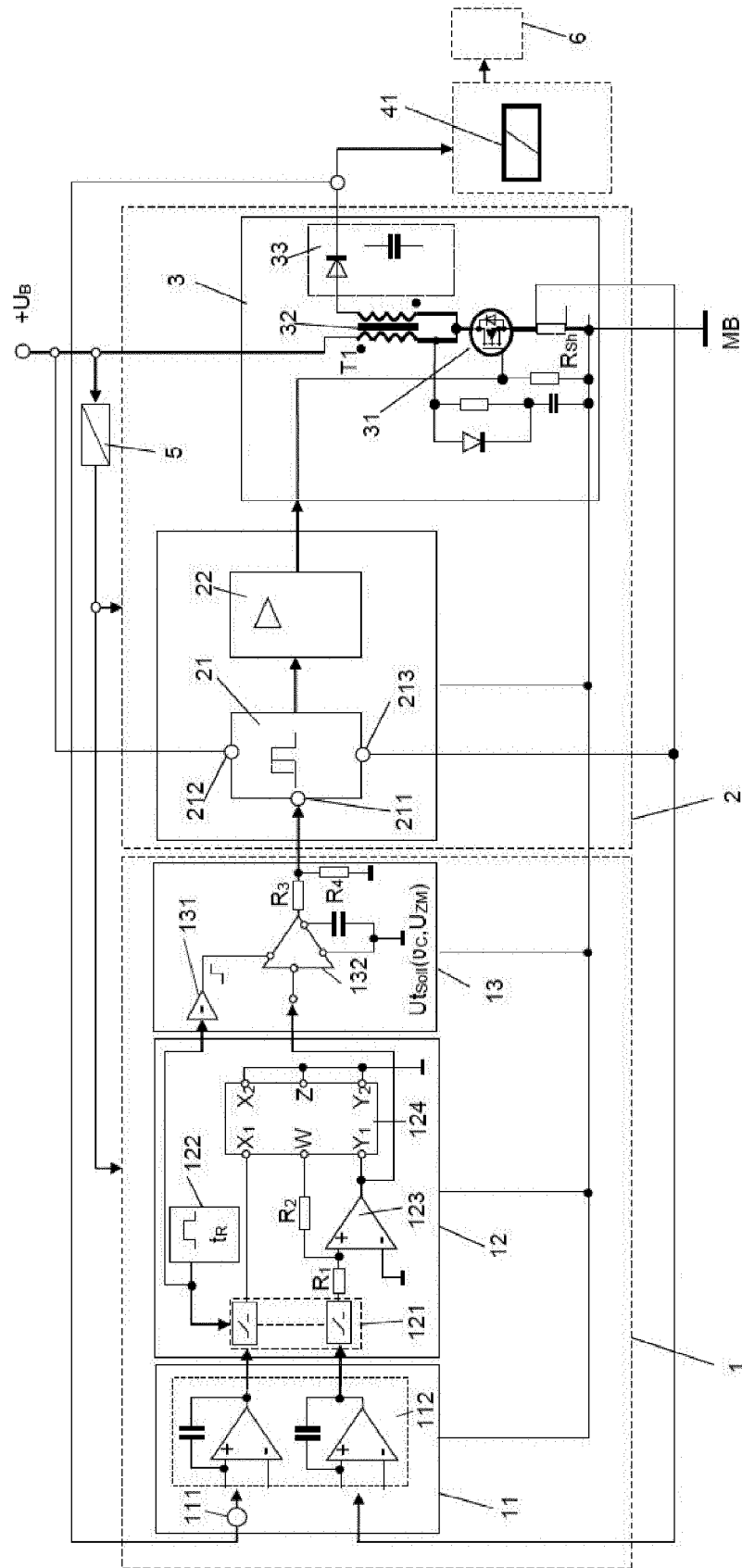
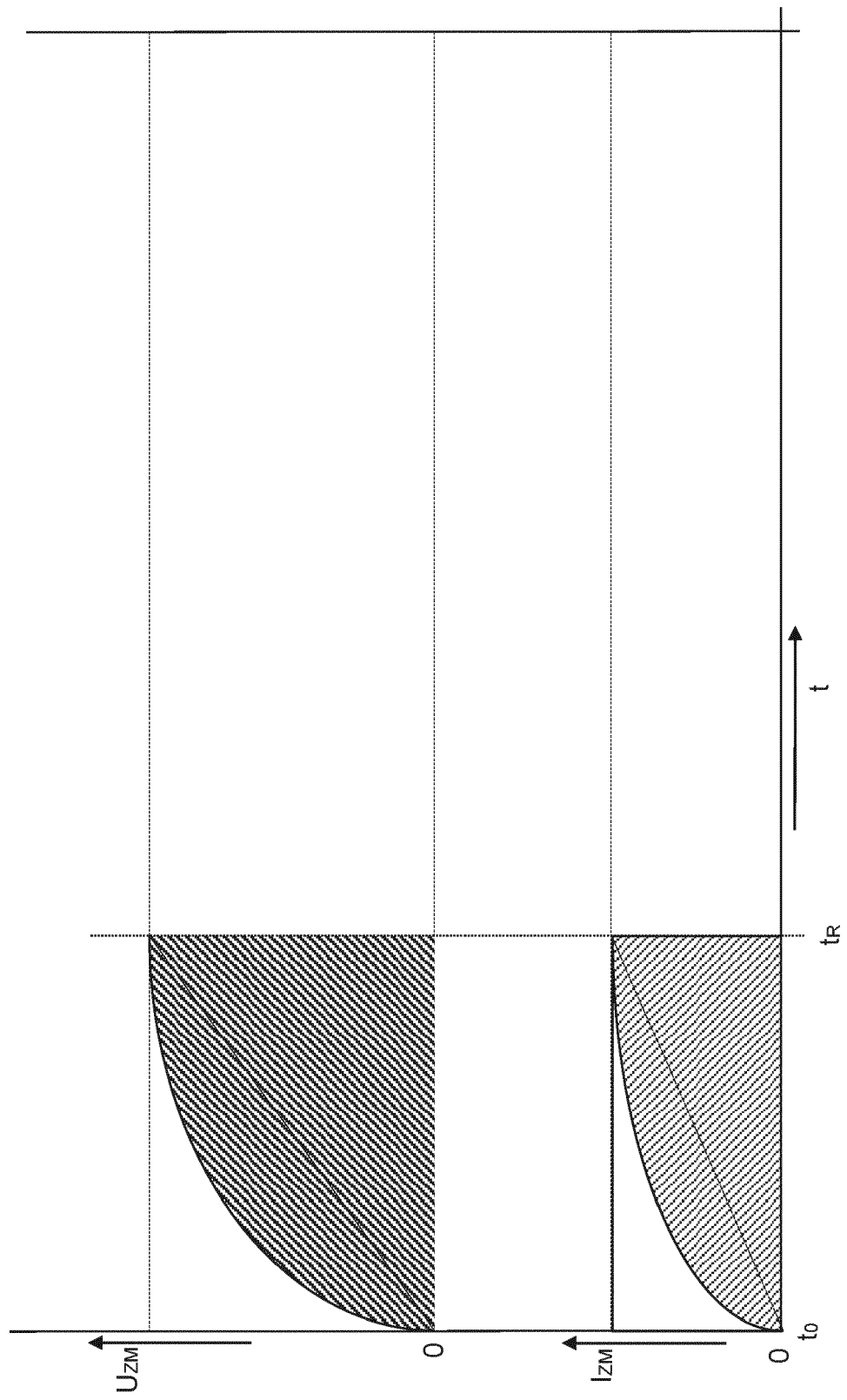


FIG. 5







## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 21 21 0988

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 0 392 058 A1 (SIEMENS AG [DE]) 17. Oktober 1990 (1990-10-17)	1-13, 15	INV.
Y	* Zusammenfassung; Abbildung 2 * -----	14	H01H47/02 H01H47/32
Y	EP 3 316 274 A1 (SAMSUNG SDI CO LTD [KR]) 2. Mai 2018 (2018-05-02) * Absatz [0024] *	14	
A	US 2001/043450 A1 (SEALE JOSEPH B [US] ET AL) 22. November 2001 (2001-11-22) * Absatz [0026] *	9	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			H01H
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>12. April 2022</b>	Prüfer <b>Simonini, Stefano</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 21 21 0988

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.  
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

12-04-2022

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
<b>EP 0392058 A1</b>	<b>17-10-1990</b>	<b>EP 0392058 A1</b>	<b>17-10-1990</b>
		<b>JP H02295016 A</b>	<b>05-12-1990</b>
		<b>PT 93734 A</b>	<b>20-11-1990</b>
		<b>US 5107391 A</b>	<b>21-04-1992</b>
<hr/>			
<b>EP 3316274 A1</b>	<b>02-05-2018</b>	<b>CN 108022793 A</b>	<b>11-05-2018</b>
		<b>EP 3316274 A1</b>	<b>02-05-2018</b>
		<b>KR 20180046839 A</b>	<b>09-05-2018</b>
		<b>US 2018122603 A1</b>	<b>03-05-2018</b>
<hr/>			
<b>US 2001043450 A1</b>	<b>22-11-2001</b>	<b>CA 2436155 A1</b>	<b>08-08-2002</b>
		<b>EP 1356486 A1</b>	<b>29-10-2003</b>
		<b>JP 2004525592 A</b>	<b>19-08-2004</b>
		<b>KR 20030084915 A</b>	<b>01-11-2003</b>
		<b>US 2001043450 A1</b>	<b>22-11-2001</b>
		<b>US 2006171091 A1</b>	<b>03-08-2006</b>
		<b>WO 02061780 A1</b>	<b>08-08-2002</b>
<hr/>			

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- WO 2017093552 A [0008]
- DE 102018109594 [0011]