



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
08.12.2010 Patentblatt 2010/49

(51) Int Cl.:
F02P 19/02^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10003958.5**

(22) Anmeldetag: **15.04.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
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 SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA ME RS

(30) Priorität: **04.06.2009 DE 102009024138**

(71) Anmelder: **BorgWarner BERU Systems GmbH**
71636 Ludwigsburg (DE)

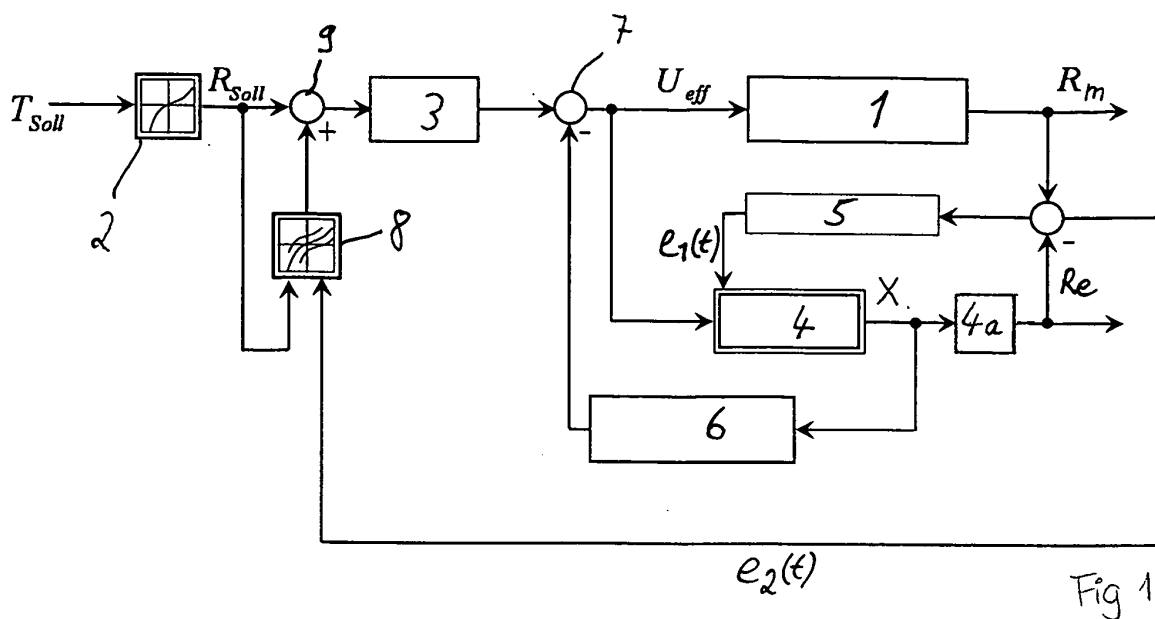
(72) Erfinder: **Demirdelen, Ismet**
76139 Karlsruhe (DE)

(74) Vertreter: **Mommer, Niels**
Twelmeier Mommer & Partner
Westliche Karl-Friedrich-Strasse 56-68
75172 Pforzheim (DE)

(54) **Verfahren zur Regelung der Temperatur einer Glühkerze**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der Temperatur einer Glühkerze (1), wobei aus einer Solltemperatur (T_{Soll}) ein Sollwert (R_{Soll}) einer temperaturabhängigen elektrischen Größe ermittelt wird, und eine durch Pulsweitenmodulation erzeugte Effektivspannung (U_{eff}) an die Glühkerze (1) angelegt und als Stellgröße verwendet wird. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass mit einem mathematischen Modell (4) ein erwarteter Wert (R_e) der elektrischen Größe berechnet wird, die elektrische Größe gemessen wird, durch Auswertung

des berechneten Wertes (R_e) ein erstes Fehlersignal $e_1(t)$ erzeugt wird, als Eingangsgröße des mathematischen Modells (4) ein aus dem Wert der Effektivspannung (U_{eff}) und dem Fehlersignal ($e_1(t)$) berechneter Wert verwendet wird, wobei das mathematische Modell (4) aus der Eingangsgröße eine Ausgangsgröße (X) berechnet, die den erwarteten Wert (R_e) der elektrischen Größe vorgibt, mit der Ausgangsgröße (X) des mathematischen Modells (4) ein korrigierter Wert für die Effektivspannung (U_{eff}) berechnet und die Effektivspannung (U_{eff}) auf den korrigierten Wert geändert wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der Temperatur einer Glühkerze, wobei aus einer Solltemperatur ein Sollwert einer temperaturabhängigen elektrischen Größe ermittelt und eine durch Pulsweitenmodulation erzeugte Effektivspannung als Stellgröße verwendet wird.

[0002] Bei Verfahren zur Regelung oder Steuerung der Temperatur einer Glühkerze wird als Sollwert in der Regel der elektrische Widerstand oder, was gleichbedeutend ist, die elektrische Leitfähigkeit verwendet. Prinzipiell können anstelle des elektrischen Widerstands oder der elektrischen Leitfähigkeit aber auch andere temperaturabhängige elektrische Größen, beispielsweise die Induktivität, verwendet werden.

[0003] Aufgabe der Erfindung ist es, einen Weg aufzuzeigen, wie sich die Temperatur einer Glühkerze bei laufendem Motor schnell auf einen Sollwert regeln lässt.

[0004] Die vorstehend genannte Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

[0005] Bei einem erfindungsgemäßen Regelungsverfahren wird nicht wie bei herkömmlichen PID-Regelungsverfahren ein Sollwert einer temperaturabhängigen elektrischen Größe mit einem Istwert verglichen und die Effektivspannung in Abhängigkeit von der momentanen und gegebenenfalls einer vorhergehenden Abweichung geändert. Stattdessen wird bei einem erfindungsgemäßen Verfahren ein mathematisches Modell der Glühkerze verwendet, mit dem ein erwarteter Wert der elektrischen Größe berechnet wird. Dieses Modell ist mit der die Glühkerze enthaltenden Regelstrecke rückgekoppelt, d. h. eine Änderung der Stellgröße wird zum Erreichen der gewünschten Solltemperatur bzw. des gewünschten Sollwertes in Abhängigkeit von dem Ergebnis eines Vergleichs auf der Grundlage der Ausgangsgröße des Modells und des Sollwerts vorgenommen. Die für eine Regelung erforderliche Rückführung erfolgt also über den Ausgang des mathematischen Modells, an dem die von dem Modell gelieferte Ausgangsgröße bereitgestellt wird.

[0006] Durch Auswertung des berechneten Wertes, bevorzugt durch Vergleich mit dem gemessenen Wert, wird ein Fehlersignal erzeugt, aus dem zusammen mit dem Wert der Effektivspannung für das mathematische Modell eine Eingangsgröße berechnet wird. Aus dieser Eingangsgröße berechnet das mathematische Modell eine Ausgangsgröße, die den erwarteten Wert der elektrischen Größe vorgibt.

[0007] Dabei kann die Ausgangsgröße des Modells unmittelbar der erwartete Wert der elektrischen Größe sein oder diesen lediglich vorgeben, so dass der erwartete Wert durch einen weiteren Rechenschritt aus der Ausgangsgröße ermittelt wird, beispielsweise durch eine Multiplikation mit einem konstanten Faktor. Dementsprechend kann der auf der Grundlage der Ausgangsgröße

und des Sollwerts vorzunehmende Vergleich durchgeführt werden, indem aus dem Sollwert und der Ausgangsgröße berechnete Größen, beispielsweise Spannungswerte, verglichen werden oder indem der Sollwert unmittelbar mit dem erwarteten Wert verglichen wird.

[0008] Mit dem Fehlersignal werden eventuelle Modellierungsfehler korrigiert. Ohne externe Einflüsse, d. h. Störungen, stimmt der berechnete Wert deshalb nach einer Zeitspanne, deren Dauer von der Präzision des mathematischen Modells abhängt, schließlich mit dem gemessenen Wert überein. Treten Störungen der Kerzentemperatur auf, führt dies zu einer Abweichung der berechneten Größe von der gemessenen Größe. Da die Eingangsgröße des mathematischen Modells sowohl von dem berechneten als auch von dem gemessenen Wert, beispielsweise der Differenz von gemessenem und berechnetem Wert, abhängt, folgt das mathematische Modell auch dann der Glühkerze, d. h. der berechnete Wert nähert sich auch bei Auftreten von Störungen dem gemessenen Wert an.

[0009] Durch ein erfindungsgemäßes Regelungsverfahren können Störungen der Kerzentemperatur wesentlich schneller korrigiert werden als dies mit herkömmlichen Regelungsverfahren möglich ist. Bei herkömmlichen PID-Verfahren hängt die Änderung der Stellgröße nämlich nicht nur von der momentanen Abweichung zwischen Istwert und Sollwert, sondern auch von vorhergehenden Abweichungen (I- bzw. D-Anteil) ab. Störungen haben jedoch mit vorhergehenden Abweichungen in der Regel nichts zutun, so dass die Berücksichtigung vorhergehender Abweichungen bei der Behandlung von Störungen oft nicht hilft. Andererseits lassen sich auch mit einer reinen Proportionalregelung keine guten Ergebnisse erzielen, da die charakteristischen Eigenschaften eines Systems dabei nur schlecht erfasst werden können. Ein erfindungsgemäßes Regelungsverfahren ermöglicht dagegen im störungsfreien Fall ebenso wie beim Auftreten von Störungen eine effiziente und schnelle Temperaturregelung.

[0010] Das mathematische Modell, mit dem ein erwarteter Wert der elektrischen Größe berechnet wird, kann beispielsweise als eine lineare Differenzialgleichung formuliert werden. Im einfachsten Fall enthält das mathematische Modell nur zwei Parameter, die für eine gegebene Glühkerze und deren Einbaumgebung charakteristisch sind. Mit der ersten Konstante wird der derzeitige Wert der zu berechnenden Größe gewichtet, mit einer zweiten Konstante kann die Stellgröße, also die Effektivspannung gewichtet werden.

[0011] Bevorzugt wird bei einem erfindungsgemäßen Verfahren als temperaturabhängige elektrische Größe der elektrische Widerstand oder - was gleichbedeutend ist - die elektrische Leitfähigkeit verwendet. Dabei kann der elektrische Widerstand beziehungsweise die elektrische Leitfähigkeit der Glühkerze einschließlich Zuleitungen verwendet werden. Selbstverständlich kann aber auch der elektrische Widerstand beziehungsweise die Leitfähigkeit der Glühkerze ohne Beiträge von Zuleitungen

gen berücksichtigt werden. Alternativ oder zusätzlich kann als temperaturabhängige elektrische Größe beispielsweise auch die Induktivität verwendet werden.

[0012] Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass durch Auswertung des berechneten Wertes ein zweites Fehlersignal erzeugt wird, das zur Korrektur des Sollwerts der elektrischen Größe, beispielsweise des Sollwiderstands, verwendet wird. Auf diese Weise lässt sich der Einfluss von Störungen, die bei laufendem Motor durch den Fahrbetrieb hervorgerufen werden, noch besser behandeln. Indem nämlich zu dem Sollwert eine Korrektur addiert wird, kann eine Störung besonders wirksam kompensiert und die gewünschte Solltemperatur besonders schnell erreicht werden. Führt die Störung beispielsweise zu einer zusätzlichen Erwärmung der Glühkerze, also einer Temperaturerhöhung, kann die gewünschte Solltemperatur schneller erreicht werden, indem bei der Umsetzung des Sollwertes in einen Wert der Effektivspannung von einem etwas kleineren Sollwert ausgegangen wird. Auf diese Weise kann der zusätzliche Energieeintrag einer Störung durch eine geringere Heizleistung ausgeglichen werden. Die Korrektur des Sollwertes kann beispielsweise mit einem Kennfeld ermittelt werden, aus dem unter Berücksichtigung des zweiten Fehlersignals und der Solltemperatur bzw. eines aus der Solltemperatur bestimmten Sollwerts eine Auswahl vorgenommen wird. Mit dem zweiten Fehlersignal wird also eine zweite Rückführung vorgenommen.

[0013] Diese zweite Rückführung führt dazu, dass bei dem Verfahren an sich zwei Regelkreise vorhanden sind, die jeweils eine die Glühkerze enthaltende Regelstrecke enthalten. Ein erster Regelkreis entsteht durch die Rückführung des Ausgangs des mathematischen Modells. Ein zweiter Regelkreis durch die Rückführung des zweiten Fehlersignals.

[0014] Das zweite Fehlersignal kann durch einen Vergleich des berechneten Werts mit dem gemessenen Wert erzeugt werden, beispielsweise durch Differenzbildung, so dass das zweite Fehlersignal der Differenz zwischen den beiden berechneten Werten proportional ist.

[0015] Möglich ist es aber auch, das zweite Fehlersignal zu ermitteln, indem ein weiteres mathematisches Modell der Glühkerze verwendet wird, wobei als Eingangsgröße des weiteren mathematischen Modells der Wert der an der Glühkerze anliegenden Effektivspannung verwendet wird und das zweite Fehlersignal durch Vergleich der Ausgangsgrößen der beiden Modelle erzeugt wird. Bei dieser Vorgehensweise hängt also die Eingangsgröße des ersten Modells sowohl von der Effektivspannung als auch von dem gemessenen Wert ab, während bei dem zweiten Modell die Eingangsgröße nur von der Effektivspannung abhängt. Bevorzugt sind die beiden mathematischen Modelle identisch, führen also an einer Eingangsgröße dieselben Rechenoperationen durch.

[0016] Die beschriebene Verwendung von zwei mathematischen Modellen hat überraschenderweise den

Vorteil, dass Modellierungsfehler einen kleineren Einfluss haben. Dies hat den Vorteil, dass die Qualität der Regelung weniger stark durch geänderte Bedingungen, beispielsweise Verwendung einer gegebenen Glühkerze in einem anderen Motor oder eine Änderung des Glühkerzentyps selbst, beeinflusst wird. Der mitunter erhebliche Aufwand, beispielsweise durch entsprechende Versuche, geeignete Parameter für das mathematische Modell des beschriebenen Verfahrens zu ermitteln, lässt sich deshalb reduzieren.

[0017] Neben dem vorstehend beschriebenen Verfahren betrifft die vorliegende Erfindung ferner ein Glühkerzensteuergerät, das im Betrieb ein erfindungsgemäßes Verfahren durchführt. Ein derartiges Glühkerzensteuergerät kann beispielsweise mit einem Speicher und einer Steuereinheit, beispielsweise einem Mikroprozessor, realisiert werden, wobei in dem Speicher ein Programm gespeichert ist, das im Betrieb das erfindungsgemäße Verfahren durchführt. Die Hardwarekomponenten eines solchen Glühkerzensteuergeräts können identisch mit der Hardware handelsüblich erhältlicher Glühkerzensteuergeräte sein.

[0018] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden an Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen erläutert. Gleiche und einander

[0019] Entsprechende Elemente sind dabei mit übereinstimmenden Bezugszeichen versehen. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Regelungsverfahrens; und

Figur 2 ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Regelungsverfahrens.

[0020] In Figur 1 ist schematisch der Ablauf eines Verfahrens zur Regelung der Temperatur einer Glühkerze 1 dargestellt. Bei dem dargestellten Regelungsverfahren wird eine durch Pulsweitenmodulation aus einer Bordnetzspannung eines Fahrzeugs erzeugte Effektivspannung U_{eff} als Stellgröße verwendet. Als Regelgröße wird bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel der elektrische Widerstand R_e der Glühkerze 1 verwendet, wobei für das Regelungsverfahren prinzipiell auch irgendeine andere temperaturabhängige elektrische Größe oder ein Vektor mit mehreren Größen verwendet werden kann.

[0021] Bei dem im Figur 1 dargestellten Regelungsverfahren wird in einem ersten Schritt aus einer vorgegebenen Solltemperatur T_{Soll} ein Sollwert R_{Soll} des elektrischen Widerstands der Glühkerze ermittelt, beispielsweise mittels eines Kennfelds 2. Aus dem Sollwert R_{Soll} wird dann ein Wert für die Effektivspannung U_{eff} ermittelt, die an die Glühkerze 1 angelegt wird. Die Umsetzung des Sollwerts R_{Soll} in einen Wert für die Effektivspannung U_{eff} kann beispielsweise mittels eines Vorfilters 3 oder einer Kennlinie vorgenommen werden.

[0022] Mit einem mathematischen Modell 4 wird aus

der an die Glühkerze 1 angelegten Effektivspannung U_{eff} ein erwarteter Wert R_e des elektrischen Widerstands berechnet. Das mathematische Modell 4 kann als Ausgangsgröße unmittelbar den erwarteten Wert liefern. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel liefert das Modell 4 jedoch eine Ausgangsgröße X , aus der in einem weiteren Schritt 4a der erwartete Wert R_e der elektrischen Größe berechnet wird, bevorzugt durch Multiplikation mit einer Konstanten.

[0023] Durch Auswertung des berechneten Wertes R_e wird in einem Verfahrensschritt 5 ein erstes Fehlersignal $e_1(t)$ erzeugt. Dazu wird der berechnete Wert R_e mit einem gemessenen Wert R_m des Widerstands verglichen. Zur Berechnung des ersten Fehlersignals $e_1(t)$ kann beispielsweise von dem gemessenen Widerstandswert R_m der berechnete Widerstandswert R_e subtrahiert werden, wie dies in Fig. 1 durch das Minuszeichen (-) angedeutet ist. Das Ergebnis einer solchen Differenzbildung kann mit einem geeigneten Faktor, der empirisch bestimmt werden kann, gewichtet werden, so dass das erste Fehlersignal $e_1(t)$ der Differenz zwischen dem gemessenen Widerstandswert R_m und dem berechneten Widerstandswert R_e proportional ist.

[0024] Als Eingangsgröße des mathematischen Modells 4 wird ein aus dem Wert der Effektivspannung U_{eff} und dem ersten Fehlersignal $e_1(t)$ berechneter Wert verwendet. Ein derartiges mathematisches Modell 4, dessen Eingangsgröße von einem Vergleich zwischen einem berechneten und einem gemessenen Wert abhängt, wird als Luenberger Beobachter bezeichnet.

[0025] Mit der Ausgangsgröße X des mathematischen Modells 4 und dem Sollwert R_{Soll} wird ein korrigierter Wert für die Effektivspannung U_{eff} berechnet und die Effektivspannung U_{eff} auf den korrigierten Wert geändert. Wenn die Ausgangsgröße X zugleich der erwartete Wert R_e ist, kann die Ausgangsgröße direkt mit dem Sollwert R_{Soll} verglichen werden und die Effektivspannung U_{eff} gemäß dem Ergebnis des Vergleichs geändert werden, beispielsweise proportional zu dem Differenzbetrag. Allgemein gesprochen genügt es, den Ausgang des Modells 4 mit einem Eingang eines Reglers zukoppeln, also eine Rückführung des Modellausgangs vorzunehmen.

[0026] Wenn die Ausgangsgröße X , wie bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel, nicht mit dem erwarteten Wert R_e übereinstimmt, wird zunächst aus der Ausgangsgröße X in einem Verfahrensschritt 6, der als Zustandsregler oder Rückführmatrix bezeichnet werden kann, ein Widerstandswert oder ein Spannungswert berechnet, mit dem der Sollwert R_{Soll} oder eine aus dem Sollwert R_{Soll} ermittelte Größe, nämlich die derzeitige Effektivspannung U_{eff} , verglichen wird. Gemäß dem Resultat dieses Vergleichs wird die Effektivspannung U_{eff} geändert. Bevorzugt wird dabei zu dem momentanen Wert der Effektivspannung (U_{eff}) ein Spannungswert addiert, welcher der Differenz zwischen dem Sollwert R_{Soll} und dem berechneten Wert R_e proportional ist. Der Vergleich und die Änderung der Effektivspannung U_{eff} in Abhängigkeit von der dabei festgestellten Differenz sind

in Figur 1 als Verfahrensschritt 7 dargestellt.

[0027] Durch Auswertung des berechneten Werts R_e wird ein zweites Fehlersignal $e_2(t)$ ermittelt, das zur Korrektur des Sollwerts R_{Soll} verwendet wird. Dazu wird der aus der Solltemperatur T_{Soll} ermittelte Sollwert R_{Soll} zusammen mit dem zweiten Fehlersignal $e_2(t)$ verwendet, um einen angepassten Sollwert zu ermitteln, beispielsweise mittels eines Kennfeldes 8. Bevorzugt wird dabei eine Korrektur des Sollwerts R_{Soll} ermittelt und diese zur Berechnung zu dem Sollwerts R_{Soll} dazuaddiert, wie dies in Figur 1 durch den Verfahrensschritt 9 angedeutet ist. Der korrigierte Sollwert wird anschließend in einen Wert für die Effektivspannung U_{eff} umgesetzt, beispielsweise mittels eines Vorfilters 3 oder einer Kennlinie. Der so ermittelte Wert der Effektivspannung U_{eff} wird gegebenenfalls in dem Verfahrensschritt 7 unter Berücksichtigung der Ausgangsgröße X angepasst.

[0028] Als mathematisches Modell 4 kann eine Differentialgleichung, insbesondere eine lineare Differentialgleichung verwendet werden. Beispielsweise kann als Modell 4 die folgende Rechenvorschrift verwendet werden: $dR/dt = A \cdot R + B \cdot U_{\text{eff}}(t)$. Allgemein kann anstelle des Widerstands R auch eine andere elektrische Größe oder ein Vektor aus mehreren elektrischen Größen als Regelgröße $\underline{x}$ verwendet werden, so dass sich das mathematische Modell allgemeiner in der Form $d\underline{x}/dt = A \cdot \underline{x} + B \cdot \underline{u}(t)$ schreiben lässt, wobei $\underline{u}$ die Stellgröße ist.

[0029] Die Berechnung eines Spannungswertes aus der Ausgangsgröße X des Modells 4 kann beispielsweise durch Multiplikation mit einer Konstante ermittelt werden, deren Wert durch Ausprobieren bestimmt werden kann.

[0030] Das zweite Fehlersignal $e_2(t)$ wird bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ähnlich wie das erste Fehlersignal $e_1(t)$ durch Vergleich des gemessenen Werts mit dem berechneten Wert ermittelt, beispielsweise durch Differenzbildung und Multiplikation der Differenz mit einem Gewichtungsfaktor.

[0031] Das erfindungsgemäße Regelungsverfahren beinhaltet an sich zwei Regelkreise. Ein erster Regelkreis enthält die Glühkerze 1 und das Modell 4, bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel enthält dieser erste Regelkreis die Glühkerze 1, den Verfahrensschritt 5, das Modell 4 sowie die Verfahrensschritte 6 und 7. Ein zweiter Regelkreis enthält die Glühkerze 1 und die Rückführung des zweiten Fehlersignals.

[0032] Figur 2 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zur Regelung der Temperatur einer Glühkerze 1. Dieses Verfahren unterscheidet sich von dem vorstehenden anhand von Figur 1 erläuterten Verfahren in erster Linie dadurch, dass aus dem Wert der an der Glühkerze 1 anliegenden Effektivspannung U_{eff} mit einem weiteren mathematischen Modell 10 der Glühkerze 1 eine Ausgangsgröße X_2 berechnet wird. Die Rechenvorschriften der beiden Modelle 4, 10 können dabei identisch sein. Allerdings wird bei dem zweiten Modell 10 als Eingangsgröße unmittelbar die an der Glühkerze anliegende Effektivspannung U_{eff} verwendet, während bei dem ersten Modell die Eingangsgröße aus dem er-

sten Fehlersignal $e_1(t)$ und der Effektivspannung U_{eff} berechnet wird.

[0033] Das zweite Fehlersignal $e_2(t)$ wird bei dem in Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel durch Vergleich der Ausgangsgrößen X , X_2 der beiden Modelle 4, 10 ermittelt, beispielsweise durch Differenzbildung, wie dies in Figur 2 angedeutet ist. Der Differenzbetrag kann zur Berechnung des zweiten Fehlersignals $e_2(t)$ mit einem konstanten Faktor multipliziert werden. Das zweite Fehlersignal $e_2(t)$ ist deshalb bei dem zweiten Ausführungsbeispiel der Differenz zwischen den beiden Ausgangsgrößen X , X_2 .

Bezugszeichen

[0034]

1	Glühkerze
2	Kennfeld
3	Vorfilter
4	erstes Modell
4a	Verfahrensschritt
5	Verfahrensschritt
6	Verfahrensschritt
7	Verfahrensschritt
8	Kennfeld
9	Verfahrensschritt
10	zweites Modell
U_{eff}	Effektivspannung
T_{Soll}	Solltemperatur
R_{Soll}	Sollwert
R_e	erwarteter Widerstand
R_m	gemessener Widerstand
$e_1(t)$	erstes Fehlersignal
$e_2(t)$	zweites Fehlersignal
X	Ausgangsgröße des ersten Modells
X_2	Ausgangsgröße des zweiten Modells

Patentansprüche

- Verfahren zur Regelung der Temperatur einer Glühkerze (1), wobei aus einer Solltemperatur (T_{Soll}) ein Sollwert (R_{Soll}) einer temperaturabhängigen elektrischen Größe ermittelt wird, und eine durch Pulsweitenmodulation erzeugte Effektivspannung (U_{eff}) an die Glühkerze (1) angelegt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit einem mathematischen Modell (4), das aus einer Eingangsgröße eine an seinem Ausgang bereitgestellte Ausgangsgröße (X) berechnet, ein erwarteter Wert (R_e) der elektrischen Größe berechnet wird, die elektrische Größe gemessen wird, durch Auswertung des berechneten Wertes (R_e) ein erstes Fehlersignal $e_1(t)$ erzeugt wird, als Eingangsgröße des mathematischen Modells (4) ein aus dem Wert der Effektivspannung (U_{eff}) und dem Fehlersignal ($e_1(t)$) berechneter Wert verwendet wird, wobei das mathematische Modell (4) aus der Eingangsgröße eine Ausgangsgröße (X) berechnet, die den erwarteten Wert (R_e) der elektrischen Größe vorgibt, und mit der Ausgangsgröße (X) des mathematischen Modells (4) ein korrigierter Wert für die Effektivspannung (U_{eff}) berechnet und die Effektivspannung (U_{eff}) auf den korrigierten Wert geändert wird.
- Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die temperaturabhängige elektrische Größe der elektrische Widerstand ist.
- Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste Fehlersignal ($e_1(t)$) durch einen Vergleich des berechneten Wertes (R_e) mit dem gemessenen Wert (R_m) erzeugt wird.
- Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausgangsgröße (X) dem erwarteten Wert (R_e) der elektrischen Größe proportional ist.
- Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Berechnung des korrigierten Werts für die Effektivspannung (U_{eff}) ein aus der Ausgangsgröße (X) berechneter Wert mit dem Sollwert (R_{Soll}) oder einer aus dem Sollwert ermittelten Größe verglichen und die Effektivspannung (U_{eff}) um so stärker geändert wird desto größer eine bei dem Vergleich festgestellte Differenz ist..
- Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der korrigierte Wert für die Effektivspannung (U_{eff}) berechnet wird, indem zu dem momentanen Wert der Effektivspannung (U_{eff}) ein Spannungswert addiert wird, welcher der Differenz zwischen dem Sollwert (R_{Soll}) und dem

berechneten Wert (R_e) proportional ist.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch Auswertung des berechneten Werts (R_e) ein zweites Fehlersignal ($e_2(t)$) erzeugt wird, das zur Korrektur des Sollwerts (R_{Soll}) verwendet wird. 5
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zweite Fehlersignal ($e_2(t)$) durch einen Vergleich des berechneten Werts (R_e) mit dem gemessenen Wert (R_m) erzeugt wird. 10
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zweite Fehlersignal ($e_2(t)$) der Differenz zwischen dem berechneten Wert (R_e) und dem gemessenen Wert (R_m) proportional ist. 15
10. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein weiteres mathematisches Modell (10) der Glühkerze (1) verwendet wird, wobei als Eingangsgröße des weiteren mathematischen Modells (10) der Wert der an der Glühkerze (1) anliegenden Effektivspannung (U_{eff}) verwendet wird und das zweite Fehlersignal durch Vergleich der Ausgangsgrößen (X , X_2) der beiden Modelle (4, 10) erzeugt wird. 20 25
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zweite Fehlersignal ($e_2(t)$) der Differenz zwischen den beiden Ausgangsgrößen (X , X_2) proportional ist. 30
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden mathematischen Modelle (4, 10) identisch sind. 35
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus dem zweiten Fehlersignal ($e_2(t)$) und dem Sollwert (R_{Soll}) mittels eines Kennfeldes eine Korrektur des Sollwerts (R_{Soll}) ermittelt wird. 40
14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste Fehlersignal ($e_1(t)$) zur Berechnung der Eingangsgröße additiv mit dem Wert der Effektivspannung (U_{eff}) verknüpft wird. 45
15. Glühkerzensteuergerät, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Glühkerzensteuergerät im Betrieb ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchführt. 50

55

