



(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2006 014 352 B3 2007.05.03

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 014 352.3**

(22) Anmeldetag: 28.03.2006

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **03.05.2007**

(51) Int Cl.⁸: **B60R 16/03** (2006.01)

B60R 16/023 (2006.01)

G05B 11/26 (2006.01)

G05B 11/42 (2006.01)

G05F 1/575 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

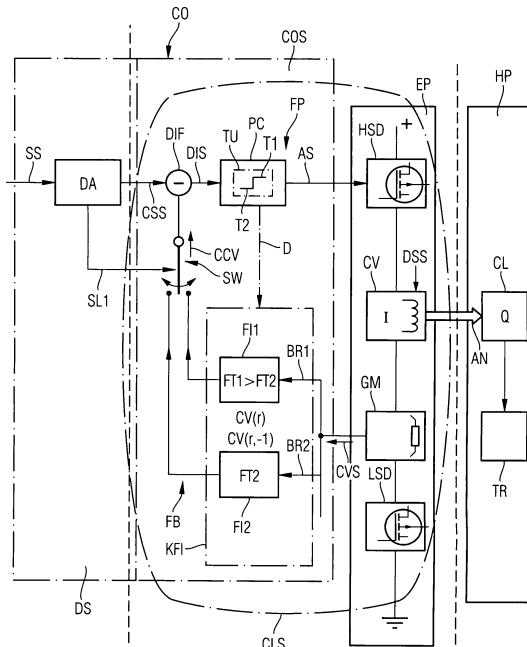
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

(72) Erfinder:

Aigner, Christian, 84137 Vilshiburg, DE; Lehner, Oliver, 93176 Beratzhausen, DE; Vogel, Mike, 93049 Regensburg, DE

(54) Bezeichnung: **Steuergerät zur Bordnetzspannungswelligkeit-robusten Regelung des elektrischen Stroms eines Regelmagnetventils sowie zugehöriges Verfahren**

(57) Zusammenfassung: Bei einem Kraftfahrzeug-Steuergerät (CO) mit einem digitalen Regelkreis (CLS) zur Bordnetzwelligkeit-robusten Regelung des elektrischen Stroms (I) eines Regelmagnetventils (CV) für eine Kraftfahrzeug-Hydraulikvorrichtung (HP) bei gleichzeitig verbessertem Dynamikverhalten auf Sollwertsprünge (ST) des Sollwertstroms (SS) als Führungsgröße des Regelkreises (CLS) ist im Rückkoppelzweig (FB) des digitalen Regelkreises (CLS) mindestens ein adaptives Korrekturfilter (KFI) vorgesehen, dessen Filterzeit (FT1, FT2) aufgrund der Pegeländerung ($\Delta S1$) des Sollwertstroms (SS) dynamisch einstellbar ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Kraftfahrzeug-Steuergerät mit einem digitalen Regelkreis zur Bordnetzwelligkeit-robusten Regelung des elektrischen Stroms eines Regelmagnetventils für eine Kraftfahrzeug-Hydraulikvorrichtung bei gleichzeitig verbessertem Dynamikverhalten auf Sollwertsprünge des Sollwertstroms als Führunggröße des Regelkreises.

Stand der Technik

[0002] Bei der DE 196 44 611 C1 wird zur Regelung eines durch einen Verbraucher fließenden Stroms ein Steller mit der Stellgröße eines Reglers beaufschlagt, die abhängig von einer Regelabweichung zwischen einem Sollwert und einem Istwert vorgebbar ist. Dabei wird eine Größe, die das Übertragungsverhalten des Reglers bestimmt und wenigstens eine Aufschaltgröße zur Beeinflussung der Stellgröße vorgeben.

[0003] Zum Beispiel bei Automatikgetrieben in Kraftfahrzeugen werden als Hydraulikvorrichtungen diverse Kupplungen und/oder Bremsen zur Gangauswahl sowie zur Realisierung von Schaltübergängen hydraulisch betätigt. Insbesondere kommen in Kraftfahrzeugen hydraulisch betätigtes Kupplungen und/oder Bremsen zum Koppeln oder Festhalten von Wellen zum Einsatz. Die hydraulische Betätigung erfolgt dabei in der Weise, dass der Durchfluss und damit der Hydraulikdruck des Hydraulikmediums in diesen Kupplungen und Bremsen durch sogenannte Regelmagnetventile mit zugeordneten digitalen Regelkreisen eingestellt werden. Der Durchlass des jeweiligen Regelmagnetventils ist vom elektrischen Spulenstrom, der durch das Ventil fließt, abhängig und wird durch einen Stromregler eingeregelt. Dazu ist im Rückkoppelzweig des jeweiligen Regelkreises ein Messglied bzw. ein Sensor vorgesehen, mit dessen Hilfe der Ist-Strom durch das Regelmagnetventil ermittelt und dem Eingang des digitalen Reglers, insbesondere PID-Reglers, zugeführt wird. Aufgrund des vorbekannten Kennlinienfeldes des Regelmagnetventils lässt sich vom gemessenen elektrischen Strom durch das Regelmagnetventil auf den Hydraulikdruck des Hydraulikmediums schließen.

[0004] In der Praxis kann die Bordnetzspannung bzw. Versorgungsspannung des jeweiligen Kraftfahrzeugs instabil sein. Insbesondere kann sie durch verschiedene Faktoren beeinflusst sogar bis zu einigen Volt schwanken. Diese Schwankungen der Bordnetz-Versorgungsspannung können sich auch auf den elektrischen Strom übertragen, der durch das jeweilige Regelmagnetventil fließt, so dass es zu einer Beaufschlagung der Regelgröße dessen Regelkreises mit Störungen kommt. Insbesondere wenn die Störungen periodisch sind, kann es bei ungünstigen Frequenzen der Störungen (Resonanzfrequenzen) zu einem unerwünschten Schwingen oder gar Aufschwingen des Ist-Stroms, d.h. der ausgangsseitigen Regelgröße des Stromreglers des Regelkreises kommen. Dem könnte durch ein langsames Filter, d.h. ein Filter mit großer Filterzeit, im Rückkoppelzweig des digitalen Regelkreises entgegengewirkt werden. Dies hätte allerdings zur Folge, dass auch der digitale Regler selbst träge bzw. langsamer wird. Ein trüges Verhalten des Reglers ist allerdings in der Praxis unerwünscht. Denn zum Beispiel bei Automatikgetrieben ist insbesondere während Schaltungen, die mit einem sprungartigen Sollwertstromverlauf einhergehen, ein schnelles Ansprechen des Reglers gefordert.

Aufgabenstellung

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, zur verbesserten Einstellung des elektrischen Stroms eines Regelmagnetventils für eine Kraftfahrzeug-Hydraulikvorrichtung ein Kraftfahrzeug-Steuergerät mit einem digitalen bzw. diskreten Regelkreis bereitzustellen, der gegenüber Bordnetzspannungs-Welligkeiten weitgehend robust ist und gleichzeitig ein ausreichend hohes Dynamikverhalten zum schnellen Ausregeln von gewollten Sprüngen im Sollwertstromverlauf des Regelmagnetventils aufweist.

[0006] Diese Aufgabe wird bei einem Kraftfahrzeug-Steuergerät der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass im Rückkoppelzweig des digitalen Regelkreises mindestens ein adaptives Korrekturfilter vorgesehen ist, dessen Filterzeit aufgrund der Pegeländerung des Sollwertstroms dynamisch einstellbar ist.

[0007] Dadurch, dass die Filterzeit des mindestens einen Filters im Rückkoppelzweig des digitalen bzw. diskreten Regelkreises für das Regelmagnetventil in Abhängigkeit von der Pegeldynamik bzw. Pegeländerung des gewünschten Sollwertstroms für das Regelmagnetventil schaltbar ist, kann der Regelkreis zum einen auf einen gewünschten Sprung des Sollwertstroms mit hoher Dynamik, d.h. schnellem Ausregelverhalten reagieren. Zum anderen bleibt er im statischen Zustand, d.h. bei geringen Pegeländerungen des Sollwertstroms, weitgehend stabil bzw. robust gegenüber Bordnetzspannungs-Welligkeiten.

[0008] Das erfindungsgemäße Steuergerät eignet sich insbesondere als Getriebesteuerung für Automatikge-

triebe mit hohen Komfortansprüchen an die Ausföhrgeschwindigkeit von gewünschten Schaltvorgängen bei gleichzeitig hohen Ansprüchen an die Unempfindlichkeit gegenüber hohen Bordnetzschwankungen.

[0009] Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Reduzierung des Einflusses von Bordnetzspannungs-Welligkeiten auf die Regelung des elektrischen Stroms eines Regelmagnetventils im digitalen Regelkreis eines Steuergeräts für eine Kraftfahrzeug-Hydraulikvorrichtung bei gleichzeitig verbessertem Dynamikverhalten auf Sollwertsprünge des Sollwertstroms als Führungsgröße des Regelkreises, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass im Rückkoppelzweig des digitalen Regelkreises die Filterzeit mindestens eines adaptiven Korrekturfilters aufgrund der Pegeländerung des Sollwertstroms dynamisch eingestellt wird.

[0010] Sonstige Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen wiedergegeben.

Ausführungsbeispiel

[0011] Die Erfindung und ihre Weiterbildungen werden nachfolgend anhand von Zeichnungen näher erläutert.

[0012] Es zeigen:

[0013] [Fig. 1](#) in schematischer Darstellung eine Getriebesteuerung als Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Kraftfahrzeug-Steuergeräts mit einem digitalen Regelkreis zur Einstellung des elektrischen Spulenstroms des Regelmagnetventils einer Kraftfahrzeug-Hydraulikvorrichtung,

[0014] [Fig. 2](#) anhand eines beispielhaften Stromdiagramms die Regelverhältnisse im digitalem Regelkreis der Getriebesteuerung von [Fig. 1](#), wenn in dessen Rückkoppelzweig ein schnelles und ein langsames Korrekturfilter dynamisch in Abhängigkeit der Pegeländerung des Sollwertsstroms für das Regelmagnetventil geschaltet werden, und

[0015] [Fig. 3](#) anhand eines weiteren beispielhaften Stromdiagramms die Regelverhältnisse im digitalen Regelkreis der Getriebesteuerung von [Fig. 1](#), wenn in dessen Rückkoppelzweig ein Korrekturfilter in Abhängigkeit vom D-Anteil der ausgegebenen Stellgröße des digitalen Reglers im Regelkreis geschaltet wird.

[0016] Elemente mit gleicher Funktion und Wirkungsweise sind in den [Fig. 1](#) mit 3 jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0017] [Fig. 1](#) zeigt in schematischer Darstellung beispielhaft eine Getriebesteuerung CO als Steuergerät, die der Einstellung des Volumenstroms Q eines Hydraulikmediums, insbesondere einer Hydraulikflüssigkeit wie zum Beispiel Hydrauliköl, in einer Kraftfahrzeug-Hydraulikvorrichtung HP mittels eines elektrischen Stellglieds bzw. Aktuators EP dient. Die Getriebesteuerung CO ist vorzugsweise als Automatikgetriebesteuergerät für ein Automatikgetriebe ausgebildet. Das elektrische Stellglied bzw. der Aktuator EP weist als Hauptkomponente ein Regelmagnetventil CV zwischen seiner hochpotentialigen Treiberstufe HSD und seiner niederpotentialigen Treiberstufe LSD auf. Durch Einstellung des Spulenstroms I des Regelmagnetventils CV taucht dessen Anker AN in einem Stellzylinder verschieden tief in den Volumenstrom Q der Hydraulikvorrichtung HP ein. Der zeichnerischen Einfachheit halber ist der Anker AN in der [Fig. 1](#) lediglich durch einen Pfeil angedeutet. Die Hydraulikvorrichtung HP ist in der Praxis durch mindestens eine Kupplung CL und/oder durch mindestens eine Hydraulikbremse gebildet. Die Kupplung CL bzw. die Hydraulikbremse steht mit einem Getriebe TR des Kraftfahrzeugs in Wirkverbindung. Dem Spulenstrom I des Regelmagnetventils CV ist über dessen Kennlinienfeld ein bestimmter Hydraulikdruck des Volumenstroms Q in der Hydraulikvorrichtung HP zugeordnet.

[0018] Um den Spulenstrom I des Regelmagnetventils CV auf einen bestimmten zeitlichen Sollstromverlauf möglichst präzise und schnell einzuregeln, d.h. äquivalent dazu ausgedrückt einen gewünschten zeitlichen Druckverlauf des Volumenstroms Q in der Hydraulikvorrichtung HP korrespondierend zum Spulenstrom I zu erzeugen, weist die Getriebesteuerung CO einen dynamischen, digitalen Regler PC, insbesondere PID-Regler, im Vorwärtzweig FP ihres digitalen Regelkreises CLS auf. Der Regler CV gibt ein Stellgrößensignal AS über die hochpotentialige Treiberstufe HSD an das Regelmagnetventil CV für die Hydraulikvorrichtung HP aus. Dabei bildet das Regelmagnetventil CV und die Hydraulikvorrichtung HP einen Teil der Regelstrecke des Regelkreises CLS. Weiterer Bestandteil der Regelstrecke ist ein Messglied bzw. ein Sensor GM zur Strommessung des Ist-Stroms CVS des Regelmagnetventils CV. Dieses Messglied sitzt im eingangseitigen Teilabschnitt des Rückkoppelzweigs FB des digitalen Regelkreises CLS und hängt an der niederpotentialigen Treiberstufe LSD. Das Messglied GM ist hier im Ausführungsbeispiel durch ein Galvanometer gebildet, das die jeweilig vorliegende Spannung am Regelmagnetventil CV über einen bestimmten, elektrischen Widerstand als Maß für

den Ist-Strom CVS des Regelmagnetventils CV ermittelt. Es rechnet die gemessenen Spannungswerte nach entsprechender A/D-Wandlung in zugehörige, diskrete Ist-Stromwerte CVS mit Hilfe des ohmschen Gesetzes um. Ggf. kann die Spannungsversorgung des Regelmagnetventils auch mit umgekehrten Potentialen erfolgen.

[0019] Die gemessenen, diskreten Ist-Stromwerte CVS werden dann vom Messglied GM an ein adaptives Korrekturfilter KFI im Rückkoppelzweig FB weitergeleitet, dessen Filterzeit dynamisch einstellbar ist. Das Korrekturfilter KFI ist in der

[0020] [Fig. 1](#) durch eine strichpunktierter Umrahmung symbolisiert. Es ist durch ein erstes, langsameres Filter FI1 mit einer größeren statischen Filterzeit FT1 und ein zweites, schnelleres Filter FI2 mit einer geringeren statischen Filterzeit FT2 gebildet. Es gilt also $FT1 > FT2$. Das erste Filter FI1 sitzt dabei in Rückkoppelrichtung (vom Regelkreisausgang zum Regelkreiseingang betrachtet) in einem ersten Verzweigungsast BR1 des Rückkopelpfads FB. Parallel dazu ist das zweite Filter FI2 in einem zweiten Verzweigungsast BR2 des Rückkopelpfads FB angeordnet.

[0021] Die Filterzeit FT1 bzw. FT2 des jeweiligen Filters wie z.B. FI1 bzw. FI2 wird vorzugsweise durch die Einschwingzeit dessen Sprungantwort repräsentiert. Sie ist insbesondere diejenige Zeitdauer, in der die Sprungantwort des jeweiligen Filters von 0 dB auf einen konstanten Wert K dB ansteigt. Sie kennzeichnet diejenige Zeitdauer des jeweiligen Filters, die dieses benötigt, auf einen Pegelsprung eines Eingangssignals mit einem entsprechenden Pegelsprung am Ausgang zu reagieren. Je größer die Grenzfrequenz des jeweiligen Filters ist, desto kürzer ist seine Einschwingzeit. Allgemein ausgedrückt ist die Flankensteilheit der Sprungantwort des jeweiligen Filters umso geringer, je größer die Anzahl der Verzögerungsglieder in der Filterstruktur des jeweiligen Filters ist. Damit geht eine größere Einschwingzeit einher. Je kleiner die Anzahl der Verzögerungsglieder in der diskreten Filterstruktur ist, desto steiler sind die Flanken der Sprungantwort des jeweiligen digitalen Korrekturfilters und desto kürzer ist dessen Einschwingzeitdauer. Ein Filter mit einer kurzen Einschwingzeit kann schneller als ein Filter mit einer längeren Einschwingzeit auf einen eingangsseitigen Pegelsprung reagieren und diesem folgen.

[0022] Ist das jeweilige Filter beispielsweise als Mittelwertbildner ausgebildet, so wird seine Einschwingzeitdauer durch den Grad seiner Übertragungsfunktion im Frequenzbereich und damit durch die Länge seiner diskreten Impulsantwort bestimmt. Mit anderen Worten ausgedrückt heißt das, dass ein diskretes Filter, das eine diskrete Mittelwertbildung über ein Fenster vorgegebener Breite $n T$ für anstehende Eingangssignale mit der Taktperiode T durchführt, umso langsamer reagiert, je größer die Anzahl n an diskreten Eingangssignalwerten ist, die zur Mittelwertbildung herangezogen werden und insgesamt einen korrigierten diskreten Ausgangswert am Ausgang des Filters ergeben. Umgekehrt weist ein derart Mittelwertbildendes Filter eine umso kleinere Filterzeit auf, je geringer die Anzahl der diskreten Eingangswerte ist, die für die Mittelwertbildung benutzt werden und insgesamt einen gemittelten Ausgangswert generieren. Dies geht mit einer kurzen Einschwingzeit des Filters einher, so dass dieses Filter schneller einem eingangsseitigen Pegelsprung nachfolgen kann.

[0023] Anstelle von Mittelwertbildnern für die verschiedenen Filter können für diese in vorteilhafter Weise PT1 oder PT2-Glieder, d.h. Verzögerungsglieder 1. oder 2. Grades, als einfache Tiefpassfilter verwendet sein. Zweckmäßig können auch sonstige Tiefpassfilter sein.

[0024] Insbesondere wirkt hier im Ausführungsbeispiel das langsamere Filter FI1 als Glättungsfilter für die Regelgröße CVS, die Störungen durch Bordnetzspannungswelligkeiten weitgehend herausfiltert und weitgehend verhindert, dass diese nicht zum Subtrahierglied DIF weitergeleitet werden.

[0025] Mit Hilfe eines Umschaltglieds SW im Rückkoppelzweig FB, das dem adaptiven Korrekturfilter KFI nachgeordnet ist, wird nun entweder der Verzweigungsast BR1 des ersten Filters FI1 oder der Verzweigungsast BR2 des zweiten Filters FI2 in den Rückkoppelzweig FB eingefügt und ist dort für die gemessenen Ist-Stromwerte CVS wirksam, die als Regelgröße des Regelkreises CLS fungieren. Das Umschaltglied SW wird dabei durch eine Analyse-/Steuereinheit DA betätigt. Dazu wertet die Analyse-/Steuereinheit DA die diskreten Sollwertstromwerte SS des Regelkreises CLS, die dessen Vorwärtszweig FP eingangsseitig zugeführt werden, hinsichtlich ihrer Pegeldynamik aus. Die Betätigung der Umschaltvorrichtung SW durch die Analyse-/Steuereinheit DA ist in der [Fig. 1](#) durch einen Steuerpfeil bzw. Wirkpfeil SL1 angedeutet.

[0026] Stellt die Analyse-/Steuereinheit DA beispielsweise fest, dass der Sollwertstrom SS annäherungsweise konstant verläuft, d.h. einen quasi-statischen Verlauf aufweist, so koppelt sie den Verzweigungsast BR mit dem langsam, ersten Filter FI1 mittels des Umschaltglieds SW in den Rückkoppelzweig FB ein. Da dieses erste Filter FI1 mit größerer Filterzeit FT1 träge reagiert, ist es gegenüber Störungen der Regelgröße CVS, die

durch Bordnetzspannungs-Welligkeiten bzw. -Schwankungen hervorgerufen werden, weitgehend unempfindlich und somit robust. Diese werden auf Grund seiner langen Filterzeit und der größeren Anzahl von gemessenen, diskreten Ist-Stromwerten, die bei der gleitenden Mittelwertbildung berücksichtigt werden, weitgehend herausgemittelt. Auf diese Weise stellt das erste Filter FI1 an seinem Ausgang eine korrigierte Regelgröße CCV bereit, die von Störungen durch Bordnetzspannungs-Schwankungen weitgehend bereinigt ist.

[0027] Ermittelt hingegen die Analyse-/Steuereinheit DA, dass der Sollwertstrom SS kurzzeitig eine hohe Pe-
geldynamik aufweist, so schaltet sie mittels des Umschaltglieds SW den Verzweigungsast BR1 des ersten Filters FI1 im Rückkoppelzweig FB aus und fügt anstelle dessen den Verzweigungsast BR2 des zweiten Filters FI2 mit der kürzeren Filterzeit FT2 in den Rückkoppelzweig FB ein. Das Filter FI2 erlaubt aufgrund seiner ge-
ringeren Einschwingzeit, dass die Regelgröße CVS schneller Sprungänderungen des gemessenen Ist-Stroms CVS nachfolgen kann. Denn ein Pegelsprung des Sollwertstroms SS führt ja zu einer größeren Regelabweichung DIS, die der Regler PC in einen Pegelsprung der Stellgröße AS umsetzt. Dies führt zu einer sprungsar-
tigen Erhöhung des elektrischen Spulenstroms I des Regelmagnetventils CV, was wiederum einen Sprung im gemessenen Ist-Strom CVS nach sich zieht. Durch das schnell reagierende Korrekturfilter FI2 ist somit dem Regler PC ermöglicht, schnell einen gewünschten Pegelsprung des Sollwertsstroms SS in einen korrespon-
dierenden Pegelsprung des Ist-Stroms I im Regelmagnetventil CV umzusetzen. Der gesamte Regelkreis CLS hat in diesem Fall eine hohe Dynamik, d.h. ein schnelles Ansprechverhalten auf gewünschte Änderungen des Sollwertstromverlaufs SS.

[0028] Die [Fig. 2](#) veranschaulicht anhand eines Stromdiagramms, wie die dynamische Umschaltung zwi-
schen den beiden Filtern FI1, FI2 mit ihren voneinander verschiedenen Filterzeiten FT1, FT2 in Abhängigkeit von Pegeländerungen des eingangsseitigen Sollwertstroms SS erfolgt. Entlang der Abszisse des Stromdia-
gramms ist die Zeit t , entlang deren Ordinaten sind Stromwerte i aufgetragen. Der zeitliche Verlauf des Soll-
wertstroms SS ist mit Hilfe einer durchgezogenen Linie gekennzeichnet. Er verläuft zunächst im Zeitraum von t_0 bis Zeitpunkt t_x im Wesentlichen mit dem konstanten Wert U_1 . Zum Zeitpunkt t_x springt er um einen Stromän-
derungswert ΔS_1 auf einen neuen, höheren Pegelwert O_1 und behält diesen für eine vorgebbare Zeitspanne bei. Der im wesentlichen konstante Verlauf auf dem Niveau des unteren Sollstromwerts U_1 zwischen dem Zeit-
punkt t_0 bis zum Zeitpunkt t_x ist in der [Fig. 2](#) mit UK, der im wesentlichen konstante Stromverlauf auf dem hö-
heren Pegelniveau O_1 nach dem Zeitpunkt t_x ist dort mit OK bezeichnet. Die Sprungstelle zwischen dem unteren konstanten Sollstromverlauf UK und dem oberen Sollstromverlauf OK ist in der [Fig. 2](#) mit dem Bezugs-
zeichen ST versehen. Die Analyse-/Steuereinheit DA vor dem Subtrahierer DIF am Eingang des Regelkreises CLS beobachtet entsprechend dem Regelungstakt des Regelkreises CLS das Pegelverhalten des Sollwert-
stroms SS. Solange die Analyse-/Steuereinheit DA feststellt, dass Pegeländerungen des Sollwertstroms SS unterhalb einem vorgebbaren Schwellwert ΔL liegen, steuert sie den Umschalter SW im Rückkoppelzweig FB derart, dass das langsamere Korrekturfilter FI1 mit der größeren Filterzeit FT1 aktiv geschaltet ist. Dann kön-
nen Störungen auf der Regelgröße CVS, die von Schwankungen der Bordnetzspannung herrühren, herausge-
filtert, insbesondere herausgemittelt werden, so dass Fehlregelungen des digitalen Reglers PC weitgehend vermieden sind. Die Störungen, mit denen der elektrische Spulenstrom I des Regelmagnetventils CV durch Schwankungen der Bordnetzspannungen beaufschlagt wird, sind in der [Fig. 1](#) durch einen Störpfeil DSS an-
gedeutet. Hier im Ausführungsbeispiel von [Fig. 2](#) ist das langsamere Filter FI1 während des im Wesentlichen konstanten Pegelverlaufs UK im Rückkoppelzweig FB aktiviert. In der [Fig. 2](#) sind die oberen und unteren Pe-
gelschwankungsgrenzen, um die der Sollstromwert U_1 bei einem vorgegebenen Schwellwert ΔL variieren darf, um von der Analyse-/Steuereinheit DA als im Wesentlichen stationär bzw. statisch bewertet zu werden, strich-
punktiert eingezeichnet und mit dem Bezugszeichen ED1 versehen.

[0029] Sobald die Analyse-/Steuereinheit DA ermittelt, dass sich der Sollstrom SS um mehr als den Schwell-
wert ΔL ändert, wie hier zum Zeitpunkt t_x , schaltet sie den Verzweigungsast BR1 mit dem langsameren Filter FI1 im Rückkoppelzweig FB mit Hilfe des Umschaltglieds SW aus und dafür dort den Verzweigungsast BR2 mit dem schnelleren Korrekturfilter FI2 ein. Kommt es zur Sollwertänderung ΔS_1 des Sollwertstroms SS, so schlägt sich dieses in einer korrespondierenden Änderung der Regelgröße CVS nieder. Die Pegeländerung der Regelgröße CVS wird nun durch das schnellere Filter FI2 im Wesentlichen hindurchgelassen und gelangt somit zum Subtrahierglied DIF. Es kommt daraufhin zu einer stärkeren Änderung der Regelabweichung DIS, so dass der digitale Regler PC unmittelbar nach einer Totzeit t_t auf den gewünschten höheren Sollstromwert O_1 ausregeln kann. In der [Fig. 2](#) ist der zeitliche Verlauf des gemessenen Ist-Stroms CVS, der im Regelmag-
netventil CV eingestellt wird, zusätzlich gestrichelt eingezeichnet. Der Regelkreis CLS regelt sich nach einem geringen Überschwingen innerhalb der Zeit $t_e - t_x$ auf den neuen gewünschten Sollstromwert O_1 ein. Ab dem Zeitpunkt t_e ändert sich der Strompegel des Ist-Stroms CVS kaum noch und verläuft im Wesentlichen stabil mit dem gewünschten Sollwertstromverlauf OK. In der Analyse-/Steuereinheit DA wird ab dem Zeitpunkt t_x , zu dem die Pegeländerungen des Sollwertstroms SS den vorgegebenen Schwellwert ΔL überschreiten, ein Zeitneh-

mer bzw. Timer gestartet, der eine Zeitdauer zum Ausregeln des Ist-Stroms CVS auf den gewünschten neuen Sollstromwert O1 festlegt. In der Analyse-/Steuereinheit DA werden für die Änderungen des Sollwertstroms SS ab dem Zeitpunkt t_x des Stromsprungs $\Delta S1$ bis zum Ausregelzeitpunkt t_e trichterförmig zulaufende Bandgrenzen ED2 festgelegt. Solange sich der Sollwertstrom SS innerhalb dieser trichterförmigen Bandgrenzen ED2 bewegt, bleibt das schnellere Filter FI2 aktiviert.

[0030] Ab dem Zeitpunkt t_e , ab dem der Regelkreis CLS auf den neuen Sollstromwert O1 ausgeregelt ist, wird von der Analyse-/Steuereinheit DA analysiert, ob der vorgegebene Schwellwert ΔL durch die Pegeldynamik des Sollwertstrom SS unterschritten wird. Dies ist hier im Ausführungsbeispiel ab dem Zeitpunkt t_e der Fall. Daraufhin aktiviert die Analyse-/Steuereinheit DA mittels des Umschaltglieds SW wieder das langsamere Filter FI1 mit der längeren Filterzeit FT1. Auf diese Weise können ab dem statischen Verhalten des Regelkreises wiederum Störungen der Regelgröße CVS, die durch Schwankungen der Bordnetzspannung bedingt sind, durch das Korrekturfilter FI1 herausgefiltert werden, so dass das Regelverhalten des Regelkreises CLS von diesen Störungen weitgehend unbeeinträchtigt bleibt. Damit werden unerwünschte, unnötige Regelvorgänge durch derartige Störungen weitgehend vermieden. Der Regelkreis CLS stellt somit den Ist-Strom I im Regelmagnetventil stabil auf den gewünschten Sollwertstrom SS ein.

[0031] Ggf. kann es auch zweckmäßig sein, mehr als zwei verschiedene schnelle Filter mit mehreren zugeordneten Schwellwerten als Filterbank vorzusehen. Diese mehreren Korrekturfilter sind vorzugsweise parallel zueinander im Rückkoppelzweig FB angeordnet und werden mit Hilfe eines Mehrfachumschalters dann jeweils aktiv geschaltet, wenn ihr jeweiliger Schwellwert von der ermittelten Pegeländerung des Sollwertstroms überschritten wird.

[0032] Alternativ kann es ggf. auch zweckmäßig sein, anstelle von zwei separaten, statischen Filtern FI1, FI2 lediglich ein einziges Korrekturfilter im Rückkoppelzweig FD vorzusehen, dessen Filterzeit dynamisch in Abhängigkeit von Änderungen des Sollwertstroms SS dynamisch variierbar, insbesondere schrittweise durchstimmbar ist. Insbesondere kann als Steuerparameter für die Filterzeit des einzelnen Korrekturfilters KFI der sogenannte D-Anteil der Stellgröße AS des digitalen Reglers PC herangezogen werden. Dies ist in der [Fig. 1](#) durch einen strichpunktuierten Pfeil D zwischen dem Regler PC und dem adaptiven Korrekturfilter KFI angedeutet. Der D-Anteil D des Stellgrößensignals AS z.B. eines PID-Reglers ermittelt sich vorzugsweise nach folgender Beziehung:

$$D\text{-Anteil } D = C_D (e_{\text{neu}} - e_{\text{alt}}) / \Delta t,$$

wobei C_D ein Koeffizient,

e_{neu} die Regelabweichung im aktuellen Regelzyklus r,

e_{alt} die Regelabweichung im vorherigen Regelzyklus r-1,

Δt die Zeitdauer zwischen vorherigem und aktuellem Regelzyklus ist. Insbesondere ist es dabei zweckmäßig, den ermittelten D-Anteil D nach oben und nach unten zu begrenzen.

[0033] In der [Fig. 1](#) ist im Regler PC ein Begrenzer TU strichpunktuiert angedeutet, der den D-Anteil D auf eine untere und/oder obere Schranke T2, T1 begrenzt.

[0034] Dadurch werden für die Filterzeit des adaptiven Korrekturfilters eine obere und eine untere Schranke festgelegt, d.h. zwischen der oberen und der unteren Schranke kann die Filterzeit variabel eingestellt werden.

[0035] Vorzugsweise wird ein begrenzter D-Anteil F_D nach der Beziehung

$$F_D = (\min(10\text{mA}/\text{msec}, \max(50\text{mA}/\text{ms}, |D|)) \frac{\text{ms}}{50\text{mA}}$$

ermittelt.

[0036] Durch den letzten Faktor

$$\frac{\text{ms}}{50\text{mA}}$$

wird eine Skalierung bzw.

[0037] Normierung des begrenzten D-Anteils F_D auf Werte zwischen 0 und 1 vorgenommen. Das Korrekturfilter KFI ermittelt nun aus diesem D-Anteil FD mit Hilfe der Ist-Stromwerte CVS aus dem vorherigen Regelzyklus.

klus r-1 und dem aktuellen Regelzyklus r eine korrigierte Regelgröße CCV:

$$CCV = F_D \text{ CVS}(r) + (1-FD) \text{ CVS}(r-1),$$

wobei r eine fortlaufende natürliche Zahl ist.

[0038] Je kleiner der differentielle Anteil in Form des modifizierten D-Anteils F_D des Stellgrößensignals AS ist, desto stärker wird der vorherige Ist-Stromwert aus dem letzten Regelzyklus r-1 gewichtet. Je größer der differentielle Anteil F_D ist, desto stärker fällt der Ist-Stromwert CVS(r) des aktuellen Regelzyklus r ins Gewicht und desto weniger wird der vorherige Ist-Stromwert CVS(r-1) aus dem vorherigen Regelzyklus r-1 berücksichtigt. Selbstverständlich ist es auch möglich, bei der Ermittlung des D-Anteils D bzw. des begrenzten D-Anteils FD zur Generierung der korrigierten Regelgröße CCV mehr als zwei Regelzyklen zu berücksichtigen.

[0039] Die [Fig. 3](#) veranschaulicht, wie beim selben Sollwertstromverlauf SS wie in [Fig. 2](#) eine dynamische Änderung der Filterzeit des einzelnen adaptiven Korrekturfilters KFI mit Hilfe des D-Anteils des Stellgrößensignals AS des Reglers PC durchgeführt wird. Der zeitliche Verlauf von Änderungen des D-Anteils D des Stellgrößensignals AS ist in der [Fig. 3](#) strichpunktiert eingezeichnet.

[0040] Zusammenfassend betrachtet ist also mindestens ein Korrekturfilter im Rückkoppelzweig hinsichtlich seiner Filterzeit dynamisch einstellbar. Während den gewünschten Schaltungen bzw. Änderungen des Sollwertstroms wird eine kürzere Filterzeit gewählt, um den Anforderungen an die Dynamik des Reglers gerecht zu werden. Im statischen Zustand, d.h. solange sich der Sollwertstrom innerhalb von eng vorgegebenen Grenzen oder gar nicht ändert, wird die Filterzeit des mindestens einen Korrekturfilters entsprechend groß gewählt, um den Einfluss von Störungen, die auf Schwankungen der Bordnetzspannung zurückzuführen, möglichst aus der Regelgröße herauszufiltern.

[0041] Insbesondere kann es bei der Ausführungsvariante entsprechend den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) zweckmäßig sein, den Stromregler PC in der Vorwärtsstrecke des Regelkreises CLS dadurch zu realisieren, dass der Stromregler PC das Tastverhältnis eines PWM(Pulsweitenmodulierten)-Signals als Stellgröße AS verändert. Dieses taktet seinerseits über den Endstufentreiber HSD (siehe [Fig. 1](#)) die Versorgungsspannung des Regelventils CV und regelt dadurch den Strom I durch das Regelventil CV. Der Strom I wird über einen Messwiderstand des Messsensors GM gemessen und als Ist-Strom, d.h. als Regelgröße CVS über den Rückkoppelzweig FB zum Subtrahierer DIF am Eingang der Vorwärtsstrecke FP des Regelkreises CLS zurückgeführt. Dort wird die Differenz zwischen dem Sollstrom SS und dem Ist-Strom CVS als Regelabweichung DIS ermittelt. Die Regelabweichung DIS wird als Eingangsgröße an den digitalen Regler PC, insbesondere PID Regler, gegeben. Das PWM-Signal der Stellgröße AS hat dabei vorzugsweise eine konstante Frequenz. Falls sich die Summe der Sollstromänderungen innerhalb einer Zeit t, die insbesondere der typischen Einregelzeit des Regelkreises, hier insbesondere in etwa 30ms, entspricht, um weniger als den Schwellwert ΔL ändert, wird der gemessene Ist-Strom CVS mittels eines langsameren bzw. trägeren Filters wie z.B. FI1 in [Fig. 1](#) gefiltert. Der Schwellwert ΔL kann in der Praxis zweckmäßigerweise gleich etwa 25mA gewählt werden. Das träge Filter FI1 bildet hier im Ausführungsbeispiel von [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) vorzugsweise einen gleitenden Mittelwert über 6 PWM-Perioden. Hat sich der Sollstrom innerhalb der Zeit t um mehr als der vorgegebene Schwellwert ΔL geändert, wird das schnellere Filter FI2 aktiviert, um eine große Dynamik des Reglers bewirken zu können. Das schnellere Filter bildet hier im Ausführungsbeispiel von [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) zum Beispiel lediglich den Mittelwert über eine einzelne PWM-Periode.

[0042] Vorteilhaft kann es weiterhin sein, anstatt des Schwellwerts eines einzelnen schnellen Filters mehrere Schwellwerte zu wählen, die mehreren schnellen Filtern zugeordnet sind.

[0043] Darüber hinaus kann es entsprechend der Ausführungsvariante von [Fig. 3](#) insbesondere auch zweckmäßig sein, lediglich ein einzelnes adaptives Korrekturfilter vorzusehen, dessen Filterzeit durch eine Funktion abhängig von Sollwertänderungen des Sollwertstroms dynamisch eingestellt, d.h. variiert wird.

[0044] Vorteilhaft ist durch diese dynamische Einstellung der Filterzeit von ein oder mehreren Korrekturfiltern, dass bei Sollwertsprüngen des Sollwertstroms eine schnelle Sprungantwort des Regelkreises generiert wird und gleichzeitig bei einem stabilen Verhalten des Sollwertstroms etwaige Störungen, die von Bordnetzwelligkeiten herrühren, durch das Umschalten auf mindestens ein Filter mit trägem Filterverhalten herausgefiltert werden können. Der Regelkreis verhält sich dann im Wesentlichen stabil und somit vergleichbar dem Verhalten mit einem dauerhaft trägen, d.h. stationären Filter in seinem Rückkoppelzweig. Hochfrequente Störschwingungen, die dem Regelgrößensignal überlagert sind, werden also weitgehend unterdrückt und gehen nicht mehr

in die Ermittlung der Regelabweichung ein.

Patentansprüche

1. Kraftfahrzeug-Steuergerät (CO) mit einem digitalen Regelkreis (CLS) zur Bordnetzwelligkeit-robusten Regelung des elektrischen Stroms (I) eines Regelmagnetventils (CV) für eine Kraftfahrzeug-Hydraulikvorrichtung (HP) bei gleichzeitig verbessertem Dynamikverhalten auf Sollwertsprünge (ST) des Sollwertstroms (SS) als Führungsgröße des Regelkreises (CLS), **dadurch gekennzeichnet**, dass im Rückkoppelzweig (FB) des digitalen Regelkreises (CLS) mindestens ein adaptives Korrekturfilter (KFI) vorgesehen ist, dessen Filterzeit (FT1, FT2) aufgrund der Pegeländerung ($\Delta S1$) des Sollwertstroms (SS) dynamisch einstellbar ist.
2. Kraftfahrzeug-Steuergerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Filterzeit (FT1) bei im Wesentlichen konstantem Pegel (UK, OK) oder bei kleineren Pegeländerungen (ΔL) des Sollwertstroms (SS) zur Reduzierung von Störungen (DSS) des elektrischen Stroms (I) aufgrund von Bordnetzspannungs-Welligkeiten länger als bei größeren Pegeländerungen ($\Delta S1$) des Sollwertstroms (SS) eingestellt ist.
3. Kraftfahrzeug-Steuergerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das adaptive Korrekturfilter (KFI) durch mindestens ein erstes stationäres Filter (FI1) und mindestens ein zweites stationäres Filter (FI2) gebildet ist, und dass die Filterzeit (FT1) des ersten Filters (FI1) größer als die Filterzeit (FT2) des zweiten Filters (FI2) gewählt ist, so dass das erste Filter (FI1) langsamer als das zweite Filter (FI2) ist.
4. Kraftfahrzeug-Steuergerät nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Subtrahierglied (DIF) des Regelkreises (CLS), das der Ermittlung dessen Regelabweichung (DIS) dient, zur Beobachtung der Pegeldynamik des Sollwertstroms (SS) eine Analyse-/Steuereinheit (DA) vorgesehen ist, die mittels eines Umschaltglieds (SW) lediglich das erste Filter (FI1) mit der größeren Filterzeit (FT1) bei einer geringeren Pegeldynamik ($SS < \Delta L$) des Sollwertstroms (SS) und lediglich das zweite Filter (FI2) mit der geringeren Filterzeit (FT2) bei einer größeren Pegeldynamik ($SS > \Delta L$) des Sollwertstroms (SS) im Rückkoppelzweig (FB) aktiv schaltet.
5. Kraftfahrzeug-Steuergerät nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Filter (FI1) mit der größeren Filterzeit (FT1) dann im Rückkoppelzweig (FB) wirksam geschaltet ist, wenn die Pegeländerungen des Sollwertstroms (SS) eine vorgebbare Schwelle ($SS < \Delta L$) unterschreiten, und dass das zweite Filter (FI2) mit der geringeren Filterzeit (FT2) im Rückkoppelzweig (FB) wirksam ist, wenn die Pegeländerungen des Sollwertstroms (SS) den vorgegebenen Schwellwert ($SS > \Delta L$) überschreiten.
6. Kraftfahrzeug-Steuergerät nach einem der Ansprüche 3 mit 5, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Filter (FI1) sowie das zweite Filter (FI2) jeweils als diskreter, zeitlicher Mittelwertbildner für den gemessenen Ist-Strom des Regelmagnetventils (CV), der die Regelgröße (CVS) des Regelkreises CLS bildet, ausgebildet ist.
7. Kraftfahrzeug-Steuergerät nach einem der Ansprüche 3 mit 5, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Filter (FI1) und das zweite Filter (FI2) jeweils als ein Tiefpassfilter, insbesondere als ein PT1- oder PT2-Glied, ausgebildet ist.
8. Kraftfahrzeug-Steuergerät nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Filterzeit des adaptiven Korrekturfilters (KFI) durch den D-Anteil (D) des Stellsignals (AS) des digitalen Reglers (PC) des Regelkreises (CLS) steuerbar ist.
9. Kraftfahrzeug-Steuergerät nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass im Regler (PC) ein Begrenzer (TU) vorgesehen ist, der den D-Anteil (D) auf eine untere und/oder obere Schwelle (T2, T1) begrenzt.
10. Kraftfahrzeug-Steuergerät nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass das adaptive Korrekturfilter (KFI) im Rückkoppelzweig (FB) derart ausgebildet ist, dass es mit Hilfe des D-Anteils (D) eine korrigierte Regelgröße (CCV) ermittelt, die mindestens einen Ist-Stromwert (CV(r)) des aktuellen Regelzyklus und zusätzlich mindestens einen Ist-Stromwert (CV(r-1)) mindestens eines vorausgehenden Regelzyklus umso stärker berücksichtigt, desto kleiner der D-Anteil (D) ist.
11. Kraftfahrzeug-Steuergerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kraftfahrzeug-Hydraulikvorrichtung (HP) durch mindestens eine Kupplung und/oder mindestens eine Hydraulikbremse gebildet ist.

12. Kraftfahrzeug-Steuergerät nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Regler (PC) des Regelkreises (CLS) als PID-Regler ausgebildet ist.

13. Verfahren zur Reduzierung des Einflusses von Bordnetzspannungs-Welligkeiten auf die Regelung des elektrischen Stroms (I) eines Regelmagnetventils (CV) im digitalen Regelkreis (CLS) eines Steuergeräts (CO) für eine Kraftfahrzeug-Hydraulikvorrichtung (HP) bei gleichzeitig verbessertem Dynamikverhalten auf Sollwert-sprünge (ST) des Sollwertstroms (SS) als Führungsgröße des Regelkreises (CLS), insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Rückkoppelzweig (FB) des digitalen Regelkreises (CLS) die Filterzeit (FT1, FT2) mindestens eines adaptiven Korrekturfilters (KFI) aufgrund der Pe-geländerung ($\Delta S1$) des Sollwertstroms (SS) dynamisch eingestellt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass im Rückkoppelzweig (FB) des digitalen Regelkreises (CLS) die Filterzeit mindestens eines Filters (KFI) derart dynamisch durch die Pegeldynamik des Sollwertsstroms (SS) des Reglers (PC) des Regelkreises (CLS) eingestellt wird, dass die Filterzeit (FT1) des Filters (KFI) zur Reduzierung von Störungen des elektrischen Stroms (I) aufgrund von Bordnetzspannungs-Welligkeiten bei einer geringeren Pegeldynamik ($SS < \Delta L$) des eingangsseitig zugeführten Sollwertsstroms (SS) größer als bei einer größeren Pegeldynamik ($SS > \Delta L$) des Sollwertsstroms (SS) gewählt wird, und dass bei einer höheren Pegelwertdynamik ($SS > \Delta L$) des Sollwertstroms (SS) die Filterzeit (FT2) zur Er-höhung der Schnelligkeit des Ausregelverhaltens des Reglers (PC) geringer als bei einer geringeren Pegeldy-namik des Sollwertstroms (SS) gewählt wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

FIG 1

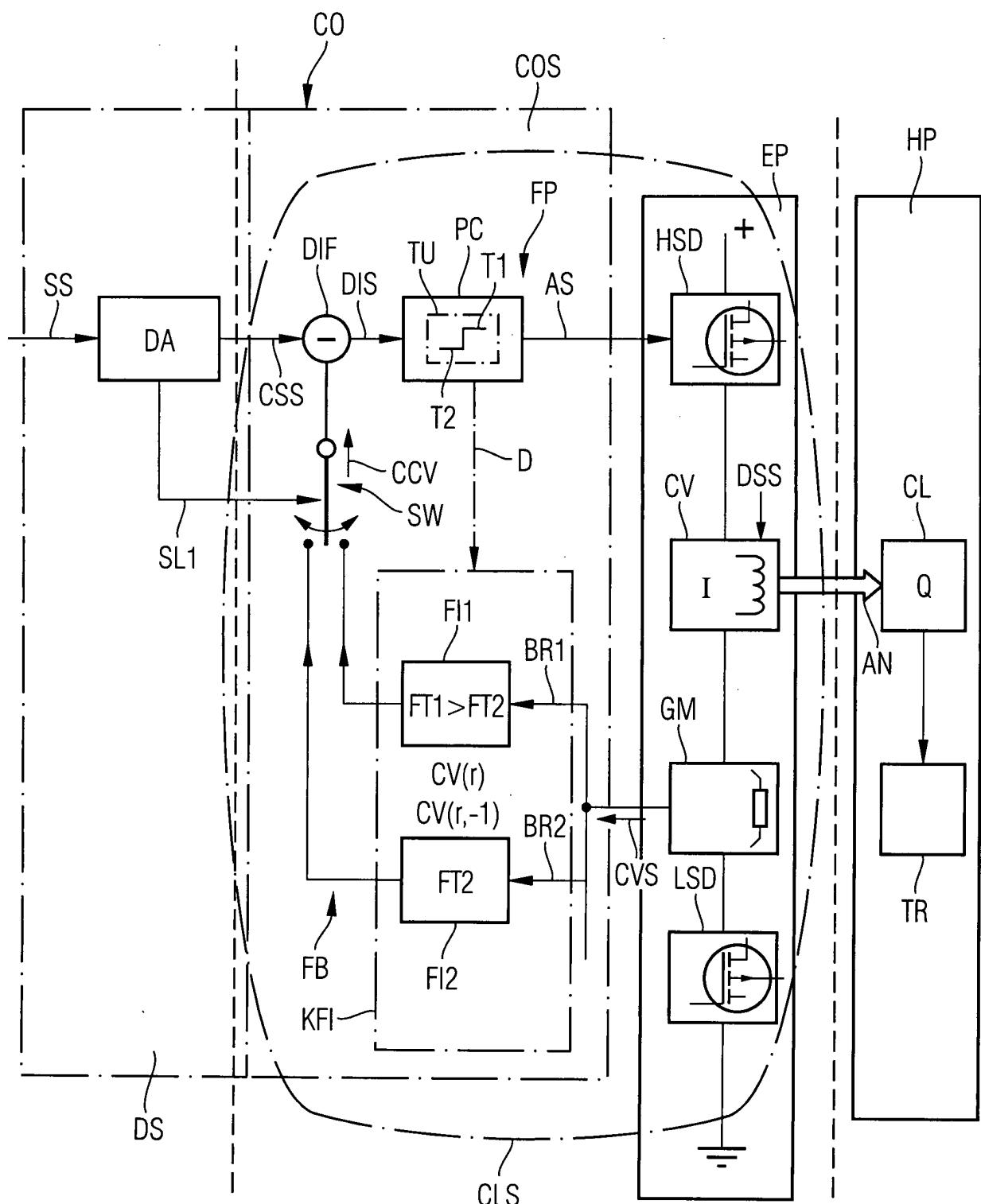


FIG 2

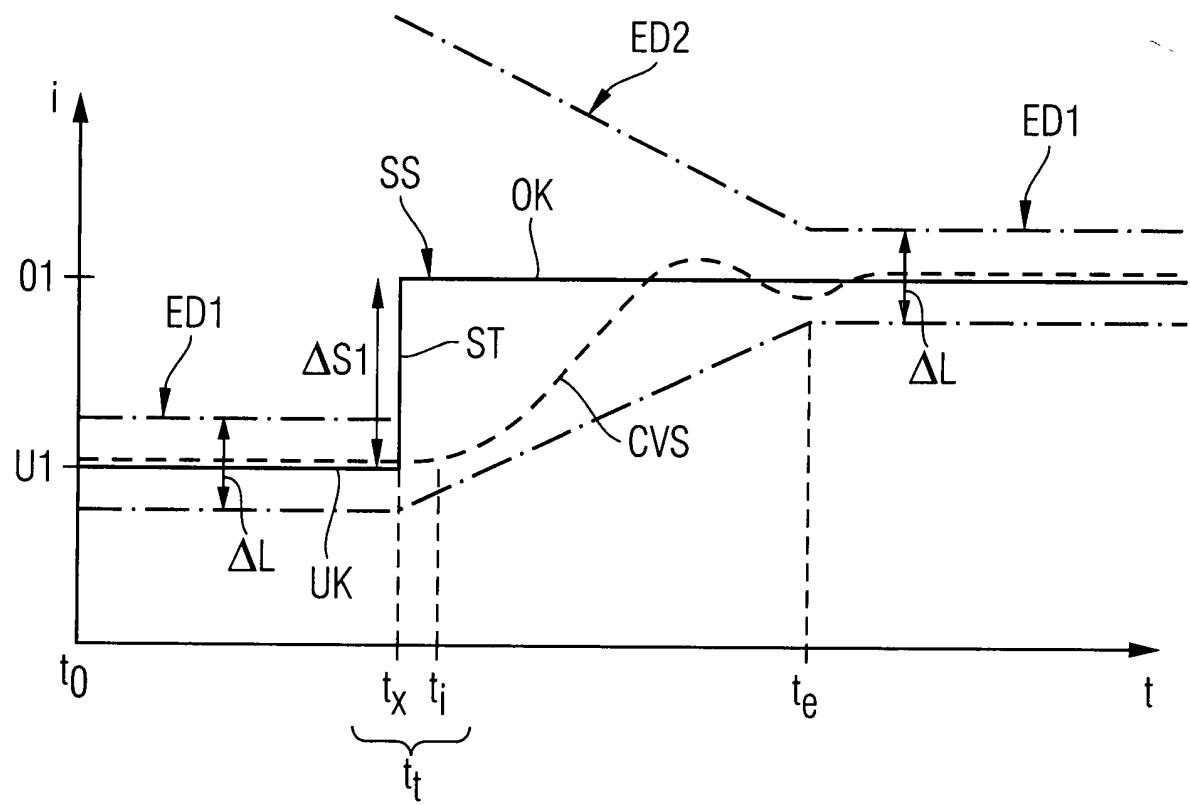


FIG 3

