

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
9. September 2011 (09.09.2011)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/107067 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
F16D 48/06 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2011/000140

(22) Internationales Anmeldedatum:
14. Februar 2011 (14.02.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2010 010 138.9 4. März 2010 (04.03.2010) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SCHAEFFLER TECHNOLOGIES GMBH & CO. KG** [DE/DE]; Industriestrasse 1-3, 91074 Herzogenaurach (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **REIBOLD, Ekkehard** [DE/DE]; Geigerstrasse 5 a, 77933 Lahr (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SCHAEFFLER TECHNOLOGIES GMBH & CO. KG**; c/o LuK GmbH & Co. KG, AT/BHL-G, Industriestrasse 3, 77815 Bühl (DE).

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

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

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

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING A FRICTION CLUTCH AND DEVICE THEREFOR

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR STEUERUNG EINER REIBUNGSKUPPLUNG UND VORRICHTUNG HIERZU

(57) Abstract: The invention relates to a method and device for controlling a friction clutch arranged between an internal combustion engine and a gearbox by means of a clutch actuator that axially actuates an actuating element of the friction clutch along an actuation travel associated by means of a clutch characteristic curve with a target torque that can be transmitted by means of the friction clutch. In order to improve the quality of the control of the friction clutch and prevent incorrect torques from being applied, a hysteresis that occurs between the target torque and the actual torque actually transmitted by means of the friction clutch along the actuation travel is compensated in that a target value for controlling the clutch actuator is corrected by means of a correction variable.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Steuerung einer zwischen einer Brennkraftmaschine und einem Getriebe angeordneten Reibungskupplung mittels eines ein Betätigungsglied der Reibungskupplung entlang eines über eine Kupplungskennlinie einem über die Reibungskupplung übertragbaren Sollmoment zugeordneten Betätigungswegs axial betätigenden Kupplungsaktors. Zur Verbesserung der Qualität der Steuerung der Reibungskupplung und zur Vermeidung einer Applikation von Fehlmomenten wird vorgeschlagen, eine zwischen dem Sollmoment und dem über die Reibungskupplung tatsächlich übertragenen Istmoment entlang des Betätigungswegs auftretende Hysterese zu kompensieren, indem ein zur Steuerung des Kupplungsaktors bestimmter Sollwert mittels einer Korrekturgröße korrigiert wird.



WO 2011/107067 A2

Verfahren zur Steuerung einer Reibungskupplung und Vorrichtung hierzu

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Steuerung einer zwischen einer Brennkraftmaschine und einem Getriebe angeordneten Reibungskupplung mittels eines ein Betätigungsglied der Reibungskupplung entlang eines über eine Kupplungskennlinie einem über die Reibungskupplung übertragbaren Sollmoment zugeordneten Betätigungswegs axial betätigenden Kupplungsaktors.

Verfahren und Vorrichtungen zur automatisierten Steuerung von Reibungskupplungen sind bekannt. Hierbei wird die Reibungskupplung von einem Kupplungsaktor geöffnet und geschlossen, wobei ein Betätigungsglied, beispielsweise eine Tellerfeder oder ein anderes Hebelelement, von dem Kupplungsaktor entlang eines Betätigungswegs axial verlagert wird und damit ein Reibeingriff zwischen der Reibungskupplung und Reibbelägen einer Kupplungsscheibe gesteuert wird. Die Verlagerung des Betätigungsglieds erfolgt beispielsweise mittels einer Vorsteuerung des Betätigungsglieds durch den Kupplungsaktor auf einen einem gewünschten über die Reibungskupplung übertragbaren Sollmoment entsprechenden Sollwert, der von dem Kupplungsaktor in einen entsprechenden Betätigungsweg umgesetzt wird. Dabei erfolgt die Umsetzung des beispielsweise aus Daten des vom Fahrer gewünschten Fahrerwunschlmoments und Betriebsdaten der Brennkraftmaschine gebildeten Sollmoments in den Sollwert und damit letztendlich in den Betätigungsweg unter Einsatz einer Kupplungskennlinie. Diese liefert den Zusammenhang zwischen dem Sollmoment und dem Sollwert als adaptierbaren Reibwert und berücksichtigt die sich kurzzeitigen und langzeitigen Änderungen der Reibungskupplung, beispielsweise den Tastpunkt, bei dem die Reibungskupplung beginnt, Moment zu übertragen und das maximal übertragbare Moment bei geschlossener Reibungskupplung. Nach Vorsteuerung des Betätigungsweges wird dieser durch einen Soll-/Ist-Vergleich des Sollwerts mit einem eingelesenen Istwert mittels eines sogenannten Lage-reglers geregelt. Die Regelung bei geschlossener Reibungskupplung kann dabei so erfolgen, dass diese nicht komplett geschlossen wird sondern beispielsweise das von der Brennkraftmaschine zur Verfügung gestellte Moment einschließlich eines gegebenenfalls vorgesehenen Sicherheitszuschlags überträgt. Hierbei wird ein geringer Schlupf der Reibungskupplung zugelassen, um beispielsweise Drehmomentspitzen der Brennkraftmaschine zu dämpfen.

- 2 -

Dabei hat sich herausgestellt, dass unerwünschte Haftungs Zustände der Reibungskupplung beziehungsweise Drehzahlerhöhungen der Brennkraftmaschine auftreten können, die von dem Lageregler zwar kompensiert werden, aber auf Fehlabschätzungen des Verfahrens zur Steuerung der Reibungskupplung herrühren müssen.

Aufgabe der Erfindung ist daher die vorteilhafte Weiterbildung von Verfahren zur automatisierten Steuerung von Reibungskupplungen und Vorrichtungen hierzu.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Steuerung einer zwischen einer Brennkraftmaschine und einem Getriebe angeordneten Reibungskupplung mittels eines ein Betätigungsglied der Reibungskupplung entlang eines über eine Kupplungskennlinie einem über die Reibungskupplung übertragbaren Sollmoment zugeordneten Betätigungswegs axial betätigenden Kupplungsaktors gelöst, wobei eine zwischen dem Sollmoment und dem über die Reibungskupplung tatsächlich übertragenen Istmoment entlang des Betätigungswegs auftretende Hysterese kompensiert wird, indem ein zur Steuerung des Kupplungsaktors bestimmter Sollwert mittels einer Korrekturgröße korrigiert wird. Der Sollwert wird dabei auf den Kupplungsaktor angewendet, beispielsweise durch Vorgabe eines Betätigungsweges, indem einem elektrisch betriebenen Kupplungsaktor ein entsprechendes Strom- oder Spannungssignal aufgebracht wird.

Es hat sich gezeigt, dass durch Kompensation einer in dem Kupplungsaktor und in der Reibungskupplung vorhandenen Hysterese unerwünschte Haftungs Zustände beziehungsweise Drehzahlerhöhungen der Brennkraftmaschine zumindest teilweise vermieden werden können. Eine Hysterese äußert sich durch eine zeitlich verzögerte Einstellung des vorgegebenen Sollwerts wie Betätigungswegs, so dass beispielsweise eine Verminderung des eingestellten Sollmoments von bis zu 15% eintreten kann.

Dabei ist bei einer Steuerung des Sollmoments zu kleineren Sollwerten durch deren zeitliche Verzögerung das über die Reibungskupplung übertragene Moment größer oder im besten Fall gleich dem eingestellten Sollmoment. Eine fehlende Kompensation der Hysterese führt dabei infolge einer Überanpressung zu einem Haften der Reibungskupplung. Kurzzeitig ist ein derartiger Zustand nicht vom Lageregler regelbar, da eine derartige Momentenänderung keine beobachtbare Änderung der erfassbaren Systemgrößen bewirkt. Hierdurch können Triebstrangschwingungen mit damit verbundenen akustischen Einflüssen und Komforteinbußen erzeugt

werden, die durch eine entsprechende Kompensation der Hysterese vermieden oder vermindert werden können.

Bei einer Steuerung der Sollwerte zu größeren Sollmomenten mittels der Kompensation der Hysterese kann gegenüber dem Sollmoment ein verringertes und zu Drehzahlerhöhungen führendes, über die Reibungskupplung übertragenes Moment erhöht werden. Im Weiteren wird beispielsweise durch die Anwendung einer Hysteresekompensation die Zuverlässigkeit der Schlupfregelung am Arbeitspunkt der Reibungskupplung verbessert, indem die geringe Modulationsbreite des Sollmoments durch die kompensierten Sollwertvorgaben erhöht und damit die Gesamtverstärkung des Lagereglers geringer gehalten wird, so dass die Schlupfregelung insgesamt stabiler und unempfindlicher gegen Rauschen ausgelegt werden kann.

Es hat sich als vorteilhaft gezeigt, wenn die Korrekturgröße in einem mit relevanten Größen der Reibungskupplung und des Kupplungsaktors betriebenen Hysteresemodell ermittelt wird. Hierbei können beispielsweise das anzuwendende Sollmoment, die Geschwindigkeit einer Sollwertänderung, beispielsweise einer Änderung des Betätigungswegs, ein einzustellender Differenzweg, der in der Kupplungskennlinie hinterlegte adaptierte Reibwert, die aktuelle axiale Lage des Betätigungsglieds und/oder dergleichen zur Nachbildung und Modellierung einer sich auf den Sollwert auswirkenden Hysterese in dem Kupplungsaktor und/oder der Reibungskupplung vorgesehen werden. Hierbei beaufschlagt die beispielsweise in dem Hysteresemodell ermittelte Korrekturgröße in Schließrichtung mit einem positiven Offset und in Öffnungsrichtung der Reibungskupplung mit einem negativen Offset, so dass in Schließrichtung das Sollmoment erhöht und in Öffnungsrichtung verringert wird.

Es hat sich gezeigt, dass der Kupplungsaktor eine wegabhängige Hysterese, die beispielsweise über den gesamten Betätigungsweg konstant ist, und die Reibungskupplung eine kraftbeziehungsweise momentenabhängige Hysterese aufweisen können, die mit der Betätigungskraft beziehungsweise mit dem übertragenen Moment zunimmt. In vorteilhafter Weise ist daher die Korrekturgröße abhängig von einem Betätigungsweg zweistufig ausgebildet. Der Betrag der Korrekturgröße kann ausgehend von einem nicht betätigten, an einem Nullpunkt befindlichen Kupplungsaktor mit zunehmendem Betätigungsweg langsam und dann schneller ansteigen, wobei zwei Geraden unterschiedlicher Steigung aneinander gelegt sein können und ein parabolischer, kubischer oder in ähnlicher Weise über den Betätigungsweg ansteigender Verlauf der Korrekturgröße vorgesehen werden kann.

- 4 -

Als besonders vorteilhaft hat sich erwiesen, wenn die Korrekturgröße entlang eines ersten Wegabschnitts des Betätigungsweges bis zu einem Tastpunkt der Reibungskupplung konstant und danach entlang eines zweiten Wegabschnitts des Betätigungsweges ansteigt. Hierdurch kann die im Wesentlichen über den Betätigungsweg konstante Hysterese des Kupplungsaktors kompensiert werden. Ist der Tastpunkt erreicht, wird der Hysterese des Kupplungsaktors die Hysterese der ab dem Tastpunkt Moment übertragenden Reibungskupplung überlagert, die sich mit zunehmendem übertragenem Moment erhöht, so dass diese entsprechend mit einer über den entsprechenden Wegabschnitt beziehungsweise einem diesen zuordenbaren übertragenen Moment, dem angelegten Sollwert und/oder dem zugrundeliegenden Sollmoment ansteigenden Kompensationskurve der Korrekturgröße kompensiert wird. Die Form dieser Kompensationskurve kann eine Gerade, eine Parabel, kubisch, ein an das Hystereseverhalten angepasste und vom Kupplungsverhalten abgeleitete Freiform oder dergleichen sein.

Die Größe der Korrekturgröße gegenüber dem nicht hysteresekompensierten Sollwert kann begrenzt werden, um den Einfluss der Korrekturgröße zu beschränken. Die Beschränkung kann absolut oder relativ und abhängig von einer ermittelten Gesamthysterese erfolgen. Eine Beschränkung der Korrekturgröße kann beispielsweise auf die Hälfte der maximal auftretenden Hysterese erfolgen.

Die Kompensation der Hysterese erfolgt in vorteilhafter Weise durch Überlagerung eines für ein ideales Verfahren ohne Hysterese ausgelegten Sollwerts mit der Korrekturgröße. Dabei werden bevorzugt in Schließrichtung und in Öffnungsrichtung entsprechende Hysteresemodelle angewendet, die beispielsweise entsprechende Hysterese Kennlinien bilden. Für die Schließ- und Öffnungsrichtung können die zugrundegelegten Kennlinien der Korrekturgrößen betragsmäßig gleich sein. Alternativ können für die Öffnungsrichtung und Schließrichtung bei unterschiedlichem Hystereseverhalten unterschiedliche Modelle der Kompensation angewendet werden. Derartige Teilkennlinien gehen für den Betätigungsweg in Schließrichtung und für den Betätigungsweg in Öffnungsrichtung der Reibungskupplung von einem Nullpunkt, beispielsweise dem momentanen Arbeitspunkt der Reibungskupplung aus und sind zu diesem gegenläufig ausgebildet. Dies bedeutet, dass bei einer Richtungsumkehr des Betätigungsweges die Korrekturgröße beginnend bei dem Nullpunkt in gegenläufige Richtung angewendet wird.

- 5 -

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform können in dem Verfahren zur Hysteresekompensation zwei Hysteresenäste für den Öffnungs- und Schließvorgang der Reibungskupplung vorgesehen sein, die jeweils einer von dem Korrekturwert abhängigen Kupplungskennlinie entsprechen und mit jeweils einem vorgegebenen Toleranzbereich versehen sind. Durch die Ausbildung von Toleranzbereichen wird ein Wechseln der Hysteresenäste bei kleinen Wegänderungen des Kupplungsaktors vermieden, so dass bei einer Richtungsumkehr des Kupplungsaktors erst in die andere Kupplungskennlinie gewechselt wird, wenn der Toleranzbereich der einen Kupplungskennlinie durch den mittels der Korrekturgröße korrigierte Sollwert überschritten wird. Bei der Auslegung der Hysteresenäste in Form von zwei auseinanderfallenden Kupplungskennlinien wird ein Tastpunkt der Reibungskupplung auf der Kupplungskennlinie beziehungsweise dem Hysteresenast für die Schließrichtung der Reibungskupplung festgelegt.

Gemäß dem erfinderischen Gedanken kann die Korrekturgröße an ein sich zeitlich änderndes Verhalten des Kupplungsaktors und/oder der Reibungskupplung adaptiert werden. Dabei kann die Korrekturgröße beziehungsweise deren Kennlinie auf einen sich über die Zeit ändernden Arbeitspunkt der Reibungskupplung bei vorzugsweise gleich bleibendem übertragbarem Moment angepasst werden. Beispielsweise kann ein mit einer Korrekturgröße versehener Sollwert mit dem maximal übertragbaren Moment bei vorzugsweise bereits adaptierter Kupplungskennlinie adaptiert werden. Es hat sich als vorteilhaft gezeigt, zuerst eine Adaption der Korrekturgröße beziehungsweise deren Kennlinie in einem Wegbereich, bei der lediglich die Hysterese des Kupplungsaktors wirksam ist, vorzunehmen. Die bei großen Betätigungswegen zusätzlich wirksame Hysterese der Reibungskupplung kann unter Berücksichtigung der adaptierten Hysterese des Kupplungsaktors die Hysterese bei maximalem übertragbarem Moment beziehungsweise maximalem Betätigungsweg adaptieren, indem beispielsweise die dort aus dem anstehenden kompensierten Sollwert im Vergleich mit dem Sollmoment unter Berücksichtigung der adaptierten Kupplungskennlinie beinhaltete Korrekturgröße korrigiert wird.

Die Aufgabe wird in Ergänzung zu dem zuvor beschriebenen Verfahren durch eine Vorrichtung zur Betätigung einer zwischen einer Brennkraftmaschine und einem Getriebe wirksam angeordneten Reibungskupplung mit einem Kupplungsaktor, der ein Betätigungsglied der Reibungskupplung entlang eines Betätigungswegs axial verlagert, und einem Steuergerät zur Steuerung des Kupplungsaktors zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens gelöst.

-- Die Erfindung wird anhand der in den Figuren 1 bis 11 dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Dabei zeigen:

- Figur 1 ein Diagramm eines Hysterese Modells mit Kompensation der Hysterese des Kupplungsaktors und der Reibungskupplung,
- Figur 2 ein Diagramm zweier Hystereseäste mit Toleranzbereichen,
- Figur 3 ein Diagramm eines zweistufigen Hysterese Modells,
- Figur 4 ein Flussdiagramm des Hysterese Modells der Figur 3,
- Figur 5 ein Blockmodell einer Hysterese Korrektur,
- Figur 6 ein Diagramm zur Erläuterung einer Hysterese Kompensation,
- Figur 7 eine Darstellung einer Kupplungskennlinie mit Reibwertadaption und Hysterese-schleifen,
- Figur 8 eine statistische Verteilung von Reibwerten einer Reibwertadaption,
- Figur 9 ein Flussdiagramm einer Hysterese adaption,
- Figur 10 ein Flussdiagramm mit in eine Kupplungssteuerung eingebundener Hysterese-kompensation
- und
- Figur 11 ein Flussdiagramm zur Übersicht der Hysterese Kompensation.

Figur 1 zeigt das Diagramm 1 mit der maximalen Korrekturgröße K über den Betätigungsweg s in eine Betätigungswegrichtung. Die Hysterese Kennlinie 2 ist zweiteilig aus einem über den Betätigungsweg s konstanten Anteil 3, der der Hysterese des Kupplungsaktors zuzuordnen ist, und einen beim Tastpunkt 5 der Reibungskupplung, bei dem diese beginnt Moment zu übertragen, einsetzenden mit dem Betätigungsweg zunehmenden Anteil 4 gebildet. Gegenüber dem unkompensierten, ein über die Reibungskupplung zu übertragendes Sollmoment repräsentierenden Sollwert zur Steuerung des Kupplungsaktors wird auf einen beispielsweise vorgegebenen Betätigungsweg s_1 die Korrekturgröße K_1 als Offset zuschlagen. Die für den Anteil 3 vorgegebene Korrekturgröße K_0 ist adaptierbar. Dies bedeutet, dass sie einer Veränderung nachgeführt werden kann. Eine Adaption erfolgt bevorzugt bei kleineren Betätigungswegen s unterhalb des Tastpunktes 5. Für die Adaption kommt eine Auswertung von erfassten oder ermittelten Größen in Frage, die auch zur Adaption des Reibwerts der Kupplungskennlinie verwendet werden, beispielsweise ermittelte Momentenfehler. Alternativ oder zusätzlich kann aus einem Triebstrangbeobachter eine Drehzahl vorausgesagt werden, deren Abweichung von der tatsächlich ermittelten Drehzahl der Brennkraftmaschine oder Getriebeeingangswelle zur Adaption der Korrekturgröße K_0 dient. Ist die Adaption des Anteils 3 durch Korrektur des Ordinatenabschnitts erfolgt, kann der Anteil 4 adaptiert werden, indem beispielsweise die maximale Kor-

- 7 -

rekturegröße K_{Max} bei maximalem Betätigungsweg s_{max} und vollständig geschlossener Reibungskupplung mit dem maximalen Sollwert verglichen wird.

Figur 2 zeigt das Diagramm 6 zur Erläuterung der Hysteresekompensation aus Sicht der Darstellung des über die Reibungskupplung übertragenen Moments M über den Betätigungsweg s . Hierbei wird jeweils eine Kupplungskennlinie 7, 8 mit Toleranzbereichen 9, 10 versehen, beide Kupplungskennlinien 7, 8 sind gegeneinander um einen vorgegebenen Hysteresebereich (K aus Figur 1) entlang des Betätigungswegs s versetzt. Die Kupplungskennlinie 8 ist für die Schließrichtung der Reibungskupplung vorgegeben und gibt für jeden Momentenwert einen entsprechenden, dem Toleranzbereich 10 entsprechenden Betätigungswegbereich vor. In derselben Weise ist die Kupplungskennlinie 7 in Öffnungsrichtung vorgesehen. Es versteht sich, dass je nach Ausbildung der Reibungskupplung als durch den Kupplungsaktor zwangsweise geschlossene oder zwangsweise geöffnete Reibungskupplung die Kennlinien 7, 8 wechseln.

Durch die Ausbildung der Toleranzbereiche 9, 10 werden die die Teilhystereseschleifen begrenzenden Hysteresenäste der Kupplungskennlinien 7, 8 verbreitert, so dass zur Ausbildung der Adaption mehrere Datenpunkte zur Verfügung stehen. Die Adaption der Korrekturgrößen erfolgt in dem gezeigten Ausführungsbeispiel unter Berücksichtigung der Toleranzbereiche 9, 10.

Die Tastpunktadaption des Tastpunktes erfolgt in vorteilhafter Weise auf die für den Schließvorgang der Reibungskupplung vorgesehene Kupplungskennlinie 8, so dass der Tastpunkt ohne zusätzliche Hysterese beim Schließen der Reibungskupplung angefahren werden kann, wobei ein Anleges Schlag zwischen „Kupplung offen“ und „Kupplung überträgt Moment“ vermieden werden soll. Vielmehr soll ein weicher Übergang angestrebt werden. Da eine wegabhängige Hysterese des Kupplungsaktors bei der ersten Inbetriebnahme des Kupplungsaktors am Bandende noch nicht bekannt ist, kann der Tastpunkt als realer, auf der Kennlinie 8 liegender Messpunkt in einfacher Weise gelernt werden. Für den komfortablen Betrieb der Reibungskupplung ist der Hysteresenast wie Kupplungskennlinie 8 zum Schließen der Reibungskupplung infolge eines genau positionierbaren Anlegens der Reibungskupplung an den Tastpunkt zur Vermeidung eines spürbaren Anleges Schlags und eines exakt einstellbaren Kriechens durch Anlegen einer entsprechenden Korrekturgröße von größerer Bedeutung als der Hysteresenast zur Öffnung der Reibungskupplung. Aus wirtschaftlichen Gründen und/oder zur Vereinfachung der Rechenleistung kann gegebenenfalls auf eine Kompensation der Reibungskupplung während des Öffnens der Reibungskupplung verzichtet werden.

- 8 -

Figur 3 zeigt das Diagramm 11 eines-gegenüber der Figur 1 geänderten und verändert dargestellten Hysteresemodells zur Bestimmung des Teilscheifen- und Vollscheifenverhaltens, bei dem der unkompensierte Sollwert SW gegen den mit der Korrekturgröße kompensierten Sollwert SW(K) aufgetragen ist. Dabei zeigt die Winkelhalbierende des Koordinatensystems in Form der idealen, hysteresefreien Sollwertlinie 12 ohne Hysterese. Der kompensierte Sollwert SW(K) ist bei großen Werten gegenüber der hysteresefreien Sollwertlinie 12 reduziert, beispielsweise auf den durch den Doppelpfeil 13 dargestellten halben Wert der Gesamthysterese hy. Das dargestellte Koordinatensystem ist ein bewegtes Koordinatensystem, dessen Nullpunkt sich entlang der Achse des Betätigungswegs s verlagern lässt.

Erfolgt eine Richtungsumkehr des Kupplungsaktors wird das Koordinatensystem mathematisch an den Arbeitspunkt der Reibungskupplung verlagert, so dass der Nullpunkt des Koordinatensystems – je nach Richtung in Schließ- oder Öffnungsrichtung der Reibungskupplung - mit einer der Hystereseschwellen th zur Deckung gebracht wird. Die willkürlich gewählte Verhältnissgröße r beschreibt das Verhältnis zwischen Ausgangssignal der kompensierten Sollwerte SW(K) und Eingangssignal SW zwischen den beiden Hystereseschwellen $-th$ und th . Die Verhältnissgröße ist hier in Form einer Geraden mit einer bevorzugten Steigung größer 0,5 festgelegt. Daraus ergibt sich für die Hystereseschwelle th :

$$th = hy / (2 * (1-r)).$$

Eine derartige Koordinatentransformation lässt sich beispielsweise algorithmisch in einer Softwareroutine einfach darstellen, wobei die Verlagerung des Koordinatensystems derart erfolgt, dass der Sollwert SW (= mf) im bewegten Koordinatensystem zwischen den beiden Hystereseschwellen th , $-th$ begrenzt wird. Aus dieser Beschränkung ergibt sich für die Korrekturgröße K :

$$K = (1-r) * mf$$

Hierdurch erfolgt automatisch eine Anpassung der Korrekturgröße bei Verlassen eines vorgegebenen Sollwertbereiches während einer Richtungsumkehr. Die Korrekturgröße K kann als Kennfeld in einen Softwarealgorithmus implementiert werden und kann keine unphysikalischen Werte liefern. Es wird kein Vergleich mit realen Messgrößen benötigt und kann keine unzulässigen Werte annehmen.

- 9 -

Figur 4 zeigt ein mögliches Ausführungsbeispiel als Flussdiagramm 14 zur Umsetzung des Hysteresemodells der Figur 3. Nach dem Start wird in Block 15 die Hystereseschwelle th abhängig von der Gesamthysterese hy , die abhängig von dem eingestellten Betätigungsweg und/oder dem über die Reibungskupplung übertragenen Moment ist, und der Verhältnissgröße r eingestellt. In Block 16 wird der neue Sollwert $SW (= mf)$ im bewegten Koordinatensystem als Differenz von Betätigungsweg s und aktuellem Nullpunkt mf_center des bewegten Koordinatensystems berechnet. In der Verzweigung 17 wird geprüft, ob der Betrag des Sollwerts SW kleiner als die Hystereseschwelle th ist. Ist dies der Fall, wird in Block 18 die Korrekturgröße K ermittelt und in der Steerroutine des Kupplungsaktors auf den Sollwert aufgeschlagen. Ist der Betrag des Sollwerts SW größer als die Hystereseschwelle th wird der Sollwert SW in Block 19 begrenzt und der Nullpunkt des Koordinatensystems um den Begrenzungswert verschoben. Dies bedeutet, dass das Koordinatensystem der Figur 3 dem Betätigungsweg s oder möglichen anderen Eingangssignalen, beispielsweise dem Sollmoment, dem Sollweg oder entsprechenden Ist-Werten, nachgeführt wird.

Figur 5 zeigt das Flussdiagramm 20, das den Ablauf der Steuerung eines Kupplungsaktors wiedergibt. In Block 21 wird das über die Reibungskupplung zu übertragende Sollmoment ermittelt, beispielsweise aus Daten der Brennkraftmaschine, dem beispielsweise über ein Fahrpedal zur Verfügung stehenden Fahrerwunschmoment und dergleichen. Über die Kupplungskurve wie Kupplungskennlinie in Block 22 erfolgt die Zuordnung des Sollmoments zu einem Sollwert für den Betätigungsweg der Reibungskupplung. In Block 23 wird dem Sollwert die Korrekturgröße zu Hysteresekompensation – hier als Sollweg-Offset – aufgeschlagen und vom Kupplungsaktor gesteuert in Block 24 die Zielposition des Betätigungswegs angefahren. Der Lageregler in Block 25 regelt die vorgesteuerte Position und hält diese bei äußeren Einflüssen. In Block 26 wird beispielsweise mittels entsprechender Sensorik der Istwert – hier in Form der Istposition des Kupplungsaktors beziehungsweise der von diesem zurückgelegte Istweg – ermittelt. Nach Abzug eines Ist-Weg-Offsets in Block 27 wird der bezüglich der Hysterese unkompensierte Istwert in Block 28 einer Rückbildung durch eine inverse Kupplungskurve unterzogen, die in Block 29 das Istmoment liefert, das mit dem Sollmoment des Blocks 21 verglichen und damit das Sollmoment gegebenenfalls adaptiert werden kann.

Zum nominellen Sollweg wird ein Sollweg-Offset aus einem Soll-Modell addiert.

Vom Istweg wird dann ein Istweg-Offset aus einem Ist-Modell subtrahiert.

Bei langsamen Veränderungen des Betätigungswegs, bei dem der Istweg dem Sollweg folgt, kürzen sich Soll- und Ist-Korrektur im Wesentlichen heraus und die Istmomente folgen den Sollmomenten. Bei schnelleren Veränderungen können Soll- und Ist-Offset durchaus unter-

schiedlich oder gar gegenphasig sein. Die Adaption der Kupplungskennlinie (Kupplungskurve), die auf Basis der Istmomente erfolgt, wird nicht unmittelbar durch die Offsets des Hysterese-modells beeinflusst. Der Adaption wird quasi ein „geschöntes“ Kupplungsverhalten vorgespielt. Es versteht sich, dass die Einwirkung des Hysterese-modells bereits auf der Ebene des Soll-moments in die Steuerung des Kupplungsaktors implementiert werden kann.

Das Diagramm 30 der Figur 6 zeigt den zeitlichen Verlauf einer Momentenänderung des über die Reibungskupplung übertragbaren Moments M in Abhängigkeit von der Zeit t während einer Betätigung der Reibungskupplung entlang des Betätigungswegs des Kupplungsaktors. Durch eine langsame Bewegung des Kupplungsaktors folgt der erzielte Ist-Weg dem Soll-Weg sofort, so dass in dem gezeigten Diagramm 30 der Ist-Weg im Wesentlichen dem Soll-Weg entspricht. Die durchgezogene Linie 31 zeigt dabei die unkompensierte Sollvorgabe ohne Hysterese-kompensation. Das hysteresebehaftete Moment ist in Form der gestrichelten Linie 32 gezeigt. Die Adaption der Kupplungskennlinie basiert dabei auf einer Ist-Wert-Erfassung und erkennt in diesem Fall bei einer Momentenerhöhung einen zu großen und bei Momentenabsenkung einen zu niedrigen Adaptionswert, beispielsweise einen in der Kupplungskennlinie vorgesehenen, adaptierbaren Reibwert.

Wird nun die Korrekturgröße in Form des Pfeils 33 zum Sollwert zugeschlagen wie addiert, die unbeobachtet von einer entsprechenden Adaptionroutine ist, so fährt die Reibungskupplung weiter in Schließrichtung als dies dem ursprünglichen Sollmoment entspricht, wie dies in der durchgezogenen Linie 34 gezeigt ist. Ist das Hysterese-modell korrekt abgestimmt, so fällt das an der Reibungskupplung eingestellte Moment mit dem beim langsamen Durchfahren der Momentenänderung in Linie 31 und damit mit dem Sollmoment zusammen. Zur Richtigstellung der Vorgänge in der gesamten Steueroutine des Kupplungsaktors muss das ermittelte Istmoment um den gleichen Betrag der Korrekturgröße des Hysterese-modells korrigiert werden, damit Ist- und Sollwerte einhergehen.

Ist das Hysterese-modell zu schwach eingestellt, so sind die Korrekturgröße zu klein und die Adaptionroutine der Kupplungskennlinie zeigt weiterhin das obige Verhalten. Ist die Korrekturgröße zu groß, erkennt die Adaptionroutine bei einer Momentenerhöhung einen zu kleinen Reibwert und bei Momentenabsenkung einen zu großen.

Figur 7 zeigt das Diagramm 35 des nicht hysterese-kompensierten Moments M über den Istweg $s(ist)$ mit der idealen, nicht hysteresebehafteten Kupplungskennlinie 37 und der realen, hyste-

resebehafteten Kupplungskennlinie 36. Wird die Kupplungskennlinie 36 nicht über den gesamten Istweg verfahren, treten Teilhystereseschleifen auf, die durch die Pfeile 38, 39 gekennzeichnet sind und bei denen eine Richtungsumkehr der Hysterese stattfindet.

Die gestrichelte Kupplungskennlinie 40 wird bei einer Reibwertadaption nach einem wesentlichen Momentenanstieg aus der Kupplungskennlinie 37 und die Kupplungskennlinie 41 nach einer wesentlichen Momentenerniedrigung adaptiert. Unter einer wesentlichen Änderung ist hierbei eine Momentenänderung zu verstehen, bei der der Teilschleifenbereich verlassen wird und sich das Moment an die Kupplungskennlinie 36 anschmiegt. Es wird deutlich, dass ohne Hysteresekompensation alle adaptierten Kupplungskennlinien bei Momentenanstiegen unterhalb der idealen Kupplungskennlinie 37 und alle adaptierten Kennlinien bei Momentenerniedrigung oberhalb der idealen Kupplungskennlinie 37 liegen.

Bei einer Anwendung eines Hysteresemodells wird auf den Sollwert wie Sollposition bei Momentenerhöhung die Korrekturgröße aufgeschlagen, so dass das nominelle Moment der Kupplungskennlinie 37 erreicht wird. Eine Adaption der Kupplungskennlinie 37 führt dann nicht mehr zu einer Änderung der idealen Kupplungskennlinie 37. Entsprechend ist das Verhalten des Hysteresemodells bei einer Momentenabsenkung.

Figur 8 zeigt eine statistische Verteilung von auf ein Moment M adaptierten Reibwerten 42, 43 über den Istweg $s(ist)$. Entsprechend den Istwegen kann eine Adaption auf Momentenwerte erfolgen. Die als diskrete Punkte dargestellten, ermittelten Reibwerte 42, 43 werden in Adaptionsbereiche 44, 46 eingeteilt, bei denen sich jeweils die Art der Kompensation der Hysterese ändert, beispielsweise einem Wechsel in eine andere Kompensationsstufe bei einem mehrstufigen Hysteresemodell.

Die Angabe der adaptierten Reibwerte beschränkt sich auf Werte, die die Hystereseschwelle th , $-th$ (Figur 3) überschritten haben. Dabei werden die einzelnen Reibwerte 42, 43 zusätzlich durch die Trennlinie 45 getrennt und damit den verschiedenen Hystereseschwellen th , $-th$ und damit diskret der Schließ- und Öffnungsrichtung der Reibungskupplung zugeordnet. Ist in einem Adaptionsbereich 44 die Differenz zwischen den Erwartungswerten mit $VZ(mf) = +1$ und $VZ(mf) = -1$ des Verlagerungswerts mf größer als die Summe der entsprechenden Standardabweichungen, dann muss die Gesamthysterese in diesem Bereich vergrößert werden.

Ist in einem Adaptionsbereich 44, 46 die Differenz zwischen den Erwartungswerten der Reibwerte in Schließ- und Öffnungsrichtung größer als die Summe der entsprechenden Stan-

- 12 -

dardabweichungen, dann wird die Gesamthysterese in diesem Adaptionbereich verkleinert. Falls in einen Adaptionbereich 44, 46 über längere Zeit nicht adaptiert wird, wird der Korrekturwert der Hysterese kontinuierlich zwischen den angrenzenden Adaptionbereichen interpoliert beziehungsweise in einen oder beide benachbarte Adaptionbereiche extrapoliert. Desweiteren können allgemein Kontinuitäts- und Monotonitätsbetrachtungen in die Adaption einfließen. Da bei viel zu groß angenommener Hysterese kaum noch adaptiert werden kann, sollte als Sicherheit die Gesamthysterese zeitlich dekrementiert werden, um eine endliche Wiederkehrwahrscheinlichkeit zu gewährleisten.

Die Figur 9 zeigt das Flussdiagramm 47, das eine mögliche Routine zur Adaption des Hysterese Modells, beispielsweise über den Betätigungsweg anzuwendende Korrekturgrößen beschreibt. Nach dem Start wird in der Verzweigung 48 die Dauer seit der letzten Adaption abgefragt. Überschreitet die Dauer eine vorgegebene Schwelle, werden in Block 49 die Hysterese dekrementiert und in Block 50 gespeicherte Adaptionsdaten verworfen. In Block 51 wird die Zeit zur Wiederholung der Adaption neu gestartet und die Routine anschließend beendet und gegebenenfalls neu gestartet.

Ist die Dauer der Adaption innerhalb der gesetzten Schwelle werden in der Verzweigung 52 die Erfordernisse für eine Adaption nach den statistischen Vorgaben der Figur 8 geprüft. Sind die Bedingungen für eine Adaption nicht erfüllt, wird die Routine beendet.

Überschreitet der Verlagerungswert m_f eine vorgegebene Schwelle und entsprechen die Erwartungswerte $VZ(m_f)$ des Verlagerungswerts m_f den Erwartungswerten $VZ(\Delta M)$ der zugehörigen Momentenänderungen, sind die Adaptionskriterien erfüllt und die Reibwerte werden in Block 53 entsprechend der Figur 8 statistisch klassifiziert. In der Verzweigung 54 wird bei Vorliegen der Reibwerte innerhalb der Standardabweichung die Routine beendet. Bei signifikanter Abweichung der Reibwerte werden in Block 55 die ermittelten Abweichungen der Adaption zugrundegelegt und in Block 56 Monotonitäts- und Kontinuitätskriterien des Hysterese Modells getestet und über Block 51 die Routine beendet.

Figur 10 zeigt das Flussdiagramm 57 einer parallel zu der übrigen Routine zur Steuerung des Kupplungsaktors ablaufenden Routine zur Festlegung einer Korrekturgröße eines Hysterese Modells. Die dick umrandeten beziehungsweise gestrichelt dargestellten Blöcke zeigen dabei einen Datenaustausch mit der Routine zur Steuerung des Kupplungsaktors. Im Einzelnen wird aus der bestehenden Software die aus der Kupplungskennlinie und dem Sollmoment ermittelte

Sollposition eingelesen, aus der der Soll-Offset in Form der Korrekturgröße aus dem eingestellten Hysteresemodell, beispielsweise dem Hysteresemodell der Figuren 1 und 3 berechnet wird. Die Korrekturgröße wird von der Sollposition je nach Momentenänderung subtrahiert oder addiert. Anschließend wird die Istposition des Kupplungsaktors eingelesen und der hystere-sebedingte Offset aus der Istposition eliminiert. Die nachfolgende Reibwertberechnung wird der Reibwertstatistik unterworfen und gegebenenfalls anschließend die Hysterese beziehungsweise die Korrekturgröße dieser adaptiert.

Figur 11 zeigt ein Ausführungsbeispiel zur Erstellung einer Routine zur Kompensation der Hysterese in Form des Flussdiagramms 58 mit den in den nachfolgenden Blöcken dargestellten Aufgaben. Im Einzelnen sind dies in absteigender Reihenfolge das Einlesen einer Hysteresekurve, beispielsweise aus empirisch gewonnenen Daten eines Prüfstands, die Abbildung dieser Daten in einem Hysteresemodell (SW-Modell), das bevorzugt eine Verhältnisgröße $r = 50\%$ verwendet, Berechnungen der Hysteresedaten der in Betrieb befindlichen automatisierten Reibungskupplung, beispielsweise erste Adaptionsvorgänge und Abspeichern der ersten Betriebsdaten in einem nichtflüchtigen Speicher (EEPROM) des Steuergeräts.

Bezugszeichenliste

1	Diagramm
2	Hysteresekennlinie
3	Anteil
4	Anteil
5	Tastpunkt
6	Diagramm
7	Kupplungskennlinie
8	Kupplungskennlinie
9	Toleranzbereich
10	Toleranzbereich
11	Diagramm
12	hysteresefreie Sollwertlinie
13	Doppelpfeil
14	Flussdiagramm
15	Block
16	Block
17	Verzweigung
18	Block
19	Block
20	Flussdiagramm
21	Block
22	Block
23	Block
24	Block
25	Block
26	Block
27	Block
28	Block
29	Block
30	Diagramm
31	Linie
32	Linie

- 15 -

33	Pfeil
34	Linie
35	Diagramm
36	Kupplungskennlinie
37	Kupplungskennlinie
38	Pfeil
39	Pfeil
40	Kupplungskennlinie
41	Kupplungskennlinie
42	Reibwert
43	Reibwert
44	Adaptionsbereich
45	Trennlinie
46	Adaptionsbereich
47	Flussdiagramm
48	Verzweigung
49	Block
50	Block
51	Block
52	Verzweigung
53	Block
54	Verzweigung
55	Block
56	Block
57	Flussdiagramm
58	Flussdiagramm
Δ_{in}	Änderung Eingangssignal
Δ_m	Änderung Verlagerungsbetrag
h_y	Gesamthysterese
K	Korrekturgröße
K_0	Korrekturgröße
K_1	Korrekturgröße
K_{Max}	maximale Korrekturgröße
M	Moment
mf	Sollwert SW innerhalb des bewegten Koordinatensystems
mf_center	Nullpunkt des bewegten Koordinatensystems

- 16 -

r	Verhältnisgröße
s	Betätigungsweg
s_1	Betätigungsweg
$s(\text{ist})$	Istweg
s_{max}	maximaler Betätigungsweg
SW	Sollwert (= mf)
$SW(K)$	kompensierter Sollwert
t	Zeit
t_h	Hystereseschwelle
h_y	Gesamthysterese
$VZ(\Delta M)$	Erwartungswert Momentenänderung
$VZ(mf)$	Erwartungswert Verlagerungswert

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung einer zwischen einer Brennkraftmaschine und einem Getriebe angeordneten Reibungskupplung mittels eines ein Betätigungsglied der Reibungskupplung entlang eines über eine Kupplungskennlinie einem über die Reibungskupplung übertragbaren Sollmoment zugeordneten Betätigungswegs (s) axial betätigenden Kupplungsaktors, dadurch gekennzeichnet, dass eine zwischen dem Sollmoment und dem über die Reibungskupplung tatsächlich übertragenen Istmoment entlang des Betätigungswegs auftretende Hysterese kompensiert wird, indem ein zur Steuerung des Kupplungsaktors bestimmter Sollwert (SW) mittels einer Korrekturgröße (K) korrigiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrekturgröße (K) in einem mit relevanten Größen der Reibungskupplung und des Kupplungsaktors betriebenen Hysteresemodell ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrekturgröße (K) abhängig von einem Betätigungsweg (s) zweistufig ausgebildet ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrekturgröße (K) entlang eines ersten Wegabschnitts des Betätigungsweges (s) bis zu einem Tastpunkt (5) der Reibungskupplung konstant ist und danach entlang eines zweiten Wegabschnitts des Betätigungswegs (s) ansteigt.
5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrekturgröße (K) entlang eines ersten Wegabschnitts des Betätigungsweges (s) bis zu einem Tastpunkt (5) der Reibungskupplung konstant ist und mit zunehmendem übertragbarem Moment ansteigt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass für den Betätigungsweg in Schließrichtung und für den Betätigungsweg in Öffnungsrichtung

- 18 -

der Reibungskupplung von einem Nullpunkt ausgehende, gegenläufige Kennlinien für die Korrekturgröße vorgesehen sind.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Richtungsumkehr des Betätigungsweges die Korrekturgröße beginnend bei dem Nullpunkt in gegenläufige Richtung angewendet wird.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass für den Öffnungs- und Schließvorgang der Reibungskupplung jeweils eine von dem Korrekturwert (K) abhängige Kupplungskennlinie (7, 8) mit jeweils einem vorgegebenem Toleranzbereich (9, 10) gebildet wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass ein Tastpunkt (5) der Reibungskupplung auf der Kupplungskennlinie (8) für die Schließrichtung der Reibungskupplung festgelegt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrekturgröße (K) an ein sich zeitlich änderndes Verhalten des Kupplungsaktors und/oder der Reibungskupplung adaptiert wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrekturgröße (K) an einen sich über die Zeit ändernden Arbeitspunkt der Reibungskupplung angepasst wird.
12. Vorrichtung zur Betätigung einer zwischen einer Brennkraftmaschine und einem Getriebe wirksam angeordneten Reibungskupplung mit einem Kupplungsaktor, der ein Betätigungsglied der Reibungskupplung entlang eines Betätigungswegs (s) axial verlagert, und einem Steuergerät zur Steuerung des Kupplungsaktors zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11.

1/7

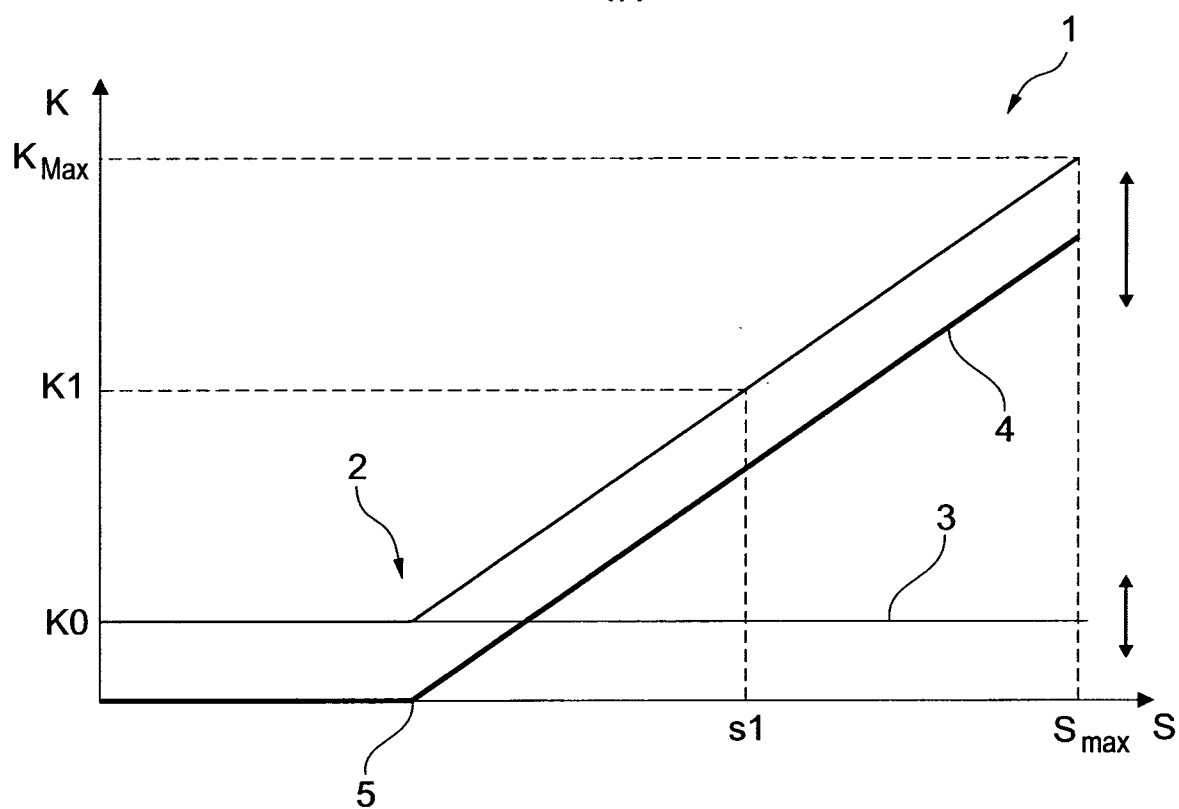


Fig. 1

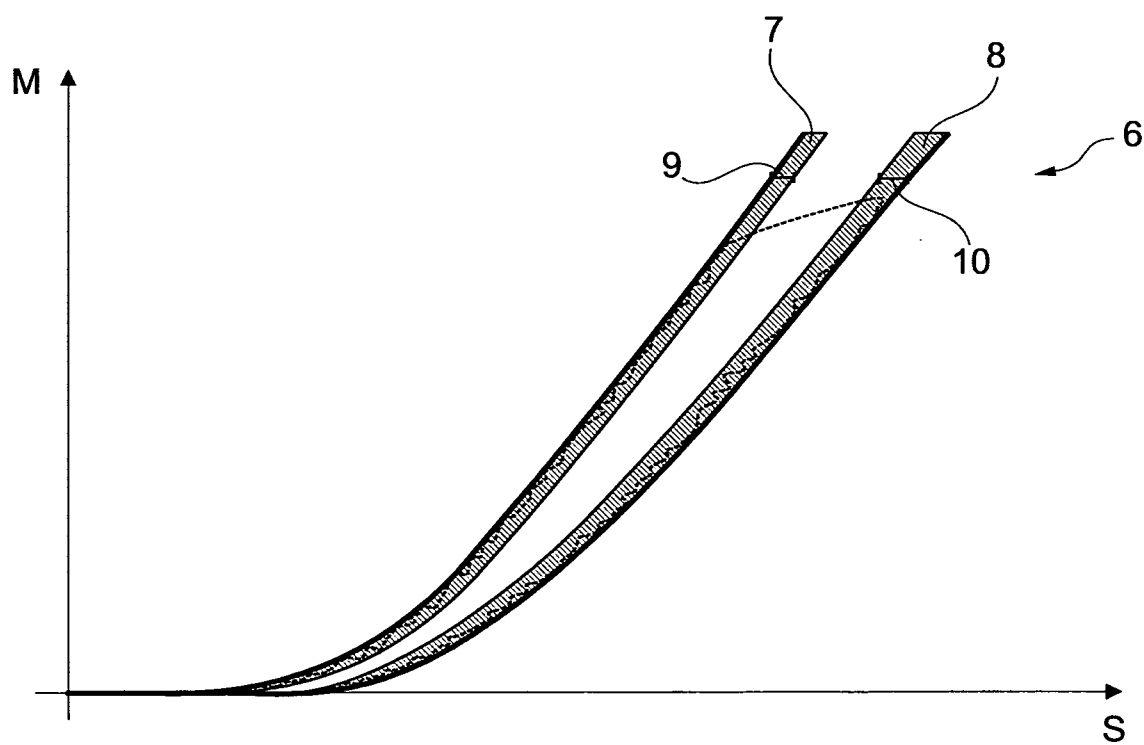


Fig. 2

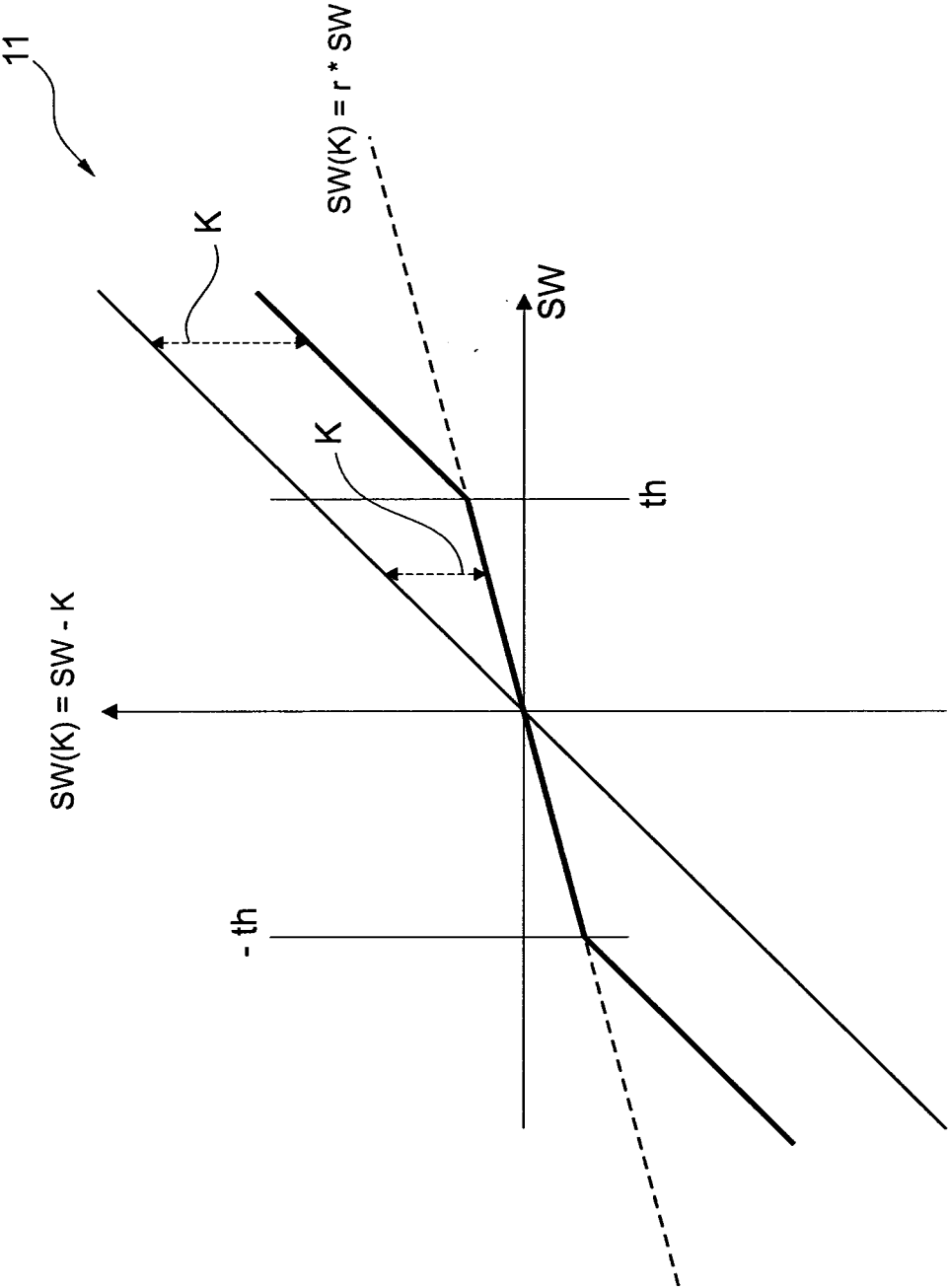


Fig. 3

3/7

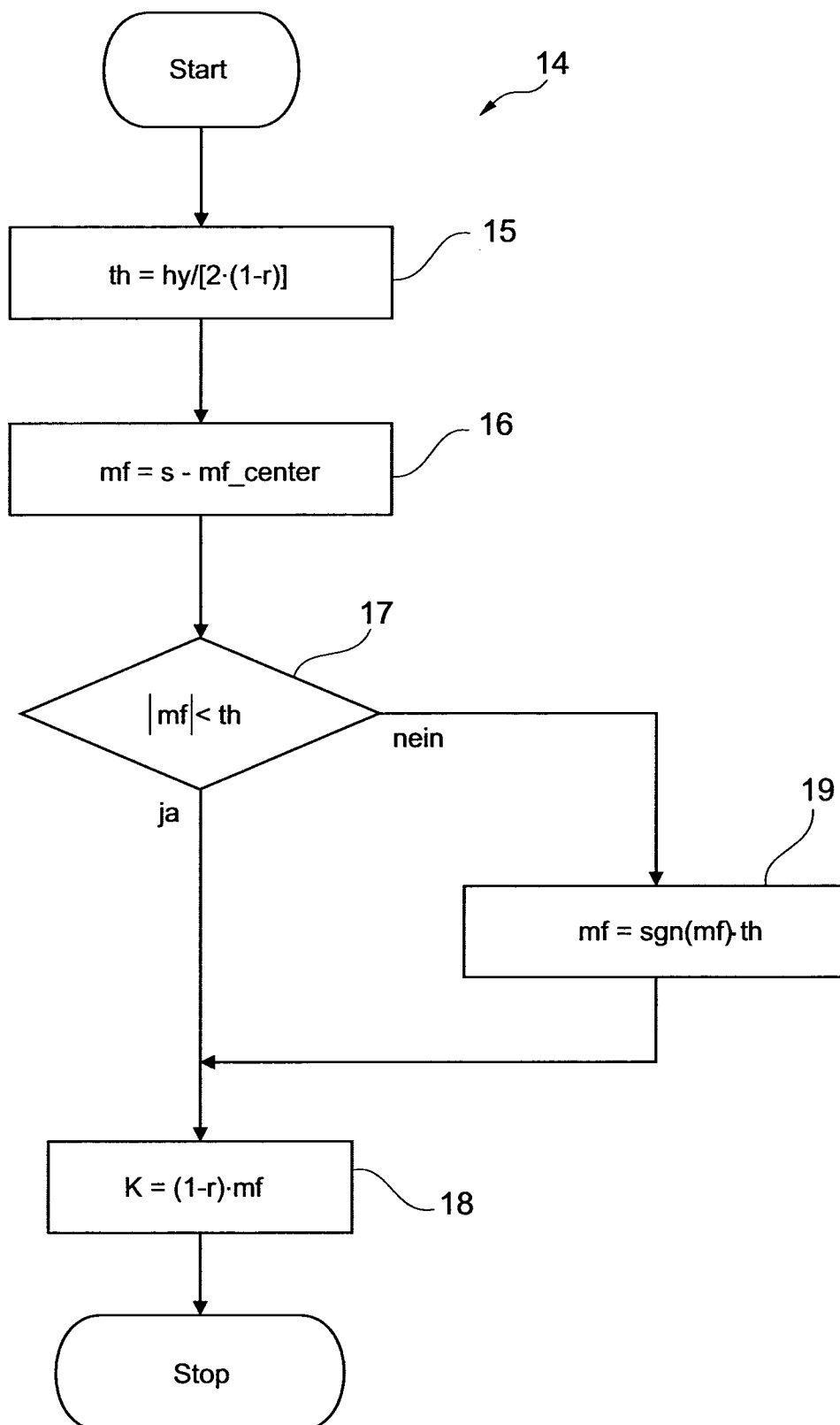


Fig. 4

4/7

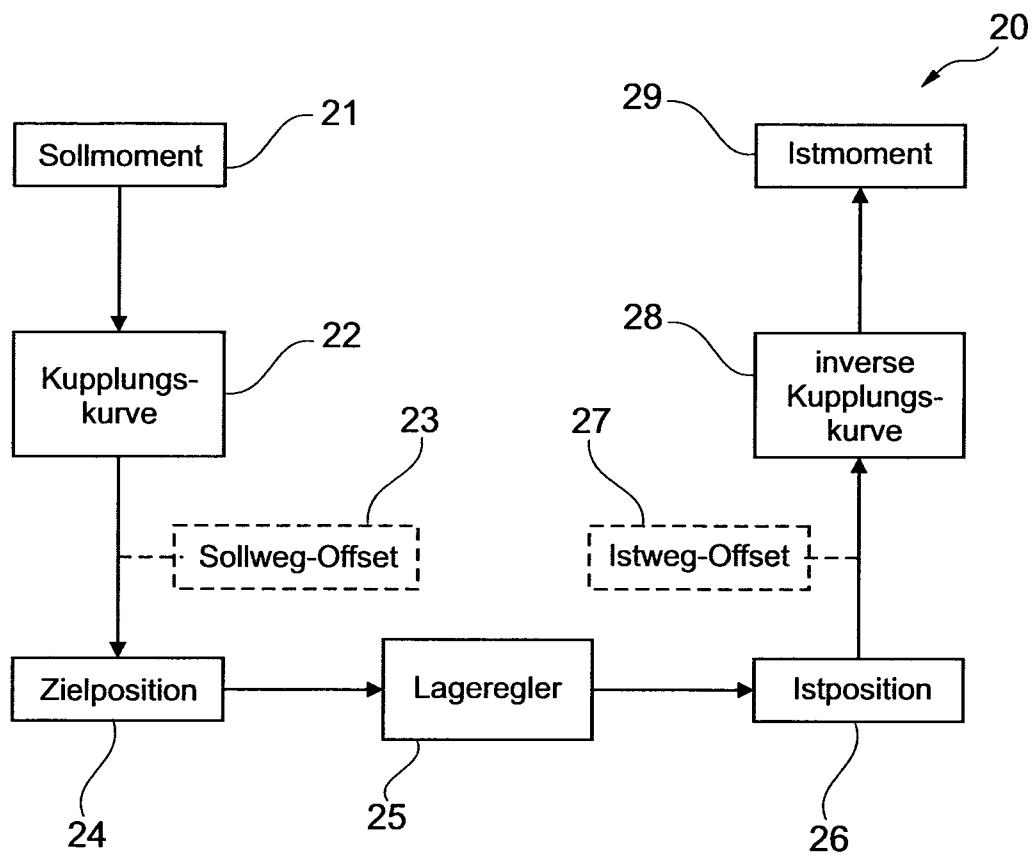


Fig. 5

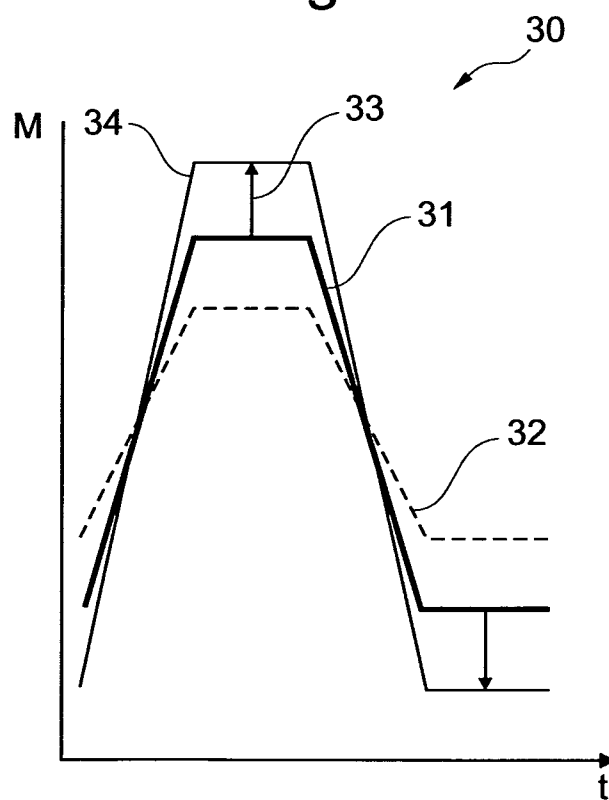


Fig. 6

5/7

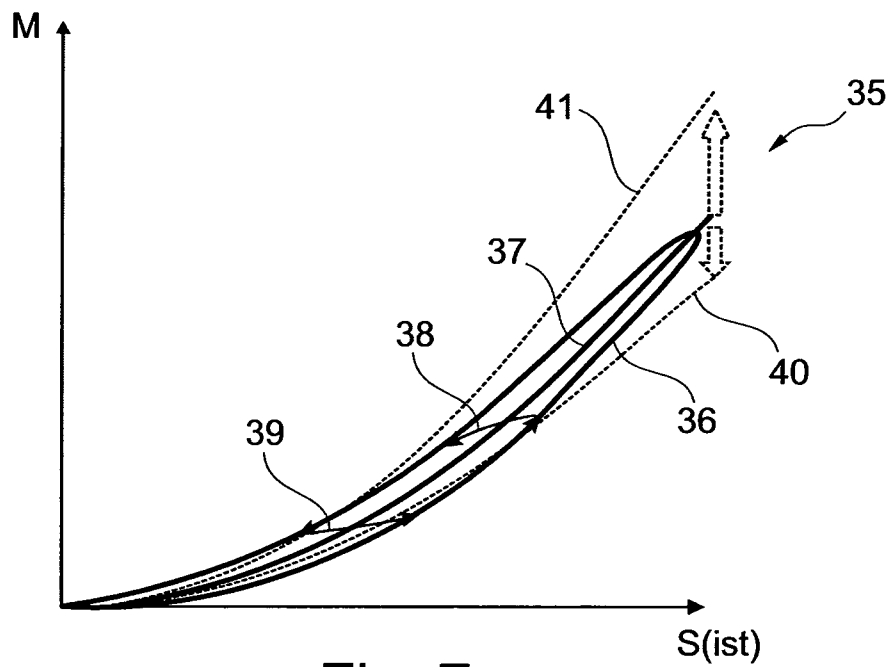


Fig. 7

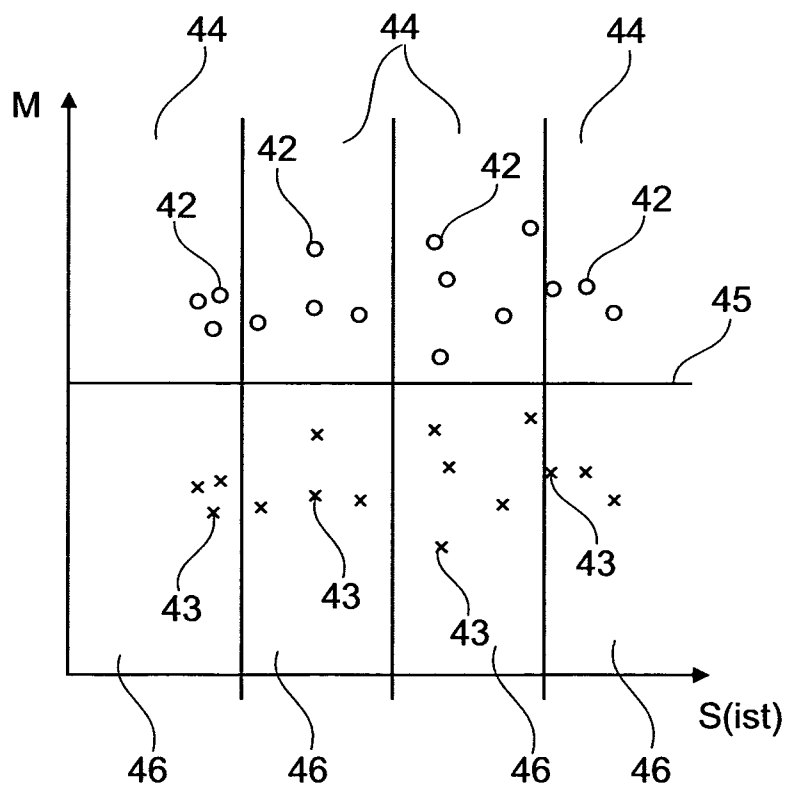


Fig. 8

6/7

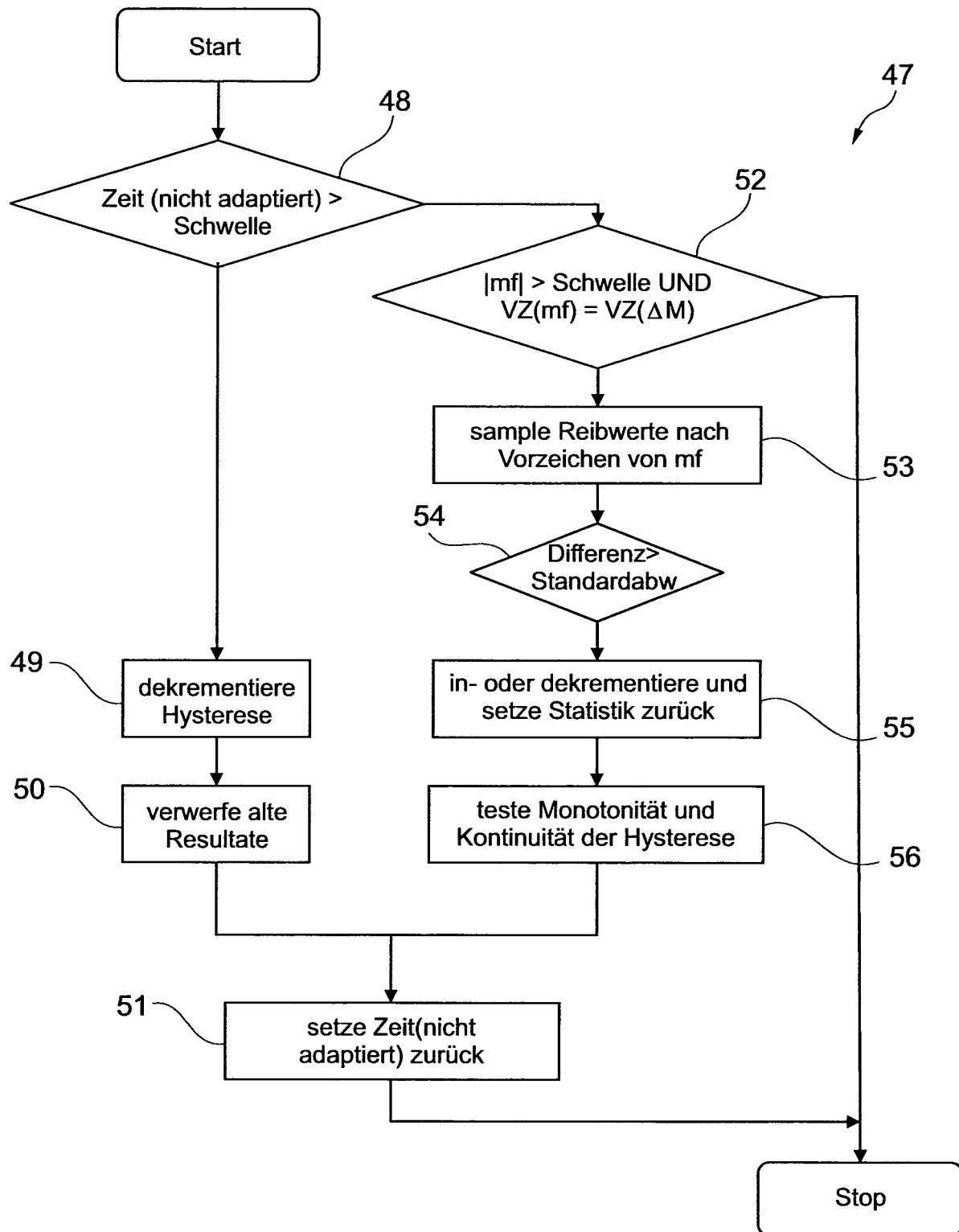


Fig. 9

7/7

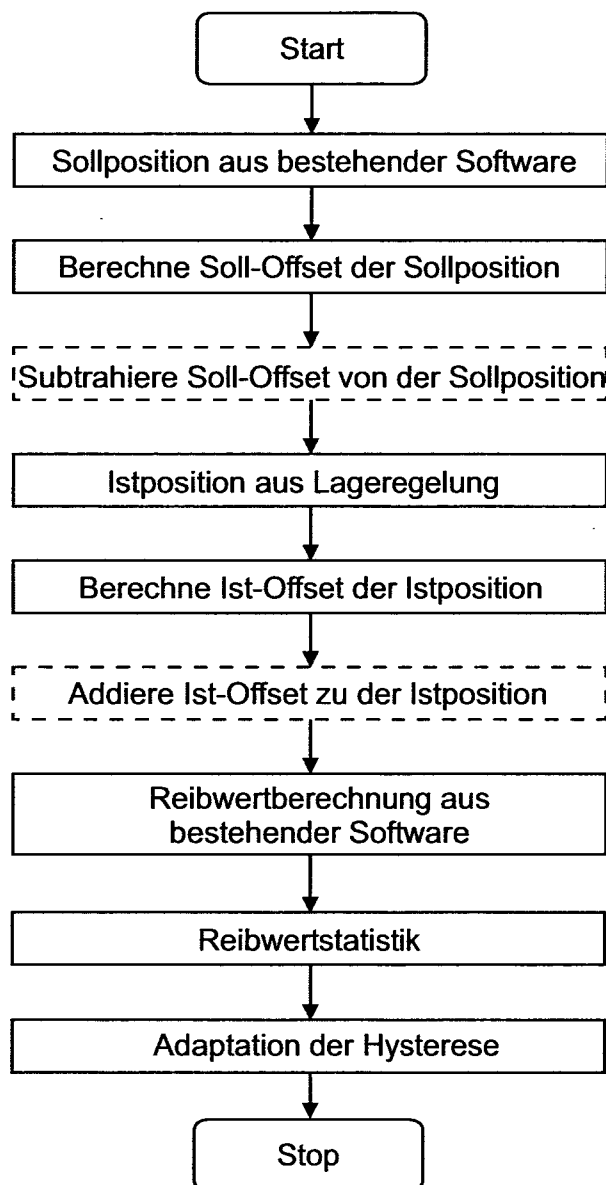


Fig. 10

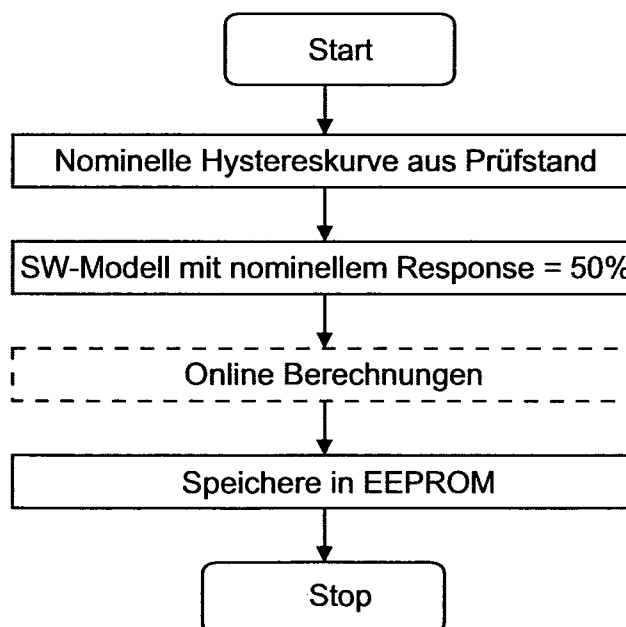


Fig. 11