

(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
19. Dezember 2013 (19.12.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/186026 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
B60L 7/18 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/060719

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. Mai 2013 (24.05.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2012 210 046.6 14. Juni 2012 (14.06.2012) DE

(71) Anmelder: **MAGNA POWERTRAIN AG & CO KG** [AT/AT]; Industriestrasse 35, A-8502 Lannach (AT).

(72) Erfinder: **RINGDORFER, Martin**; Forstergasse 13a/5, A-8053 Graz (AT). **HORN, Martin**; Russenweg 17c, A-8045 Graz (AT).

(74) Anwalt: **BIERNOT, Peter**; Magna International (Germany) GmbH, Liebenauer Hauptstraße 317, VG-Nord, A-8041 Graz (AT).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Veröffentlicht:

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

(54) Title: METHOD FOR INCREASING RECOVERY RATE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR ERHÖHUNG DER REKUPERATIONSRATE

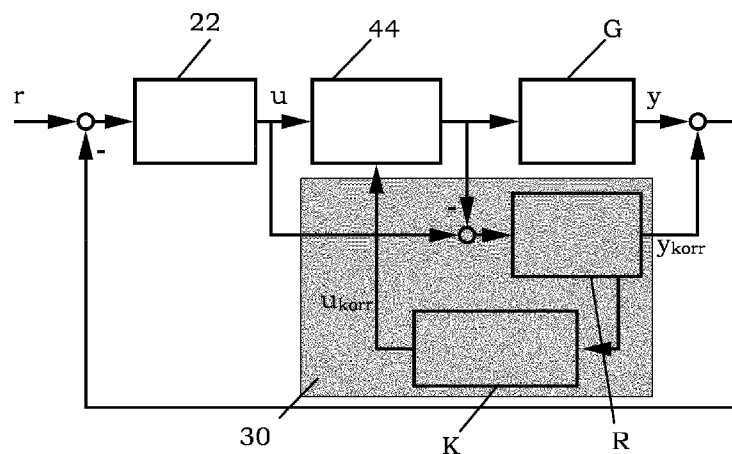


Fig. 3

(57) Abstract: The invention relates to a method for controlling a brake system of a motor vehicle, which can be braked by means of a friction brake (42) and by means of an electrical machine (44) that can be operated as a generator; during a braking process a friction brake torque (T_{Brk}) to be applied by the friction brake (42) and a recovery torque (T_{EM}) to be applied by the electrical machine (44) are reduced during a brake torque reduction phase (B) until a corrected total brake torque (T_{Rad}) to be applied by the friction brake (42) and the electrical machine (44) is achieved. The recovery torque (T_{EM}) to be applied by the electrical machine (44) is influenced by a first feedback loop (S1) with compensation within a second feedback loop (S2) for the control of the electrical machine.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2013/186026 A2



Es wird ein Verfahren zur Steuerung eines Bremssystems eines Kraftfahrzeugs vorgeschlagen, das mittels einer Reibbremse (42) und einer als Generator betreibbaren elektrischen Maschine (44) bremsbar ist, während eines Bremsvorgangs ein durch die Reibbremse (42) aufzubringendes Reibbremsmoment (T_{Brk}) und ein durch die elektrische Maschine (44) aufzubringendes Rekuperationsmoment (T_{EM}) während einer Bremsmomentreduktionsphase (B) reduziert werden, bis ein durch die Reibbremse (42) und die elektrische Maschine (44) aufzubringendes korrigiertes Gesamtbremsmoment (T_{Rad}) erreicht ist. Das durch die elektrische Maschine (44) aufzubringendes Rekuperationsmoment (T_{EM}) wird durch eine erste Rückkopplungsschleife (S1) mit Kompensation innerhalb einer zweiten Rückkopplungsschleife (S2) für die Kontrolle der elektrischen Maschine beeinflusst.

Verfahren zur Erhöhung der Rekuperationsrate

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Bremssystems eines Kraftfahrzeugs, durch das zumindest ein Rad des Kraftfahrzeugs, das durch eine Schlupferkennungseinheit hinsichtlich des Auftretens eines Schlupfs überwacht wird, mittels einer Reibbremse und einer als Generator betreibbaren elektrischen Maschine bremsbar ist.
- 10 Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Erhöhung der Rekuperationsrate während des Radschlupfregelbetriebs in einem Kraftfahrzeuges.

Stand der Technik

15

Bei modernen Kraftfahrzeugen findet eine kontinuierliche Schlupfkontrolle an den Rädern des Fahrzeugs statt, um die Stabilität des Fahrzeugs insbesondere auch während Bremsvorgängen gewährleisten zu können.

- Kommt es nämlich bei einem Bremsvorgang zu einem unzulässig hohen Radschlupf bzw. sogar zum Blockieren eines oder mehrerer der Räder, kann es zu einem Kontrollverlust des Fahrzeugs kommen. Es wird daher versucht, den durch ein Abbremsen der Räder jeweils verursachten Radschlupf unterhalb eines kritischen Schlupfwerts zu halten. Bei konventionell angetriebenen Fahrzeugen wird eine derartige Begrenzung mittels
- 20 eines ABS-Systems als unterlagerte Regelung eines ESP-Systems durchgeführt. Diese Systeme bedienen sich radindividueller Eingriffe in das Bremssystem, bei denen die Reibbremse des betroffenen Rads entsprechend angesteuert wird. Mit anderen Worten wird der von einem Fahrer des Fahrzeugs durch eine entsprechende Bremspedalbetätigung eigentlich
- 30 angeforderte Bremsdruck zur Vermeidung von Radblockaden durch Aktu-

ierung geeigneter Ventile verringert (Bremsenreduktionsphase B). Dabei werden verschiedene Bremsstrategien eingesetzt, die an die jeweils vorliegende Fahrsituation angepasst sind. Beispielsweise kann in bestimmten Situationen eine sanfte Bremsstrategie zu Einsatz gelangen, während in
5 anderen Situationen eine aggressive Bremsstrategie angezeigt ist, um die Fahrzeuggeschwindigkeit schnell zu reduzieren.

Bei Fahrzeugen mit zumindest teilweise elektrischem Antrieb kann die kinetische Energie des Fahrzeugs beim Bremsen zur Erzeugung elektrischer Energie und zum Laden eines Energiespeichers genutzt werden (sog.
10 "Rekuperation"). Beim Bremsen werden zunächst auf Basis eines gewünschten Gesamtbremsmoments ein durch eine elektrische Maschine aufzubringendes Bremsmoment (Rekuperationsmoment) und/oder ein durch die Reibbremse aufzubringendes Bremsmoment (Reibbremsmoment)
15 bestimmt. Befindet sich das Fahrzeug bei dem Bremsvorgang beispielsweise auf einem rutschigen Untergrund (oft als " μ -low Untergrund" bezeichnet), so kann das angeforderte Gesamtbremsmoment jedoch ein Überbremsen eines Rads oder mehrerer Räder bewirken.

Wird jedoch ein kritischer Bremsschlupf überschritten, so wird die Energierückgewinnung teilweise oder vollständig ausgesetzt.
20

Aus der noch nicht veröffentlichten Abmeldung DE 102011114481 ist eine Verwendung eines hybriden Bremssystems (konventionelle Reibbremse und Einzelradtraktionsmotor) bekannt, wobei hier eine Regleranordnung, die Energieeffizienz und Fahrsicherheit gleichzeitig sicherstellt. Allerdings
25 weist diese im Stand der Technik beschriebene Regelung Schwachstellen bei der Ausnutzung des maximal möglichen Rekuperationspotentials auf, wenn Traktionsmotor und Reibbremse gemeinsam im Einsatz sind. Wenn bei einer Rekuperation eine Radschlupfregelung notwendig ist, und das verfügbare/erlaubte Rekuperationsmoment sehr gering ist, wird ein Teil
30 des Bremsmomentes über die Bremse aufgebracht. Steigt das Rekuperati-

onspotential während eines Reglereingriffes an, so ist ein Abbau des mechanischen Bremsmomentes (Bremsdruck), und eine damit verbundene Rekuperationserhöhung mit der oben beschriebenen Regleranordnung, nur sehr schwer möglich.

- 5 Aber auch ohne Schlupfregelung ist die Optimierung der Rekuperationsrate notwendig.

Zusammenfassung der Erfindung

- 10 Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, das insbesondere in der vorstehend beispielhaft beschriebenen Situation eine optimierte Energierückgewinnung bei gleichzeitiger Komforterhöhung ermöglicht und das auch bei einer ABS-Bremung an der Rekuperation festhält. Auch Sicherheitsaspekten soll durch eine Erhöhung der Dynamik des Bremsvorgangs Rechnung getragen werden.

Aus der Veröffentlichung „was du heut' nicht kannst besorgen...“ G.

Schneider, Automatisierungstechnik at, 34. Jahrgang, 2/1986, Seite 59 ist bekannt, Stellgrößenbeschränkungen zu überwinden. Die in diesem

- 20 Stand der Technik beschriebene Vorgangsweise zur Berücksichtigung von Stellgrößenbeschränkungen, bildet die Grundlage der erfindungsgemäßen Weiterentwicklung der Verbesserung der Rekuperationsraten.

- 25 Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

Vorteilhafterweise wird eine Rekuperationserhöhung mit Hilfe eines Stellgrößenkompensators im Regelkreis möglich. Bei diesem Ansatz handelt es sich im eigentlichen Sinne um einen Algorithmus, der ungewünschte Ef-

fekte in Zusammenhang mit Aktuatorstellgrößenbeschränkungen reduziert bzw. vermeidet.

Die Kompensation der Stellgrößenbeschränkung wird dazu genutzt, um
5 ein mathematisches Referenzmodell des Traktionsmotors aus dessen Ruhelage im regelungstechnischen Sinne auszulenken. Die Auslenkung aus der Ruhelage ist dabei ein Maß für die Summe aller Stellgrößen, die nicht in gewünschter Weise umgesetzt werden konnten. Es wird sozusagen jener Anteil der Stellgröße „gespeichert“ die vom Aktuator nicht sofort umgesetzt werden konnte. Ist der Aktuator zu einem späteren Zeitpunkt wieder im Stande mehr zu leisten als aktuell gefordert wird, so wird mit Hilfe eines Reglers versucht die Auslenkung des Referenzmodells abzubauen. Dies entspricht einem Nachholen aller Stellgrößen, die zuvor nicht umgesetzt werden konnten. Mit der Parametrierung des Kompensations-Reglers
10 lässt sich die Dynamik des „Aufholvorganges“ festlegen.
15

Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung sowie den beigefügten Zeichnungen angegeben.

20

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung wird im Folgenden beispielhaft unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben.

25

- | | |
|--------|--|
| Fig. 1 | zeigt eine schematische Darstellung eines Fahrzeugs. |
| Fig. 2 | schematische Reglerstruktur |
| Fig. 3 | Regelkreis mit Stellgrößenkompensator |
| Fig. 4 | Umsetzung der erfindungsgemäßen Lösung |

Fig. 5 Darstellung der Rekuperationsbremsung in Vergleich
zu einer konventionellen Bremsung

Figur 1 zeigt schematisch ein Bremssystem eines Kraftfahrzeugs mit ei-
nem elektrischen Einzelradantrieb auf der Hinterachse. Die Verzöge-
5 rungskräfte auf den einzelnen Rädern 40 werden beispielhaft mit unter-
schiedlich großen Pfeilen an der Hinterachse und gegen die Fahrtrichtung
dargestellt. Im Fahrzeug befindet sich eine Steuereinheit 10, die zur Kon-
trolle des Bremssystems dient. Das Bremssystem besteht aus hydraulisch
10 oder elektrisch betriebenen Reibbremsen 42 sowie elektrischen Maschinen
44, die an den Hinterrädern angebracht sind.

Das Auslösen der Bremsfunktion durch einen Fahrer oder einem Fahrer-
assistenzsystem und das Messen der Raddrehzahl als Eingangsgrößen der
Regelung sind bekannt und werden nicht weiter beschrieben.

15

Tritt bei einer Rekuperationsbremsung ein zu hoher Radschlupf λ auf, so
muss das Radmoment mithilfe eines Radschlupfreglers begrenzt werden.
Da an der Hinterachse ein hybrides Bremssystem bestehend aus elektri-
scher Maschine 44 und Reibbremse 42 verbaut ist, können beide Systeme
20 verwendet werden, um den Radschlupf λ zu regeln. Aus fahrdynamischer
Sicht sollte vorzugsweise der Elektromotor 44 verwendet werden, da die
Reaktionsdynamik des Elektromotors größer ist als die Reaktionsdynamik
der Reibbremse 42. Auch aus energetischer Sicht, ist die Rekuperation
mittels elektrischem System für die Steigerung der Fahrzeugreichweite
25 von Vorteil. Wenn der Elektromotor 44 nicht das gesamte Radmoment
aufbringen kann, muss zusätzlich die Reibbremse 42 verwendet werden.
Dieser Zustand kann auftreten, wenn der elektrische Motor 44 z.B. im
Feldschwächbetrieb betrieben wird, oder eine Aktuierung des Motors auf
anderen Gründen nicht möglich ist.

Man spricht vom „Feldschwächbetrieb“ bei Betrieb eines Motors über die Motorbemessungsfrequenz und gleichbleibender Versorgungsspannung. Das Drehmoment nimmt bei konstanter Leistung umgekehrt proportional der Drehzahl ab. Das Kennfeld eines solchen Elektromotors dient zur Optimierung des Verhaltens des erfindungsgemäßen Regelkreises.

Figur 2 zeigt eine schematische Regelstruktur, wie sie beispielhaft angewendet wird, um die schnelleren Reaktionszeiten und den höheren Dynamikbereich der elektrischen Maschine 44 für das Rekuperationsbremsen zu verwenden. Figur 2 ist dabei aber nur eine Möglichkeit die Regelung / Verschaltung der Aktuatoren so durchzuführen

Als Eingangsgröße des Regelkreises wird der Referenzradschlupf λ_{ref} verwendet. Diese Regelgröße liegt an einer Schlupferkennungs-Regelungseinheit 24 an, die wiederum mit einer Reibbremssteuereinheit 20 verbunden ist. Schlupfkorrekturmoment T_λ sowie das Soll-Reibbremsmoment T_B werden über ein Summationsglied 18 an die Reibbremssteuereinheit 20 sowie die Reibbremse 42 übergeben. Diese Reibbremssteuereinheit 20 steuert über ein anteiliges Bremsmoment T_{Brk}' wiederum über ein weiteres Summationsglied 18', an dem das Soll-Rekuperationsmoment T_E anliegt, eine Maschinensteuereinheit 22 sowie die elektrische Maschine 44. Entsprechend der Vorgaben werden von den Aktuatoren die korrigierten Momente T_{EM} und T_{Brk} erzeugt. Über ein weiteres Summationsglied 18'' werden diese Momente zu einem Radmoment T_{Rad} zusammengefasst und an das Radsystem G übergeben, was in einem Radschlupf λ resultiert.

Mit diesem schematischen Aufbau für die Regelung des Bremssystems eingesetzt, werden Fahrdynamikaspekte und energetische Aspekte gut realisiert. Auch wenn die elektrische Maschine 44 das eingestellte Soll-

moment aus $T_E + T_\lambda - T_{Brk}$ zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht aufbringen kann, kann mithilfe eines gezielten Eingriffes des hydraulischen Bremssystems eine ausreichende Leistung und Anpassung an die Fahrdynamik Forderung erzielt werden. In einem solchen Fall wird für die

5 Bremsung der elektrische Motor 44 in Kombination mit der Reibbremse 42 verwendet. Schon kurz nach Beginn des Bremsvorganges kann der Schlupf λ auf einen gewählten Sollschlupf λ_{ref} beschränkt werden. Die gewählte Reglerstruktur führt dazu, dass die Aufteilung des Bremsmomentes zwischen konventioneller Reibbremse 42 und dem elektrischen

10 Motor 44 während des gesamten Bremsvorganges annähernd konstant ist. Auch wenn das Potenzial des elektrischen Motors 44 zunimmt, wird die Aufteilung zwischen den beiden Brems-Komponenten nur geringfügig verändert. Dieses Verhalten ist in Figur 5 beispielhaft dargestellt.

Beispielhaft wird für die weitere Ausführung ein Regler 22 mit integralem

15 Verhalten (z.B. ein PI-Regler) verwendet.

Ein PI-Regler, ein Proportional-Integral-Regler, ist auf bekannte Weise aufgebaut, um schnell auf Störungen zu reagieren und sie zu unterdrücken. Ändert sich z.B. das Referenzsignal r , so rechnet der Regler unter Verwendung seiner Möglichkeiten teilweise sehr große Regelstellgrößen.

20 Diese Stellgrößen würden am elektrischen Motor 44 anliegen und können teilweise von diesem nicht umgesetzt werden, was zu unerwünschten Phänomenen wie z.B. den Aufbau von Schwingungen führen könnte. Dem tritt man mit der Begrenzung der Integration auf die Stellgrößen-Grenzen entgegen. Als Maßnahme wird ein Anti-Windup-Kreis eingebaut.

25 Für die erfindungsgemäße Lösung ist das Regelverhalten eines Regelsystems mit Anti-Windup-Regelkreis aber noch nicht ausreichend. Daher wird ein Stellgrößenkompensator 30 eingesetzt.

In Figur 3 zeigt schematisch eine solche Lösung für einen Standardregel-

30 kreis, gemeinsam mit einem Stellgrößenkompensator 30 dargestellt. Der

Stellgrößenkompensator 30 besteht aus einem Referenzmodell R und einem Korrekturregler K. Dabei wird die maximale Stellgröße des Aktuators mit der Wunschstellgröße u eines Reglers verglichen und die Differenz der beiden Signale zur Auslenkung eines Referenzmodells aus dem Gleichgewichtszustand, der Ruhelage, verwendet.

Dadurch kann eine Information y_{korr} generiert werden, die in Kombination mit der Systemausgangsgröße y wieder dem Regler zugeführt wird. Die Auslenkung des Referenzmodells bzw. die Zustandsgrößen des Referenzmodells stellen aber auch Informationen dar, die Aufschluss geben, wie viel Stellgröße nicht umgesetzt werden konnte.

Ist das Potential des Elektromotors 44 zu einem späteren Zeitpunkt wieder höher als die Stellgröße u des Reglers, so kann diese mit einem Korrekturregler K zum Signal u_{korr} verknüpft werden, und direkt dem Elektromotor 44 zugeführt werden. Damit ist es möglich, Auslenkungen aus dem Gleichgewichtszustand zu reduzieren. Kann das Referenzmodell wieder in die Ruhelage überführt werden, so bedeutet dies, dass die zuvor nicht verfügbare Stellgröße zu einem späteren Zeitpunkt wieder nachgeholt wurde.

Das Prinzip des Referenzmodells und der aktiven Beeinflussung von Systemzuständen aufgrund von vergangenen Anforderungen, wird auf die Fahrzeug Topologie mit zwei elektrischen Radantrieben übertragen und in Figur 4 dargestellt.

Die Anordnung aus Figur 2 wird nun mit Hilfe dieses Prinzips erweitert. Dadurch können die zuvor erwähnten nachteiligen Effekte beseitigt, bzw. Rückschlüsse auf Rekuperationsanforderungen gezogen werden. Das Auslenken eines Referenzmodells aus dessen Ruhelage wird dabei genutzt,

um die internen Systemzustände des Referenzmodells oder dessen Ausgang $y_{\text{kor}}r$ einem zusätzlichen Regler zuzuführen. Stellgrößen, die durch die Begrenzung weggefallen sind, werden erfasst und durch gleichwertige Regelimpulse in einem oder mehrerer Abtastintervallen ersetzt.

- 5 Natürlich muss das Fahrzeug in jeder Situation gebremst werden können, unabhängig von der Strategie, die Energie durch den Elektromotor zurückzuholen. Deshalb wird das System aus einer ersten Regelschleife S1 für die Kompensation und einer zweiten Regelschleife S2 für die eigentliche Steuerung des Elektromotors und der Bremse aufgebaut.
- 10 Zusätzlich zu den begrenzende Parametern des Elektromotors 44 werden noch die Ladezustände der Speicherbatterie sowie interne Parameter wie etwa Drehgeschwindigkeit oder Temperatur zur Optimierung der Energiestrategie herangezogen und die Parameter an den Energiemanager 11 weitergegeben. Aus der Vielzahl der Parameter erstellt der Energiemanager
- 15 die minimalen und maximalen Rekuperationsmomente T_{min} und T_{max} .

- Wenn der Elektromotor das geforderte Moment nicht zur Verfügung stellen kann, bzw. aufgrund der Vorgaben von T_{min} und T_{max} nicht zur Verfügung stellen darf, muss die Reibbremse 42 eingeschaltet werden. Das
- 20 Maß, in dem die Reibbremse gefordert ist, stellt dabei das Maß der Energie dar, die durch Rekuperation hinsichtlich der Straßenzustand genutzt werden könnte. Also wird dieses Maß ebenfalls dazu verwendet, um das Referenzmodell aus seiner Ruhelage auszulenken, damit die Forderung nach erhöhter Rekuperation in den Folgezyklen / -momenten erfüllt werden kann/könnte.
- 25

- Besitzt der Motor das Potential der Rekuperationsmomentenerhöhung und wird dies durch T_{min} und T_{max} freigegeben, so wird neben dem aktuell geforderten Rekuperationsmoment der Maschinensteuereinheit 22 ein Zusatzmoment T_{comp} zugeführt. Dieses Moment bewirkt ein geringfügiges
- 30

Erhöhen des Gesamtmomentes T_{Rad} . Dadurch veranlasst der Radschlupfregler, dass T_{λ} betragsmäßig gesenkt wird. Als Folge dieser Anpassung wird auch das Bremsmoment T_{Brk} gesenkt, das proportional dem Bremsdruck folgt, was zur weiteren Erhöhung des Motormoments führt.

- 5 Das Motormoment T_{EM} im Elektromotor 44 wird dabei solange betragsweise erhöht, bis entweder die Motorgrenzen wieder erreicht werden, oder der Bremsdruck vollständig abgebaut ist, oder der Schlupfregler 21 einer weiteren Erhöhung entgegenwirkt.

Welcher der drei Fälle zur Beendigung der Momentenanpassung herangezogen wird ist z.B. je nach Fahrzeug-, Antriebsstrang- und Batterieladezustand bzw. Straßenzustand unterschiedlich.

Durch die Parametrierung des Kompensationsreglers K kann der Verlauf von T_{comp} beeinflusst werden. Dadurch lässt sich das Übergangsverhalten von Verlustbremsung auf gesteigerte Energieeffizienz wirkungsvoll und für
15 den Passagier kaum bemerkbar gestalten, ohne den Sicherheitsaspekt zu vernachlässigen.

Im Gegensatz zu einem gesteuerten Übergang zwischen den Elektromotoren erfolgt in der erfindungsgemäßen Lösung der Übergang geregelt. D. h.
20 im Falle von auftretenden Störungen (Reibwertwechsel, erneute Reduktion des verfügbaren Rekuperationsmoment,...) ist man im Stande, ohne zusätzliche Maßnahmen darauf zu reagieren.

Im Weiteren bietet sich der Vorteil, dass der Maschinenregler so ausgelegt werden kann, als ob es keine Stellgrößenbeschränkungen gäbe, d.h er
25 kann optimal auf Störgrößenunterdrückung ausgelegt werden.

In Figur 5a ist beispielhaft die Bremsung mit Hilfe eines Reibbremssystems (ohne Rekuperationsmöglichkeit) dargestellt.

In Figur 5b-d ist der gleiche Bremsvorgang mit Hilfe eines Reibbremssystems mit Rekuperationsmöglichkeit (mit Traktionsmotor) dargestellt. Auf
30

der linken Seite ist dabei eine Bremsung ohne Kompensator und auf der rechten Seite mit Rekuperationsverbesserung mit Hilfe eines Kompensators dargestellt. Bei einem Anstieg des Motorpotentials wird der Bremsdruck derart verringert, dass der Radschlupf auf einem Wunschwert
5 (nicht dargestellt) gehalten wird, und gleichzeitig ein Maximum an Rekuperation erzielt wird.

Das beschriebene Verfahren ist nicht nur auf Einzelradtraktionsantriebe beschränkt, sondern kann auch für ein Bremssystem mit Reibbremse und
10 Zentralachsmaschine verwendet werden.

Bezugszeichenliste

5	10	Steuereinrichtung
	11	Energiemanager
	18, 18', 18''	Summationsglied
	20	Reibbremssteuereinheit
	21	Schlupfregler
10	22	Maschinensteuereinheit
	24	Schlupferkennungs-Regelungseinheit
	30	Stellgrößenkompensation
	40	Rad
	42	Reibbremse
15	44	Elektrische Maschine
	λ_{ref}	Referenzradschlupf
	λ	Radschlupf
	G	Radsystem
	K	Korrekturregler
20	R	Referenzmodell
	T_{λ}	Schlupf-Korrekturmoment
	T_B	Soll-Reibbremsmoment
	T_E	Soll-Rekuperationsmoment
	T_{comp}	Zusatz-Rekuperationsmoment
25	T_{Brk}	korrigiertes Reibbremsmoment
	T_{Brk}'	anteiliges Reibbremsmoment
	T_{EM}	korrigiertes Rekuperationsmoment
	$T_{\text{min}}/T_{\text{max}}$	Rekuperationsgrenzen
	T_{Rad}	Radmoment
30	r	Referenzgröße
	t	Zeitpunkt
	u, u_{korr}	Stellgröße
	y	Systemausgangsgröße
35	y_{korr}	korrigierte Systemausgangsgröße

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines Bremssystems eines Kraftfahrzeugs,
das mittels mindestens einer Reibbremse (42) und mindestens einer
als Generator betreibbaren elektrischen Maschine (44) bremsbar ist,
wobei während eines Bremsvorgangs ein durch die mindestens eine
Reibbremse (42) aufzubringendes Reibbremsmoment (T_{Brk}) und ein
durch die mindestens eine elektrische Maschine (44) aufzubringen-
des Rekuperationsmoment (T_{EM}) während einer Bremsmomentre-
duktionsphase (B) reduziert werden, bis ein durch die Reibbremse
(42) und die elektrische Maschine (44) aufzubringendes korrigiertes
Gesamtbremsmoment (T_{Rad}) erreicht ist, dadurch gekennzeichnet,
dass das durch die elektrische Maschine (44) aufzubringende Reku-
perationsmoment (T_{EM}) durch eine erste Rückkopplungsschleife (S1)
mit Kompensation innerhalb einer zweiten Rückkopplungsschleife
(S2) für die Kontrolle der elektrischen Maschine beeinflusst wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zumin-
dest ein Rad (40) des Fahrzeugs durch eine Schlupferkennungsein-
heit (24) hinsichtlich des Auftretens eines Schlupfs (λ) überwacht
wird, wobei die Detektion eines Schlupfs (λ) des Rads (40) erfolgt
und als ein Eingangsparameter verwendet wird.
3. Verfahren zur Steuerung eines Bremssystems nach Anspruch 1 oder
2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kompensation in der ersten
Rückkoppelschleife (S1) über eine Referenzmodell (R) und einen
Korrekturregler (K) verfügt.
4. Verfahren zur Steuerung eines Bremssystems nach einem der vor-
herigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Referenzmo-

dell (R), die Kontrollsignale, die in von der elektrischen Maschine nicht aufzubringenden Rekuperationsmomente (T_{EM}) resultieren, zwischenspeichert.

- 5 5. Verfahren zur Steuerung eines Bremssystems nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Maschine (44) Zustandsdaten an den Energiemanager (11) abgibt.
- 10 6. Verfahren zur Steuerung eines Bremssystems nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kompensation durch die Reibbremse (42) aufzubringendes Reibbremsmoment (T_{Brk}) beeinflusst wird.
- 15 7. Verfahren zur Steuerung eines Bremssystems nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Referenzmodell der Kompensation durch die Reibbremse (42) aufzubringendes Reibbremsmoment (T_{Brk}) aus seinem Gleichgewichtszustand ausgelenkt wird.

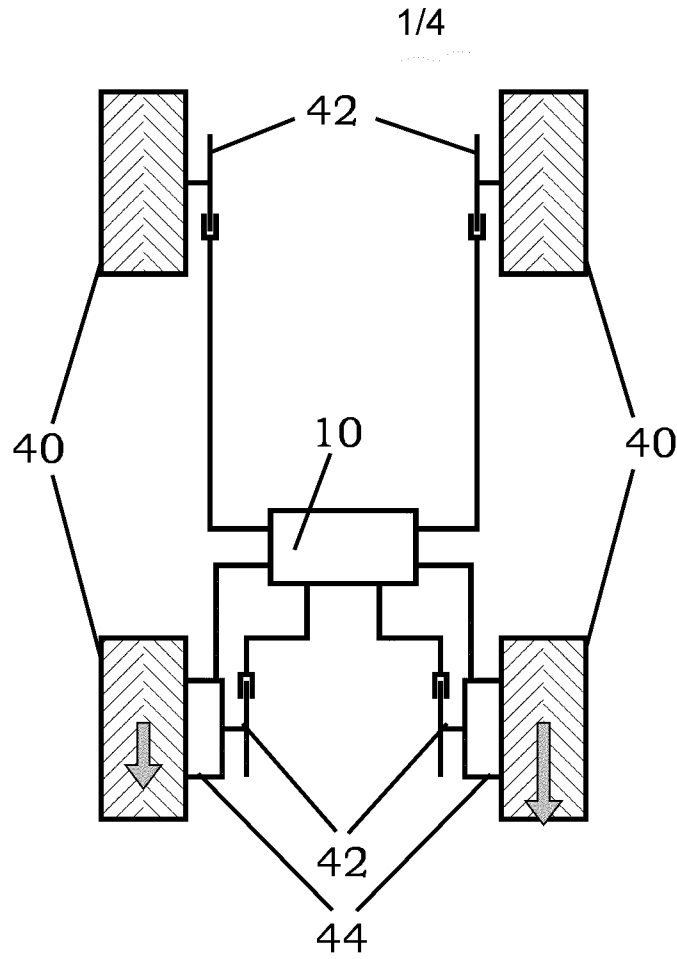


Fig. 1

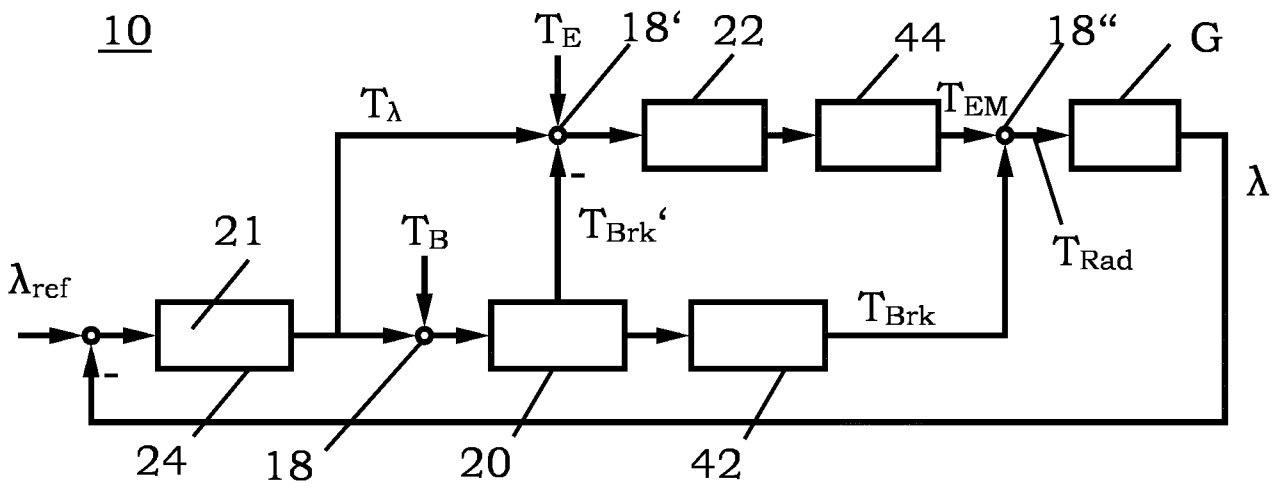


Fig. 2

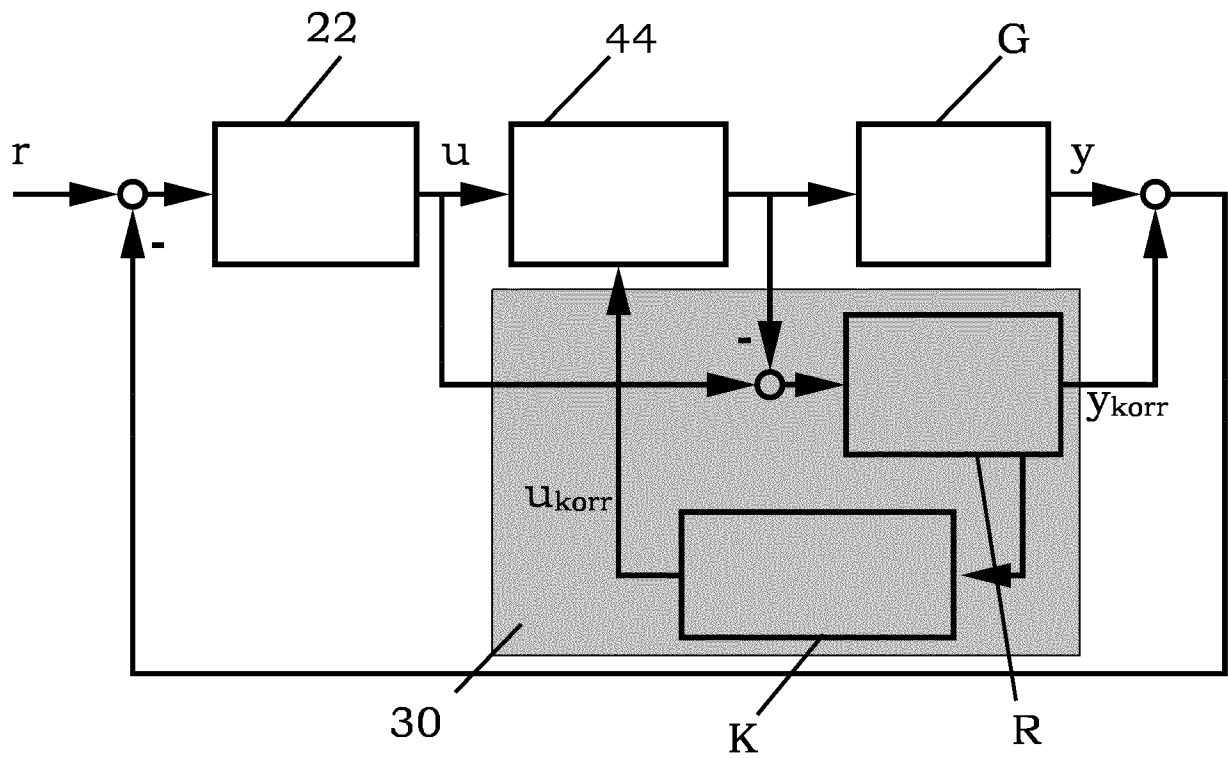


Fig. 3

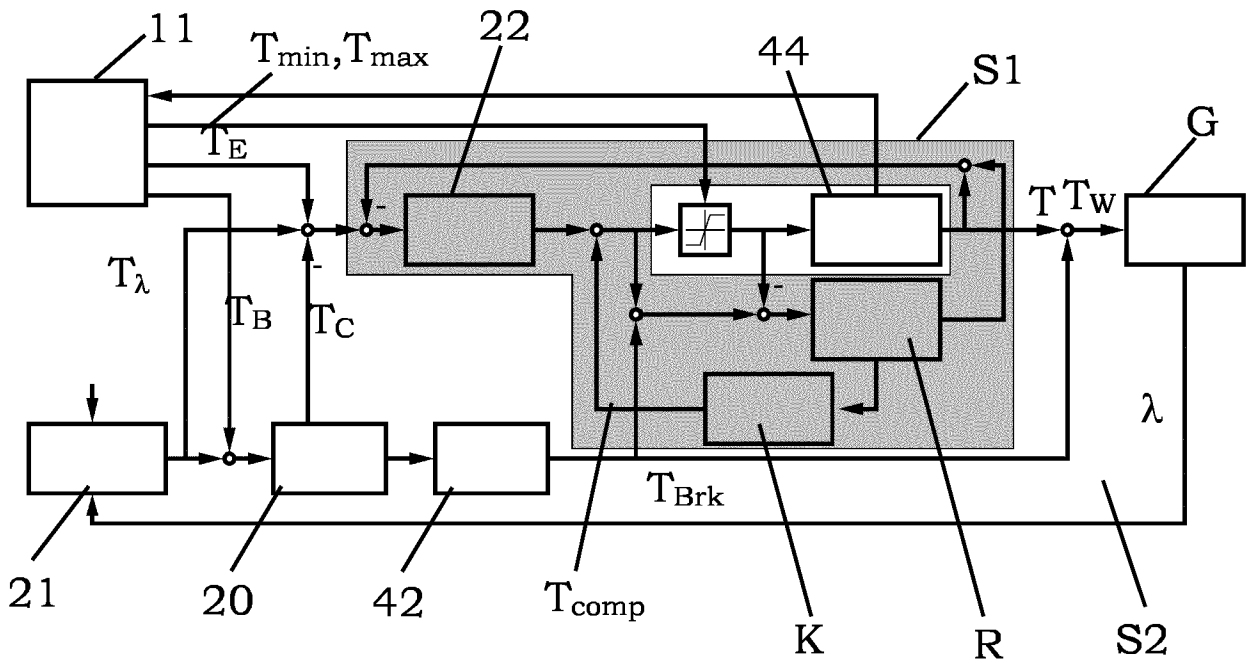


Fig. 4

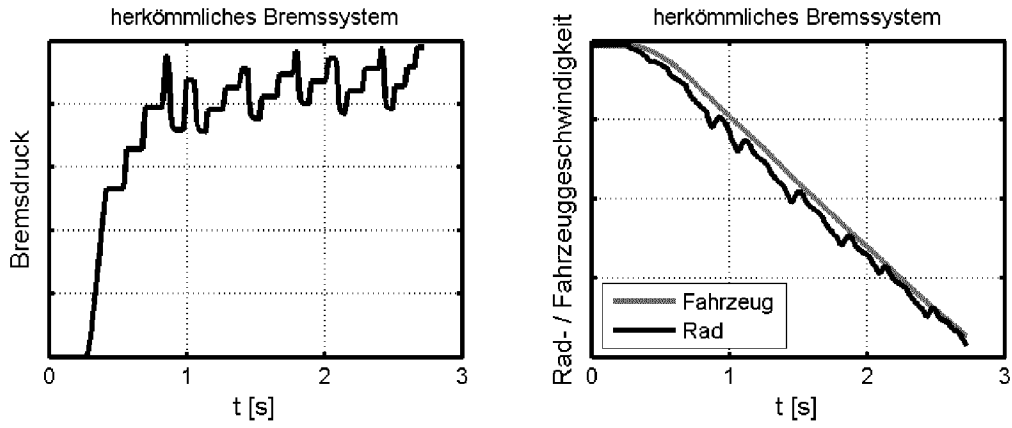


Fig. 5a

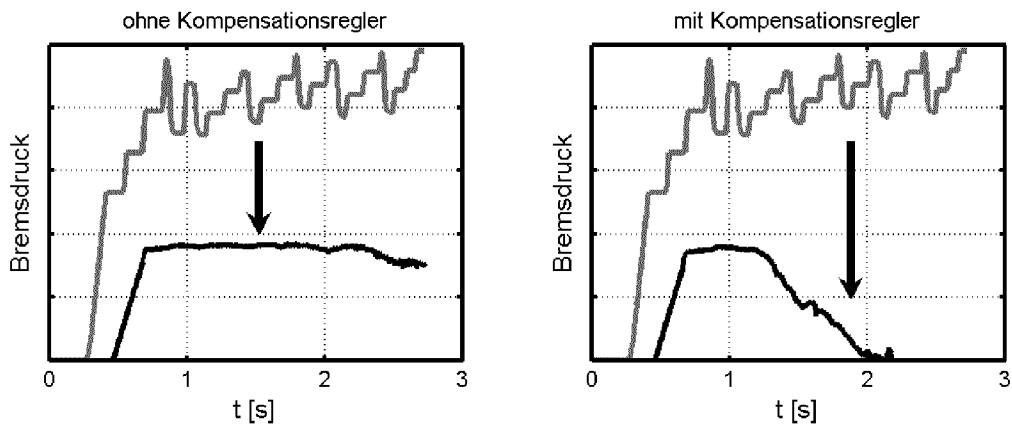


Fig. 5b

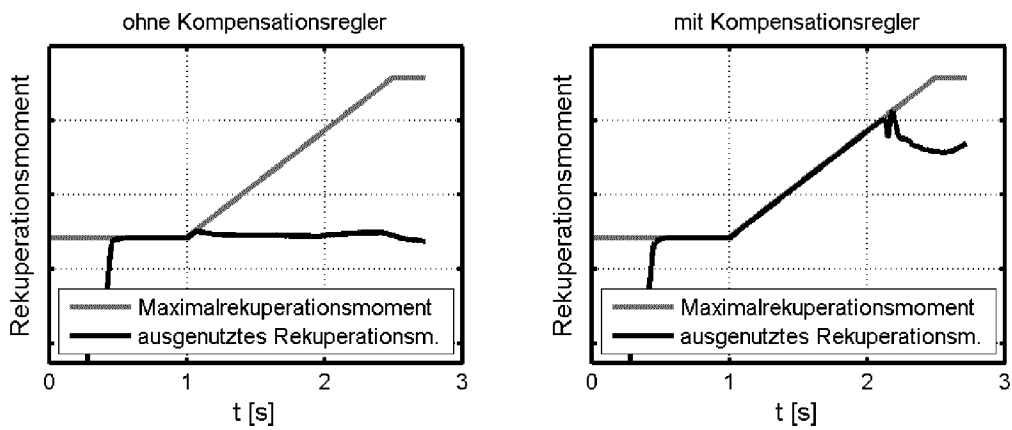


Fig. 5c

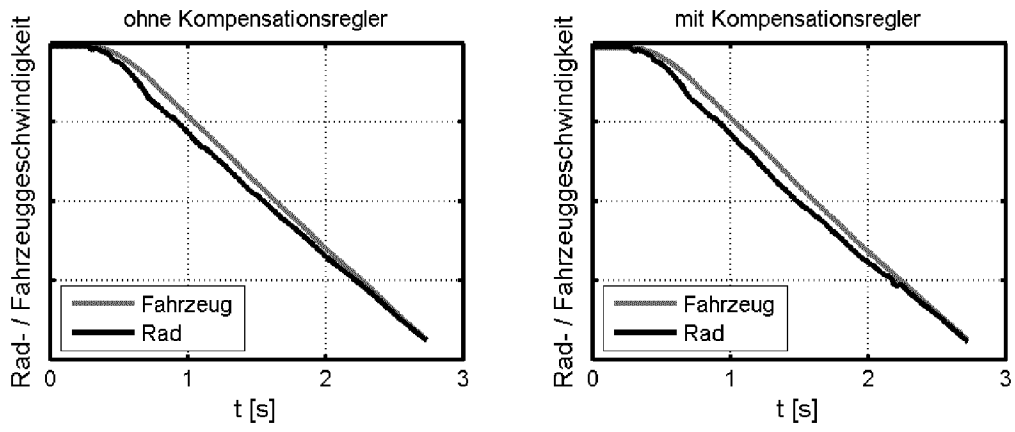


Fig. 5d