

(19)



Deutsches  
Patent- und Markenamt



(10) **DE 10 2013 013 258 A1 2015.02.12**

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 013 258.4**

(22) Anmeldetag: **09.08.2013**

(43) Offenlegungstag: **12.02.2015**

(51) Int Cl.: **B60L 7/28 (2006.01)**

**B60L 7/02 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Marx, Peter, Prof. Dr.-Ing., 14109 Berlin, DE**

(72) Erfinder:

**gleich Anmelder**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Dauerbremse (Bremshilfe) für Elektrofahrzeuge**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Dauerbremse (Bremshilfe) für Elektrofahrzeuge, die bei einer langen Bergabfahrt mit zu Beginn voll geladener Batterie wirksam wird und die Betriebsbremse unterstützt bzw. entlastet, da bei voll geladener Batterie eine elektrische Nutzbremswirkung durch Rekuperation nicht möglich ist.

**Beschreibung**

Zusammenfassung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Dauerbremse (Bremshilfe) für Elektrofahrzeuge, die bei einer langen Bergabfahrt mit zu Beginn voll geladener Batterie wirksam wird und die Betriebsbremse unterstützt bzw. entlastet, da bei voll geladener Batterie eine elektrische Nutzbremswirkung durch Rekuperation nicht möglich ist.

Beschreibung

**[0002]** Wenn man von einem hohen Berg mit einem reinen Elektroauto mit voll geladener Batterie, d. h. ohne Rekuperation und damit ohne Möglichkeit der Nutzbremmung eine lange Bergabfahrt startet, kann es erhebliche Probleme mit den Betriebsbremsen geben.

**[0003]** Beim Auto mit Verbrennungsmotor wirkt dagegen beim längeren Bergabfahren hauptsächlich die Motorbremse (z. B. Fahren im 2. Gang). Diese sehr wichtige Bremsart lernt jeder in der Fahrschule, um die Brems Scheiben und Bremsbelege der Betriebsbremse zu schonen, und eine Überhitzung und damit ein Versagen der Bremswirkung zu vermeiden.

**[0004]** Straßenbahnen nutzten früher die Bremsenergie zum Widerstands-Heizen des Innenraums im Winter, im Sommer wurde diese durch Widerstände auf dem Waggon-Dach an die Umwelt abgegeben. Heute wird die Bremsenergie in das Netz zurückgespeist.

**[0005]** Berechnung der potentiellen Energie eines E-Autos, z. B. des Tesla S beim Start der Bergabfahrt bei einem Höhenunterschied von  $h = 1000$  m:

Tesla S-Masse = 2108 kg + 4 Personen ( $4 \times 75$  kg) + Gepäck (50 kg) = 2458 kg

$1 \text{ Ws} = 1 \text{ kg m}^2/\text{s}^2$

Potentielle Energie =  $m \times g \times h = 1435 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 1000 \text{ m} = 6,7 \text{ kWh}$

Beispiel:

**[0006]** Übliches Gefälle bei Bergstraßen = 10%, d. h. bei der Bergabfahrt mit einem Höhenunterschied von  $h = 1000$  m beträgt die Fahrstrecke 10,05 km. Bei 40 km/h wird dieser Höhenunterschied in 15 Minuten überwunden, d. h. die potentielle Energie von 6,7 kWh ergibt eine Leistung von 26,8 kW, verteilt auf 4 Bremsen. Wenn jede Bremse 15 Minuten lang mit 6,7 kW beaufschlagt wird, dürfte diese rotglühend werden und versagen! Diese relativ große Energie muss bei der Bergabfahrt in Wärme umgewandelt werden. Möglicherweise können die Tesla 5-Betriebs-Bremsen diese Belastung nicht aushalten, denn wenn hier nur die hydraulisch-mechanischen Bremsen wirken können, werden diese aber sehr schnell überhitzen.

**[0007]** Verluste durch Luft- und Rollwiderstände, Triebstrangreibung und elektrische Verbraucher (Licht, Klimaanlage usw.) dürften bei dem diskutierten Beispiel ( $v = 40$  km/h) kaum eine Rolle spielen. Im worst case-Fall könnte es sein, dass aus irgend einem Grund – nicht nur der Fall der 100% vollgeladenen Batterie – sondern auch wenn auf einer langen Bergabfahrt mit großem Gefälle durch einen Schaden an der Leistungselektronik und ausgeschalteten übrigen elektrischen Verbrauchern wie Klimaanlage, Beleuchtung, Infotainmentsystem usw. eine Rekuperation (elektrisches Bremsen) nicht möglich ist.

**[0008]** Wenn die normalen Betriebsbremsen für diese hohe Belastung nicht ausgelegt sein sollten, muss man erfindungsgemäß sicherheitshalber noch eine zusätzliche Bremsmöglichkeit vorsehen, z. B. einen Retarder (Dauerbremse) mit 2 oder 3 wählbaren Bremsstufen mit Wirbelstrom- oder hydrodynamischem Wirk-Prinzip. Alternativ können auch ohmsche Bremswiderstände bzw. eine elektronische Last eingebaut werden, wobei diese Zusatzgeräte durch den Fahrtwind und ggf. zusätzlich mittels Ventilatoren, zwangsgekühlt werden müssen.

**[0009]** Die Betriebsströme für diese Zusatzaggregate können entweder durch den Generatorbetrieb der E-Maschine oder aus der voll geladenen Batterie zur Verfügung gestellt werden.

**[0010]** Die elektrische Wirbelstrombremse kann direkt aus der voll geladenen Batterie gespeist werden.

**[0011]** Das bewusste Laden der Batterie auf dem Berg bis z. B. nur 70% der Gesamtkapazität bei Beginn der Bergabfahrt könnte helfen, kann aber beim Normalfahrer nicht vorausgesetzt werden. Dieser ist gewohnt, vor Antritt einer Reise vollzutanken und entsprechend das E-Auto wegen der Reichweite ebenfalls voll zu laden. Man muss auch immer davon ausgehen, dass ein durchschnittlicher E-Auto-Fahrer aus mangelnder Kenntnis der elektrotechnischen Zusammenhänge mit voller Ladung auf dem Berg startet und dann keine elektrische Bremswirkung zur Verfügung hat.

**[0012]** Mit Realisierung der erläuterten Bremshilfen würde auch die ungewohnte und durchaus lästige Dauerbetätigung der Betriebsbremse beim E-Auto entfallen.

**[0013]** Bei der Reichweitenberechnung ist natürlich auch immer die potentielle Energie (Steigung/Gefälle) zwischen Start- und Zielort zu berücksichtigen. Das kann durch den Bordrechner in Verbindung mit dem Navi erfolgen.

#### Elektronische Last

**[0014]** Eine Elektronische Last ist ein Gerät oder eine Baugruppe, die als Ersatz für einen konventionellen ohmschen Lastwiderstand eingesetzt wird.

**[0015]** Als Gegenstück zur Stromquelle handelt es sich bei der Elektronischen Last um eine Stromsenke. Während beim Belasten einer Stromquelle mit einem Festwiderstand immer nur ein bestimmter Laststrom bei einem bestimmten Widerstandswert eingestellt werden kann, ist die Besonderheit der Elektronischen Last, dass der Laststrom in einem definierten Bereich einstellbar ist, er wird elektronisch geregelt.

**[0016]** Die von der Elektronischen Last aufgenommene elektrische Energie wird meistens in Wärmeenergie umgewandelt, zur Kühlung werden Lüfter oder wassergekühlte Elemente verwendet. Elektronische Lasten werden in verschiedensten Applikationen eingesetzt, vor allem zur Prüfung von Netz- und Steuergeräten, Batterien, Brennstoff- und Solarzellen, Generatoren. Wechselstromlasten werden zum Testen von Transformatoren, Unterbrechungsfreien Stromversorgungen (USVs) oder Bordnetzen verwendet.

**[0017]** Das Leistungs- und Ausstattungsspektrum dieser Geräte beginnt bei einfachsten Schaltkreisen, die im Wesentlichen aus einem Potentiometer zur Sollwerteneinstellung und einem Transistorkreis zur Leistungsumsetzung bestehen.

**[0018]** Bei weiterentwickelten Elektronischen Lasten sind mehrere Betriebsarten vorhanden, meistens sind diese Konstantstrom, -spannung, -leistung und -widerstand.

**[0019]** Hinweis: Bei Bussen und LKWs werden sog. Retarder für lange Bergabfahrten verwendet, um die Betriebsbremse zu entlasten.

**[0020]** Ein Retarder (vom englischen retard für „verzögern“ oder „aufhalten“) ist eine verschleißfreie hydrodynamische (mit Flüssigkeit arbeitende) oder elektrodynamische Dauerbremse (Wirbelstromeffekt), die bisher vorwiegend in Nutzfahrzeugen wie LKW oder Omnibussen eingesetzt wird.

**[0021]** Eine Wirbelstrombremse ist eine verschleißfreie Bremse, die Wirbelstromverluste von in Magnetfeldern bewegten Metallscheiben (Rotoren) oder Schwertern zur Bremsung nutzt.

**[0022]** Das Prinzip: Bewegt sich eine Metallplatte in einem inhomogenen äußeren Magnetfeld, werden in ihr Spannungen und in der Folge Wirbelströme induziert, die ihrerseits eigene, dem äußeren Magnetfeld gemäß der Lenzschen Regel entgegengesetzte Magnetfelder erzeugen, die die Platte schlussendlich abbremsen. Gleiches gilt, wenn umgekehrt die Quelle des äußeren Magnetfelds, z. B. ein Dauer- oder Elektromagnet, über eine elektrisch leitende Fläche, z. B. eine Eisenbahnschiene, bewegt wird – entscheidend ist lediglich die Relativbewegung des Felds und des elektrischen Leiters.

**[0023]** Der elektrische Widerstand der Metallplatte bildet dabei für die Wirbelströme einen ohmschen Verbraucher, der die Bewegungsenergie der Platte bzw. des Magneten in Wärme umsetzt. Die Magnetisierbarkeit der Metallplatte dagegen, die bei den ähnlich funktionierenden Hysteresebremsen eine Rolle spielt, ist für die Induktion in einer Wirbelstrombremse unerheblich, allein ausschlaggebend ist die elektrische Leitfähigkeit.

**[0024]** Die Stärke der Bremswirkung ist von mehreren Parametern abhängig:

- Leitfähigkeit der Brems Scheibe: Die induzierten Ströme sind direkt proportional zur elektrischen Leitfähigkeit des verwendeten Materials. Eine Kupferscheibe wird daher stärker abgebremst als eine baugleiche Stahlscheibe.
- Richtung des Magnetfeldes: Die größte Bremswirkung wird erzielt, wenn das Magnetfeld die bewegliche Scheibe senkrecht durchsetzt.
- Luftspalt: Je größer der Luftspalt, desto kleiner ist die maximale Bremswirkung.
- Form der Scheibe: Scheiben mit umfänglich kammförmiger Struktur oder Rissen weisen eine verringerte Bremswirkung auf, da sich die ringförmigen Wirbelströme nicht mehr großräumig ausbilden können.
- Fläche unter dem Erregerpol: Je kleiner die Fläche unter dem Pol ist, desto geringer ist die Bremswirkung.
- Geschwindigkeit: Die Bremswirkung ist stark von der Relativgeschwindigkeit zwischen Feld und Scheibe abhängig.
- Spulenstrom: Je höher der durch den Magneten fließende Strom ist, desto stärker wird das Magnetfeld und damit die Bremskraft.

**[0025]** Wird eine rotierende Scheibe durch ein statisches Magnetfeld (z. B. Permanentmagnet) gebremst, so wird die Scheibe immer langsamer. Jedoch wird – wegen der Abnahme der Bremskraft mit der Relativgeschwindigkeit – der Stillstand theoretisch nie ganz erreicht. Eine Wirbelstrombremse eignet sich daher nicht als Feststellbremse.

**[0026]** Umgekehrt bietet dieser Effekt ein natürliches ABS. Diese Eigenart lässt sich durch ein veränderliches Magnetfeld beeinflussen, dann lässt sich sogar Bewegung erzeugen, wie z. B. beim Asynchronmotor mit Kurzschlussläufer oder in Stromzählern nach dem Ferrarisprinzip.

#### Elektrodynamische Retarder

**[0027]** Beim elektrodynamischen Retarder, auch Wirbelstrombremse, Kloft- oder Telmabremse genannt (nach den Herstellerfirmen), sind zwei Stahlscheiben (Rotoren), die nicht magnetisiert sind, mit der Antriebswelle verbunden. Dazwischen liegt der Stator mit 16 Spulen. Wenn durch die stufenlose Betätigung des Retarders vom Fahrer Strom eingesteuert wird, werden Magnetfelder erzeugt, die durch die Rotoren geschlossen werden. Die gegenläufigen Magnetfelder erzeugen dann die Bremswirkung. Die entstandene Wärme wird durch innenbelüftete Rotorscheiben wieder abgegeben.

#### Bedienung

**[0028]** Die Bedienung eines Retarders variiert sehr stark nach Fahrzeugart. In der Regel befindet sich am Lenkrad neben dem Blinkerhebel ein weiterer Lenkstockschalte, mit dem sich 2 bis 6 Bremsstufen abrufen lassen. Sofern vorhanden, wird mit diesem Hebel auch der Tempomat bedient. Nachgerüstete Retarder besitzen oft frei platzierte Hebel auf dem Armaturenbrett. Bei Betätigung des Retarders mittels solcher Zusatzhebel ist zu beachten, dass die Bremsleuchten des Fahrzeugs in den meisten Fällen nicht mit aktiviert werden. Starke Bremsmanöver mittels Retarder – welche dieser durchaus leistet – sollten daher vermieden werden. Auch ist zu beachten, dass der Retarder (wie andere Dauerbremsen auch) nur auf einzelne Achsen eines Fahrzeugs oder Fahrzeugespanns wirkt, was sich besonders bei ungünstigen Fahrbahnverhältnissen (Schnee, Glätte) negativ auf Brems- und Spurverhalten auswirken kann. Daher lassen sich diese separat abschalten.

**[0029]** Bei Linienbussen mit Automatikgetriebe beispielsweise ist der Retarder der Betriebsbremse vorgeschaltet und wird daher über die Fußbremse betätigt, ein Handhebel fehlt oftmals. In einer ersten Stufe bremst nur der Retarder, erst bei einer stärkeren Bremsung wirkt die mechanische Betriebsbremse mit.

**[0030]** Wird der Retarder bei neueren Fahrzeugen zur stärksten Stufe gezogen, schalten sich auch die Bremsleuchten ein. Somit kann der Retarder auch zum starken Abbremsen des Fahrzeugs, z. B. vor Ampeln oder auch bei Stopp-Straßen, genutzt werden, was von verschiedenen Fahrzeugbauern wie z. B. Mercedes oder MAN oder andere dringend empfohlen wird.

**[0031]** Hydrodynamische Retarder arbeiten mit Öl, das bei Bedarf in ein Wandlergehäuse geleitet wird. Das Wandlergehäuse besteht aus zwei rotationssymmetrischen und sich gegenüberliegenden Schaufelrädern, einem Rotor, der mit dem Antriebsstrang des Fahrzeugs verbunden ist, und einem feststehenden Stator. Der Rotor beschleunigt das zugeführte Öl; die Zentrifugalkraft drückt es nach außen. Durch die Form der Rotorschaukeln wird das Öl in den Stator und von diesem wieder zurückgeleitet, wodurch es den Rotor und in weiterer Folge dann auch die Gelenkwelle abbremst.

**[0032]** Durch Reibung wird die Bewegungsenergie in Wärme umgewandelt, die durch einen Wärmetauscher wieder abgeführt werden muss (dies erfolgt meistens gleich mit Hilfe des Kühlwasserkreislaufs des Motors). Die Ansteuerung des Retarders erfolgt pneumatisch über eine Druckluftsteuerung: Zum Aktivieren wird der Retarder mit Öl aus einem Vorratsbehälter geflutet, welches bei Druckabbau durch die Schaufelräder selbsttätig wieder zurückgepumpt wird.

**[0033]** Der hydrodynamische Retarder wurde u. a. von der Firma Voith in Heidenheim an der Brenz entwickelt. Eine neuere Entwicklungsstufe ist der Aquatarder, der Wasser statt Öl als Bremsflüssigkeit verwendet. Ebenso werden neben Retardern auch sogenannte Intarder bzw. Sekundärretarder angeboten. Unterschied zwischen beiden ist die Art des An- oder Einbaus und bei letzterem der gemeinsame Ölvorrat. Während ein Retarder im Gelenkwellenstrang frei platziert werden kann, sind Intarder teilweise oder ganz in das Getriebe integriert bzw. diesem unmittelbar nachgeschaltet. Bei den Einbauvarianten der Retarder unterscheidet man zwischen Inline (im Antriebsstrang integriert) und Offline (seitlich an das Getriebe angebaut und nicht direkt auf die Kardanwelle wirkend).

#### Temperatur-Management für die Bremsen

**[0034]** Die Wärmeabfuhr erfolgt durch drei physikalische Effekte:

##### Strahlung

$$\Phi = W_{\lambda} = 5,669 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \cdot \varepsilon \cdot A \cdot (T_s^4 - T_a^4)$$

$W_{\lambda}$  = Wärmestrahlung (W) ist abhängig von den nachfolgenden Größen:  
 $\varepsilon$  = Emissionsgrad  
 $T_s$  = Oberflächentemperatur  
 $T_a$  = Temperatur der Raumumschließungsflächen  
 $A$  = strahlende Oberfläche

##### Konvektion

$$\Phi = \alpha \cdot A \cdot (T_s - T_A)$$

$\Phi$  = Wärmestrom (W) ist abhängig von den nachfolgenden Größen:  
 $A$  = Körperoberfläche  
 $\alpha$  = Wärmeübergangskoeffizient  
 $T_s$  = Temperatur des angrenzenden Wärme leitenden Mediums  
 $T_A$  = Temperatur der Körperoberfläche

**[0035]** Für nicht polierte Oberflächen gilt  $\alpha = 6 \dots 8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

##### Wärmeleitung

$$\Phi = \lambda \cdot \frac{A}{l} (T_s - T_A) = \frac{\Delta T}{R_{th}} \quad \text{mit } R_{th} = \frac{l}{\lambda \cdot A} \text{ (K/W)}$$

$\Phi$  = Wärmeleistung (W)  
 $A$  = Querschnitt  
 $l$  = Leitungslänge  
 $\lambda$  = Wärmeleitfähigkeit  $\text{W}/(\text{m K})$

keramische Kühlkörper	$\lambda = 180 \text{ W/(mK)}$
Al	$\lambda = 237 \text{ W/(mK)}$
Cu	$\lambda = 380 \text{ W/(mK)}$
Diamant	$\lambda = 2300 \text{ W/(mK)}$
Kohlenstoff-Nanoröhrchen	$\lambda = 6000 \text{ W/(mK)}$

Wärmewiderstand:

$$R_{th,parallel,ges} = \frac{1}{\frac{1}{R_{th,1}} + \frac{1}{R_{th,2}} + \frac{1}{R_{th,3}} + \dots + \frac{1}{R_{th,n}}}$$

$$R_{th,seriell,ges} = R_{th,1} + R_{th,2} + R_{th,3} + \dots + R_{th,n}$$

FAZIT

**[0036]** Beim Bremsendesign muss die Entwärmung der Bremse durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung durch eine geeignete konstruktive Gestaltung realisiert werden.

Strahlung

**[0037]** Es dürfen keinesfalls metallische Oberflächen sein, da diese prinzipiell einen sehr niedrigen Emissionsgrad besitzen. Die Bremsenoberflächen müssen einen möglichst hohen spektralen Emissionsgrad  $\epsilon$  im Infrarotbereich aufweisen. Siehe Kirchhoffsches Strahlungsgesetz, Plancksches-Strahlungsgesetz usw..

Konvektion

**[0038]** Ausreichend große Bremsen-Oberflächen für den Kontakt mit der Luftströmung sind vorzusehen (Rippen, raue Struktur usw.). Eine Zwangsbelüftung durch Ventilatoren mit magnetischer Lagerung (dadurch sehr große Lebensdauer) oder durch eine schwingende Membran ist ggf. vorzusehen.

Wärmeleitung

**[0039]** Kühlkörper-Materialien mit geringem Wärmewiderstand sind auszuwählen, z. B. Kühlsysteme mit integrierten „Heatpipes“. Diese weisen eine extrem hohe Wärmeleitfähigkeit auf. Auch Keramik-Kühlkörper sind gut geeignet. Im Vergleich zu herkömmlichen Kühlkörpern wird doppelt soviel Wärmeenergie abgeleitet.

**[0040]** Wegen der geringen Bremsen-Oberfläche kann diese kaum Wärme durch Strahlung und Konvektion abgeben. Deshalb muss zunächst die Verlustwärme mittels Wärmeleitung auf geeignete Kühlelemente (spezielle Kühlkörper, bzw. Kühlgehäuse) abgeleitet werden, die ihrerseits dann die Wärme durch Konvektion und Strahlung an die Umgebung abgeben.

Stand der Technik

**[0041]** Soweit bekannt, sind zusätzliche Bremshilfen (sog. Retarder) – die beim Bergabfahren mit voll geladener Batterie die Betriebsbremsen entlasten können, wie im voran gehenden Kapitel erläutert – bei reinen Elektroautos bislang nicht vorhanden.

Patentansprüche

1. Dauerbremse (Bremshilfe) für ein Elektrofahrzeug, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine oder mehrere elektrische Wirbelstrombremsen im Triebstrang des Elektrofahrzeugs eingebaut sind.

2. Dauerbremse (Bremshilfe) für ein Elektrofahrzeug, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine oder mehrere elektrische Wirbelstrombremsen im Triebstrang des Elektrofahrzeugs die Betriebsströme für diese Wirbelstrombremsen entweder durch den Generatorbetrieb der E-Maschine oder aus der voll geladenen Batterie erhalten und dadurch eine weitest gehende verschleißfreie Dauerbremsung beim Bergabfahren ermöglichen.
3. Dauerbremse (Bremshilfe) für ein Elektrofahrzeug, **dadurch gekennzeichnet**, dass Wirbelstrombremsen mit einer oder mehreren wählbaren Bremsstufen im Elektrofahrzeug eingebaut sind.
4. Dauerbremse (Bremshilfe) für ein Elektrofahrzeug, **dadurch gekennzeichnet**, dass einer oder mehrere Retarder mit hydrodynamischem Wirk-Prinzip mit einer oder mehreren wählbaren Bremsstufen im Elektrofahrzeug eingebaut werden.
5. Dauerbremse (Bremshilfe) für ein Elektrofahrzeug, **dadurch gekennzeichnet**, dass alternativ ohmsche Bremswiderstände bzw. eine elektronische Last eingebaut werden, wobei diese Zusatzgeräte durch den Fahrtwind und ggf. zusätzlich mittels Kühlkörpern und Ventilatoren, zwangsgekühlt werden müssen.
6. Dauerbremse (Bremshilfe) für ein Elektrofahrzeug, **dadurch gekennzeichnet**, dass die beim Bremsen entstehende Wärme in den ohmschen Bremswiderständen mittels Heatpipes auf Kühlkörper mit großen Oberflächen und hohem Emissivitätsgrad im infraroten Spektralbereich geleitet werden.
7. Dauerbremse (Bremshilfe) für ein Elektrofahrzeug, **dadurch gekennzeichnet**, dass die beim Bremsen entstehende Wärme in der elektronischen Last mittels Heatpipes auf Kühlkörper mit großen Oberflächen und hohem Emissivitätsgrad im infraroten Spektralbereich geleitet werden.
8. Reichweitenberechnung für ein Elektrofahrzeug, **dadurch gekennzeichnet**, dass die potentielle Energie (Steigung/Gefälle) zwischen Start- und Zielort berücksichtigt wird. Das kann durch den Bordrechner in Verbindung mit den geographischen Höhendaten von z. B. Navigationsgeräten erfolgen.

Es folgen keine Zeichnungen