

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50676/2015  
(22) Anmeldetag: 28.07.2015  
(43) Veröffentlicht am: 15.03.2017

(51) Int. Cl.: **B60L 11/18** (2006.01)  
**G01M 15/02** (2006.01)  
**G05B 13/04** (2006.01)  
**G05D 1/00** (2006.01)  
**G01M 13/02** (2006.01)  
**G01M 17/007** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
OLIVER KÖNIG ET AL: "Model predictive control of a battery emulator for testing of hybrid and electric powertrains", 2011 IEEE VEHICLE POWER AND PROPULSION CONFERENCE (VPPC 2011): CHICAGO, ILLINOIS, USA, 6. - 9. SEPTEMBER 2011, IEEE, PISCATAWAY, NJ, 6. September 2011 (06.09.2011), Seiten 1 - 6, XP031974964, ISBN: 978-1-61284-248-6, DOI: 10.1109/VPPC.2011.6043174  
WO 2013174967 A1  
DE 102009034555 A1

(71) Patentanmelder:  
AVL List GmbH  
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:  
König Oliver Dr.  
8042 Graz (AT)

(74) Vertreter:  
Patentanwälte Pinter & Weiss OG  
1040 Wien (AT)

(54) **Batterieemulator und Verfahren zum Regeln des Batterieemulators**

(57) Um bei einem Batterieemulator eine ausreichend stabile Ausgangsspannung mit geringeren Verlusten auch bei schnellen Laständerungen zu realisieren ist vorgesehen, dass der Batterieemulator (1) mit einer modellbasierten Regelung mit einem Modell des Batterieemulators (1) geregelt wird, wobei in das Modell des Batterieemulators (1) eine Leitungsinduktivität ( $L_L$ ) der elektrischen Leitung (4) und der Stützkondensator ( $C_S$ ) eingebunden ist.

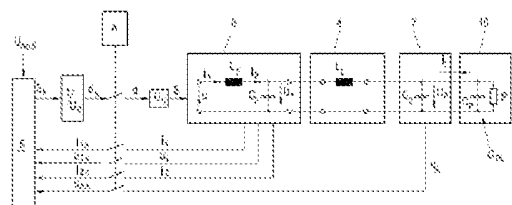


Fig. 3

### Zusammenfassung

Um bei einem Batterieemulator eine ausreichend stabile Ausgangsspannung mit geringeren Verlusten auch bei schnellen Laständerungen zu realisieren ist vorgesehen, dass der Batterieemulator (1) mit einer modellbasierten Regelung mit einem Modell des Batterieemulators (1) geregelt wird, wobei in das Modell des Batterieemulators (1) eine Leitungsinduktivität ( $L_L$ ) der elektrischen Leitung (4) und der Stützkondensator ( $C_S$ ) eingebunden ist.

Fig. 3

## Batterieemulator und Verfahren zum Regeln des Batterieemulators

Die gegenständliche Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln eines Batterieemulators mit einem Ausgangsfilter mit einer Filterkapazität und einem separaten Stützkondensator, wobei die Filterkapazität des Batterieemulators über eine elektrische Leitung mit dem Stützkonden-  
5 sator verbunden ist, und zur Regelung eine modellbasierte Regelung mit einem Modell des Batterieemulators verwendet wird. Weiters betrifft die Erfindung einen Batterieemulator mit einer Spannungsversorgung, die einen eingangsseitigen Gleichrichter mit einem Gleichspannungszwischenkreis, einen damit verbundenen Gleichspannungswandler und ein Aus-  
gangfilter mit einer Filterkapazität am Ausgang des Gleichspannungswandlers aufweist, mit  
10 einem Stützkondensator, der örtlich getrennt von der Spannungsversorgung angeordnet ist, wobei die Filterkapazität über eine elektrische Leitung mit dem Stützkondensator verbunden ist, und mit einer Emulator-Regeleinheit zur modellbasierten Regelung des Batterieemula-  
tors, in der ein Modell des Batterieemulators implementiert ist und die Verwendung des Bat-  
terieemulators zur Prüfung eines elektrischen Prüflings.

Bei der Entwicklung von Hybridantriebssträngen oder Hybridfahrzeugen sind in den ver-  
schiedensten Entwicklungsphasen Tests des Hybridantriebsstränges oder des Hybridfahrzeu-  
ges, oder Komponenten davon, auf einem Prüfstand erforderlich. Insbesondere in frühen  
Entwicklungsphasen ist es aber oftmals so, dass die Traktionsbatterien noch nicht verfügbar  
sind. Aber auch in späteren Entwicklungsphasen ist es oftmals erwünscht, Test ohne der  
20 Traktionsbatterie durchzuführen, da die Traktionsbatterien ein aufwendiges Handling erfor-  
dern, Beispielsweise müssen Traktionsbatterien für einen Test konditioniert werden, was die  
Temperierung, die Einstellung eines Ladezustandes (State of Charge (SoC)) oder eines Alte-  
rungszustandes (State of Health (SoH)) umfassen kann. Abgesehen davon sind Tests mit  
realen physischen Traktionsbatterien kaum reproduzierbar. Aus diesem Grund werden für  
25 solche Tests oftmals sogenannte Batterieemulatoren eingesetzt, die die Traktionsbatterie  
nachbilden. Ein Batterieemulator ist in der Regel leistungselektronischer Wandler, der am  
Ausgang eine gewünschte Gleichspannung zur Verfügung stellt, die an eine elektrische Last,  
beispielsweise der Hybridantriebsstrang, angeschlossen ist. Je nach momentaner elektri-  
scher Last ergibt sich ein gewisser Laststrom am Ausgang des Wechselrichters. In einem  
30 realen Hybridantriebsstrang kann sich der Laststrom aber sehr rasch ändern. Abgesehen  
davon wird durch den Batterieemulator ein Antriebswechselrichter des Hybridantriebsstran-  
ges versorgt, was zu hochfrequenten Rückwirkungen auf den Batterieemulator führen kann.  
Diese Umstände führen zu Stabilitätsproblemen im Betrieb des Batterieemulator.

Aus der WO 2013/174967 A1 ist ein solcher Batterieemulator bekannt, bei dem eine modell-  
35 basierte, hier modellprädiktive, Regelung verwendet wird, bei der in das Modell der Regel-

strecke ein Lastmodell des Antriebssystems eingebunden wird. Durch die Integration des Lastmodells kann die Regelung stabilisiert werden und es kann ein gutes Führungsverhalten erreicht werden.

5 Aus der JP 3402117 B2 ist ein Solar-Wechselrichter bekannt, der einen Gleichstrom von den Solarmodulen in eine Wechselspannung wandelt. Der Solar-Wechselrichter wird in herkömmlicher Weise von einem Zustandsregler mit Verstärkungsfaktoren und Integration des Regelfehlers geregelt. Die Verstärkungsfaktoren werden aus einem Zustandsraummodell des Wechselrichters ermittelt, wobei in das Zustandsraummodell auch eine Leitungsinduktivität eingebunden ist. Die JP 3402117 B2 zeigt damit keine modellbasierte Regelung, sondern  
10 das Zustandsraummodell wird lediglich in herkömmlicher Weise zur Reglerauslegung verwendet.

Ebenso ist es bekannt, den Ausgang eines Batterieemulators mit einem großen (bei Bedarf auch zuschaltbaren) Stützkondensator zu stützen. Um Resonanzen zwischen parasitären Leitungsinduktivitäten der Leitung zwischen Batterieemulator und der verbundenen Last und dem Stützkondensator zu dämpfen, wird oftmals auch ein Dämpfungswiderstand in Serie in der Leitung zur Last oder parallel zum Stützkondensator verwendet. Wegen der anwendungsbedingt benötigten Leistungen von typischer Weise mehreren 100 kW sind Batterieemulatoren entsprechend groß und können meist nicht direkt neben der Last aufgestellt werden, sondern in einigen Metern Entfernung. Dabei sind auf einem Prüfstand Distanzen von  
15 10 bis 50 m durch aus üblich. Die daraus resultierende parasitäre Leitungsinduktivität bildet zusammen mit dem Stützkondensator des Batterieemulators und dem Eingangskondensator der elektrischen Last (Antriebswechselrichter) einen Schwingkreis, der sowohl von der Regelung des Batterieemulators als auch von der Last angeregt werden kann. Als Folge kann die Spannungsregelung des Batterieemulators instabil werden und es kann notwendig sein, den Prüflauf am Prüfstand abubrechen. Im schlimmsten Fall kann dadurch sogar die elektrische Last, die als Prüfling am Prüfstand getestet werden soll, beschädigt werden. Das kann durch die Verwendung von größeren Stützkondensatoren verbessert werden. Je größer der Stützkondensator, umso stabiler wird die Ausgangsspannung, aber umso geringer wird wegen der nötigen großen Umladeströme gleichzeitig auch die maximal mögliche Änderungsrate der  
20 Ausgangsspannung. Eine schnelle Spannungsänderung wird aber wiederum für die getreue Nachbildung einer Batterieimpedanz bei schnellen Laständerungen benötigt. Ein großer Stützkondensator ist daher kontraproduktiv. In einem Wechselrichter, wie in der JP 3402117 B2 beschrieben, kann ein ausgangsseitiger Stützkondensator  $C_S$  natürlich nicht verwendet werden.  
25  
30

Zusätzlich führt der passive Dämpfungswiderstand zu erheblichen Verlusten und schränkt auch die Rückspeisefähigkeit bei geringer Spannung und hohen Strömen ein. Daher ist auch ein Dämpfungswiderstand eher unerwünscht.

5 Es ist daher eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung, die obigen Probleme zu vermindern und insbesondere einen Batterieemulator mit ausreichend stabiler Ausgangsspannung auch bei schnellen Laständerungen und mit geringeren Verlusten zu realisieren.

10 Diese Aufgabe wird gelöst, indem in das Modell des Batterieemulators eine Leitungsinduktivität der elektrischen Leitung und der Stützkondensator eingebunden wird. Der örtlich getrennte Stützkondensator stützt die Ausgangsspannung des Batterieemulators direkt beim Prüfling. Zur Verbesserung der Regelgüte des Batterieemulators wird nun die Leitungsinduktivität und der Stützkondensator in das Modell des Batterieemulators eingebunden, womit eine hohe Regelbandbreite und auch schnelle Laständerungen bei ausreichender Stabilität der Regelung realisierbar sind. Gleichzeitig werden damit zusätzliche Dämpfungswiderstände überflüssig, da die Regelung selbst in der Lage ist, Resonanzen ausreichend schnell zu dämpfen.

15 Die Regelgüte kann noch weiter verbessert werden, wenn in das Modell des Batterieemulators zusätzlich ein Lastmodell eines vom Batterieemulator versorgten elektrischen Prüflings eingebunden wird. Damit kann die Regelung die gesamte Dynamik des geregelten Systems noch besser berücksichtigen.

20 Hier ist es aufgrund der Einfachheit vorteilhaft, wenn als Lastmodell eine Eingangskapazität des Prüflings verwendet wird oder eine Konstantleistungslast verwendet wird, wobei die Konstantleistungslast um einen Betriebspunkt des Batterieemulators linearisiert wird.

25 Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 3 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

Fig.1 einen Batterieemulator nach dem Stand der Technik,  
 Fig.2 einen erfindungsgemäßen Batterieemulator mit einem elektrischen Prüfling und  
 Fig.3 ein Blockschaltbild der Modellstruktur des Batterieemulators.

30 Der erfindungsgemäße Batterieemulator 1 besteht aus einem eingangsseitigen Gleichrichter 2, der über einen Gleichspannungszwischenkreis 9 mit einer Zwischenkreisspannung  $V_0$  und einer Zwischenkreiskapazität  $C_0$  mit einem Gleichspannungswandler 3 verbunden ist. Der Batterieemulator 1 wird von einem Wechselspannungsnetz AC versorgt. Am Ausgang des Gleichspannungswandlers 3 ist ein Ausgangsfilter 6 bestehend aus einer Filterinduktivität  $L_F$

in Serie zur Ausgangsleitung und einer parallel geschalteten Filterkapazität  $C_F$  angeordnet. Der Gleichspannungswandler 3 kann bekanntermaßen auch mehrphasig ausgeführt sein, wobei in diesem Fall für jede Phase eine Filterinduktivität  $L_F$  vorgesehen ist. Der Gleichspannungswandler 3 ist beispielsweise als Synchronwandler mit einer Anzahl von Halbbrücken (je eine Halbbrücke pro Phase) mit Halbleiterschaltern implementiert. Ein solcher Batterieemulator 1 ist beispielsweise aus der Fig.2 der WO 2013/174967 A1 bekannt.

Ausgangsseitig ist parallel zu den Ausgangsanschlüssen, an denen die Ausgangsspannung  $u_A$  anliegt, und parallel zur Filterkapazität  $C_F$  noch ein Stützkondensator  $C_S$  vorgesehen.

Im Batterieemulator 1 ist weiters eine Emulator-Steuereinheit 5 vorgesehen, die den Gleichspannungswandler 3, bzw. die Schalter des Gleichspannungswandlers 3, ansteuert, um die gewünschte Ausgangsspannung  $u_{Asoll}$ , die von einer übergeordneten Steuereinheit angefordert wird, zu erzeugen. In der Regel ist eine Pulsweitenmodulation PWM implementiert, um die Halbleiterschalter des Gleichspannungswandlers 3 anzusteuern, wie hinlänglich bekannt ist und wie in Fig.1 angedeutet ist. Die Pulsweitenmodulation PWM könnte auch direkt in der Emulator-Steuereinheit 5 implementiert sein. Die Emulator-Steuereinheit 5 erzeugt aus dem Sollwert der Regelung, hier die Ausgangsspannung  $u_{Asoll}$ , die Stellgröße  $s$  für den Gleichspannungswandler 3 bzw. Pulsweitenmodulation (PWM).

Als erste erfindungsgemäße Maßnahme wird der Stützkondensator  $C_S$  des Batterieemulators 1 hardwaremäßig und örtlich getrennt von den restlichen Komponenten des Batterieemulators 1 angeordnet. Der Stützkondensator  $C_S$  wird beispielsweise in einer separaten Anschlussbox 7 angeordnet, wie in Fig.2 dargestellt. Das Ergebnis ist ein verteilter Batterieemulator 1 mit einer Spannungsversorgung 8 und der örtlich getrennten Anschlussbox 7 mit dem Stützkondensator  $C_S$ . Die Anschlussbox 7 mit dem Stützkondensator  $C_S$  wird dann über eine Leitung 4 mit dem Ausgangsfilter 7 verbunden. In der Spannungsversorgung 8 sind der Gleichrichter 2, der DC-Zwischenkreis, der Gleichspannungswandler 3 und das Ausgangsfilter 6 angeordnet. Das ermöglicht es, den Stützkondensator  $C_S$  trotz der baulichen Größe des Batterieemulators 1 örtlich getrennt von der Spannungsversorgung 8 nahe an der elektrischen Last anzuordnen. Die Leitung 4 kann dabei sehr lange werden, wie in Fig.2 durch die Unterbrechung angedeutet ist, und kann auch Längen von 10 bis 50m erreichen. Dadurch kann zwar eine Stabilisierung der am Stützkondensator  $C_S$  anliegenden Ausgangsspannung  $u_A$  des Batterieemulators 1 erreicht werden, allerdings wird die Dynamik des verteilten Batterieemulators 1 komplexer und schwieriger zu regeln, weil die resultierende Leitungsinduktivität  $L_L$  zusammen mit der Filterkapazität  $C_F$  und dem Stützkondensator  $C_S$  einen zusätzlichen Schwingkreis bildet. Dieser Schwingkreis hat eine weitere Resonanz zur Folge, zusätzlich zu jener zwischen der Filterinduktivität  $L_F$  und der Filterkapazität  $C_F$ . Der Regler des Batterie-

emulators 1 darf die Resonanzen nicht anregen bzw. muss diese bei Anregung durch den Prüfling 10 geeignet dämpfen.

Um die Regelung des derart verteilten Batterieemulators 1 für das Erreichen einer hohen Dynamik (hohe Änderungsrate der Ausgangsspannung  $u_A$ ) zu ermöglichen, ist eine modellbasierte Regelung auf Basis eines Modells des Batterieemulators 1 vorgesehen. Das Modell des Batterieemulators 1 wird dazu in der Emulator-Steuereinheit 5 in einer modellbasierten Regelung, wie z.B. einer modellprädiktiven Regelung, verwendet, um den Batterieemulator 1 zu regeln. „Modellbasierte Regelung“ bedeutet dabei, dass das Modell bzw. der Modellausgang verwendet wird, um die Stellgröße  $s_k$  des Batterieemulators 1 für den nächsten Abtastschritt  $k$  zu berechnen. Das Modell des Batterieemulators 1 umfasst dabei auch den Stützkondensator  $C_S$  und die zwischen der Spannungsversorgung 8 und dem Stützkondensator  $C_S$  vorhandene Leitungsinduktivität  $L_L$  der Leitung 4, wie in Fig.2 angedeutet.

In der erfindungsgemäßen Anwendung ist die Leitungsinduktivität  $L_L$  dominant und ausreichend. Es sei aber angemerkt, dass man im Modell des Batterieemulators 1 zusätzlich auch den Kapazitätsbelag und/oder den Ableitungsbelag und/oder den Widerstandsbelag der Leitung 4 berücksichtigen könnte.

Zur Durchführung eines Prüflaufs auf einem Prüfstand 20 wird der Batterieemulator 1, bzw. die Anschlussbox 7 des Batterieemulators 1 mit dem elektrischen Prüfling 10 verbunden. Der Prüfling 10 besteht beispielsweise aus einem Antriebswechselrichter 11, der einen Elektromotor  $M$  versorgt. Der Elektromotor  $M$  treibt irgendeine Last 12, beispielsweise eine Belastungsmaschine oder ein Antriebsstrang mit Belastungsmaschine, an. Der Prüfling 10 kann z.B. ein Hybridantriebsstrang eines Fahrzeugs sein. Am Prüfstand 20 ist auch ein Prüfstandrechner 30 vorgesehen, der die Durchführung des Prüflaufs steuert und überwacht. Der Prüfstandrechner 30 gibt dabei die gewünschte Ausgangsspannung  $u_{A\text{soll}}$  und einen Sollwert für den Antriebswechselrichter 11 vor. Am Prüfstand 20 sind natürlich Messeinrichtungen vorhanden, um benötigte Messgrößen für die Regelung zur Durchführung des Prüflaufs, wie beispielsweise ein Drehmoment, eine Drehzahl, elektrische Ströme oder elektrische Spannungen im Hybridantriebsstrang, zu erfassen. Die Messeinrichtungen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Damit ergibt sich das Blockschaltbild des Modells des Batterieemulators 1 wie in Fig.3 dargestellt, wobei in diesem Fall auch der elektrische Prüfling 10 mit einem Lastmodell eingebunden ist.

Aus elektrischer Sicht bildet der Prüfling 10 eine Konstantleistungslast CPL wie in der WO 2013/174967 A1 beschrieben. Die Konstantleistungslast CPL führt zu einer nichtlinearen

Zustandsgleichung, die um einen Betriebspunkt linearisiert wird, ebenfalls wie in der WO 2013/174967 A1 beschrieben. Dabei ergibt sich die Beziehung zwischen dem von der Konstantleistungslast CPL aufgenommenen Strom und der Versorgungsspannung  $u_A$  der Konstantleistungslast CPL zu  $\tilde{i}_L = \frac{P}{u_A}$ , mit dem Leistungsbedarf  $P$  des Prüflings 10. Durch die

- 5 Einführung eines betriebspunktabhängigen differentiellen Ersatzwiderstandes  $r_p = -\frac{u_A^2}{P}$

kann die Zustandsgleichung um einen Betriebspunkt in Form einer Ausgangsspannung  $u_A$  und eines Laststromes  $i_L$  linearisiert werden. Dieses Lastmodell in Form der Konstantleistungslast CPL kann ebenfalls in das Modell des Batterieemulators 1 eingebunden werden, wie in der WO 2013/174967 A1 beschrieben. In einer einfacheren Ausgestaltung könnte das

10 Lastmodell einfach aus der Eingangskapazität des Prüflings 10 gebildet werden. Diese Eingangskapazität kann einfach gemessen werden, oder ist bekannt. Das Lastmodell kann im Modell des Batterieemulators 1 aber auch gar nicht eingebunden werden.

Mit der Modellstruktur wie in Fig.3 dargestellt kann die folgende Zustandsgleichung als Modell des Batterieemulator 1 erstellt werden, in dem als Lastmodell die Eingangskapazität  $C_P$  des Prüflings 10 verwendet wird, die aber zur Vereinfachung auch weggelassen werden

15 könnte. Mit dem Zustandsvektor  $\mathbf{x}_c = [i_1 \quad v_1 \quad i_2 \quad u_A]^T$ , der im Betrieb gemessen wird, ergibt sich das Zustandsraummodell zu

$$\dot{\mathbf{x}}_c = \begin{bmatrix} \frac{-R_{L_F}}{L_F} & \frac{-1}{L_F} & 0 & 0 \\ \frac{1}{C_F} & 0 & \frac{-1}{C_F} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_L} & \frac{-R_{L_L}}{L_L} & \frac{-1}{L_L} \\ 0 & 0 & \frac{1}{C_S+C_P} & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x}_c + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_F} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} s + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{-1}{C_S+C_P} \end{bmatrix} i_L.$$

Darin bezeichnet  $R_{L_F}$  den parasitären Widerstand der Filterinduktivität  $L_F$  und  $R_{L_L}$  den Leitungswiderstand der Leitung 4, der bekannt ist oder gemessen werden kann. Die Stellgröße  $s$  ergibt sich aus  $s = d \cdot u_0$ , mit dem Duty Cycle  $d$  der Pulsweitenmodulation PWM. Im Falle eines mehrphasigen Gleichspannungswandlers 3 werden die einzelnen Filterinduktivitäten jeder Phase zu einer Filterinduktivität  $L_F$  zusammengefasst und die Ströme der einzelnen Phasen zu einem gemeinsamen Drosselstrom  $i_1$  addiert. Größen des Zustandsvektors  $\mathbf{x}_c$

25 könnten natürlich auch durch einen regelungstechnischen Beobachter geschätzt werden, falls diese nicht direkt gemessen werden.

Mit dem beschriebenen Lastmodell für eine Konstantleistungslast CPL kann dieses Zustandsraummodell erweitert werden, indem der differentielle Ersatzwiderstand  $r_P$  eingefügt wird.

$$\dot{\mathbf{x}}_c = \begin{bmatrix} \frac{-R_{LF}}{L_F} & \frac{-1}{L_F} & 0 & 0 \\ \frac{1}{C_F} & 0 & \frac{-1}{C_F} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_L} & \frac{-R_{LL}}{L_L} & \frac{-1}{L_L} \\ 0 & 0 & \frac{1}{C_S+C_P} & \frac{-1}{(C_S+C_P)r_P} \end{bmatrix} \mathbf{x}_c + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_F} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} s + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{-1}{C_S+C_P} \end{bmatrix} \tilde{i}_L$$

- 5 Diese Zustandsgleichung gilt für einen bestimmten Betriebspunkt des Batterieemulators 1. Daher muss das Modell im Betrieb an den jeweiligen Betriebspunkt angepasst werden. Der Vorteil bei Verwendung dieses Lastmodells ist, dass dafür nur zwei zusätzlich Parameter benötigt werden, die einfach zu bestimmen sind.

10 Für die Regelung wird das zeitkontinuierliche Zustandsraummodell in bekannter Weise in ein zeitdiskretes Zustandsraummodell umgewandelt. Die Abtastung A ist in Fig.3 angedeutet und kann z.B. mit einer Frequenz von 16kHz erfolgen.

Das Modell des Batterieemulators 1 mit den Modellparametern kann vorab erstellt werden und kann als bekannt angesehen werden. Das Lastmodell hingegen kann sich je nach angeschlossener elektrischer Last ändern und ist oftmals nicht bekannt. Hier kann so vorgegangen werden, dass die Modellparameter des Lastmodells durch automatisierte Identifikationsmethoden, die an sich bekannt sind, identifiziert werden.

Dazu kann die Prüfanordnung bestehend aus Batterieemulator 1 und Prüfling 10 mit einer Anregesequenz in Form eines vorgegebenen zeitlichen Verlaufs der Ausgangsspannung  $u_A$  angeregt werden. Wenn die Eingangskapazität  $C_P$  des Prüflings 10 kleiner ist als die Kapazität des Stützkondensators  $C_S$ , kann die Identifikation mit abgeklemmtem Prüfling 10 erfolgen. Wenn die Eingangskapazität  $C_P$  des Prüflings gleich oder größer ist als die Kapazität des Stützkondensators  $C_S$ , beeinflusst der Prüfling 10 die Dynamik maßgeblich und muss für die Parameteridentifikation angeschlossen sein. Die Parameteridentifikation kann dann aber ohne Belastung und bei abgeschaltetem Prüfling 10 erfolgen. Die Reaktion der Prüfanordnung in Form der Messgrößen (gemäß der Modellstruktur) wird gemessen und aufgezeichnet. Danach wird das Modell des Batterieemulators 1 (Ausgangsfiler 8 + Leitung 4 + Anschlussbox 7 mit Stützkondensators  $C_S$  + gegebenenfalls Prüfling 10) mit derselben Anregesequenz angeregt und der Modellausgang wird simuliert und ebenfalls aufgezeichnet. Der Unterschied zwischen den gemessenen Messgrößen/Signalen und den simulierten Messgrößen/Signalen wird dann als Fehler verwendet, um in einer Optimierung diesen Fehler, bei-

spielsweise als Summe der Fehlerquadrate, als Funktion der Modellparameter zu minimieren. Diese Identifikation des Lastmodells kann beispielsweise vor jedem Prüflauf, oder auch einmal für jeden Prüfling 10, durchgeführt werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Regeln eines Batterieemulators (1) mit einem Ausgangsfilter (6) mit einer Filterkapazität ( $C_F$ ) und einem separaten Stützkondensator ( $C_S$ ), wobei die Filterkapazität ( $C_F$ ) des Batterieemulators (1) über eine elektrische Leitung (4) mit dem Stützkondensator ( $C_S$ ) verbunden wird, und zur Regelung eine modellbasierte Regelung mit einem Modell des Batterieemulators (1) verwendet wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** in das Modell des Batterieemulators (1) eine Leitungsinduktivität ( $L_L$ ) der elektrischen Leitung (4) und der Stützkondensator ( $C_S$ ) eingebunden wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** in das Modell des Batterieemulators (1) zusätzlich ein Lastmodell eines vom Batterieemulator (1) versorgten elektrischen Prüflings (10) eingebunden wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Lastmodell eine Eingangskapazität ( $C_P$ ) des Prüflings (10) verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Lastmodell eine Konstantleistungslast (CPL) verwendet wird, wobei die Konstantleistungslast (CPL) um einen Betriebspunkt des Batterieemulators (1) linearisiert wird.
5. Batterieemulator mit einer Spannungsversorgung (8), die einen eingangsseitigen Gleichrichter (2) mit einem Gleichspannungszwischenkreis (9), einen damit verbundenen Gleichspannungswandler (3) und ein Ausgangsfilter (6) mit einer Filterkapazität ( $C_F$ ) am Ausgang des Gleichspannungswandlers (3) aufweist, weiters mit einem Stützkondensator ( $C_S$ ), der örtlich getrennt von der Spannungsversorgung (8) angeordnet ist, wobei die Filterkapazität ( $C_F$ ) über eine elektrische Leitung (4) mit dem Stützkondensator ( $C_S$ ) verbunden ist, und mit einer Emulator-Regeleinheit (5) zur modellbasierten Regelung des Batterieemulators (1), in der ein Modell des Batterieemulators (1) implementiert ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** in das Modell des Batterieemulators (1) eine Leitungsinduktivität ( $L_L$ ) der elektrischen Leitung (4) und der Stützkondensator ( $C_S$ ) eingebunden ist.
6. Verwendung des Batterieemulators nach Anspruch 5 zur Prüfung eines elektrischen Prüflings (10), wobei der Batterieemulator (1) mit dem elektrischen Prüfling (10) verbunden ist und eine Versorgungsspannung ( $u_A$ ) für den elektrischen Prüfling (10) bereitstellt.
7. Verwendung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** in das Modell des Batterieemulators (1) zusätzlich ein Lastmodell des elektrischen Prüflings (10) eingebunden ist.

1/2

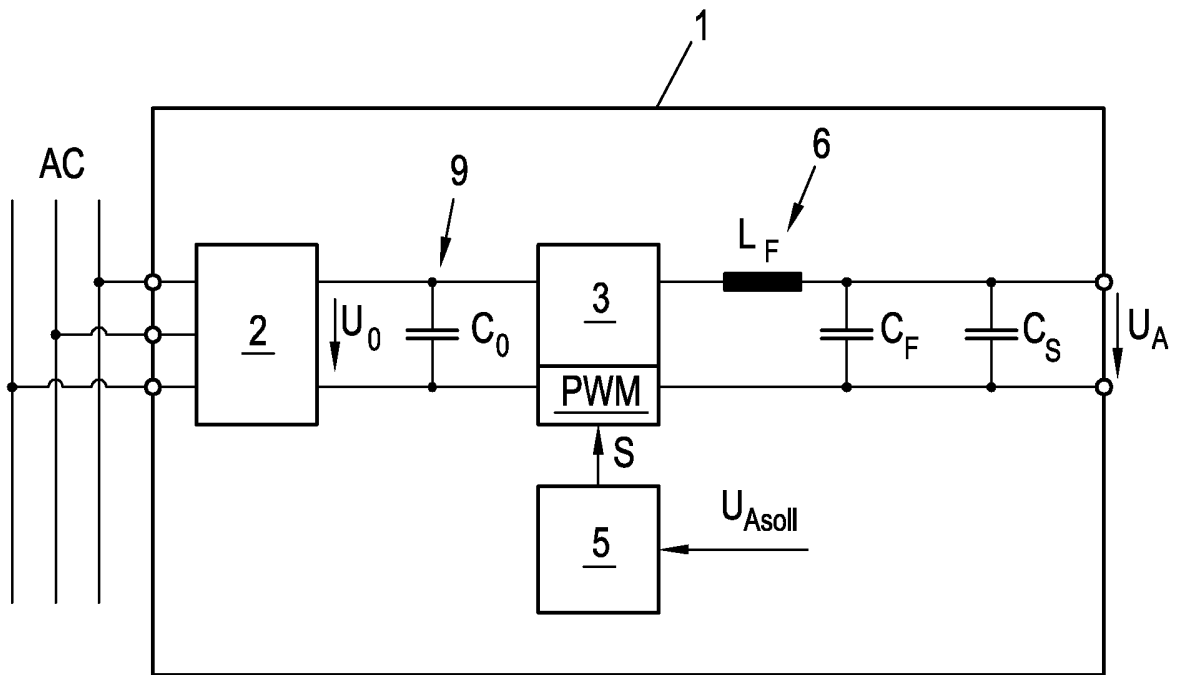


Fig. 1

(Stand der Technik)

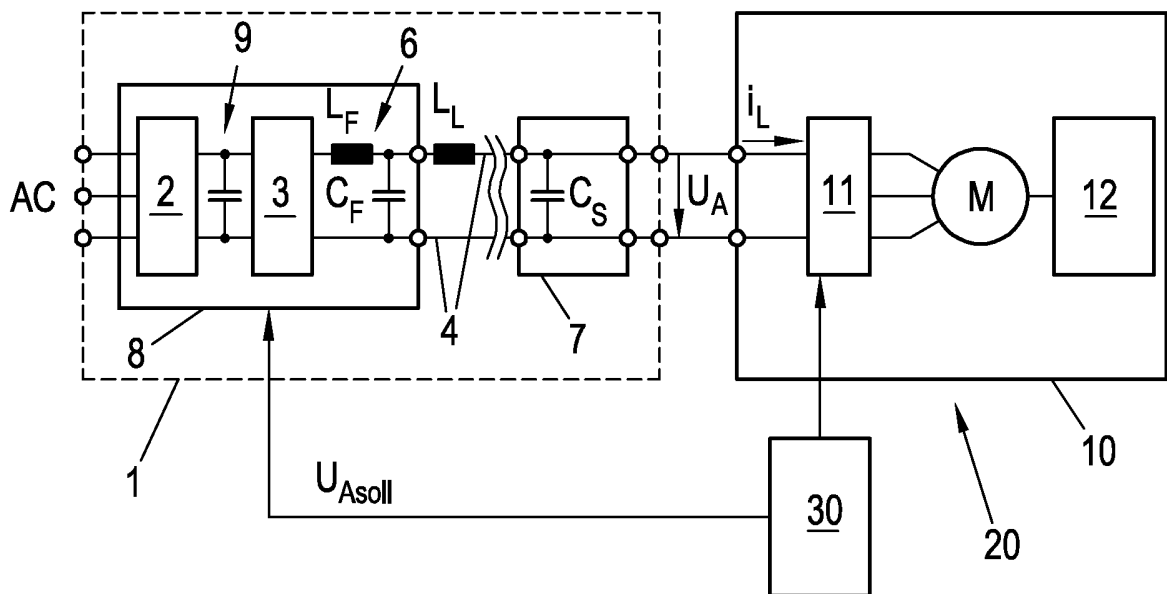


Fig. 2

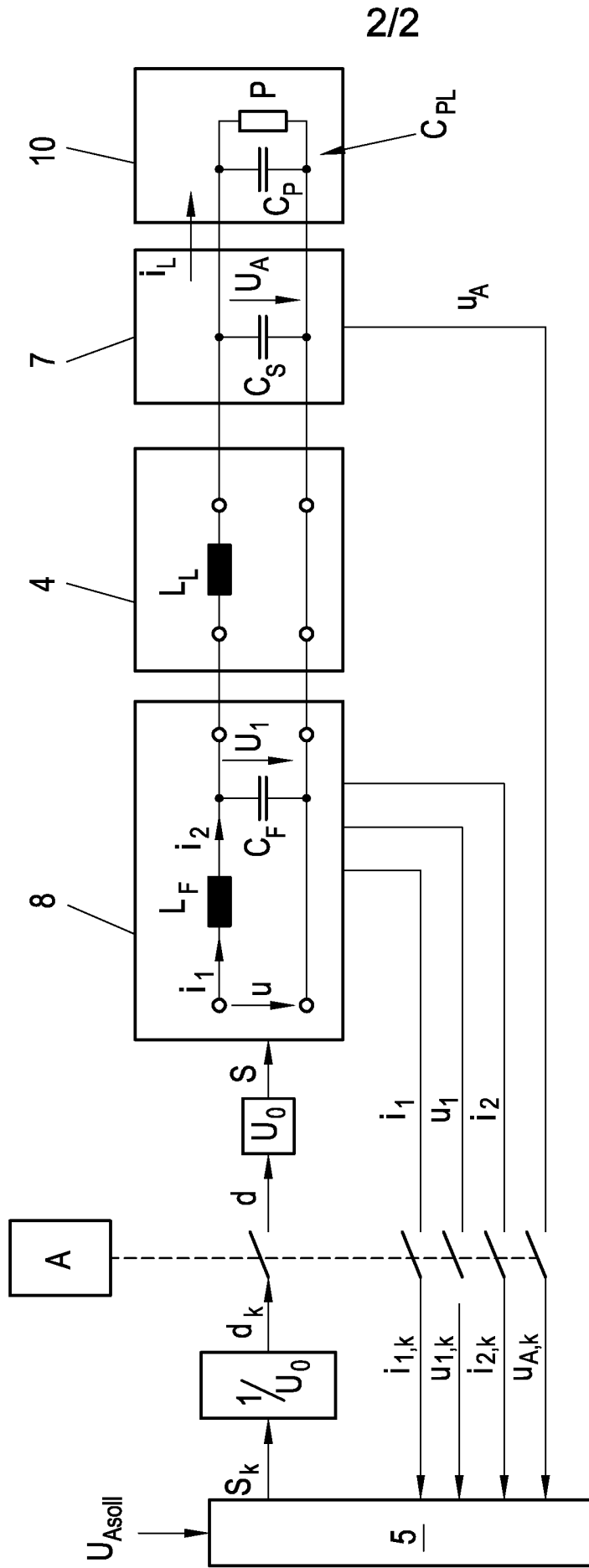


Fig. 3

Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß IPC:  
**B60L 11/18** (2006.01); **G01M 15/02** (2006.01); **G05B 13/04** (2006.01); **G05D 1/00** (2006.01); **G01M 13/02** (2006.01); **G01M 17/007** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß CPC:  
**B60L 11/18** (2013.01); **G01M 15/02** (2013.01); **G05B 13/048** (2013.01); **G05D 1/00** (2013.01); **G01M 13/02** (2013.01); **G01M 17/007** (2015.11)

Recherchiertes Prüfverfahren (Klassifikation):  
 B60L, G01M, G05B, G05D

Konsultierte Online-Datenbank:  
 EPODOC; WPI; TXNn, NPL, IEEE, Internet: Google Patents, Scholar

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **28.07.2015** eingereichten Ansprüchen **1 - 7** erstellt.

Kategorie <sup>1)</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	OLIVER KÖNIG ET AL: "Model predictive control of a battery emulator for testing of hybrid and electric powertrains", 2011 IEEE VEHICLE POWER AND PROPULSION CONFERENCE (VPPC 2011): CHICAGO, ILLINOIS, USA, 6. - 9. SEPTEMBER 2011, IEEE, PISCATAWAY, NJ, 6. September 2011 (06.09.2011), Seiten 1 - 6, XP031974964, ISBN: 978-1-61284-248-6, DOI: 10.1109/VPPC.2011.6043174 Der ganze Artikel, insbesondere Figuren 1 - 3 und zugehörige Beschreibung; Absätze "Battery emulator model" und "Model predictive control".	1 - 7
A	WO 2013174967 A1 (AVL LIST GMBH) 28. November 2013 (28.11.2013) Das gesamte Dokument.	1 - 7
A	DE 102009034555 A1 (PORSCHE AG [DE], KRATZER AUTOMATION AG [DE]) 27. Januar 2011 (27.01.2011) Zusammenfassung; Paragraphen [0025], [0026], [0039], [0042]; Ansprüche.	1 - 7

Datum der Beendigung der Recherche: 24.06.2016	Seite 1 von 1	Prüfer(in): WALTER Peter
---	---------------	-----------------------------

<sup>1)</sup> **Kategorien** der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldegegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldegegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.
- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein **„älteres Recht“** hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.