

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50587/2018
 (22) Anmeldetag: 09.07.2018
 (45) Veröffentlicht am: 15.02.2022

(51) Int. Cl.: **G01R 31/367** (2019.01)
G01R 31/385 (2019.01)
G01R 31/3842 (2019.01)
G01R 31/40 (2014.01)
G01R 31/36 (2019.01)
G01R 31/364 (2019.01)
G05B 13/04 (2006.01)
G05D 16/20 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 DE 102009051514 A1
 WO 2015154918 A1
 EP 2485388 A1
 König, Oliver et al. „Model predictive control of a DC–DC converter for battery emulation“, April 2013; Control Engineering Practice, Volume 21, Issue 4; abgerufen im Internet am 16.05.2019 unter dem Link:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967066112002717>

(73) Patentinhaber:
 AVL List GmbH
 8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
 König Oliver
 8042 Graz (AT)
 Wasserburger Alexander
 1120 Wien (AT)
 Jakubek Stefan
 1230 Wien (AT)
 Eder Alexander
 8020 Graz (AT)
 Prochart Günter
 8042 Graz (AT)

(74) Vertreter:
 Hartinger Mario Dipl.Ing.
 8020 Graz (AT)

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Kompensation von Störgrößen

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kompensation von Störgrößen in einem Regelkreis umfassend einen Regler (1), der einen Stellwert an eine Regelstrecke (2) liefert, wobei der Stellwert mit einem Kompensationssignal beaufschlagt wird, sodass ein kompensierter Stellwert gebildet wird, wobei das Kompensationssignal in Echtzeit in einem Beobachtermodul (3) berechnet wird, indem der kompensierte Stellwert und der aktuelle Istwert der Regelstrecke (2) gemessen werden und dem Beobachtermodul (3) zur Bestimmung des Kompensationssignals zugeführt werden. Die Erfindung betrifft weiters eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

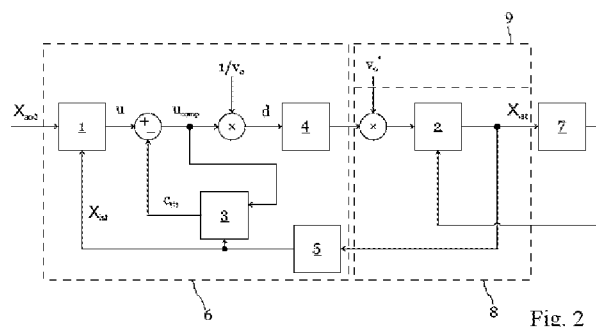


Fig. 2

Beschreibung

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR KOMPENSATION VON STÖRGRÖßEN

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kompensation von Störgrößen in einem Regelkreis, insbesondere für die Ansteuerung eines Batterietestsystems oder eines Batterieemulators.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind Vorrichtungen zur Prüfung von elektrischen Energiespeichersystemen, insbesondere Batterietestsysteme, bekannt. Derartige Vorrichtungen werden insbesondere für die Prüfung der elektrischen Energiespeicher für Elektrofahrzeuge eingesetzt. Die zu testenden Batteriesysteme arbeiten mit hohen Gleichspannungen, um Querschnittseinsparungen bei der Verkabelung im Fahrzeug und damit auch Kosten und Gewicht zu sparen. Dies erfordert für die Batterietestsysteme einen oder mehrere Schaltwandler für die Erzeugung von geschalteten Gleichspannungen mit hoher Dynamik.

[0003] Ebenso sind Batterieemulatoren zur Prüfung der Antriebsstränge elektrischer Fahrzeuge bekannt. In diesem Fall müssen die Emulatoren dazu ausgeführt sein, geschaltete Gleichströme mit hoher Dynamik zu erzeugen.

[0004] Bekannte Batterietestsysteme bzw. Batterieemulatoren verwenden zur Erzeugung der geschalteten Gleichspannung bzw. des geschalteten Gleichstroms Netzgleichrichter mit nachgeschalteten kaskadierten Gleichspannungswandlern, die beispielsweise als Tiefsetzsteller (Step Down Converter, STDC) mit einer konstanten Zwischenkreisspannung ausgeführt sind. Die Ansteuerung derartiger Gleichspannungswandler kann über eine Pulsweitenmodulation erfolgen.

[0005] Zur möglichst exakten Regelung der Ausgangsspannung bzw. des Ausgangsstroms ist es weiters bekannt, einen prädiktiven Regelkreis vorzusehen, wobei zumindest eine oder mehrere interne Größen der Leistungselektronik, insbesondere Ströme und Spannungen, als Istgrößenvektor X_{ist} gemessen werden. Als Sollwert des Regelkreises dient die gewünschte Ausgangsspannung oder der gewünschte Ausgangsstrom. Der Regler berechnet aus dem Sollwert X_{soll} und den gemessenen Zustandsgrößen X_{ist} ein bestimmtes Tastverhältnis, also Einschaltzeit zu Schaltperiodendauer, einer Stellspannung, welche beispielsweise über eine Pulsweitenmodulation als Stellwert der Regelstrecke, also beispielsweise den Gleichspannungswandlern, zugeführt wird.

[0006] Ein Beispiel eines derartigen prädiktiven Regelkreises für einen Batterieemulator ist in dem Konferenzbeitrag „Model predictive control of a battery emulator for testing of hybrid and electric powertrains“, Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2011 IEEE, ISBN: 978-1-61284-248-6 ausführlich beschrieben.

[0007] In der Praxis ergibt sich jedoch das Problem, dass aufgrund der verwendeten Leistungselektronik sowohl die vom Regler erzeugte Stellgröße, als auch die von der Leistungselektronik erzeugte Zwischenkreisspannung eine an sich unbekannte Störgröße in Form einer Spannungswelligkeit, dem sogenannten Ripple-Signal, umfasst. Der Regler kann diese Störgröße nicht vollständig selbst kompensieren, da sie bereits Bestandteil der Stellgröße ist.

[0008] Im Stand der Technik, beispielsweise der EP 2 689 528 A2, wird vorgeschlagen, diesen „Ripple“ durch exakte Überwachung der Zwischenkreisspannung, Berechnung von Korrekturfaktoren und Feed-Forward Kompensation in der Ausgangsstufe zu entfernen. Derartig aufwändige Messungen sowie Berechnungs- und Kompensationsschritte sollen jedoch bei der vorliegenden Anwendung vermieden werden und haben sich auch unzureichend zur vollständigen Entfernung des Ripple-Signals gezeigt.

[0009] Auch ist es beispielsweise aus der EP 2 485 388 A1 bekannt, die durch das Ripple-Signal verursachte Drehmomentwelligkeit erst durch einen separaten Regler in der rotierenden Maschine selbst zu kompensieren. Dabei wird jedoch von einer korrekten Stellspannung ausgegangen, was in der Realität aufgrund der verwendeten leistungselektronischen Bauelemente nicht der Fall ist.

[0010] Die Aufgabe der Erfindung ist es, möglichst einfach Störgrößen eines Regelkreis zu kompensieren.

[0011] Dies wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Stellwert des Reglers mit einem Kompensationssignal beaufschlagt wird, sodass ein kompensierter Stellwert gebildet wird. Das Kompensationssignal wird erfindungsgemäß in Echtzeit in einem Beobachtermodul berechnet, indem der kompensierte Stellwert und der aktuelle Istwert gemessen werden und dem Beobachtermodul zur Bestimmung des Kompensationssignals zugeführt werden.

[0012] Dieses Verfahren zur Störgrößenkompensation durch Änderung des Stellwerts hat gegenüber bekannten Verfahren zur Störgrößenkompensation mehrere Vorteile. Zunächst ist das Verfahren unabhängig von der tatsächlich verwendeten Last, beispielsweise einer Batterie, sodass es nicht erforderlich ist, ein Modell für die Last vorzusehen, um ein geeignetes Kompensationssignal zu berechnen. Auch eine Analyse der durch die Störgröße verursachten Änderungen an der Last, also den erzeugten Ripple, ist nicht erforderlich. Außerdem greift die Kompensation schon bei der Stellgröße, also am Ausgang des Reglers, an, sodass das Verfahren mit einer höheren Bandbreite ausgeführt werden kann, als vergleichbare Verfahren, die den Sollwert am Eingang des Reglers verändern.

[0013] Erfindungsgemäß kann vorgesehen sein, dass das Beobachtermodul ein Berechnungsmodell der verwendeten Regelstrecke unter Berücksichtigung einer variablen Störgröße abbildet und zur Bestimmung des Kompensationssignals den aktuellen Stellwert diesem Berechnungsmodell zuführt.

[0014] An Hand des Berechnungsmodells wird eine Modellantwort berechnet, und aus dem Unterschied der Modellantwort zum gemessenen Istwert wird durch Berechnung oder Schätzung der Störgröße ein geeignetes Kompensationssignal berechnet oder geschätzt.

[0015] Im Gegensatz zum Regler bildet das Beobachtermodul also ein Modell der Regelstrecke ab, das nicht ideal ist, sondern eine Störung berücksichtigt. Das Beobachtermodul löst in Folge eine Differentialgleichung zur Beantwortung der Frage: Welchen Wert muss die Störung aufweisen, damit der berechnete Istwert dem tatsächlich gemessenen Istwert entspricht. Mit Kenntnis der berechneten oder geschätzten Störung wird dann das Kompensationssignal so gewählt, dass der tatsächliche Istwert nicht mehr gestört ist.

[0016] Um diese Berechnung oder Schätzung zu ermöglichen, kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass im Beobachtermodul bestimmte Eigenschaften der Störgröße vorab angenommen und beispielsweise im Beobachtermodul hinterlegt werden. Beispielsweise kann bei der Verwendung eines Netzgleichrichters zur Erzeugung des Istwerts davon ausgegangen werden, dass die Störgröße eine harmonische Schwingung mit Netzfrequenz und Oberschwingungen in Vielfachen der Netzfrequenz ist. Das Beobachtermodul kann nun dazu ausgeführt sein, derartige harmonische Schwingungen im Ausgangssignal zu detektieren und ein entsprechendes Kompensationssignal zu berechnen, welches zur Unterdrückung dieser Störungen führt, wenn es dem Stellwert beaufschlagt wird.

[0017] Erfindungsgemäß kann deshalb vorgesehen sein, dass im Beobachtermodul die Störgröße als harmonisches Signal mit einer Frequenz, welche einem Vielfachen der Netzfrequenz entspricht, angenommen wird und das Kompensationssignal durch iterative Lösung eines linearen oder nichtlinearen Differentialgleichungssystems bestimmt wird.

[0018] Insbesondere kann vorgesehen sein, dass für jede im Istwert detektierte Harmonische der Störsignale ein Differentialgleichungssystem, zur fortlaufenden Bestimmung des passenden Kompensationssignals aufgestellt und gelöst wird.

Dieses erfindungsgemäße Verfahren kann insbesondere zur Kompensation von Störgrößen in einem Regelkreis zur Ansteuerung eines Batterietestsystems eingesetzt werden, welches einen geschalteten Gleichstrom als Istwert liefert.

[0019] Es kann aber auch zur Kompensation von Störgrößen in einem Regelkreis zur Ansteuerung eines Batterieemulators eingesetzt werden, welcher eine geschaltete Gleichspannung als

Istwert liefert.

[0020] Das erfindungsgemäße Kompensationsverfahren kann besonders vorteilhaft in einem Prüfverfahren zum Prüfen einer elektrischen Batterie, oder in einem Prüfverfahren zum Prüfen des Antriebsstrangs eines elektrischen Fahrzeugs eingesetzt werden.

[0021] Die Erfindung erstreckt sich weiters auf eine Vorrichtung zur Kompensation von Störgrößen mit einem Regelkreis, umfassend einen Regler, der zur Bereitstellung eines Stellwerts mit einer Regelstrecke verbunden ist, wobei der Regelkreis dazu ausgeführt ist, den Stellwert mit einem Kompensationssignal zur Bildung eines kompensierten Stellwerts zu beaufschlagen. Erfindungsgemäß ist weiters ein Beobachtermodul vorgesehen, welches dazu ausgeführt ist, das Kompensationssignal in Echtzeit zu berechnen, wobei das Beobachtermodul dazu ausgeführt ist, das Kompensationssignal aus dem kompensierten Stellwert und dem aktuellen Istwert der Regelstrecke zu berechnen.

[0022] Erfindungsgemäß kann das Beobachtermodul dazu ausgeführt sein, ein Berechnungsmodell der Regelstrecke unter Berücksichtigung einer variablen Störgröße abzubilden, den aktuellen Stellwert diesem Berechnungsmodell zuzuführen, und eine Modellantwort zu berechnen. Das Beobachtermodul kann weiters dazu ausgeführt sein, aus dem Unterschied der Modellantwort zum Istwert und unter Annahme von Eigenschaften der Störgröße durch Berechnung oder Schätzung der Störgröße jenes Kompensationssignal zu berechnen oder zu schätzen, welches zu einer Kompensation der Störgrößen führt.

[0023] Erfindungsgemäß kann das Beobachtermodul dazu ausgeführt sein, die Störgröße als harmonisches Signal mit einer Frequenz, welche einem Vielfachen der Netzfrequenz entspricht, anzunehmen und das Kompensationssignal durch iterative Lösung eines linearen oder nichtlinearen Differentialgleichungssystems zu bestimmen.

[0024] Die Regelstrecke kann als Batterietestsystem ausgeführt sein, welches einen geschalteten Gleichstrom als Istwert liefert.

[0025] Die Regelstrecke kann auch als Batterieemulator ausgeführt sein, der eine geschaltete Gleichspannung als Istwert liefert.

[0026] Weiters umfasst die Erfindung eine Vorrichtung zum Prüfen einer Batterie mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Kompensation von Störgrößen, sowie eine Vorrichtung zum Prüfen des Antriebsstrangs eines elektrischen Fahrzeugs mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Kompensation von Störgrößen.

[0027] Weitere erfindungsgemäße Merkmale ergeben sich aus den Ansprüchen, den Ausführungsbeispielen und den Figuren.

[0028] Die Erfindung wird im Folgenden an Hand eines exemplarischen, nicht ausschließlichen Ausführungsbeispiels erläutert.

[0029] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines Regelkreises aus dem Stand der Technik.

[0030] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Ausführungsform eines Regelkreises.

[0031] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines Regelkreises aus dem Stand der Technik, der an eine Last 7 angeschlossen ist. Bei der Last 7 kann es sich beispielsweise um eine elektrische Batterie oder um den Antriebsstrang eines Elektrofahrzeugs handeln, sodass der zu regelnde Wert $X_{ist}(t)$ eine geschaltete Gleichspannung oder ein geschalteter Gleichstrom ist.

[0032] Der Regelkreis umfasst eine Steuer- und Regeleinheit 6, ein Schaltwandlermodul 8 und einen Netzgleichrichter 9. Die Regelstrecke 2 ist in diesem Beispiel als Teil des Schaltwandlermoduls 8 modelliert und erzeugt den Istwert $X_{ist}(t)$. Die Regelstrecke 2 ist in dem dargestellten Ausführungsbeispiel ein an sich bekanntes System zum Prüfen von elektrischen Batterien, welches dazu ausgeführt ist, mittels eines oder mehrerer Schaltwandler eine mit hoher Präzision

geregelte Gleichspannung zu erzeugen. Zu diesem Zweck erzeugt der Netzgleichrichter 9 eine Gleichspannung $V_0^*(t)$, die jedoch mit einer Störgröße behaftet ist.

[0033] Die Steuer- und Regeleinheit 6 umfasst einen Regler 1, einen Pulsweitenmodulator 4, sowie Sensoren 5 zur Messung der Istwerte. Der Regler 1 kann in Form eines an sich bekannten, digitalen Proportional-, Integral- oder Differentialreglers, oder eines anderen Regelverfahrens, ausgeführt sein.

Die konkrete Ausführung des Reglers 1 ist für das erfindungsgemäße Verfahren und den erfindungsgemäßen Regelkreis nicht von Bedeutung. Bevorzugt wird für den Regler 1 ein modellbasiertes Verfahren, z.B. eine Zustandsregelung eingesetzt, sodass das zugrundeliegende Streckenmodell auch als Berechnungsmodell für das Kompensationssignal verwendet werden kann.

[0034] Ausgehend von einem Sollwert X_{soll} des Wertes der gewünschten Gleichspannung (im Fall eines Batterieemulators) bzw. des gewünschten Gleichstroms (im Fall eines Batterietesters) und dem tatsächlich gemessenen Istwert X_{ist} am Ausgang der Regelstrecke 2 bestimmt der Regler 1 eine bestimmte Spannung u als Stellgröße zur Ansteuerung des geschalteten Gleichspannungswandlers. Diese Spannung u wird durch Division mit der Zwischenkreisspannung V_0 in ein Tastverhältnis d umgewandelt, sodass $d=u/V_0$ gilt. Die gewünschte Zwischenkreisspannung V_0 kann beispielsweise einen Idealwert von 820 V betragen, sodass sich das Tastverhältnis der Regelstrecke zu $d = u / 820$ berechnet.

[0035] Nun ist es jedoch aufgrund der Eigenschaften der verwendeten leistungselektronischen Bauelemente in der Regelstrecke 2 nicht zu verhindern, dass die vom Netzgleichrichter 9 tatsächlich gelieferte Zwischenkreisspannung $V_0^*(t)$ stets mit harmonischen Störungen in Vielfachen der Netzfrequenz f_1, f_2, \dots behaftet ist:

$$V_0^*(t) = 820 + \varepsilon_1 \sin(2\pi f_1 t + \varphi_1) + \varepsilon_2 \sin(2\pi f_2 t + \varphi_2) + \dots$$

[0036] Diese harmonischen Störungen der Zwischenkreisspannung werden im Regelkreis gemäß Fig. 1 durch eine Störgröße modelliert, die der Stellgröße beaufschlagt wird. Daraus resultiert eine verzerrte Stellgröße $u^*(t)$, die von der gewünschten Stellgröße $u(t)$ abweicht. Bei den oben dargestellten harmonischen Störungen ist die geänderte Stellgröße $u^*(t)$:

$$u^* = dV_0^* = u + \frac{u\varepsilon_1 \sin(2\pi f_1 t + \varphi_1)}{820} + \dots$$

[0037] Fig. 2 zeigt nun eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Ausführungsform dieses Regelkreises.

[0038] Die Steuer- und Regeleinheit 6 umfasst zusätzlich ein Beobachtermodul 3, welches ein Kompensationssignal $c(t)$ liefert, das dem Stellwert $u(t)$ beaufschlagt wird. Es resultiert ein kompensierter Stellwert $u_{\text{comp}}(t)$, der in das Beobachtermodul 3 zurückgeführt wird.

[0039] Um die oben angeführte harmonische Störung schon im Bereich der Stellgröße zu kompensieren, wird erfindungsgemäß die vom Regler erzeugte Stellgröße $u(t)$ durch dieses zeitlich variable und ebenfalls harmonische Kompensationssignal $c(t)$ abgeändert, sodass $u_{\text{comp}}(t) = u(t) - c(t)$.

[0040] Das Kompensationssignal $c(t)$ wird im Beobachtermodul 3 berechnet, welches die vom Regler 1 gelieferte und um ein Kompensationssignal $c(t)$ reduzierte Stellgröße abgreift und in ein Berechnungsmodell der Regelstrecke 2 führt. Daraus wird im Beobachtermodul 3 unter Berücksichtigung einer variablen Störgröße ein Wert X_{ist}' berechnet, der aus der Stellgröße unter Zugrundelegung einer gestörten Regelstrecke 2 entstehen würde. Weiters wird dem Beobachtermodul 3 der aktuelle Istwert X_{ist} der Regelstrecke 2 zugeführt. Das Beobachtermodul 3 vergleicht nun den gemessenen Istwert X_{ist} und den berechneten Istwert X_{ist}' . Unter der Annahme, dass die Frequenzen f_1, f_2, \dots der oben angeführten harmonischen Störung bekannt sind, wird im Beobachtermodul 3 für jede Frequenz f_1, f_2, \dots ein Differentialgleichungssystem zur Schätzung des aktuellen Werts des Störsignals aufgestellt.

[0041] Zur Berechnung des Kompensationssignals $c(t)$ wird also im Beobachtermodul 3 die

Kenntnis ausgenutzt, dass es sich bei der Störung um ein harmonisches Signal mit Frequenzanteilen handelt, welche Vielfachen der Netzfrequenz entspricht. Aus der Kenntnis des idealen Modells der Regelstrecke 2 ist bekannt, wie sich die Regelstrecke 2 ohne die Störgröße verhalten würde. Im Beobachtermodul 3 ist ein Berechnungsmodell der Regelstrecke 2 unter Berücksichtigung einer variablen Störung implementiert. Das Beobachtermodul empfängt den gemessenen Istwert X_{ist} und berechnet kontinuierlich jenen Wert, den das Störsignal in seinem Modell annehmen müsste, damit der berechnete Wert X_{ist}' dem tatsächlich gemessenen Wert X_{ist} entspricht. Mit Kenntnis dieser tatsächlichen Störgröße wird dann das Kompensationssignal $c(t)$ so gewählt, dass der tatsächliche Istwert keine Störung mehr aufweist, In Folge wird das Kompensationssignal dem Stellwert beaufschlagt.

[0042] Zur fortlaufenden Berechnung des Kompensationssignals in Echtzeit ist die Lösung eines Differentialgleichungssystems in einer bestimmten Störvariable a für jeden erwarteten Frequenzanteil f_1, f_2, \dots vorgesehen.

[0043] Für die Wahl der Störvariable a können unterschiedliche Ansätze gewählt werden. Beispielsweise kann die Störvariable direkt den Einfluss der Störgröße auf die Ausgangsspannung V_0 modellieren, indem der Ansatz $\alpha = \varepsilon \sin(2\pi ft + \varphi)$ gewählt wird. In dieser Ausführungsform ergibt sich der aktuelle Wert des Kompensationssignals c für eine bestimmte Frequenz f_1 iterativ aus dem aktuellen Stellwert u und dem Schätzwert der Störvariable \hat{a}_1 :

$$c = \frac{u \hat{a}_1}{820 + \hat{a}_1}.$$

[0044] Der Zahlenwert 820 ergibt sich unter Annahme einer gewünschten Ausgangsspannung (Sollwert der Regelstrecke 2) von 820V.

[0045] In anderen Ausführungsformen der Erfindung kann das Kompensationssignal auf andere Weise berechnet werden. Beispielsweise kann für die Störvariable $\alpha = u \varepsilon \sin(2\pi ft + \varphi) / 820$ gewählt werden, sodass die Störvariable von der Stellgröße abhängig ist. Dies liefert ein komplett lineares Differentialgleichungssystem, aus welchem unmittelbar der Wert von \hat{a}_1 bestimmt werden kann.

[0046] Der konkrete Algorithmus, der zur Lösung des Differentialgleichungssystems und zur Berechnung des geeigneten Kompensationssignals verwendet wird, ist jedoch für die vorliegende Erfindung nicht relevant.

[0047] Die Erfindung ist auch nicht auf den Fall harmonischer Störgrößen in Vielfachen der Netzfrequenz beschränkt, sondern auf beliebige Störgrößen anwendbar. So könnte beispielsweise im einfachsten Fall einer linearen Regelstrecke mit dem Zusammenhang zwischen idealem Istwert X_{ist}' und Stellwert u $X_{ist}' = k * u$ eine einfache, additive Störung ε im realen Fall zu einem Istwert von $X_{ist} = k * (u + \varepsilon)$ führen. In diesem Fall würde das Beobachtungsmodul unmittelbar aus dem Vergleich von X_{ist} und X_{ist}' eine Abweichung $X_{ist}' - X_{ist} = \Delta x = k * \varepsilon$ berechnen und ein Kompensationssignal $c = \Delta x / k$ berechnen. Nach Beaufschlagung des Stellwerts mit dem Kompensationssignal ergibt sich das reale Ausgangssignal somit zu $X_{ist} = k * (u - c + \varepsilon) = k * (u - \Delta x / k + \varepsilon) = k * (u - \varepsilon + \varepsilon) = k * u$, das heißt, die Regelstrecke mit unbekannter Störgröße ε verhält sich nun so wie das Modell der Regelstrecke ohne Störgröße.

[0048] In analoger Weise lassen sich Algorithmen zur Verwendung in dem erfindungsgemäßen Verfahren bzw. der erfindungsgemäßen Vorrichtung für verschiedenste Störungsarten herleiten, ohne dadurch den durch die nachfolgenden Patentansprüche definierten Schutzbereich zu überschreiten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kompensation von, als harmonische Signale mit einer Frequenz ausgebildeten Störgrößen, welche einem Vielfachen der Netzfrequenz entspricht, in einem Regelkreis umfassend einen Regler (1), der einen Stellwert ($u(t)$) an eine Regelstrecke (2) liefert, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - der Stellwert ($u(t)$) mit einem Kompensationssignal ($c(t)$) beaufschlagt wird, sodass ein kompensierter Stellwert ($u_{comp}(t)$) gebildet wird, wobei
 - das Kompensationssignal ($c(t)$) in Echtzeit in einem Beobachtermodul (3) berechnet wird,
 - indem der kompensierte Stellwert ($u_{comp}(t)$) und der aktuelle Istwert (X_{ist}) der Regelstrecke (2) gemessen werden und dem Beobachtermodul (3) zur Bestimmung des Kompensationssignals ($c(t)$) zugeführt werden, wobei das Beobachtermodul (3) ein Berechnungsmodell der Regelstrecke (2) unter Berücksichtigung einer variablen Störgröße abbildet und zur Bestimmung des Kompensationssignals ($c(t)$)
 - den aktuellen Stellwert ($u(t)$) diesem Berechnungsmodell zuführt,
 - eine Modellantwort berechnet,
 - aus dem Unterschied der Modellantwort zum Istwert (X_{ist}) und unter Annahme von Eigenschaften der Störgröße durch Berechnung oder Schätzung der Störgröße jenes Kompensationssignal ($c(t)$) berechnet oder geschätzt wird, welches zu einer Kompensation der Störgrößen führt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Beobachtermodul (3) die Störgröße als harmonisches Signal mit einer Frequenz, welche einem Vielfachen der Netzfrequenz entspricht, angenommen wird und das Kompensationssignal ($c(t)$) durch iterative Lösung eines linearen oder nichtlinearen Differentialgleichungssystems bestimmt wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass es zur Kompensation von Störgrößen in einem Regelkreis zur Ansteuerung eines Batterietestsystems eingesetzt wird, welches einen geschalteten Gleichstrom als Istwert liefert.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass es zur Kompensation von Störgrößen in einem Regelkreis zur Ansteuerung eines Batterieemulators eingesetzt wird, welcher eine geschaltete Gleichspannung als Istwert liefert.
5. Verfahren zum Prüfen einer Batterie mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4.
6. Verfahren zum Prüfen des Antriebsstrangs eines elektrischen Fahrzeugs mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4.
7. Vorrichtung zur Kompensation von, als harmonische Signale mit einer Frequenz ausgebildeten Störgrößen, welche einem Vielfachen der Netzfrequenz entspricht, mit einem Regelkreis, umfassend einen Regler (1), der zur Bereitstellung eines Stellwerts ($u(t)$) mit einer Regelstrecke (2) verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - der Regelkreis dazu ausgeführt ist, den Stellwert ($u(t)$) mit einem Kompensationssignal ($c(t)$) zur Bildung eines kompensierten Stellwerts ($u_{comp}(t)$) zu beaufschlagen,
 - ein Beobachtermodul (3) vorgesehen ist, welches dazu ausgeführt ist, das Kompensationssignal ($c(t)$) in Echtzeit zu berechnen,
 - wobei das Beobachtermodul (3) dazu ausgeführt ist, das Kompensationssignal ($c(t)$) aus dem kompensierten Stellwert ($u_{comp}(t)$) und dem aktuellen Istwert (X_{ist}) der Regelstrecke (2) zu berechnen, wobei das Beobachtermodul (3) dazu ausgeführt ist,
 - ein Berechnungsmodell der Regelstrecke (2) unter Berücksichtigung einer variablen Störgröße abzubilden,
 - den aktuellen Stellwert ($u(t)$) diesem Berechnungsmodell zuzuführen,
 - eine Modellantwort zu berechnen,

- aus dem Unterschied der Modellantwort zum Istwert (X_{ist}) und unter Annahme von Eigenschaften der Störgröße durch Berechnung oder Schätzung der Störgröße jenes Kompensationssignal ($c(t)$) zu berechnen oder zu schätzen, welches zu einer Kompensation der Störgrößen führt.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Beobachtermodul (3) dazu ausgeführt ist, die Störgröße als harmonisches Signal mit einer Frequenz, welche einem Vielfachen der Netzfrequenz entspricht, anzunehmen und das Kompensationssignal ($c(t)$) durch iterative Lösung eines linearen oder nichtlinearen Differentialgleichungssystems zu bestimmen.
 9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regelstrecke (2) als Batterietestsystem ausgeführt ist, welches einen geschalteten Gleichstrom als Istwert (X_{ist}) liefert.
 10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regelstrecke (2) als Batterieemulator ausgeführt ist, der eine geschaltete Gleichspannung als Istwert (X_{ist}) liefert.
 11. Vorrichtung zum Prüfen einer Batterie, umfassend eine Vorrichtung zur Kompensation von Störgrößen nach einem der Ansprüche 7 bis 10.
 12. Vorrichtung zum Prüfen des Antriebsstrangs eines elektrischen Fahrzeugs, umfassend eine Vorrichtung zur Kompensation von Störgrößen nach einem der Ansprüche 7 bis 10.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

2/2

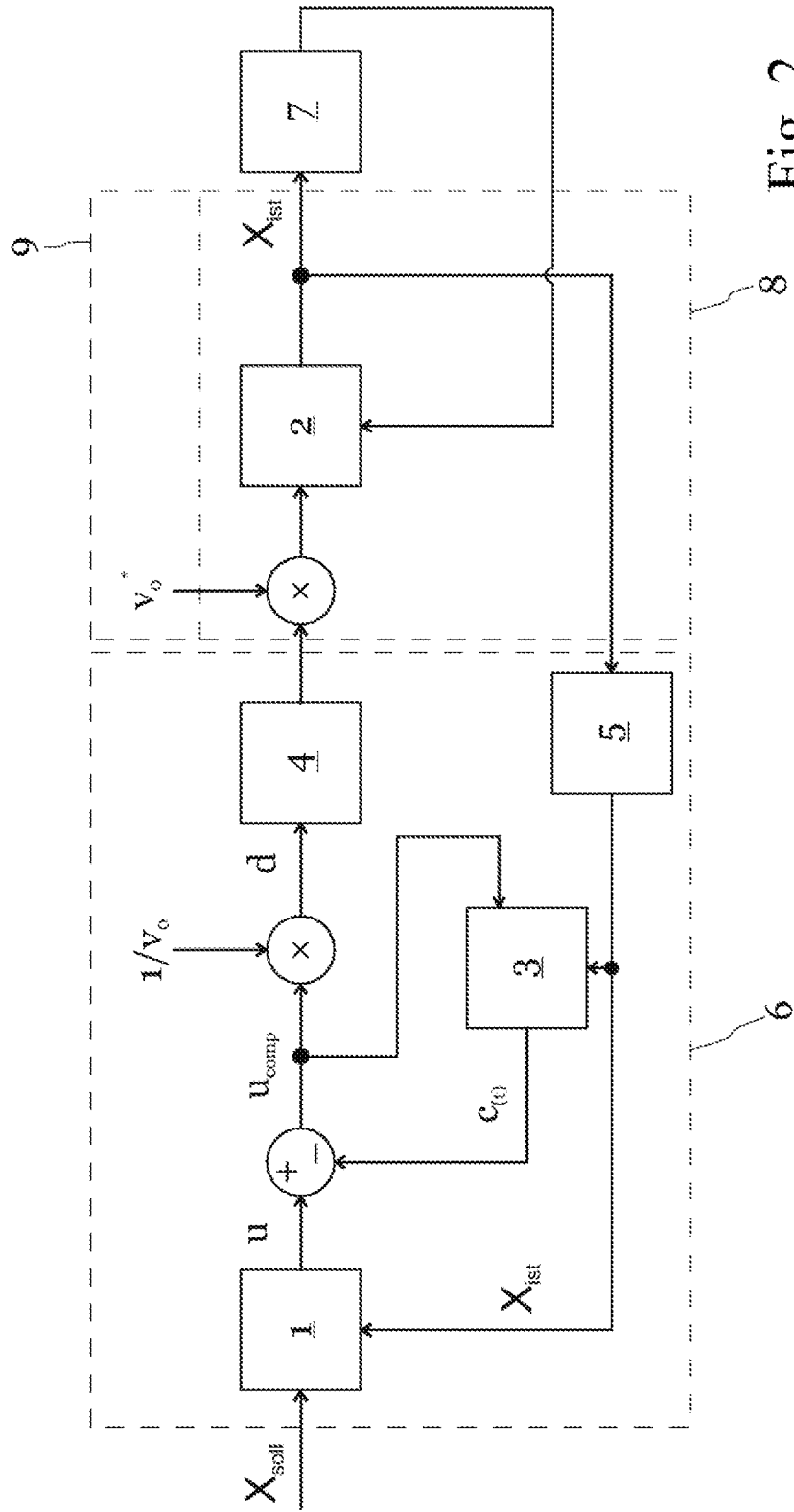


Fig. 2