

(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  
26. Oktober 2006 (26.10.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2006/111532 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
*H02J 1/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/061646

(22) Internationales Anmeldedatum:  
18. April 2006 (18.04.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2005 018 338.7 20. April 2005 (20.04.2005) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): RECHENBERG, Karsten [DE/DE]; Am Tiefen Weg 5, 91077 Dormitz (DE). GAUDENZ, Markus Matthias [DE/DE]; Franz-Steinmetz-Weg 9B, 91056 Erlangen (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

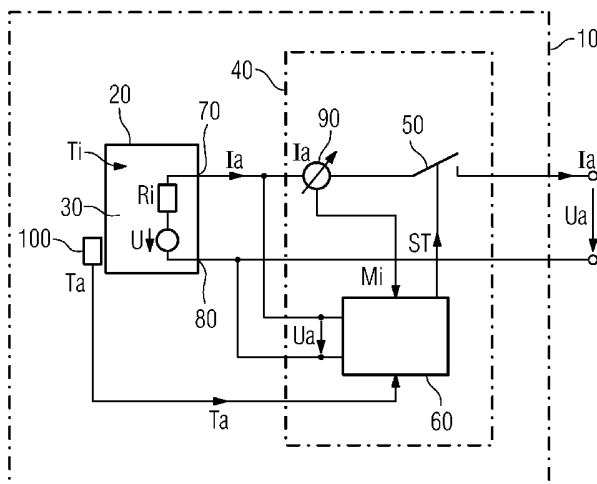
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR THE OPERATION OF A CAPACITOR

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES KONDENSATORS



(57) Abstract: The invention relates to a method for operating a capacitor, especially as an energy store for track vehicles. The aim of the invention is to allow for optimal utilization of the useful energy storage potential of the capacitor even in unfavorable external boundary conditions, e.g. at an elevated ambient temperature, and/or in case the capacitor already has a certain age. Said aim is achieved by a method for operating a capacitor (20), in which the capacitor (20) is charged maximally to a point where the capacitor reaches a predefined maximum voltage ( $U_{max}$ ) in order to store energy while the capacitor (20) is discharged only to a point where a given minimum voltage ( $U_{min}$ ) is maintained in order to draw energy, said minimum voltage being a variable quantity which is adjusted in accordance with a temperature value indicating the respective inside temperature ( $T_i$ ) of the capacitor.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2006/111532 A2



NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, 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

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Betreiben eines Kondensators, insbesondere als Energiespeicher für Schienenfahrzeuge. Um auch bei ungünstigen äußeren Randbedingungen, wie beispielsweise einer hohen Umgebungstemperatur, und/oder bei bereits gealterten Kondensatoren eine optimale Ausnutzung des noch nutzbaren Energiespeicherpotenzials des Kondensators zu ermöglichen, wird erfindungsgemäß ein Verfahren zum Betreiben eines Kondensators (20) vorgeschlagen, bei dem zum Abspeichern von Energie der Kondensator (20) aufgeladen wird, und zwar maximal soweit, bis er eine vorgegebene Maximalspannung ( $U_{max}$ ) erreicht, und zur Energieentnahme der Kondensator (20) entladen wird, jedoch nur soweit, dass eine vorgegebene Minimalspannung ( $U_{min}$ ) erhalten bleibt, wobei die Minimalspannung eine variable Größe ist, die in Abhängigkeit von einem die jeweilige Innentemperatur ( $T_i$ ) des Kondensators angehenden Temperaturwert eingestellt wird.

Beschreibung

Verfahren zum Betreiben eines Kondensators

5 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Betreiben eines Kondensators, insbesondere als Energiespeicher für Schienenfahrzeuge.

10 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben eines Kondensators anzugeben, das auch bei ungünstigen äußeren Randbedingungen, wie beispielsweise einer hohen Umgebungstemperatur, und/oder bei bereits gealterten Kondensatoren eine optimale Ausnutzung des noch nutzbaren Energiespeicherpotenzials des Kondensators ermöglicht.

15 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in Unteransprüchen angegeben.

20 Danach ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass zum Speichern von Energie in einem Kondensator dieser elektrisch aufgeladen wird, und zwar maximal soweit, bis er eine vorgegebene Maximalspannung erreicht hat. Bei der Energieentnahme wird der  
25 Kondensator nur soweit entladen, dass eine vorgegebene Minimalspannung des Kondensators erhalten bleibt. Die vorgegebene Minimalspannung ist erfindungsgemäß eine variable Größe, die in Abhängigkeit von einem die jeweilige Innentemperatur des Kondensators angehenden Temperaturwert eingestellt wird.

30 Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass ein Aufwärmen des Kondensators während des Betriebs auf Werte oberhalb einer zulässigen Betriebstemperatur zuverlässig verhindert wird; denn bei dem erfindungsgemäßen  
35 Verfahren wird die für die Energieentnahme vorgegebene Minimalspannung temperaturabhängig festgelegt. Die Erfindung macht sich dabei die Erkenntnisse zunutze, dass die Erwärmung

des Kondensators umso mehr ansteigt, je geringer die Ladung des Kondensators ist. Dies liegt konkret daran, dass bei einer Energieentnahme die Spannung des Kondensators abfällt. Wird nun eine konstante elektrische Leistung aus dem Kondensator entnommen - wie dies bei einem Einsatz des Kondensators beispielsweise in Schienenfahrzeugen üblich ist-, so muss ein Spannungsabfall der Ausgangsspannung des Kondensators durch einen höheren Entladestrom ausgeglichen werden, da nämlich das Produkt aus Ausgangsspannung und Ausgangsstrom die Entnahmeleistung bestimmt. Jeder Kondensator weist technisch bedingt stets einen Innenwiderstand auf, durch den der Entladestrom des Kondensators fließt. Der Stromfluss durch den Innenwiderstand führt zu einer thermischen Verlustleistung innerhalb des Kondensators und damit zu einem Aufheizen des Kondensators. Im Ergebnis steigen die thermischen Verluste des Kondensators somit umso mehr an, je weiter der Kondensator entladen wird. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren lässt sich nun eine unzulässige Temperaturerhöhung des Kondensators vermeiden, indem die Minimalspannung des Kondensators für den Entladevorgang in Abhängigkeit von der jeweiligen Innentemperatur des Kondensators eingestellt wird. Wird beispielsweise die Minimalspannung erhöht, so wird der „Betriebsbereich“ bzw. der „Energieentnahmebereich“ des Kondensators begrenzt. Der Kondensator wird durch die Erhöhung der Minimalspannung damit in einen Betriebsbereich gebracht, in dem er eine besonders große Ausgangsspannung aufweist; bei großen Ausgangsspannungen kann jedoch eine fest vorgegebene Entladeleistung des Kondensators auch bei relativ kleinen Entladeströmen bereitgestellt werden, sodass thermische Verluste innerhalb des Kondensators reduziert werden. Konkret kann also bei dem erfindungsgemäßen Verfahren der „thermische Wirkungsgrad“ des Kondensators temperaturabhängig verbessert werden, indem dieser in einem höheren Ausgangsspannungsbereich und damit bei kleineren Entladeströmen betrieben wird, sobald festgestellt wird, dass die Innentemperatur des Kondensators zu hohe Werte erreicht. Ein wesentlicher Gedanke der Erfindung besteht dabei darin, dass die nutzbare Energiespeicherkapazität des

Kondensators aufgrund der Erhöhung der Minimalspannung nur unwesentlich abnimmt, da der Energiespeicherinhalt des Kondensators vom Quadrat der Spannung abhängt; es gilt nämlich

5  $W = \frac{1}{2} C \cdot U^2,$

wobei W die im Kondensator gespeicherte Energie, C die Kapazität und U die Spannung bezeichnen. Dies soll anhand eines Zahlenbeispiels nachfolgend verdeutlicht werden: Beträgt die  
10 Minimalspannung beispielsweise 50% der Maximalspannung, so kann während eines Entnahmevorgangs aus einem vollständig aufgeladenen Kondensator 75% der abgespeicherten Energie entnommen werden. Wird die Minimalspannung nun auf einen Wert von 60% der Maximalspannung erhöht, so ist dies – bezogen auf  
15 eine Minimalspannung von 50% – eine Erhöhung des Spannungswertes um 20%; trotz dieser Erhöhung um 20% kann dennoch noch ein Energieanteil von 64% der abgespeicherten Energie aus dem Kondensator entnommen werden, so dass die Reduktion der entnehmbaren Energie lediglich 15% – bezogen auf den maximalen  
20 Energieentnahmewert von 75% – beträgt. Aufgrund des quadratischen Zusammenhangs zwischen der Spannung des Kondensators und der darin gespeicherten Energie sowie aufgrund des quadratischen Zusammenhangs zwischen der thermischen Erwärmung des Kondensators und dem durch den Kondensator fließenden  
25 Strom kann somit durch ein geringfügiges Reduzieren der Mindestspannung für den Entladevorgang des Kondensators eine erhebliche Reduktion der thermischen Erwärmung erreicht werden, ohne dass die tatsächlich entnehmbare Leistung des Kondensators wesentlich reduziert wird.

30

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Erfindung besteht darin, dass auf aufwendige Kühlmaßnahmen zum Kühlen des Kondensators ganz oder zumindest teilweise verzichtet werden kann, da ein Überhitzen des Kondensators durch das erfindungsgemäße  
35 Nachführen des Minimalspannungswertes in Abhängigkeit von der Temperatur zuverlässig verhindert werden kann.

Ein dritter wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass die Lebensdauer des Kondensators deutlich erhöht werden kann, da nämlich ein den Kondensator schädigender Betrieb in einem erhöhten Temperaturbereich  
5 durch das Nachregeln der Mindestspannung vermeidbar ist.

Ein vierter wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass ein vollständiges Abschalten des Kondensators - temperaturbedingt - nur sehr selten erforderlich  
10 lich ist, weil das Auftreten kritischer Temperaturen durch eine Reduktion des Betriebsbereichs des Kondensators meist schon im Vorfeld verhindert werden kann.

Wie bereits erwähnt, wird die Minimalspannung vorzugsweise  
15 umso größer gewählt, je größer der Temperaturwert ist, um den Betriebsbereich des Kondensators bei hohen Temperaturen auf einen oberen Spannungsbereich festzulegen, in dem die thermische Verluste geringer als in Betriebsbereichen mit kleiner Ausgangsspannung sind.

20 Das erläuterte Verfahren lässt sich beispielsweise verwenden, um Energiespeicher von Schienenfahrzeugen zu betreiben. Beispielsweise kann der Kondensator zum Zwischenspeichern von Fahrenergie eines Schienenfahrzeuges verwendet werden, wobei  
25 der Kondensator aufgeladen wird, wenn das Schienenfahrzeug abgebremst wird, indem die freiwerdende kinetische Energie des Fahrzeuges nach einer energetischen Umwandlung als elektrische Energie in den Kondensator eingespeist wird. Entsprechend wird der Kondensator entladen, wenn das Schienenfahrzeug  
30 beschleunigt werden soll, wobei die im Kondensator gespeicherte Energie zum Beschleunigen des Fahrzeugs verwendet wird.

Kommt es zu einer unzulässigen Erhöhung der Temperatur des  
35 Kondensators, beispielsweise bei hohen Umgebungstemperaturen während des Sommers, so wird - wie eingangs erläutert - die aus dem Kondensator entnehmbare Leistung begrenzt, so dass

die zur Verfügung stehende Leistung unter Umständen nicht mehr zum Beschleunigen des Fahrzeuges ausreicht. In diesem Falle wird die für den Beschleunigungsvorgang des Fahrzeuges erforderliche „Restenergie“ vorzugsweise aus einer anderen  
5 Energiequelle entnommen, beispielsweise aus einem elektrischen Fahrdraht, mit dem das Fahrzeug in Verbindung steht.

Besonders bevorzugt lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren bei Doppelschichtkondensatoren durchführen; Doppelschichtkondensatoren weisen als Elektrolyt üblicherweise Acetonitril  
10 auf, dessen Siedetemperatur 81°C beträgt. Ein Erwärmen des Kondensators auf Temperaturbereiche nahe der Siedetemperatur wird vorzugsweise - wie erläutert durch Erhöhen der Minimalspannung - vermieden, insbesondere auch deshalb, weil bei einem Betrieb derartiger Doppelschichtkondensatoren im oberen  
15 Temperaturbereich die Lebensdauer deutlich reduziert werden würde.

Erreicht die Innentemperatur des Kondensators einen für den Kondensator vorgegebenen Maximaltemperaturwert, so wird die  
20 Minimalspannung vorzugsweise auf den Wert der Maximalspannung gesetzt, so dass eine weitere Energieentnahme aus dem Kondensator verhindert wird. Der Kondensator bleibt somit in seinem aufgeladenen Zustand, so dass keine weitere Erwärmung des  
25 Kondensators auftreten kann.

Das Erhöhen der Minimalspannung in Abhängigkeit von der jeweiligen Innentemperatur des Kondensators kann vorteilhaft beispielsweise in der Art erfolgen, dass die Minimalspannung  
30 auf einen fest vorgegebenen Standardwert festgelegt wird, sofern der Temperaturwert unterhalb einer vorgegebenen Normalbetriebstemperatur liegt. Sobald die Kondensatortemperatur die Normalbetriebstemperatur überschreitet, wird die Minimalspannung gemäß einer vorgegebenen Anstiegsfunktion in Abhängigkeit von der jeweiligen Temperatur erhöht.  
35

Das Erhöhen der Minimalspannung in Abhängigkeit von der Innentemperatur des Kondensators kann beispielsweise linear erfolgen. Alternativ können auch andere Anstiegsfunktionen gewählt werden, beispielsweise kann die Minimalspannung quadratisch oder exponentiell in Abhängigkeit von der Innentemperatur angehoben werden.

Bevorzugt wird der Standardwert für die Minimalspannung des Kondensators auf 50% des Maximalspannungswertes festgelegt. Bei einem solchen Minimalspannungswert lassen sich 75% der im Kondensator gespeicherten Energie entnehmen.

Die Innentemperatur des Kondensators kann beispielsweise unmittelbar bestimmt werden, indem sie mittels eines Temperatursensors unmittelbar gemessen wird. Der Messsensor kann beispielsweise im Inneren des Kondensators angeordnet sein, damit er die Temperatur des Elektrolyts unmittelbar messen kann.

Alternativ kann die Innentemperatur des Kondensators auch mittelbar bestimmt werden, indem sonstige Messwerte zur Bestimmung der Innentemperatur herangezogen werden. Beispielsweise kann die Innentemperatur des Kondensators mit Hilfe von Messwerten bestimmt werden, die die Umgebungstemperatur des Kondensators, den durch den Kondensator fließenden Strom, den elektrischen Innenwiderstand des Kondensators und den thermischen Widerstand des Kondensators angeben. Durch Multiplikation der Messwerte für das Quadrat des Stromes und den Innenwiderstand kann nämlich die Verlustleistung innerhalb des Kondensators berechnet werden. Je nach der äußeren Umgebungstemperatur des Kondensators ergibt sich dann aufgrund der Verlustleistung im Inneren des Kondensators und eines geeigneten Temperaturmodells (thermische Widerstände) dessen Innentemperatur.

Die mittelbare Bestimmung der Innentemperatur kann beispielsweise erfolgen, indem aus einer vorgegebenen Temperaturtabel-

le in Abhängigkeit von den Messwerten für die Umgebungstemperatur, den Kondensatorwiderstand und den Strom der jeweilige Temperaturwert ausgelesen wird; selbstverständlich können in der Tabelle die Werte für den Kondensatorinnenwiderstand und für den Strom zusammengefasst in Form eines elektrischen Leistungswertes eingetragen sein.

Alternativ kann die Bestimmung der Innentemperatur des Kondensators auch dadurch erfolgen, dass die Messwerte für die Umgebungstemperatur, den Kondensatorinnenwiderstand und den Strom in eine empirisch oder durch vorherige Simulation ermittelte mathematische Temperaturbestimmungsfunktion eingesetzt werden, mit der die Innentemperatur des Kondensators errechnet wird.

Insbesondere bei Doppelschichtkondensatoren auf der Basis von Acetonitril erhöht sich der Innenwiderstand des Kondensators in Abhängigkeit von dessen Alterungszustand stark, sodass der Kondensatorinnenwiderstand regelmäßig oder kontinuierlich gemessen werden sollte, damit die Bestimmung der Innentemperatur des Kondensators auf der Basis einer Berechnung unter Verwendung des Kondensatorinnenwiderstands möglichst genau ist. Die Messung des Kondensatorinnenwiderstands kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass die Ausgangsspannung des Kondensators sowie der durch den Kondensator fließende Strom gemessen werden und eine Quotientenbildung der entsprechenden Messwerte durchgeführt wird.

Die Erfindung bezieht sich darüber hinaus auf einen Kondensator, bei dem auch bei ungünstigen äußeren Randbedingungen, wie beispielsweise einer hohen Umgebungstemperatur, und/oder bei erfolgter Alterung eine optimale Ausnutzung des noch nutzbaren Energiespeicherpotenzials des Kondensators möglich ist.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist erfindungsgemäß ein Energiespeicher vorgesehen, bei dem eine Steuereinrichtung vorhanden

ist, die den Energieentnahmeprozess steuert, indem sie eine Energieentnahme des Kondensators nur soweit erlaubt, dass eine vorgegebene Minimalspannung des Kondensators erhalten bleibt. Die Steuereinrichtung wählt die jeweils zulässige Minimalspannung in Abhängigkeit von einem die Innentemperatur des Kondensators angegebenden Temperaturwert.

Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Energiespeichers sind in Unteransprüchen angegeben.

Bezüglich der Vorteile des erfindungsgemäßen Energiespeichers sei auf die obigen Ausführungen im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren verwiesen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand zweier Ausführungsbeispiele erläutert; dabei zeigen:

Figur 1 ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Energiespeichers mit einem Kondensator sowie einer Steuereinrichtung, die den Energieentnahmeprozess aus dem Kondensator steuert und hierzu die Innentemperatur des Kondensators mittelbar bestimmt, und

Figur 2 ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Energiespeichers mit einem Kondensator sowie einer Steuereinrichtung, die die Innentemperatur des Kondensators unmittelbar bestimmt.

In den Figuren 1 und 2 werden für vergleichbare oder identische Komponenten dieselben Bezugszeichen verwendet.

In der Figur 1 ist ein Energiespeicher 10 dargestellt, der beispielsweise zum Zwischenspeichern von Fahrenergie eines in der Figur 1 nicht weiter dargestellten Schienenfahrzeugs verwendet werden kann.

Der Energiespeicher 10 wird zum Zwischenspeichern von Fahr-  
energie jeweils dann aufgeladen, wenn das Fahrzeug abgebremst  
wird, indem die freiwerdende kinetische Energie des Fahrzeugs  
als elektrische Energie in den Energiespeicher 10 eingespeist  
5 wird. Wenn das Fahrzeug wieder beschleunigt, wird die zuvor  
in dem Energiespeicher 10 gespeicherte elektrische Energie  
aus diesem entnommen und zum Beschleunigen des Fahrzeuges  
verwendet.

10 Der Energiespeicher 10 weist einen Doppelschichtkondensator  
20 mit einem darin enthaltenen Elektrolyt 30 auf, bei dem es  
sich beispielsweise um Acetonitril mit einer Siedetemperatur  
von 81°C handelt.

15 Der Energiespeicher 10 ist darüber hinaus mit einer Steuer-  
einrichtung 40 ausgestattet, die eine Schalteinrichtung 50  
sowie eine Auswerteeinrichtung 60 umfasst. Die Auswerteein-  
richtung 60 steht mit den beiden äußeren Anschlüssen 70 und  
80 des Doppelschichtkondensators 20 in Verbindung und misst  
20 die jeweilige Ausgangsspannung  $U_a$  des Doppelschichtkondensa-  
tors 20. Darüber hinaus steht die Auswerteeinrichtung 60 mit  
einer Strommesseinrichtung 90 in Verbindung, mit der sie den  
jeweiligen Ausgangsstrom  $I_a$  des Doppelschichtkondensators 20  
kontinuierlich misst; das die Größe des Ausgangsstroms  $I_a$  an-  
25 gebende Messsignal ist in der Figur 1 mit dem Bezugszeichen  
 $M_i$  gekennzeichnet.

Die Funktion der Steuereinrichtung 40 besteht darin, den Auf-  
ladevorgang und den Entladevorgang des Doppelschichtkondensa-  
30 tors 20 zu steuern:

Im Falle eines Aufladevorgangs misst die Auswerteeinrichtung  
60 der Steuereinrichtung 40 kontinuierlich die Ausgangsspan-  
nung  $U_a$  des Kondensators und bricht durch ein Öffnen der  
35 Schalteinrichtung 50 den Aufladevorgang ab, sobald die Aus-  
gangsspannung  $U_a$  eine vorgegebene Maximalspannung  $U_{max}$  er-  
reicht hat. Der Kondensator ist dann vollständig aufgeladen

und kann keine weitere Energie aufnehmen. Die Auswerteeinrichtung 60 kann beispielsweise durch eine Mikroprozessoranordnung mit einer Speichereinrichtung gebildet sein, in der die entsprechenden Steuerparameter und Verfahrensabläufe abgespeichert sind.

Zum Entladen des Doppelschichtkondensators 20 überwacht die Auswerteeinrichtung 60 sowohl die Ausgangsspannung  $U_a$  als auch den Ausgangsstrom  $I_a$  sowie mit Hilfe eines äußeren Temperatursensors 100 die Umgebungstemperatur  $T_a$  des Doppelschichtkondensators 20. Mit Hilfe dieser Messwerte  $U_a$ ,  $I_a$  und  $T_a$  ermittelt die Auswerteeinrichtung 60 die jeweilige Innentemperatur  $T_i$  im Elektrolyten 30 des Doppelschichtkondensators 20.

Die Ermittlung der Innentemperatur  $T_i$  des Kondensators 20 kann dabei dadurch erfolgen, dass die Messwerte  $U_a$ ,  $I_a$  und  $T_a$  in eine in der Auswerteeinrichtung 60 fest abgespeicherte Tabelle eingesetzt werden und die entsprechende Innentemperatur  $T_i$  ausgelesen wird. Die entsprechende Temperaturtabelle kann beispielsweise empirisch ermittelt worden sein, indem zuvor das thermische Verhalten des Doppelschichtkondensators 20 bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen und unterschiedlichen Betriebsarten erfasst und tabellarisch abgespeichert wurde. Alternativ können die Messwerte auch in eine mathematische Temperaturbestimmungsfunktion eingesetzt werden, die das Temperaturverhalten des Kondensators beschreibt; diese mathematische Temperaturbestimmungsfunktion kann empirisch oder durch Simulation erstellt werden. Wird der Temperatursensor 100 unmittelbar auf den Kondensator 20 aufgesetzt, so entspricht die gemessene Temperatur ungefähr - bis auf ca. 0,5 bis 1 Grad Celsius Abweichung genau - der Innentemperatur des Kondensators 20, so dass der Messwert des Kondensators 20 auch unmittelbar als Innentemperaturmesswert weiterverwendet werden kann.

Sobald die Auswerteeinrichtung 60 die Innentemperatur  $T_i$  des Kondensators 20 ermittelt hat, vergleicht sie diese mit einer für den Doppelschichtkondensator fest vorgegebenen, in der Auswerteeinrichtung 60 abgespeicherten Normalbetriebstemperatur  $T_{norm}$ . Solange die Temperatur  $T_i$ , die Normalbetriebstemperatur  $T_{norm}$  unterschreitet bzw. maximal so groß wie die Normalbetriebstemperatur ist, wird die für einen Entladevorgang zulässige Minimalspannung  $U_{min}$  auf einen Wert von  $U_{min0} = 50\% U_{max}$  gesetzt.

10

Überschreitet jedoch die Innentemperatur  $T_i$  die Normalbetriebstemperatur  $T_{norm}$ , so wird die Minimalspannung linear erhöht, und zwar gemäß einer vorgegebenen Rampenfunktion; die Rampenfunktion kann beispielsweise wie folgt aussehen:

15

$$U_{min} = (T_i - T_{norm}) / (T_{max} - T_{norm}) * \Delta U + U_{min0},$$

wobei  $\Delta U$  die Steilheit der Rampenfunktion und  $T_{max}$  die maximal zulässige Betriebstemperatur des Kondensators bezeichnen.

20

Gemäß dieser Zuordnung wird somit die Minimalspannung  $U_{min}$  mit ansteigender Innentemperatur  $T_i$  des Kondensators erhöht, so dass die aus dem Kondensator entnehmbare Energie begrenzt wird. Sollte es zu einem weiteren Ansteigen der Temperatur, beispielsweise aufgrund einer sehr hohen Ausgangstemperatur  $T_a$  außerhalb des Kondensators 20 dazu kommen, sodass die Innentemperatur  $T_i$  des Kondensators 20 eine für den Kondensator vorgegebene Maximaltemperatur  $T_{max}$  erreicht oder überschreitet, so wird die Minimalspannung auf einen Wert

30

$$U_{min} = U_{max}$$

gesetzt, so dass aus dem Kondensator 20 keine weitere Energie mehr entnommen werden kann. Für einen stetigen Verlauf der Rampenfunktion wird  $\Delta U$  vorzugsweise wie folgt gewählt:

35

$$\Delta U = U_{max} - U_{min0}$$

Sobald  $U_a$  die jeweils zulässige Minimalspannung  $U_{\min}$  bzw.  $U_{\min}(T_i)$  erreicht, unterbindet die Auswerteeinrichtung 60 die weitere Energieentnahme, indem sie den Entladestrom  $I_a$  aus dem Kondensator 20 mittels der Schalteinrichtung 50 abschaltet. Damit kann über den Innenwiderstand  $R_i$  des Kondensators 20 kein weiterer Spannungsabfall auftreten und somit auch keine weitere Erwärmung des Kondensators 20 erfolgen.

10 In der Figur 2 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel für einen Energiespeicher 10 gezeigt. Man erkennt, dass bei diesem Ausführungsbeispiel der Temperatursensor 100 innerhalb des Doppelschichtkondensators 20 angeordnet ist und somit die Innentemperatur  $T_i$  des Kondensators 20 unmittelbar misst. Die  
15 Steuereinrichtung 40 kann somit auf einen die Innentemperatur  $T_i$  angegebenden Messwert unmittelbar zurückgreifen und muss diesen nicht mittelbar durch Auswerten der Ausgangsspannung  $U_a$ , des Ausgangsstromes  $I_a$  sowie der äußeren Temperatur  $T_a$  in der Umgebung des Kondensators 20 ermitteln.

20

Im Übrigen funktioniert die Steuereinrichtung 40 analog zu der Steuereinrichtung 40 gemäß Figur 1.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Kondensators (20), insbesondere als Energiespeicher für Schienenfahrzeuge, bei dem
- 5 - zum Abspeichern von Energie der Kondensator (20) aufgeladen wird, und zwar maximal soweit, bis er eine vorgegebene Maximalspannung ( $U_{max}$ ) erreicht, und
- zur Energieentnahme der Kondensator (20) entladen wird, jedoch nur soweit, dass eine vorgegebene Minimalspannung ( $U_{min}$ ) erhalten bleibt,
- 10 - wobei die Minimalspannung eine variable Größe ist, die in Abhängigkeit von einem die jeweilige Innentemperatur ( $T_i$ ) des Kondensators angebenen Temperaturwert eingestellt wird.
- 15
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Minimalspannung umso größer gewählt wird, je größer der Temperaturwert ist.
- 20
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Minimalspannung auf den Wert der Maximalspannung gesetzt wird, wenn die Innentemperatur einen für den Kondensator vorgegebenen Maximaltemperaturwert erreicht.
- 25
4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
- dass die Minimalspannung auf einen fest vorgegebenen Standardwert ( $U_{min0}$ ) festgelegt wird, sofern der Temperaturwert unterhalb einer vorgegebenen Normalbetriebstemperatur
- 30 ( $T_{norm}$ ) liegt, und
- dass bei Temperaturwerten oberhalb der Normalbetriebstemperatur die Minimalspannung gemäß einer vorgegebenen Anstiegsfunktion in Abhängigkeit von dem Temperaturwert erhöht wird.
- 35
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei Temperaturwerten oberhalb der Normalbetriebstempe-

ratur die Minimalspannung in Abhängigkeit von dem Temperaturwert linear ansteigend erhöht wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei Temperaturwerten oberhalb der Normalbetriebstemperatur die Minimalspannung in Abhängigkeit von dem Temperaturwert quadratisch ansteigend erhöht wird.

7. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei Temperaturwerten oberhalb der Normalbetriebstemperatur die Minimalspannung in Abhängigkeit von dem Temperaturwert exponentiell ansteigend erhöht wird.

8. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Standardwert der Minimalspannung auf 50% des Wertes der Maximalspannung festgesetzt wird.

9. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Kondensator ein Doppelschichtkondensator mit einem im Kondensatorinneren befindlichen Elektrolyt betrieben wird.

10. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kondensator zum Zwischenspeichern von Fahrenergie eines Schienenfahrzeugs verwendet wird, wobei bei dem Verfahren

- der Kondensator aufgeladen wird, wenn das Schienenfahrzeug abgebremst wird, indem die freiwerdende Energie in den Kondensator eingespeist wird, und
- der Kondensator entladen wird, wenn das Schienenfahrzeug beschleunigt wird, indem die im Kondensator gespeicherte Energie zum Beschleunigen des Schienenfahrzeugs verwendet wird.

35

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass im Falle, dass die für ein Beschleunigen des

Fahrzeugs erforderliche Energie nicht ausreicht - insbesondere aufgrund der Erhöhung der Minimalspannung - die fehlende Energie einer anderen Energiequelle, insbesondere einem dem Fahrzeug zugeordneten elektrischen Fahrdraht, einem Dieselmotor oder einer Brennstoffzelle entnommen wird.

12. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der die jeweilige Innentemperatur des Kondensators angegebene Temperaturwert mittelbar bestimmt wird, und zwar durch Auswerten von Messwerten, die die Umgebungstemperatur ( $T_a$ ) des Kondensators, den durch den Kondensator fließenden Strom ( $I_a$ ) und den Innenwiderstand ( $R_i$ ) des Kondensators angeben.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die mittelbare Auswertung erfolgt, indem aus einer vorgegebenen Temperaturtabelle in Abhängigkeit von den Messwerten für die Umgebungstemperatur ( $T_a$ ), den Kondensatorinnenwiderstand ( $R_i$ ) und den Strom ( $I_a$ ) der jeweilige Temperaturwert ( $T_i$ ) ausgelesen wird.

14. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die mittelbare Auswertung erfolgt, indem die Messwerte für die Umgebungstemperatur, den Kondensatorinnenwiderstand und den Strom in eine empirisch oder durch vorherige Simulation ermittelte mathematische Temperaturbestimmungsfunktion eingesetzt werden.

15. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kondensatorinnenwiderstand kontinuierlich oder regelmäßig gemessen wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung des Kondensatorinnenwiderstands durch Quotientenbildung von Messwerten erfolgt, die sich auf die Ausgangsspannung des Kondensators und den durch den Kondensator fließenden Strom beziehen.

17. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der die jeweilige Innentemperatur ( $T_i$ ) des Kondensators angegebene Temperaturwert  
5 durch einen Messsensor unmittelbar gemessen wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Messsensor (65') im Inneren des Kondensators  
10 angeordnet wird.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass mit dem Messsensor die Temperatur des Elektrolyts gemessen wird.

15 20. Energiespeicher (10) mit einem Kondensator (20) zum Speichern elektrischer Energie und mit einer mit dem Kondensator (20) in Verbindung stehenden Steuereinrichtung (40), die derart ausgestaltet ist, dass sie den Kondensator gemäß einem  
20 Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche 1 bis 19 auflädt und entlädt.

FIG 1

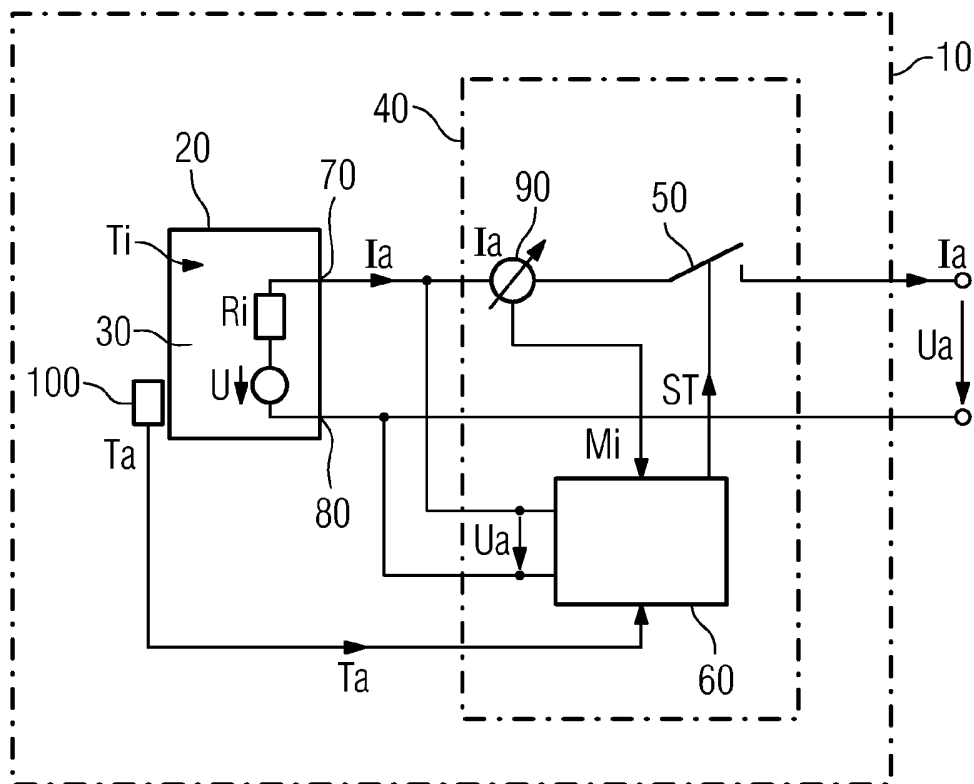


FIG 2

