

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 781/2011  
(22) Anmeldetag: 27.05.2011  
(43) Veröffentlicht am: 15.11.2012

(51) Int. Cl. : **G01R 31/36** (2006.01)

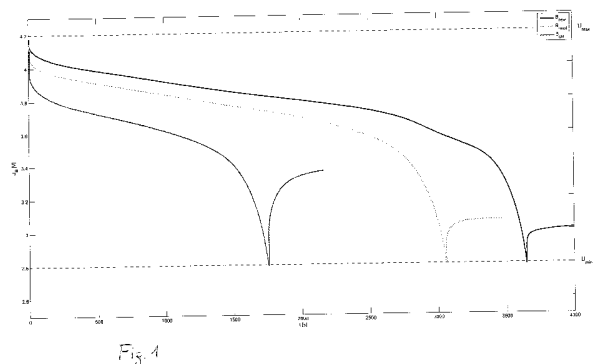
(56) Entgegenhaltungen:  
EP 0887654 A2 EP 1754978 A2  
DE 10158029 A1  
JP 2008053126 A  
US 2009024339 A1

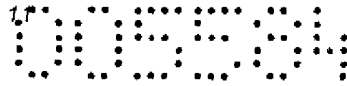
(73) Patentanmelder:  
ÖSTERREICHISCHES FORSCHUNGS- UND  
PRÜFZENTRUM ARSENAL GESELLSCHAFT  
M.B.H.  
1210 WIEN (AT)

(72) Erfinder:  
POPP HARTMUT  
WIEN (AT)  
CONTE VALERIO FIORENTINO DIPL.ING.  
DR.  
WIEN (AT)

(54) **VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DES ALTERUNGSZUSTANDS EINES AKKUMULATORS MIT EINER VOR-  
GEGEBENEN NENNKAPAZITÄT**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des Alterungszustands eines Akkumulators (B) mit einer vorgegebenen Nennkapazität ( $C_{\text{nenn}}$ ), dadurch gekennzeichnet, dass eine Anzahl von Entladungsraten ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) vorgegeben wird, auf Grundlage derer ein Entladungsstrom ( $I_1, \dots, I_N$ ) gemäß der Formel vorgegeben wird ( $I_i = C_{R,i} \cdot C_{\text{nenn}}/1h, i = 1 \dots N$ ), dass für sämtliche vorgegebenen Entladungsraten ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) der Akkumulator (B) in einem ersten Schritt jeweils aufgeladen wird und anschließend in einem zweiten Schritt eine Messentladung mit dem jeweiligen Entladungsstrom ( $I_1, \dots, I_N$ ) durchgeführt wird - wobei der Akkumulator (B) mit der jeweiligen Entladungsrate ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) entladen wird, bis der Akkumulator (B) einen der jeweiligen Entladungsrate entsprechenden Strom nicht mehr mit einer vorgegebenen Spannung entnehmbar ist, die tatsächliche Entladezeit ( $T_1, \dots, T_N$ ) als Zeitspanne des Entladens bei der jeweiligen Entladungsrate ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) ermittelt wird, und das Produkt der tatsächlichen Entladezeit ( $T_1, \dots, T_N$ ) und der jeweiligen Entladungsrate ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) ermittelt wird - und dass die für die einzelnen vorgegebenen Entladungsraten ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) ermittelten Entladezeiten ein Mittelwert ( $T$ ) gebildet wird, der als Indikatorwert (SOM) für den Alterungszustand des Akkumulators (B) angesehen wird.

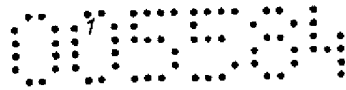




## Zusammenfassung:

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des Alterungszustands eines Akkumulators (B) mit einer vorgegebenen Nennkapazität ( $C_{\text{nenn}}$ ), dadurch gekennzeichnet, dass eine Anzahl von Entladungsraten ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) vorgegeben wird, auf Grundlage derer ein Entladungsstrom ( $I_1, \dots, I_N$ ) gemäß der Formel vorgegeben wird ( $I_i = C_{R,i} \cdot C_{\text{nenn}} / 1\text{h}$ ,  $i = 1 \dots N$ ), dass für sämtliche vorgegebenen Entladungsraten ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) der Akkumulator (B) in einem ersten Schritt jeweils aufgeladen wird und anschließend in einem zweiten Schritt eine Messentladung mit dem jeweiligen Entladungsstrom ( $I_1, \dots, I_N$ ) durchgeführt wird – wobei der Akkumulator (B) mit der jeweiligen Entladungsrate ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) entladen wird, bis der Akkumulator (B) einen der jeweiligen Entladungsrate entsprechenden Strom nicht mehr mit einer vorgegebenen Spannung entnehmbar ist, die tatsächliche Entladezeit ( $T_1, \dots, T_N$ ) als Zeitspanne des Entladens bei der jeweiligen Entladungsrate ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) ermittelt wird, und das Produkt der tatsächlichen Entladezeit ( $T_1, \dots, T_N$ ) und der jeweiligen Entladungsrate ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) ermittelt wird – und dass die für die einzelnen vorgegebenen Entladungsraten ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) ermittelten Entladezeiten ein Mittelwert ( $T$ ) gebildet wird, der als Indikatorwert (SOM) für den Alterungszustand des Akkumulators (B) angesehen wird.

(Fig. 1)



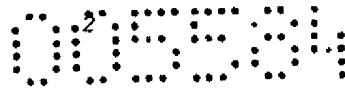
Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des Alterungszustandes eines Akkumulators gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Aus dem Stand der Technik ist eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren bekannt, den Alterungszustand eines Akkumulators zu definieren und zu bestimmen. Die meistgewählten Ansätze zur Bestimmung und Definition des Alterungszustandes eines Akkumulators beruhen entweder auf der Bestimmung der maximal entnehmbaren Ladungsmenge oder auf der Bestimmung des Innenwiderstandes des Akkumulators. Diese Werte werden jeweils mit den zu Beginn der Lebensdauer des jeweiligen Akkumulators gemessenen Werten verglichen, wobei aus dem Unterschied der beiden Werte zu einander auf eine Alterung geschlossen werden kann. In den meisten Fällen haben neue Akkumulatoren jeweils ihre Nominalkapazität sowie ihren nominellen Innenwiderstand.

In den meisten Fällen ist die Nennkapazität eines Akkumulators höher als die bei einem gebrauchten Akkumulator gemessenen Kapazität. Weiters ist auch der nominelle Innenwiderstand geringer als der bei einem gebrauchten Akkumulator gemessene Innenwiderstand. Eine Definition für die Nennkapazität eines Akkumulators sowie der Entladerate kann den beiden Veröffentlichungen "Secondary batteries for the propulsion of electric road vehicles, Part 2, dynamic discharge performance test and dynamic endurance test (first edition)", 2002., "Electric Energy Storage Team, "FreedomCAR battery test manual for power-assist hybrid electric vehicles," DOE/ID-11069, 2003.

Im Zuge der Alterung bei Betrieb oder Lagerung des Akkumulators verringert sich die Kapazität, wohingegen sich sein Innenwiderstand erhöht. Somit erscheinen beide Arten von Definitionen des Alterungszustandes eines Akkumulators grundsätzlich plausibel, da sowohl der Innenwiderstand als auch die Kapazität des Akkumulators hinreichenden Aufschluss über die Alterung geben können. Jedoch besteht das Problem, dass diese beiden Werte Einfluss auf das Entladeverhalten des Akkumulators haben und miteinander zusammenwirken.

So wird es beispielsweise in der Literatur ("J. Vetter, P. Novak, M. Wagner, C. Veit, K.-C. Moeller, J. Besenhard, M. Winter, M. Wohlfahrt-Mehrens, C. Vogler, and A. Hammouche, "Ageing mechanisms in lithium-ion batteries," Journal of Power Sources, vol. 147, no. 1-2, pp. 269 - 281, 2005." "M. Broussely, P. Biensan, F. Bonhomme, P. Blanchard, S. Herreyre, K. Nechev, and R. Staniewicz, "Main aging mechanisms in li ion batteries," Journal of Power Sources, vol. 146, no. 1-2, pp. 90 - 96, 2005.", "A. Jossen, Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen. Germany: UBooks, 2006.") für erforderlich gehalten,



sowohl den Innenwiderstand als auch die Restladekapazität des Akkumulators zu kennen, um auf das gesamte Alterungsverhalten des Akkumulators zu schließen.

Die Ermittlung der Restladekapazität sowie des Innenwiderstandes unabhängig von einander ist ausgesprochen mühsam und zeitaufwendig. Weiters besteht zur Bestimmung des Alterungszustandes die Notwendigkeit, die Werte für den Innenwiderstand sowie der Ladekapazität eines unverbrauchten Akkumulators gespeichert zu halten.

Die Erfindung setzt sich zur Aufgabe, die Bestimmung des Alterungszustandes zu vereinfachen und einen einzigen Indikatorwert für einen Akkumulator zur Verfügung zu stellen, mittels dessen der Alterungszustand des Akkumulators besser bestimmt werden kann.

Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den Merkmalen des Kennzeichens des unabhängigen Patentanspruches 1. Erfindungsgemäß ist bei einem Verfahren zur Bestimmung des Alterungszustands eines Akkumulators (B) mit einer vorgegebenen Nennkapazität ( $C_{\text{nenn}}$ ), vorgesehen, dass

a) dass eine Anzahl von Entladungsraten ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) vorgegeben wird, auf Grundlage derer ein Entladungsstrom ( $I_1, \dots, I_N$ ) gemäß der Formel vorgegeben wird

$$I_i = C_{R,i} * C_{\text{nenn}} / 1h \quad i = 1 \dots N$$

b) dass für sämtliche vorgegebenen Entladungsraten ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) der Akkumulator (B) in einem ersten Schritt jeweils aufgeladen wird und anschließend in einem zweiten Schritt eine Messentladung mit dem jeweiligen Entladungsstrom ( $I_1, \dots, I_N$ ) durchgeführt wird, wobei

- der Akkumulator (B) mit der jeweiligen Entladungsrate ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) entladen wird, bis der Akkumulator (B) einen der jeweiligen Entladungsrate entsprechenden Entladungsstrom ( $I$ ) nicht mehr bei einer vorgegebenen Spannung entnehmbar ist,

- die tatsächliche Entladezeit ( $T_1, \dots, T_N$ ) als Zeitspanne des Entladens bei der jeweiligen Entladungsrate ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) ermittelt wird, und

- das Produkt der tatsächlichen Entladezeit ( $T_1, \dots, T_N$ ) und der jeweiligen Entladungsrate ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) ermittelt wird, und

c) dass die für die einzelnen vorgegebenen Entladungsraten ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) ermittelten Entladezeiten ein Mittelwert ( $T$ ) gebildet wird, der als Indikatorwert (SOM) für den Alterungszustand des Akkumulators (B) angesehen wird.



Das erfindungsgemäße Verfahren ist einfach und mit geringem Zeitaufwand durchzuführen. Es sind lediglich wenige Entladungsmessungen vorzunehmen, anschließend kann ein einziger aussagekräftiger Wert über die Alterung bzw. den Alterungszustand des Akkumulators ermittelt werden.

Zur einfachen Festlegung der Entladeraten kann vorgesehen sein, dass die einzelnen Entladungsraten ( $C_{R,1}$ , ...,  $C_{R,N}$ ) jeweils voneinander unterschiedliche Zahlen zwischen 1 und  $C_{R,max}$  sind, wobei  $C_{R,max}$  der höchstzulässigen Entladungsrate für den Akkumulator (B) entspricht.

Um wiederholbare und vergleichbare Messergebnisse zu erhalten, kann vorgesehen sein, dass der Akkumulator (B) in den zwischen den Messentladungen stattfindenden Aufladevorgängen so weit aufgeladen wird, dass seine Leerlaufspannung einen vorgegebenen Wert erreicht.

Zum gleichen Zweck kann vorgesehen sein, dass eine Messentladung beendet wird, wenn die am Akkumulator (B) anliegende Spannung ( $U_B$ ) einen vorgegebenen Spannungsgrenzwert ( $U_{min}$ ) unterschreitet.

Um die durch Alterung gesteigerte Neigung eines Akkumulators zur Hitzeentwicklung besser berücksichtigen zu können, kann vorgesehen sein, dass eine Messentladung beendet wird, wenn die Temperatur des Akkumulators (B) einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.

Eine besonders einfache Ermittlung des Alterungszustandes kann vorgenommen werden, indem als Mittelwert der ungewichtete arithmetische Mittelwert herangezogen wird.

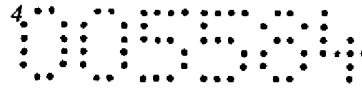
Insbesondere kann es vorgesehen sein, dass der Indikatorwert (SOM; T) für den Alterungszustand des Akkumulators (B) folgendermaßen ermittelt wird:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^N C_{R,i} \cdot T_i}{N}$$

$$T = \text{SUMME}(i=1..N, C_{R,i} \cdot T_i) / N$$

$$\text{SOM} = T / T_{ideal}; \quad T_{ideal} = 1h.$$

Ein besonders vorteilhafter Vergleich eines Akkumulators bezüglich Alterung mit einem fabrikneuen bzw. noch nicht entladenen Referenzakkumulator kann vorgenommen



werden, indem der Indikatorwert (SOM; T) für den Alterungszustand nach einem Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche ermittelt wird, der Indikatorwert ( $SOM_{ref}$ ;  $T_{ref}$ ) für den Alterungszustand für einen vorgegebenen, vorzugsweise noch niemals entladenen und/oder fabrikneuen, Referenzakkumulator desselben Bautyps nach demselben Verfahren ermittelt wird, und dass als weiterer Indikatorwert (SOM') für den Alterungszustand der folgende Wert ermittelt wird

$$SOM' = SOM / SOM_{ref}; \quad SOM' = T / T_{ref}.$$

Mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der folgenden Figuren näher dargestellt.

Fig. 1 zeigt ein vereinfachtes Ersatzschaltbild eines Akkumulators. Fig. 2 zeigt Spannungsunterschiede bei unterschiedlichen Entladungsraten. Fig. 3, 4 und 5 zeigen den Verlauf der Spannung während der Entladung bei Akkumulatoren mit unterschiedlichen Alterungszuständen bei unterschiedlichen Entladungsraten. Fig. 6 zeigt den Verlauf des Innenwiderstands während der Entladung bei Akkumulatoren mit unterschiedlichen Alterungszuständen.

In **Fig. 1** ist ein einfaches Ersatzschaltbild des Akkumulators B umfassend eine Spannungsquelle sowie einen Innenwiderstand dargestellt. Bei der Entladung eines Akkumulators B hängt die Spannung  $U_B$  am Ausgang des Akkumulators B im wesentlichen vom Ladungszustand (SOC) des Akkumulators B sowie vom Entladestrom I ab. Am Innenwiderstand ESR tritt aufgrund des Entladestroms I eine von der Leerlaufspannung U abweichende Spannung  $U_i$  auf, wobei  $U_B = U - U_i$ ;  $U_i = I * ESR$ .

Aus **Fig. 2** kann einfach ersehen werden, dass bei unterschiedlichen Entladeraten  $C_R$  bzw. bei unterschiedlichen Entladeströmen I unterschiedliche Spannungen  $U_B$  am Ausgang des Akkumulators auftreten bzw. anliegen. In **Fig. 2** sind zwei unterschiedliche Entladevorgänge dargestellt, wobei der erste Entladespannungsverlauf bei einer Entladerate  $C_R=1$ , und der zweite Entladespannungsverlauf bei einer Entladerate  $C_R=2,5$  aufgenommen worden ist.

Von der Entladerate  $C_R$  kann auf folgende Weise auf den Entladestrom geschlossen werden:  $I = C_{R,i} * C_{nenn} / 1h$ , wobei  $C_{nenn}$  der Nennkapazität, d. h. der maximal im Akkumulator B speicherbaren Ladung, entspricht. Setzt man  $C_R=1$ , so wird der Entladestrom derart festgelegt, dass der Akkumulator B innerhalb von einer Stunde seine gesamte Nennkapazität  $C_{nenn}$  abgibt, d. h. idealerweise vollständig entladen wird. Setzt man  $C_R=2,5$ , so findet eine Entladung eines idealen Akkumulators in  $1h/2,5 = 0,4$  Stunden = 24 Minuten statt.

Der in **Fig. 2** dargestellte Spannungsunterschied zwischen den beiden Entladespannungskurven entspricht dem Spannungsunterschied  $\Delta U = (I_1 - I_2) \cdot \text{ESR}$ , der am Innenwiderstand ESR auftritt, wenn er von den beiden Entladeströmen ( $I_1 = 1 \cdot C_{\text{nenn}} / 1\text{h}$  und  $I_2 = 2,5 \cdot C_{\text{nenn}} / 1\text{h}$ ) durchflossen wird.

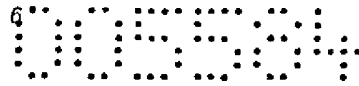
Ein Akkumulator kann innerhalb eines vorgegebenen Arbeitsbereichs betrieben werden, der durch einen oberen und einen unteren Spannungsschwellenwert  $U_{\text{min}}$ ,  $U_{\text{max}}$  festgelegt ist. Solange die am Akkumulator B anliegende Spannung  $U_B$  zwischen den beiden Spannungsschwellenwerten  $U_{\text{min}}$ ,  $U_{\text{max}}$  liegt, kann der Akkumulator B zerstörungsfrei betrieben werden.

Wenn der Akkumulator B mit einem zu höheren Entladungsstrom  $I$  bzw. mit einer zu höheren Entladungsrate  $C_R$  betrieben wird, steigt die am Innenwiderstand ESR auftretende Spannung  $U_i = I \cdot \text{ESR}$  stärker an, wodurch bei der Entladung der untere Spannungsschwellenwert  $U_{\text{min}}$  schneller erreicht wird, somit der Akkumulator B weniger lange entladen werden kann und auch weniger Ladung aus dem Akkumulator B entnommen werden kann.

Ideale Akkumulatoren geben im Verlauf Ihrer Entladung unabhängig von der Entladerate  $C_R$  bzw. vom Entladestrom  $I$  jeweils dieselbe Ladung, die ihrer Nennkapazität  $C_{\text{nenn}}$  entspricht, ab. Aufgrund des vorstehend beschriebenen Spannungsunterschieds  $\Delta U$  bei höheren Entladeraten  $C_R$  bzw. Entladeströmen  $I$  wird der untere Spannungsschwellenwert  $U_{\text{min}}$  bei einem realen Akkumulator B früher erreicht, sodass diesem nur eine geringere Ladung entnommen werden kann.

Bei den in den **Fig. 3 bis 6** dargestellten Entladungsvorgängen wurden drei Akkumulatoren  $B_{\text{new}}$ ,  $B_{\text{used}}$ ,  $B_{\text{old}}$  desselben Typs, nämlich ein fabrikneuer Akkumulator  $B_{\text{new}}$ , ein Akkumulator  $B_{\text{used}}$  in der Mitte seines Lebenszyklus sowie ein Akkumulator  $B_{\text{old}}$  am Ende seines Lebenszyklus verwendet. Die Nennkapazität  $C_{\text{nenn}}$  beträgt bei diesem Akkumulatortyp 5,2 Ah. Die maximale Entladerate liegt bei  $5C_R$ , d. h. der Akkumulator kann maximal mit einem Entladestrom  $I$  von  $I = 5 \cdot 5,2\text{A} = 26\text{ A}$  entladen werden. Die obere Schwellenwertspannung  $U_{\text{max}}$  beträgt 4,2V, die untere Schwellenwertspannung  $U_{\text{min}}$  beträgt 2,8V.

Im Zuge der Alterung steigt der Innenwiderstand ESR an, was aus **Fig. 6** ersichtlich ist. Weiters sinkt die maximal - bei sehr geringem Entladestrom - dem Akkumulator B entnehmbare Ladung. All diese Effekte bewirken, dass sich im Zuge der Alterung des Akkumulators B die entnehmbare Ladung, bezeichnet als Kapazität, sinkt bzw. die Zeit, bei der mit einem vorgegebenen Entladestrom  $I$  bzw. einer vorgegebenen Entladungsrate  $C_R$  der Akkumulator entladen werden kann, verkürzt wird. Dieser Effekt ist beispielsweise in den **Fig. 3 bis 5** für unterschiedliche Entladungsraten  $C_R$  zu beobachten. **Fig. 3** zeigt



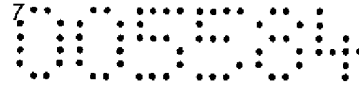
eine Entladung mit einer Entladungsrate von  $C_R = 1$ , d. h. es wird ein Entladestrom  $I$  der folgenden Art vorgegeben:  $I = C_{R,i} \cdot C_{\text{nenn}} / 1\text{h}$ . Ein idealer Akkumulator mit Nennkapazität  $C_{\text{nenn}}$  wird von bei dieser Entladungsrate  $C_R=1$  bzw. diesem Entladungsstrom  $I$  in einer Stunde vollständig entladen. Aus **Fig. 3** ist zu ersehen, dass dieses Verhalten bei einem neuen Akkumulator durchaus erreicht werden kann, die untere Schwellenwertspannung von  $U_{\text{min}} = 2,8\text{V}$  wird etwa nach einer Stunde (3637 Sekunden) erreicht. Ein gebrauchter Akkumulator erreicht die untere Schwellenwertspannung  $U_{\text{min}}$  bereits nach etwa 3000 Sekunden, ein alter bzw. verbrauchter Akkumulator erreicht die untere Schwellenwertspannung  $U_{\text{min}}$  schon nach 1855 Sekunden, d. h. es kann bei dieser Entladerate nur noch die halbe Ladung entnommen werden. Dies entspricht einer Verschlechterung um etwa 51%.

Bei der in **Fig. 4** dargestellten Entladung wird eine Entladerate von  $C_R=2,5$ ,  $I=13\text{A}$  vorgegeben. Ein idealer Akkumulator müsste die untere Schwellenwertspannung  $U_{\text{min}}$  nach einer halben Stunde (=1440 Sekunden) erreicht haben. Wie aus **Fig. 4** ersichtlich, erreicht der neue Akkumulator  $B_{\text{new}}$  nach etwa dieser Zeitspanne die untere Schwellenwertspannung  $U_{\text{min}}$ . Der gebrauchte bzw. der verbrauchte Akkumulator  $B_{\text{used}}$  erreichen untere Schwellenwertspannung  $U_{\text{min}}$  bereits nach 1250 bzw. 700 s.

In **Fig. 5** ist derselbe Entladevorgang wie in **Fig. 3** und **4** dargestellt, mit dem Unterschied, dass eine Entladung mit einer Entladerate von  $C_R=5$ ,  $I=26\text{A}$  gewählt wird. Bei einem idealen Akkumulator wird eine vollständige Entladung nach 0,2 Stunden, d. h. 720s, erreicht. Im Gegensatz dazu kann mit dem fabrikneuen Akkumulator  $B_{\text{new}}$  eine Entladezeit von 695s gemessen werden, was einer Abweichung von -3,4% entspricht. Bei dem alten Akkumulator  $B_{\text{old}}$  ist die untere Schwellenwertspannung  $U_{\text{min}}$  bereits nach 422 s erreicht, was einer Abweichung von -59% vom idealen Akkumulator entspricht.

In **Fig. 6** wird der Innenwiderstand ESR im Verlauf der Entladung für die Akkumulatoren  $B_{\text{new}}$ ,  $B_{\text{used}}$ ,  $B_{\text{old}}$  mit jeweils unterschiedlichem Alterungszustand dargestellt. Aus der Darstellung wird klar, dass die Spannung am alten Akkumulator  $B_{\text{old}}$  aufgrund des höheren Innenwiderstands ESR bei höheren Entladeströmen schneller bzw. früher die untere Schwellenwertspannung  $U_{\text{min}}$  erreicht, wobei noch Restladung im Akkumulator  $B_{\text{old}}$  verbleibt, die allerdings nur noch mit einem geringeren Entladestrom entnehmbar ist. Die in **Fig. 6** dargestellten Verläufe des Innenwiderstands ESR wurden bei einer Frequenz von 0,5 Hz gemessen.

In einem **ersten Ausführungsbeispiel** der Erfindung kann der Alterungszustand SOM eines Akkumulators  $B$  mit einer maximal zulässigen Entladungsrate von  $C_R=5$



folgendermaßen quantifiziert werden: Es werden drei Entladungsraten  $C_{R,1}$ ,  $C_{R,2}$ ,  $C_{R,3}$  vorgegeben, wobei die erste Entladungsrate mit  $C_{R,1}=1$  festgesetzt wird. Die zweite Entladungsrate  $C_{R,2}$  wird auf 2,5, also auf die Hälfte der maximal zulässigen Entladungsrate gesetzt, die dritte Entladungsrate  $C_{R,3}$  wird auf 5, das ist die maximale Entladungsrate, gesetzt. Beim verwendeten Akkumulatortyp handelt es sich um einen Lithium-Ionen Akkumulator der zuvor beschriebenen Art mit einer Nennkapazität von 5,2Ah. Die Entladungsströme ergeben sich zu  $I_1=5,2A$ ,  $I_2=13A$ ,  $I_3=26A$ .

Für jede Entladungsrate  $C_R$  bzw. für jeden Entladungsstrom  $I$  wird jeweils ein Entladevorgang durchgeführt, wobei der Akkumulator  $B$  vor bzw. zwischen den Entladungsvorgängen wieder aufgeladen wird. Nach dem Aufladevorgang entspricht die Leerlaufspannung des Akkumulators  $B$  der oberen Schwellenwertspannung des Akkumulators von  $U_{max}=4,2V$ . Der Akkumulator  $B$  wird im Zuge jedes Entladungsvorgangs mit dem jeweiligen konstant gehaltenen Entladungsstrom ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ) entladen. Ein an die beiden Pole des Akkumulators  $B$  angeschlossenes Spannungsmessgerät  $M_V$  bestimmt die am Akkumulator  $B$  anliegende Spannung  $U_B$ . Sobald der untere Spannungsschwellenwert  $U_{min}$ , im vorliegenden Fall von 2,8V, erreicht ist wird das Entladen beendet. Für jeden Entladevorgang wird jeweils die Entladezeit ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ) ermittelt.

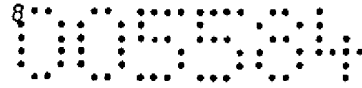
Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wurde der gebrauchte Akkumulator  $B_{used}$  herangezogen, es wurden die folgenden Werte  $T_1= 3129$  s,  $T_2 = 1221$  s  $T_3= 592$  s. Um den Einfluss der einzelnen Werte auf das Endergebnis gleich zu halten, werden die einzelnen Entladezeiten mit den Entladeraten  $C_{R,1} = 1$ ,  $C_{R,2} = 2,5$ ,  $C_{R,3} = 5$  gewichtet. Im allgemeinen ergibt sich die folgende Formel zur Bestimmung einer durchschnittlichen gewichteten Entladezeit:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^N C_{R,i} \cdot T_i}{N}$$

$$T = \text{SUMME}(i=1..N, C_{R,i} * T_i)/N$$

$$\text{SOM} = T/T_{ideal}; \quad T_{ideal} = 1h.$$

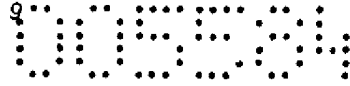
Es ergeben sich folglich die gewichteten Entladezeiten:  $C_{R,1} * T_1 = 3129$  s;  $C_{R,2} * T_2 = 3052,5$  s;  $C_{R,3} * T_3 = 2960$  s. Hieraus ergibt sich ein gewichteter Mittelwert  $T$  von 3047 s. Bei einem idealen Akkumulator erhält man für jeden Entladungsvorgang egal bei welcher Entladungsrate jeweils einen Wert von  $T_{ideal} = 3600$  s. Gegenüber einem idealen Akkumulator liegt der ermittelte Indikatorwert bei  $\text{SOM} = T/T_{ideal} = 84,6\%$ .



Im folgenden wird ein **zweites Ausführungsbeispiel** des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt. Es wird neben dem Spannungsmessgerät  $M_V$  zur Bestimmung der am Akkumulator B anliegenden Spannung ein zusätzliches Temperaturmessgerät  $M_T$  zur Bestimmung der Temperatur TEMP des Akkumulators B vorgesehen. Während der Entladung wird neben der am Akkumulator B anliegenden Spannung  $U_B$  die Temperatur TEMP des Akkumulators B überwacht. Übersteigt diese einen vorgegebenen Schwellenwert, der im Datenblatt des Herstellers angegeben ist und beispielsweise etwa  $50^\circ\text{C}$ , so wird der Entladevorgang beendet. Vor dem Start eines neuen Entladevorgangs wird der Akkumulator B, z. B. an der Umgebungsluft, abgekühlt und nach der Abkühlung ein erneuter Entladevorgang bei der nächsten Entladungsrate  $C_R$  durchgeführt.

Ein **drittes Ausführungsbeispiel** der Erfindung stellt eine Modifikation des ersten Ausführungsbeispiels der Erfindung dar. Mit dem im ersten Ausführungsbeispiel beschriebenen Vorgehen wird zunächst ein fabrikneuer Akkumulator  $B_{\text{new}}$  als Referenzakkumulator herangezogen und bezüglich seiner Entladezeiten  $T_1, T_2, T_3$  vermessen, wodurch ein Referenzwert  $T_{\text{ref}}$  ermittelt wird. Die Ermittlung des Referenzwertes erfolgt nach der im ersten Ausführungsbeispiel angegebenen Vorgabe. Bei dem in den **Fig. 3 bis 6** gemessenen Entladungen des neuen Akkumulators  $B_{\text{new}}$  beträgt der ermittelte Mittelwert  $T=3571\text{s}$ , es ergibt sich folglich ein Referenzwert  $T_{\text{ref}}=3571\text{s}$ .

Ein auf den Referenzakkumulator  $B_{\text{new}}$  bzw. Referenzwert  $T_{\text{ref}}$  bezogener Indikatorwert  $\text{SOM}'$  kann wie folgt ermittelt werden  $\text{SOM}' = T / T_{\text{ref}} = 83,9\%$ . Alternativ kann auch der Indikatorwert  $\text{SOM}_{\text{ref}}$  für den fabrikneuen Referenzakkumulator  $B_{\text{new}}$  ermittelt werden. Dieser ergibt sich zu  $\text{SOM}_{\text{ref}} = 99,2\%$ . Der auf den Referenzakkumulator  $B_{\text{new}}$  bezogene Indikatorwert  $\text{SOM}'$  kann somit auch gemäß  $\text{SOM}' = \text{SOM} / \text{SOM}_{\text{ref}}$  ermittelt werden.



### Patentansprüche:

1. Verfahren zur Bestimmung des Alterungszustands eines Akkumulators (B) mit einer vorgegebenen Nennkapazität ( $C_{\text{nenn}}$ ), dadurch gekennzeichnet,

a) dass eine Anzahl von Entladungsraten ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) vorgegeben wird, auf Grundlage derer ein Entladungsstrom ( $I_1, \dots, I_N$ ) gemäß der Formel vorgegeben wird

$$I_i = C_{R,i} * C_{\text{nenn}} / 1\text{h} \quad i = 1 \dots N$$

b) dass für sämtliche vorgegebenen Entladungsraten ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) der Akkumulator (B) in einem ersten Schritt jeweils aufgeladen wird und anschließend in einem zweiten Schritt eine Messentladung mit dem jeweiligen Entladungsstrom ( $I_1, \dots, I_N$ ) durchgeführt wird, wobei

- der Akkumulator (B) mit der jeweiligen Entladungsrate ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) entladen wird, bis der Akkumulator (B) einen der jeweiligen Entladungsrate entsprechenden Strom nicht mehr mit einer vorgegebenen Spannung entnehmbar ist,

- die tatsächliche Entladezeit ( $T_1, \dots, T_N$ ) als Zeitspanne des Entladens bei der jeweiligen Entladungsrate ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) ermittelt wird, und

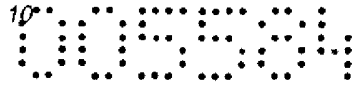
- das Produkt der tatsächlichen Entladezeit ( $T_1, \dots, T_N$ ) und der jeweiligen Entladungsrate ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) ermittelt wird, und

c) dass die für die einzelnen vorgegebenen Entladungsraten ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) ermittelten Entladezeiten ein Mittelwert (T) gebildet wird, der als Indikatorwert (SOM) für den Alterungszustand des Akkumulators (B) angesehen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Entladungsraten ( $C_{R,1}, \dots, C_{R,N}$ ) jeweils voneinander unterschiedliche Zahlen zwischen 1 und  $C_{R,\text{max}}$  sind, wobei  $C_{R,\text{max}}$  der höchstzulässigen Entladungsrate für den Akkumulator (B) entspricht.

3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Akkumulator (B) in den zwischen den Messentladungen stattfindenden Aufladevorgängen so weit aufgeladen wird, dass seine Leerlaufspannung einen vorgegebenen Wert erreicht.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Messentladung beendet wird, wenn die am Akkumulator (B) anliegende Spannung ( $U_B$ ) einen vorgegebenen Spannungsgrenzwert ( $U_{\text{min}}$ ) unterschreitet.



5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Messentladung beendet wird, wenn die Temperatur des Akkumulators (B) einen vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Mittelwert der ungewichtete arithmetische Mittelwert herangezogen wird.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Indikatorwert (SOM; T) für den Alterungszustand des Akkumulators (B) folgendermaßen ermittelt wird:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^N C_{R,i} \cdot T_i}{N}$$

$$T = \text{SUMME}(i=1..N, C_{R,i} * T_i) / N$$

$$\text{SOM} = T / T_{\text{ideal}} ; \quad T_{\text{ideal}} = 1 \text{h.}$$

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Indikatorwert (SOM; T) für den Alterungszustand nach einem Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche ermittelt wird, der Indikatorwert (SOM<sub>ref</sub>; T<sub>ref</sub>) für den Alterungszustand für einen vorgegebenen, vorzugsweise noch niemals entladenen und/oder fabrikneuen, Referenzakkumulator desselben Bautyps nach demselben Verfahren ermittelt wird, und dass als weiterer Indikatorwert (SOM') für den Alterungszustand der folgende Wert ermittelt wird

$$\text{SOM}' = \text{SOM} / \text{SOM}_{\text{ref}} ; \quad \text{SOM}' = T / T_{\text{ref}}$$

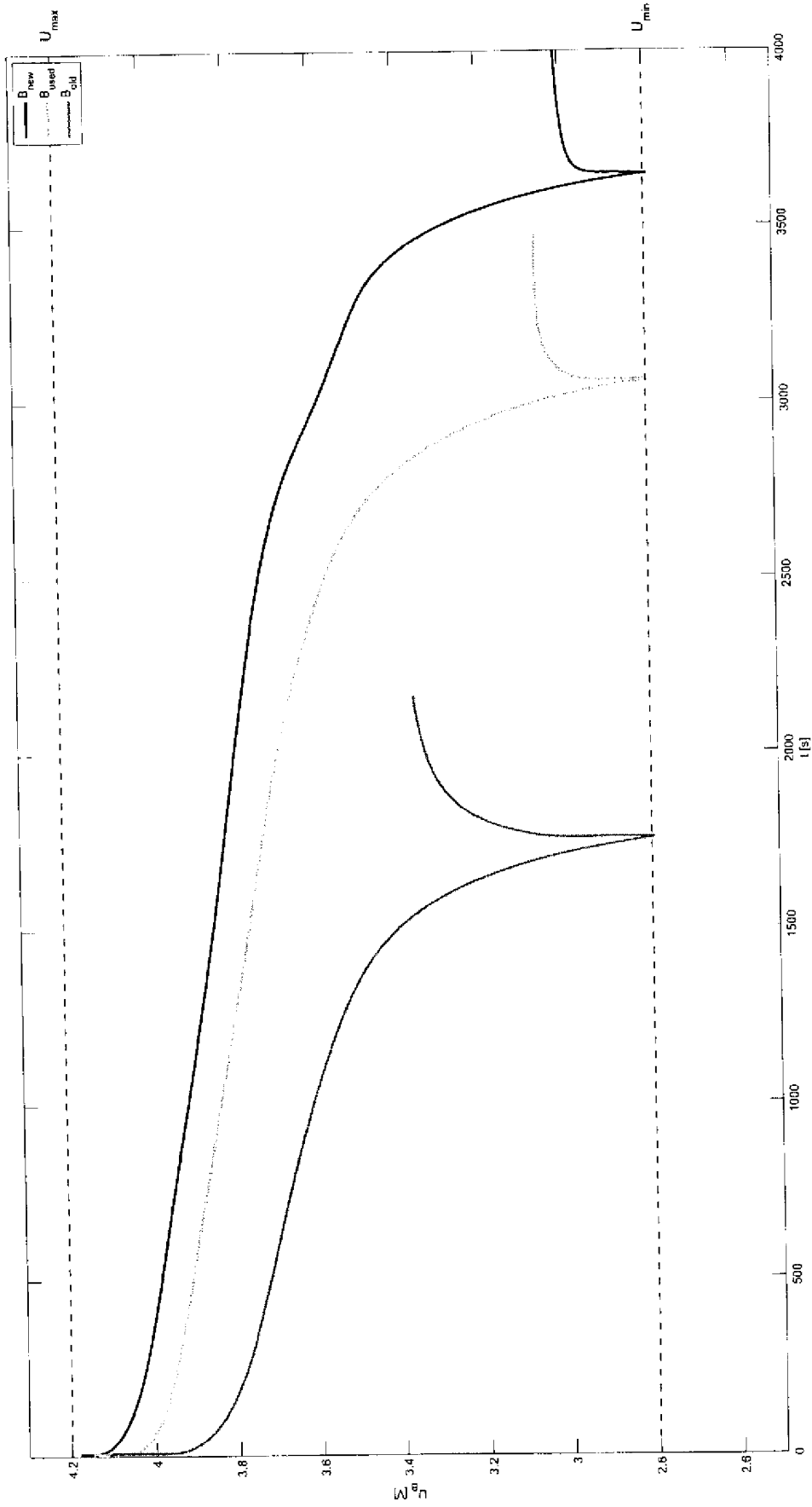


Fig. 1

10000

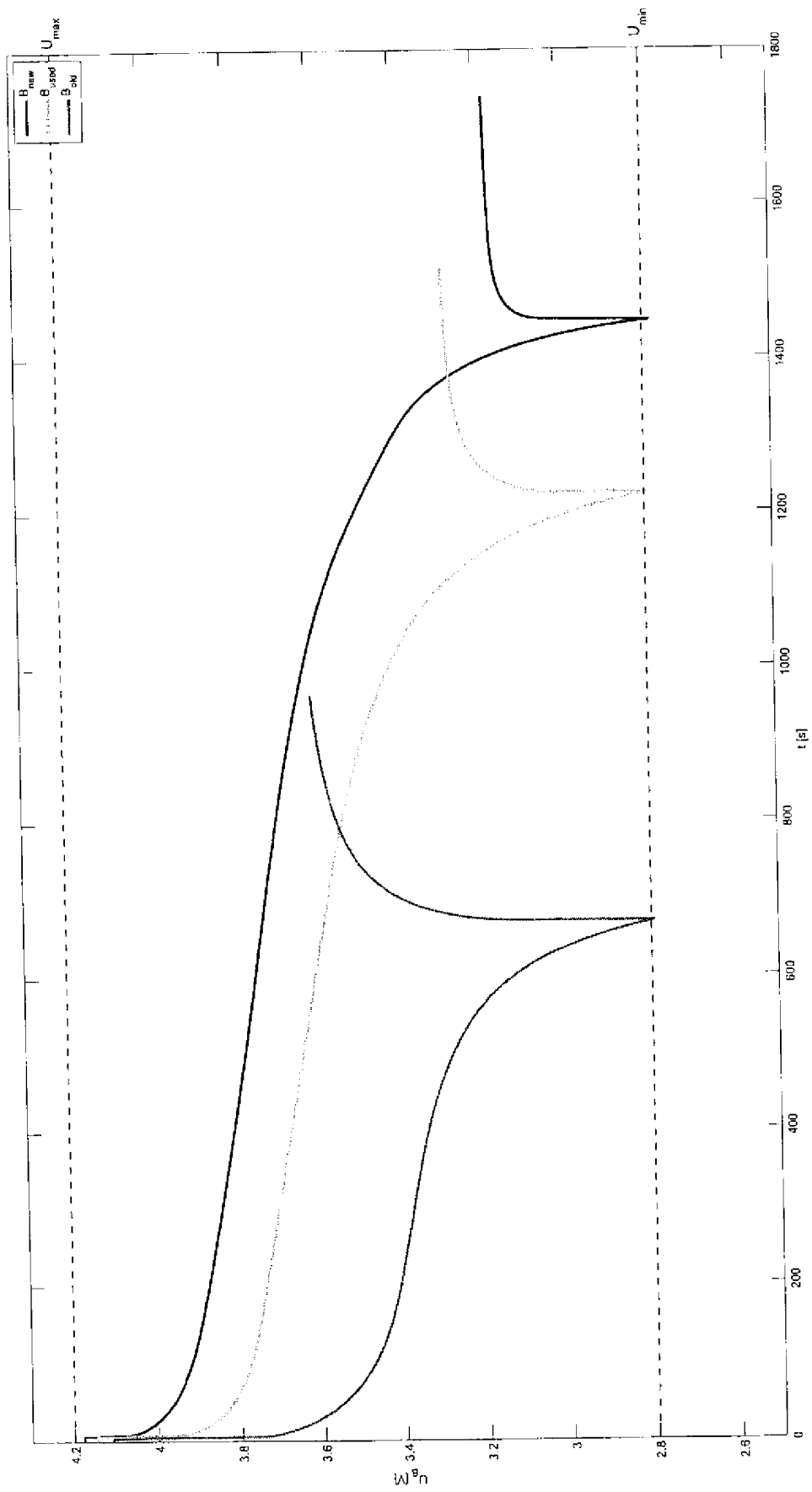


Fig. 2

10000

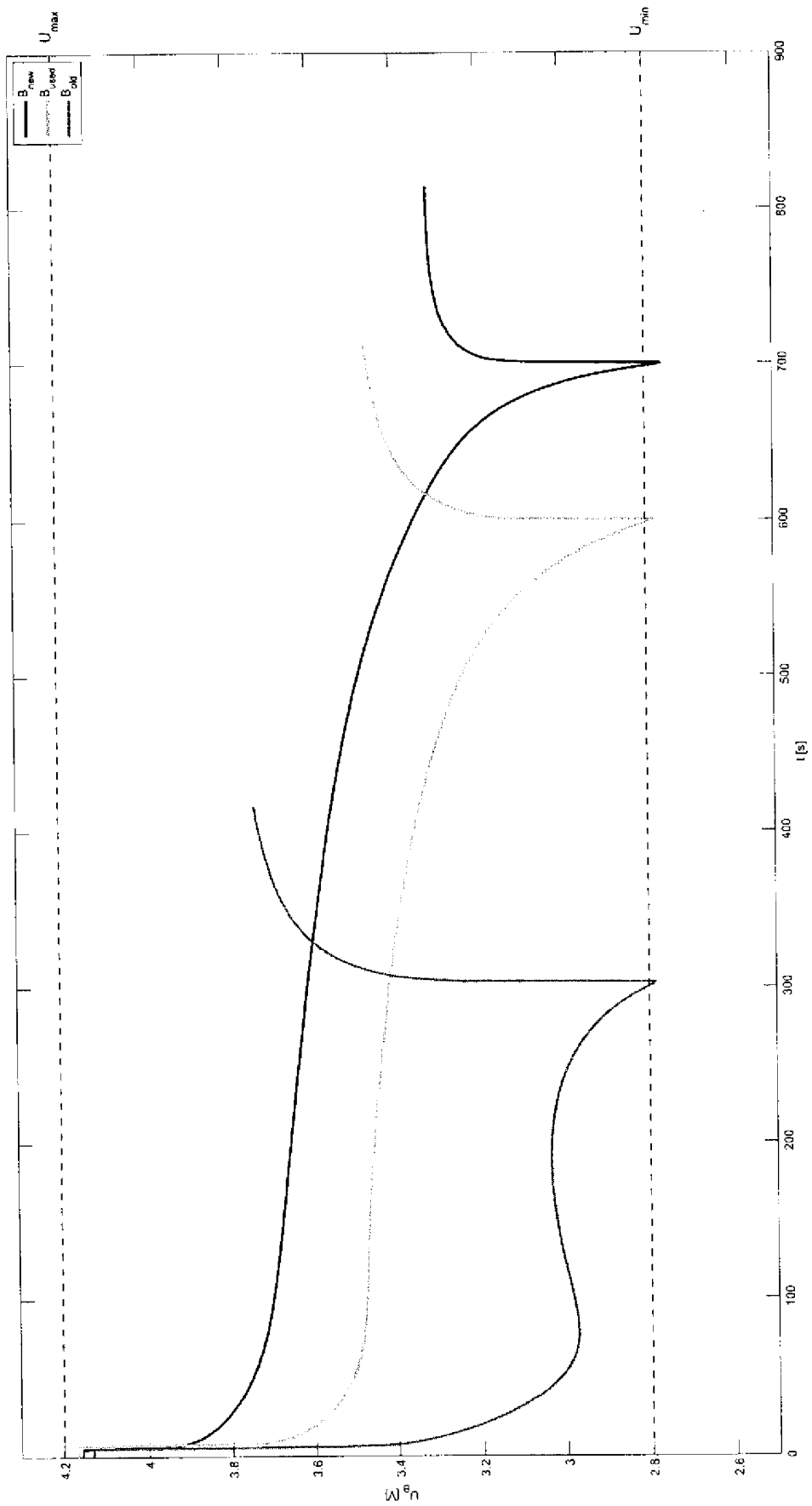


Fig.3

00554

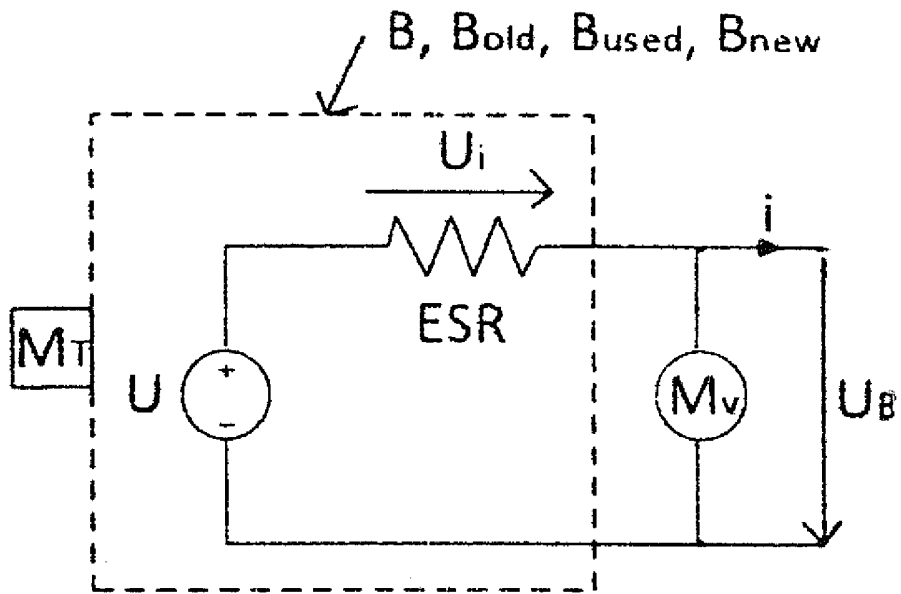


Fig 4



1000000

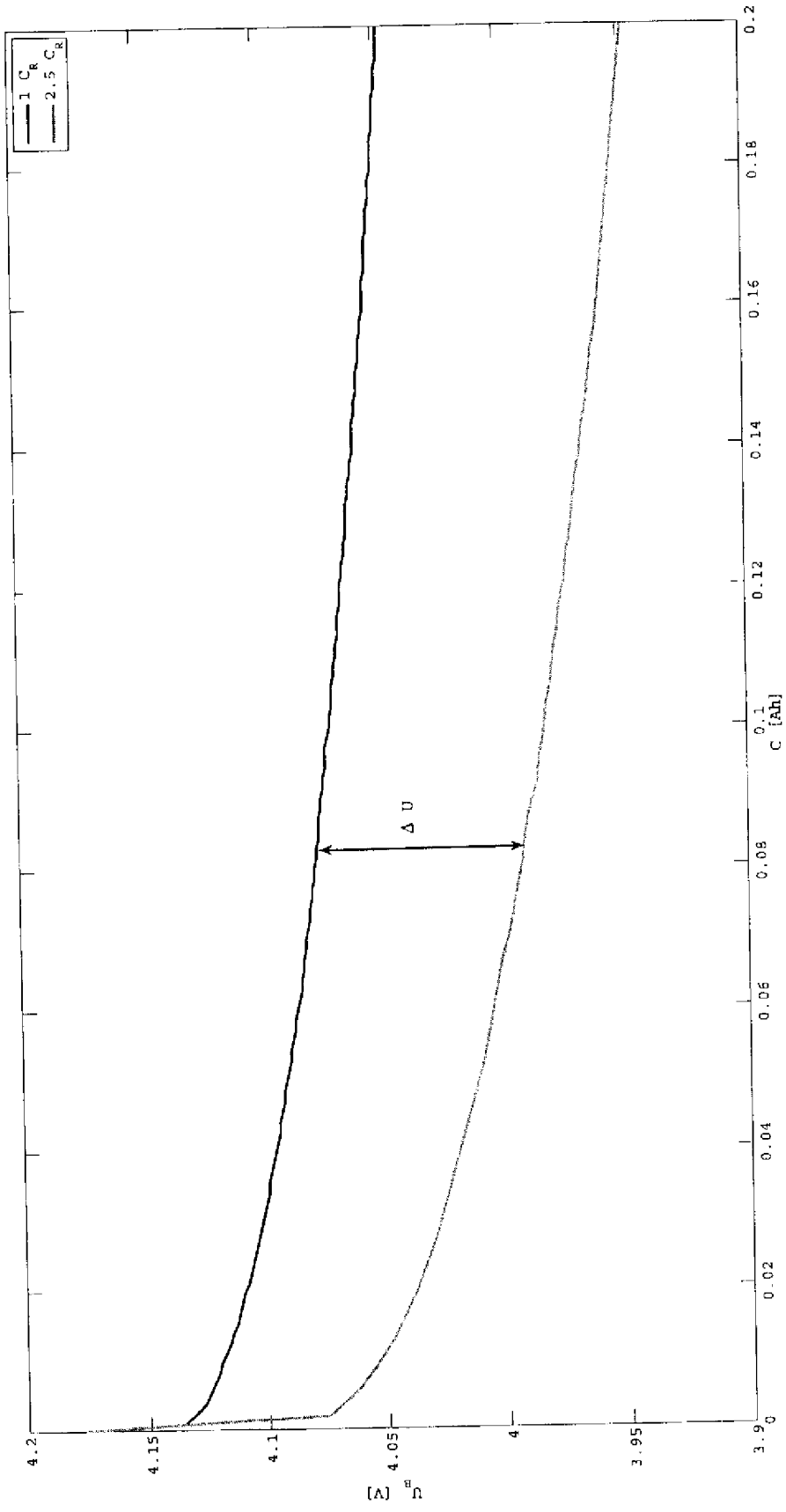


Fig. 6