

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 698 055 B1

(51) Int. Cl.: G01R 27/08 (2006.01)

### Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

## (12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 00746/06

(22) Anmeldedatum: 09.05.2006

(24) Patent erteilt: 15.05.2009

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.05.2009

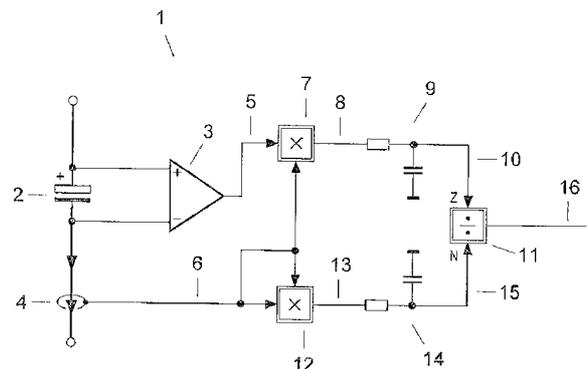
(73) Inhaber:  
ETH Zürich, ETH transfer, Rämistrasse 101  
8092 Zürich (CH)

(72) Erfinder:  
Johann W. Kolar, 8044 Zürich (CH)  
Johann Ertl, A-5270 Mauerkirchen (AT)

(74) Vertreter:  
Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach 1771  
8032 Zürich (CH)

### (54) Vorrichtung zur Bestimmung des Verlustwiderstandes von Elektrolytkondensatoren.

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bestimmung des Verlustwiderstandes (ESR-Wert) von Elektrolytkondensatoren. Ausgangspunkt dabei ist die messtechnische Erfassung der Strom-/Spannungswerte des Kondensators 2 mittels entsprechender Verstärker bzw. Sensoren 3, 4. Erfindungsgemäss wird aus dem Spannungs-Messsignal 5 und dem Strom-Messsignal 6 über eine Multiplizierschaltung 7 ein Signal 8 ermittelt, das der Augenblicks-Wirkleistung entspricht. Ebenso wird mit einer zweiten Multiplizierschaltung 12 ein Signal 13 erzeugt, das dem Quadrat des Kondensatorstromes entspricht. Die Signale 8,13 werden anschliessend unter Zwischenschaltung von Mittelwertfiltern 9,14 an den Zähler- bzw. an den Nennereingang einer Dividierschaltung 11 geführt, an deren Ausgang das gewünschte Signal 16, welches dem ESR-Wert des Kondensators 2 entspricht, abgegriffen werden kann.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bestimmung des Verlustwiderstandes von Elektrolytkondensatoren, wie im Oberbegriff des Patentanspruches 1 beschrieben ist.

## Stand der Technik

**[0002]** Elektrolytkondensatoren stellen heute ein zentrales Bauteil bei der Realisierung leistungselektronischer Konverter dar und werden dabei insbesondere auch für den Aufbau von Spannungszwischenkreisen bei Pulsrichtern eingesetzt. Der Vorteil dieses Kondensatorstyps liegt vor allem in der hohen spezifischen Speicherdichte (Energie/Volumen) sowie der hohen Strombelastbarkeit. Nachteilig ist allerdings, dass die Bauteile einer relativ ausgeprägten Alterung unterliegen, welche auf das zugrunde liegende elektro-chemische Grundprinzip zurückzuführen ist. Die unvermeidlichen ohmschen Impedanzanteile eines realen Kondensators setzen sich nämlich zu einem wesentlichen Anteil aus dem Übergangswiderstand der eingesetzten Elektrolytflüssigkeit (welche funktionell eine Elektrode des Kondensators bildet) zusammen. Da der Kondensator im Laufe seines Lebenszyklus infolge von Diffusion fortwährend Elektrolytflüssigkeit verliert («Austrocknung»), steigt die ohmsche Komponente der Impedanz des Bauteils – im Ersatzschaltbild üblicherweise als ESR («Equivalent-Series-Resistor») bezeichnet – beständig an.

**[0003]** Üblicherweise wird seitens des Herstellers spezifiziert, dass das Lebensende des Kondensators dann erreicht ist, wenn sich sein ESR-Wert gegenüber dem Neuwert um einen bestimmten Faktor gesteigert hat (beispielsweise sich verdoppelt hat). Leider hängt der erläuterte Alterungsprozess stark von den Betriebsparametern (z.B. Strombelastung, Umgebungstemperatur etc.) ab, sodass genaue Vorausberechnungen der Lebensdauer bei der Konstruktion des Stromrichters schwierig sind. Entweder erfolgt die Dimensionierung unter Anwendung entsprechender Sicherheitsreserven (= kostenintensive Überdimensionierung) oder aber unter Inkaufnahme eines möglichen frühzeitigen Geräteausfalls bei ungünstigen Umgebungs-/Last-Bedingungen (mit u.U. hohen Folgekosten durch Produktionsausfall etc.).

**[0004]** Zur Vermeidung eines unerwarteten Kondensatorausfalls ist es deshalb zweckmässig, den ESR-Wert des Bauteils während des Betriebes des Gerätes permanent zu überwachen, um beim Überschreiten eines Grenzwertes noch vor Ausfall des Bauteils das erreichte Ende der Lebensdauer signalisieren zu können, sodass rechtzeitig ein Austausch des Bauelementes durchgeführt werden kann. Eine fortwährende Überwachung des ESR-Wertes ermöglicht aber auch eine genauere Aufzeichnung des Alterungsverhaltens für den spezifischen Gerätebetrieb und damit eine viel bessere Möglichkeit der Abschätzung einer zweckmässigen präventiven Wartung (vorbeugender Austausch).

**[0005]** Eine erste einfache Vorrichtung zur Überwachung des ESR-Wertes wurde bereits in der Druckschrift JP 63 081 277 beschrieben. Eine einfache Verstärker-/Gleichrichter-Schaltung detektiert hierbei die Amplitude der am Kondensator anliegenden Wechselspannung, hervorgerufen durch den Ripplestrom des gespeisten leistungselektronischen Converters. Ein nachgeschalteter Komparator signalisiert eine «end-of-life»-Meldung, falls die gemessene Wechselspannungsamplitude einen vordefinierten Grenzwert überschreitet. Nachteilig an dieser einfachen Methode ist, dass der eigentliche ESR-Wert, welcher ja als Alterungsindikator dient, nicht direkt bestimmt wird. Bei geringerer Strombelastung des Elektrolytkondensators (z.B. im Teillastbetrieb des Converters) erfolgt somit keine «end-of-life»-Signalisierung, selbst wenn der ESR-Grenzwert bereits überschritten wird. Ein weiterer Nachteil ist, dass bei der Vorrichtung nach JP 63 081 277 der gesamte Frequenzbereich der Kondensatorspannung ausgewertet wird. Die Impedanz des Elektrolytkondensators ist aber im unteren Frequenzbereich nicht durch den ESR-Wert, sondern durch den kapazitiven Anteil  $X_C$  dominiert, währenddessen im oberen Frequenzbereich wiederum die induktive Komponente  $X_L$  (als Folge der parasitären Induktivität des Bauteils) überwiegt. Die Auswertung der Kondensatorspannung zur Bestimmung des ESR-Wertes wird deshalb durch die kapazitiven bzw. induktiven Impedanzanteile verfälscht, woraus je nach Arbeitsfrequenz des gespeisten Converters sehr unerwünschte Fehlauflösungen resultieren können.

**[0006]** Eine Vermeidung dieses Fehlverhaltens kann damit erreicht werden, wenn man jene Komponenten der Kondensatorspannung, die sich im kapazitiven bzw. induktiven Impedanzbereich des Kondensators befinden, durch Anwendung eines Bandpassfilters kompensiert bzw. unterdrückt, wie dies in WO 0 111 377 bzw. [1] angeführt ist. Weiters erfolgt bei der beschriebenen Vorrichtung auch eine Messung des Kondensatorstromes, ebenfalls wiederum unter Einfügung eines entsprechenden Bandpassfilters. Zur weiteren Auswertung werden zunächst die Ausgangssignale der beiden Filter an zwei Echt-Effektivwertwandler geführt, der ESR-Wert wird anschliessend mittels einer Dividerschaltung als Quotient der gefilterten Spannungs-/Strom-Effektivwerte bestimmt. Die Vorrichtung nach WO 0 111 377 erlaubt somit eine echte Identifikation des ESR-Wertes während des Betriebes des leistungselektronischen Converters, selbst wenn dieser im Teillastbetrieb arbeitet. Die Funktionalität geht damit deutlich über jene der Vorrichtung nach JP 63 081 277 hinaus, welche nur die Signalisierung der Grenzwertüberschreitung bei Vollast ermöglicht. Nachteilig an der Vorrichtung nach WO 0 111 377 ist aber, dass die eingesetzten Bandpassfilter relativ genau dem Impedanzverlauf des zu messenden Kondensators angepasst sein müssen. Jede Abweichung (welche z.B. auch aus der Alterung des Kondensators selbst resultieren kann) bedingt einen u.U. signifikanten Fehler im ermittelten ESR-Wert. Ein weiterer Nachteil der Vorrichtung nach WO 0 111 377 ist, dass das zugrundeliegende Konzept zu einem beträchtlichen Realisierungsaufwand führt. Die Implementierung der Bandpassfilter und der Effektivwert-Konverter in Analogtechnik erfordert aufwändige Operationsverstärker-Schaltungen, eine Lösung in Digitaltechnik wiederum leistungsfähige Signalprozessoren, insbesondere zur Realisierung der digitalen

Bandpassfilter unter Berücksichtigung des üblicherweise relevanten Frequenzbereiches (typ. bis zu 20... 100 kHz und darüber).

[1] K. P. Venet, F. Perisse, M. H. El-Husseini and G. Rojat: «Realization of a Smart Electrolytic Capacitor Circuit», IEEE Industry Applications Magazine, Vol. 8, Issue 1, pp.16–20, Jan.–Feb. 2002.

### Detaillierte Darstellung der Erfindung

[0007] Aufgabe der Erfindung ist daher die Schaffung einer Vorrichtung zur Bestimmung des ESR-Wertes eines Elektrolytkondensators aus den gemessenen Strom/Spannungssignalen mit minimalem Realisierungsaufwand, insbesondere ohne aufwändige Bandpassfilter bzw. Effektivwert-Konverter.

[0008] Erfindungsgemäss wird dies durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruches 1 erreicht. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind den abhängigen Ansprüchen zu entnehmen.

[0009] Grundgedanke der Erfindung ist, dass der ESR-Wert des Elektrolytkondensators über eine Leistungsmessung bestimmt wird. Aus den gemessenen Strom-Spannungssignalen wird dazu mittels einer Multiplizierschaltung mit nachgeschaltetem einfachem Tiefpassfilter die aufgenommene Wirkleistung des Kondensators bestimmt. Über eine zweite Multiplizierschaltung, welche als Quadrier-Schaltung eingesetzt ist, wird das Quadrat des Kondensatorstromes ermittelt (ebenfalls wieder unter Einsatz eines nachgeschalteten einfachen Tiefpassfilters). Gemäss der Beziehung  $P=I^2 \cdot R$  berechnet sich der ESR-Wert des Kondensators über eine Dividier-Schaltung dann aus dem Quotienten der gemittelten Grössen von Leistung und Stromquadrat. Der Vorteil der erfindungsgemässen Vorrichtung ist damit, dass (im Gegensatz etwa zur Anordnung nach WO 0 111 377) die Parameter der verwendeten Filter nicht auf das Messobjekt abgestimmt sein müssen bzw. sich nicht auf die Genauigkeit des ermittelten ESR-Wertes auswirken. Weiters kann die erfindungsgemässe Vorrichtung mit geringem Aufwand realisiert werden, wobei sich dies besonders auch für eine digitale Implementierung, wie im kennzeichnenden Teil des Patentanspruches 2 beschrieben, bezieht. Dabei ist insbesondere auch die Anwendung des «Random-Sampling-Verfahrens» (also eine pseudo-zufällige Abtastung der Messsignale) vorteilhaft, wie im kennzeichnenden Teil des Patentanspruches 3 angeführt.

### Aufzählung der Zeichnungen

[0010] Die Erfindung wird im Weiteren anhand einer Zeichnung erläutert.

Fig. 1 zeigt die signaltechnische Grundstruktur der erfindungsgemässen Vorrichtung zur Bestimmung des Verlustwiderstandes (ESR-Wert) von Elektrolytkondensatoren aus den gemessenen Strom-/Spannungssignalen über Bestimmung der Kondensator-Wirkleistung.

### Ausführung der Erfindung

[0011] Wie in Fig. 1 dargestellt, wird bei der erfindungsgemässen Vorrichtung 1 die am zu überwachenden Elektrolytkondensator 2 anliegende Spannung mittels eines Sensorverstärkers 3 abgegriffen. Ebenso wird der durch den Kondensator fließende Strom, welcher üblicherweise von der Wechselstromkomponente des gespeisten leistungselektronischen Konverters herrührt, über einen Stromsensor 4 erfasst. Die Weiterverarbeitung der gewonnenen Strom-/Spannungsmesssignale 5, 6 erfolgt in der Art, dass eine Multiplizierschaltung 7 aus dem Spannungs-Messsignal 5 und dem Strom-Messsignal 6 ein Ausgangssignal 8 bildet, welches der Augenblicks-Wirkleistung des Kondensators 2 entspricht. Ein nachgeschaltetes Mittelwertfilter 9 bildet daraus ein Signal 10, das proportional zur mittleren aufgenommenen Wirkleistung ist und das an den Zählereingang (Dividend) einer Dividierschaltung 11 geführt ist. Eine zweite Multiplikationsschaltung 12 bildet das Quadrat des Kondensatorstromes, indem das Strom-Messsignal 6 an beide Eingänge der Rechenschaltung 12 geführt ist. Das zugehörige Ausgangssignal 13 wird durch ein nachgeschaltetes Mittelwertfilter 14 in ein Signal 15 umgeformt, welches dem mittleren Stromquadrat im Kondensator 2 entspricht und das an den Nennereingang (Divisor) der Dividierschaltung 11 geführt ist. Am Ausgang der Dividierschaltung 11 kann somit gemäss der Grundgleichung  $P=I^2 \cdot R$  ein Signal 16 abgegriffen werden, das dem ESR-Wert des Elektrolytkondensators 2 entspricht.

[0012] Die vorstehend beschriebene Anordnung kann beispielsweise mittels Analogtechnik unter Verwendung von Operationsverstärkern und Multiplizier-/Dividier-Netzwerken (z.B. Logarithmier-Schaltungen, Steilheitsmultiplizierern etc.) realisiert werden. Besonders interessant ist aber auch, wie in Patentanspruch 2 beschrieben, die erfindungsgemässe Vorrichtung mittels Schaltungen der digitalen Signalverarbeitungstechnik (Signalprozessoren bzw. programmierbare oder applikationsspezifische Digitalschaltkreise) zu implementieren, wobei die Strom-/Spannungssignale 5, 6 durch entsprechende A/D-Konverter zu digitalisieren sind. Vorteilhaft bei der digitalen Verarbeitung ist insbesondere, dass nur sehr einfache numerische Grundoperationen (Multiplikationen, Additionen) in hoher Abtastrate auszuführen sind, während es genügt, die numerisch aufwendige Division nur mit viel geringerer Wiederholrate abzuarbeiten.

[0013] Wie in Patentanspruch 3 erläutert, ist bei einer digitalen Implementierung weiters möglich, dass die Ermittlung der Strom-Spannungsmesswerte sowie deren weitere Verarbeitung mit einer Abtastrate erfolgt, die weit unterhalb der Bandbreite der zu evaluierenden Strom-/Spannungssignale liegt. Wie aus der Fachliteratur bekannt, werden Leistungs-

und Stromeffektivwerte auch dann richtig abgebildet, wenn die Abtastung der Signale mit einer Abtastfrequenz erfolgt, die signifikant unterhalb der Signalbandbreite liegt, sofern die Abtastzeitpunkte zufallsverteilt gewählt werden («random sampling»). Der Vorteil dieser Technik im Zusammenhang mit der gegenständlichen Erfindung liegt darin, dass damit die Implementierung der gesamten Vorrichtung unter Verwendung sehr preisgünstiger Einchip-Mikrokontroller erfolgen kann.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zur Bestimmung des Verlustwiderstandes von Elektrolytkondensatoren (2) unter Verwendung der mittels entsprechender Verstärker bzw. Sensoren (3, 4) mit den Ausgangssignalen (5, 6) gemessenen Strom-/Spannungswerte, dadurch gekennzeichnet, dass das Kondensatorspannungs-Messsignal (5) und das Kondensatorstrom-Messsignal (6) an die Eingänge einer Multiplizierschaltung (7) geführt werden, deren Ausgangssignal (8) somit der Augenblicks-Wirkleistung des Kondensators (2) entspricht und dass dieses leistungsproportionale Ausgangssignal (8) einem Mittelwertfilter (9) zugeführt wird, dessen Ausgangssignal (10) an den Zählereingang einer Dividierschaltung (11) geleitet wird und dass weiters das Kondensatorstrom-Messsignal (6) an beide Eingänge einer zweiten Multiplizierschaltung (12) geführt sind, deren Ausgangssignal (13) über ein zweites Mittelwertfilter (14) an den Nennereingang der Dividierschaltung (11) geleitet wird, sodass am Ausgang der Dividierschaltung (11) ein Signal (16) abgegriffen werden kann, das dem Verlustwiderstand des Kondensators (2) entspricht.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Realisierung der Funktionen der Multiplizierschaltungen (7, 12) und/oder der Mittelwertfilter (9, 14) und/oder der Dividierschaltung (11) mittels digitaler Signalverarbeitung erfolgt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die digitale Abtastung der Strom-/Spannungssignale (5, 6) bzw. deren weitere Verarbeitung nach dem «Random-Sampling-Prinzip» erfolgt, dass also die mittlere Abtastfrequenz unterhalb der Bandbreite der Strom-/Spannungssignale (5, 6) liegt und die Abtastung zeitlich nach einer Zufallsfolge bzw. Quasi-Zufallsfolge verteilt stattfindet.

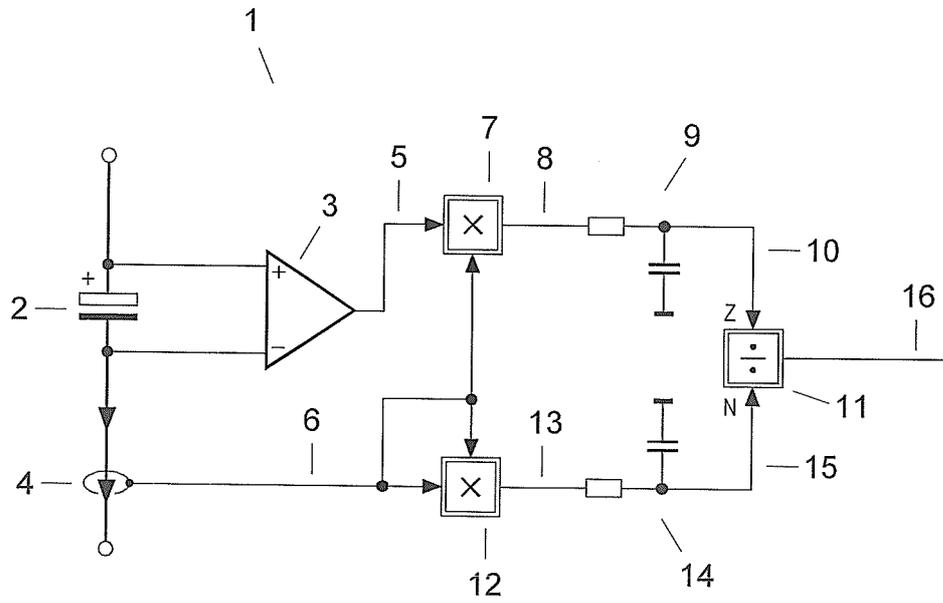


Fig.1