

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50268/2024 (51) Int. Cl.: **G01R 13/02** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 27.03.2024 **G01R 27/02** (2006.01)
(45) Veröffentlicht am: 15.06.2025 **G01R 27/08** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 102010030475 A1
DE 102019214532 A1
EP 0654673 B1
EP 0096033 B1
KR 101610906 B1

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

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

(54) **Ermitteln eines Isolationswiderstands**

(57) Um die Auswirkungen von Schwankungen eines Messstroms (i_m) auf die Ermittlung eines Isolationswiderstands (R) in einem Hochvolt-System erheblich und effektiv zu reduzieren, wird ein Verfahren zum Ermitteln eines Isolationswiderstands (R) in einem Hochvolt-System (2) sowie eine zugehöriges Messsystem vorgeschlagen, bei welchen während eines Hochlaufens (LP) einer Testspannung auf einen vorgegebenen Sollwert (U_t) zuerst eine elektrische Ladung des zu testenden Hochvolt-Systems (2) und/oder der zu testenden Komponente ermittelt wird (101) und dann aus der ermittelten Ladung ein Kapazitätswert (C) für das zu testenden Hochvolt-System (2) und/oder die zu testenden Komponente abgeschätzt wird (102), und bei welchem während einer Messphase (MP), in welcher von der Testspannung der vorgegebenen Sollwert (U_t) erreicht und annähernd eingehalten wird, aus dem abgeschätzten Kapazitätswert (C) und aus einer zeitlichen Abweichung einer gemessenen Messspannung (u_m) von dem vorgegebenen Sollwert (U_t) der Testspannung ein Korrekturstrom (i_{dr}) ermittelt wird (103), mit welchem der jeweils gemessene Messstrom (i_m) korrigiert wird, und dann aus dem korrigierten Messstrom (i_{korr}) und der gemessenen Messspannung (u_m) der Isolationswiderstand (R) abgeleitet wird (104). Zumindest der abgeleitete Isolationswiderstand (R) kann dann ausgegeben und angezeigt werden (105).

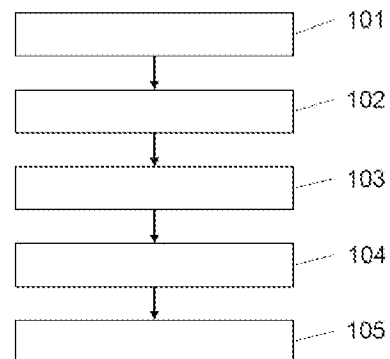


Fig. 2

Beschreibung

ERMITTELN EINES ISOLATIONSWIDERSTANDS

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln eines Isolationswiderstands in einem Hochvolt-System sowie ein zugehöriges Messsystem zum Ermitteln eines Isolationswiderstands. Dabei wird eine Testspannung mit einem vorgegebenen konstanten Sollwert an das zu testende Hochvolt-System und/oder eine zu testende Komponente angelegt und es werden ein durch die Testspannung hervorgerufener Messstrom und eine aktuell am zu testenden Hochvolt-System und/oder an der zu testenden Komponente anliegende Messspannung gemessen.

STAND DER TECHNIK

[0002] Hochvolt-Komponenten bzw. HV-Komponenten, wie z.B. wiederaufladbare Batterien (Hochvolt-Batterie), Leistungselektronik-Komponenten (z.B. einen Wechselrichter zur Ansteuerung der elektrischen Antriebsmaschine, einen Spannungswandler bzw. DC-DC-Wandler, etc.), On-Board-Charger (OBC) und weitere Nebenaggregate (z.B. Pumpen, Heizelemente, etc.), welche mit der leistungsfähigen Hochvolt-Batterie über eine Vielzahl von Hochvolt-Leitungen elektrisch leitend verbunden sind, werden beispielsweise in elektrifizierten Fahrzeugen eingesetzt. Diese HV-Komponenten bilden das so genannte Hochvolt-System bzw. HV-System des elektrifizierten Fahrzeugs, welches meist mit einer Betriebsspannung von über 60 V, üblicherweise in einem Bereich von mehreren 100 Volt (z.B. zwischen 200 V bis 1 kV), betrieben wird. Die HV-Batterie sowie die angeschlossenen HV-Komponenten sind daher elektrisch gegenüber anderen Fahrzeugteilen, insbesondere gegenüber dem Chassis des Fahrzeugs, isoliert. Zumeist ist das HV-System eines elektrifizierten Fahrzeugs als nicht geerdetes, sogenanntes IT (Isolé Terre)-Netz umgesetzt und üblicherweise komplett galvanisch getrennt von einem Fahrzeugbezugspotential bzw. Fahrzeugmasse.

[0003] Durch einen hinreichend großen Widerstand der Isolation des HV-Systems bzw. der HV-Komponenten, insbesondere der HV-Kabel und gegebenenfalls der HV-Steckverbindungen, welche die Komponenten verbinden, werden unerwünschten Stromflüsse verhindert und Personen im Umfeld eines elektrifizierten Fahrzeugs vor einem entsprechenden Kontakt mit dem HV-System geschützt. Üblicherweise liegt der Isolationswiderstand in einem Bereich von hundert Megaohm bis Gigaohm, damit keine Gefährdung besteht. Isolationswiderstände können sich allerdings durch Alterungsprozesse, Feuchtigkeit, Verschmutzung, Beschädigung, Strahlung und chemische oder physikalische Einflüsse verändern. Damit keine Gefährdung besteht, sind Mindestisolationswiderstände vorgeschrieben. Daher werden HV-Systeme in elektrifizierten Fahrzeugen beispielsweise während des Betriebs von eingebauten automatischen Isolationswächtern überwacht, um eventuelle Fehlerströme zu erkennen und eine potentielle Gefährdung für den Nutzer zu verhindern. Weiterhin wird der Zustand der Isolation des HV-Systems durch eine Isolationsmessung, z.B. bei einem Wartungsservice, überprüft, wobei zumeist ein Isolationswiderstand des HV-Systems bzw. einzelner HV-Komponenten (z.B. HV-Kabel, Ladebuchse, Leistungselektronik, etc.) mit einem Messsystem, beispielsweise mit einem Isolationsmessgerät, ermittelt wird, welches über Messkontakte mit dem überprüfenden HV-System bzw. mit der zu überprüfenden HV-Komponente verbindbar ist. Die Messung des Isolationswiderstands dient üblicherweise einer qualitativen Bewertung des Zustands der Isolation des HV-Systems, insbesondere der HV-Kabel und der Isolierung im Inneren des HV-Systems.

[0004] Um die Integrität der Isolation im HV-System zu überprüfen, wird üblicherweise eine konstante Gleichspannung als Testspannung an das zu testende HV-System bzw. an eine zu testende HV-Komponente angelegt. Die Testspannung sollte dabei zumindest im Bereich der Batteriespannung des elektrifizierten Fahrzeugs, idealerweise leicht darüber, liegen. Typischerweise wird eine Testspannung mit einem vorgegebenen Sollwert von 500 Volt verwendet. Ein durch die angelegte Testspannung hervorgerufener Strom, ein sogenannter Leckstrom, wird dann gemessen, um den Isolationswiderstand aus dem Wert der angelegten Testspannung und dem gemessenen Leckstrom abzuleiten. Dabei weist der gemessene Strom in einer Anfangsphase der

Messung, in welcher z.B. die Testspannung auf den vorgegebenen Wert hochläuft, neben dem Leckstrom üblicherweise parasitäre Stromanteile auf. Die parasitären Stromanteile umfassen z.B. einen kapazitiven Stromanteil oder Ladestrom, welcher insbesondere einen Strom zum Laden oder Umladen der Kapazitäten im HV-System bzw. der Isolierung umfasst, und einen absorptiven Stromanteil, welcher aufgrund einer Umorientierung von Molekülen im Isolationsmaterial der Isolierung fließt. Diese parasitären Stromanteile können im Vergleich zum Leckstrom relativ hoch sein, fallen aber üblicherweise relativ schnell (z.B. exponentiell) ab. Erst nach einer Abklingzeit entspricht der gemessene Strom dem Leckstrom und der Isolationswiderstand kann ermittelt werden.

[0005] In Systemen mit relativ hohen Betriebsspannungen, wie z.B. in HV-Systemen, fließt allerdings ein relativ kleiner Leckstrom, beispielsweise in einem Bereich von einigen Mikroampere oder zumeist darunter, durch die Isolierung hindurch. Diese sehr kleinen Leckströme müssen vom Messsystem bzw. vom Isolationsmessgerät quantifiziert werden. Dieses Messsystem stellt z.B. ein multifunktionales Messgerät dar und weist neben einer einstellbaren oder geregelten Spannungsquelle als Spannungsgenerator, von welcher die Testspannung mit einem vorgegebenen konstanten Sollwert generiert wird, zumindest ein Strommessgerät auf, mit welchem der durch die Testspannung hervorgerufene Strom gemessen werden kann, um den Isolationswiderstands zu ermitteln. Zusätzlich kann das Messsystem auch ein Spannungsmessgerät aufweisen, um beispielsweise ein am zu testenden HV-System bzw. an der zu testenden HV-Komponente anliegende Spannung bzw. deren Verlauf, vor allem beim Hochlaufen der Testspannung, zu messen.

[0006] Im Fall von Kapazitäten, insbesondere von relativ großen Kapazitäten, im zu testenden HV-System kann eine Regulierung der Testspannung auf den gewünschten konstanten Sollwert schwierig sein. Vor allem wenn die Testspannung beispielsweise von einer geregelte Spannungsquelle bzw. mittels eines Spannungsreglers als Spannungsgenerator erzeugt wird und auf den gewünschten konstanten Sollwert geregelt werden soll, können beispielsweise Driftspannungen und/oder Schwankungen in der Testspannung auftreten. Diese Driftspannungen sind relativ langsam und werden z.B. durch ein niederfrequentes Rauschen (z.B. 1/f-Rauschen) in der Rückkopplungsregelung der Spannungsquelle verursacht. Das bedeutet, dass die Testspannung neben einem Gleichspannungsanteil, welcher dem vorgegebenen Sollwert entspricht, einen durch die Driftspannungen und/oder Schwankungen bewirkten, niederfrequenten Wechselspannungsanteil aufweist. Durch den niederfrequenten Wechselspannungsanteil, mit welchem die Testspannung vom Sollwert abweicht, können durch die Kapazitäten im zu testenden HV-System relativ große kapazitive Stromanteile bzw. Ladeströme entstehen, welche den relativ kleinen Leckstrom überdecken. Die Messung des Leckstroms wird dadurch verfälscht und eine korrekte Bestimmung des Isolationswiderstands des zu testenden HV-Systems dadurch erheblich behindert.

[0007] Aus der DE 10 2010 030 475 A1 ist beispielsweise ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung des Isolationswiderstandes eines ungeerdeten elektrischen Netzes bekannt. Dabei wird eine Messspannung über einen Spannungsteiler in das Netz eingespeist und ein nach Anlegen der Messspannung fließender Messstrom oder eine davon abgeleitete Größe zu zumindest drei unterschiedlichen Zeitpunkten noch während eines Einschwingvorgangs des Messstroms gemessen, um anschließend abhängig von den mindestens drei Messergebnissen den Isolationswiderstand zu ermitteln.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0008] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren sowie eine zugehörige Vorrichtung anzugeben, mit welchen ein Isolationswiderstand in einem HV-System und/oder einer HV-Komponente möglichst korrekt und unverfälscht ermittelt werden kann.

[0009] Diese und weitere Aufgaben werden durch ein Verfahren sowie eine Messvorrichtung gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

[0010] Erfindungsgemäß erfolgt die Lösung der Aufgabe durch ein Verfahren der eingangs

angegebenen Art, wobei während eines Hochlaufens der Testspannung auf einen vorgegebenen konstanten Sollwert eine elektrische Ladung des zu testenden Hochvolt-Systems und/oder der zu testenden Komponente ermittelt wird, wobei weiterhin aus der ermittelten Ladung ein Kapazitätswert für das zu testenden Hochvolt-System und/oder für die zu testenden Komponente abgeschätzt wird, wobei dann während einer Messphase aus dem abgeschätzten Kapazitätswert und aus einer zeitlichen Abweichung der gemessenen Messspannung vom vorgegebenen Sollwert der Testspannung ein Korrekturstrom ermittelt wird, mit welchem der jeweils gemessene Messstrom korrigiert wird, und wobei aus dem korrigierten Messstrom und der gemessenen Messspannung der Isolationswiderstand abgeleitet wird. Dadurch werden die - insbesondere durch die Spannungsdrift der Testspannung verursachten - Schwankungen des Messstroms erheblich und effektiv reduziert. Der Isolationswiderstand des zu testenden HV-Systems bzw. der zu testenden HV-Komponente kann damit wesentlich genauer und weitgehend unverfälscht ermittelt werden, da der Korrekturstrom einen Einfluss der durch die Spannungsdrift verursachten Ladeströme bzw. Schwankungen im Messstrom weitgehend kompensiert.

[0011] Idealerweise wird die elektrische Ladung des zu testenden HV-Systems und/oder der zu testenden Komponente durch Aufintegrieren des gemessenen Messstroms während des Hochlaufens der Testspannung auf den vorgegebenen konstanten Sollwert ermittelt, um aus der elektrischen Ladung einen Kapazitätswert des zu testenden HV-Systems und/oder der zu testenden Komponente abzuschätzen. Dazu kann in einer bevorzugten Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ein erster und ein zweiter Spannungswert der Messspannung vorgegeben werden, zwischen welchen die elektrische Ladung des zu testenden Hochvolt-Systems und/oder der zu testenden Komponente ermittelt wird. D.h., während des Hochlaufens der Testspannung wird beim Erreichen des ersten Spannungswerts durch die Messspannung mit der Aufintegration des Messstroms begonnen und beim Erreichen des zweiten Spannungswert durch die Messspannung diese wieder beendet und dadurch die Aufladung oder Entladung des zu testenden HV-Systems bzw. der zu testenden Komponente, welche durch das Anlegen und Hochlaufen der Testspannung bewirkt wird, ermittelt, um daraus die Kapazität des zu testenden HV-Systems bzw. der zu testenden Komponente abzuschätzen.

[0012] Eine weitere Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass für das Abschätzen des Kapazitätswerts des zu testenden Hochvolt-Systems und/oder der zu testenden Komponente ein dritter Spannungswert der Messspannung vorgegeben wird, welcher größer als der erste Spannungswert der Messspannung und kleiner als der zweite Spannungswert der Messspannung ist. Dabei wird dann jeweils die elektrische Ladung des zu testenden Hochvolt-Systems und/oder der zu testenden Komponente zwischen dem ersten und dem dritten Spannungswert und die elektrische Ladung des zu testenden Hochvolt-System und/oder der zu testenden Komponente zwischen dem dritten und dem zweiten Spannungswert ermittelt wird und jeweils aus den ermittelten Ladungen ein jeweiliger Kapazitätswert des zu testenden Hochvolt-Systems und/oder der zu testende Komponente abgeschätzt. Daraus kann z.B. ein Einfluss eines parallelen Widerstands festgestellt werden bzw. die Genauigkeit der Abschätzung des Kapazitätswerts des zu testenden HV-Systems und/oder der zu testenden Komponente sehr einfach verbessert werden.

[0013] Es ist weiterhin günstig, wenn zumindest der abgeleitete Isolationswiderstand ausgegeben und dargestellt wird. Dazu kann in einem Messsystem zum Ermitteln des Isolationssystems eine Anzeigeeinheit vorgesehen sein.

[0014] Idealerweise werden eine Messung des Messstroms und eine Messung der Messspannung simultan durchgeführt. Dadurch wird beispielsweise das Abschätzen der Kapazität durch das Aufintegrieren des Messstroms und ein laufendes Korrigieren des Messstroms sowie ein Ermitteln des Isolationswiderstands wesentlich vereinfacht.

[0015] Es ist auch günstig, wenn während des Hochlaufens der Testspannung auf den vorgegebenen konstanten Sollwert eine zeitliche Änderung der am zu testenden Hochvolt-System und/oder an der zu testenden Komponente anliegenden Messspannung beim Hochlaufen der Testspannung auf den vorgegebenen Sollwert begrenzt wird.

[0016] Die Messung des Messstrom und/oder der Messspannung kann entweder kontinuierlich oder mittels zeitdiskreter Abtastung erfolgen. Insbesondere bei einer zeitdiskreten Abtastung des Messstrom kann dieser während des Hochlaufens der Testspannung besonders einfach aufintegriert werden.

[0017] Die Lösung der Aufgabe erfolgt weiterhin durch ein Messsystem zum Ermitteln eines Isolationswiderstands in einem Hochvolt-System. Das Messsystem ist dazu mit dem zu testenden Hochvolt-System und/oder mit einer zu testenden Komponente des Hochvolt-Systems verbindbar und weist zumindest eine Spannungsquelle zum Generieren einer Testspannung mit einem vorgegebenen konstanten Sollwert, ein Strommessgerät zum Messen eines durch die Testspannung hervorgerufenen Messstrom und ein Spannungsmessgerät zum Messen einer an zu testenden Hochvolt-System und/oder der zu testenden Komponente anliegenden Messspannung auf. Weiterhin weist das Messsystem eine Auswerteeinheit auf, welche dazu eingerichtet ist, während eines Hochlaufens der Testspannung auf den vorgegebenen konstanten Sollwert eine elektrische Ladung des zu testenden Hochvolt-Systems und/oder der zu testenden Komponente zu ermitteln und aus der ermittelten Ladung einen Kapazitätswert des zu testenden Hochvolt-Systems und/oder der zu testenden Komponente abzuschätzen. Dies kann z.B. mittels Aufintegrieren des gemessenen Messstroms, idealerweise zwischen einem ersten und zweiten Spannungswert der Messspannung, erfolgen. Weiterhin ist die Auswerteeinheit dazu eingerichtet, während einer Messphase aus dem ermittelten Kapazitätswert und aus einer zeitlichen Abweichung der vom Spannungsmessgerät gemessenen Messspannung vom vorgegebenen konstanten Sollwert der Testspannung ein Korrekturstrom zum Korrigieren des vom Strommessgerät gemessenen Messstroms zu ermitteln und aus dem korrigierten Messstrom und der gemessenen Messspannung den Isolationswiderstand abzuleiten.

[0018] Es ist dabei vorteilhaft, wenn eine Messwerterfassung durch das Strommessgerät und eine Messwerterfassung durch das Spannungsmessgerät sowie die Auswerteeinheit Mikrokontroller basiert ausgestaltet sind. Dadurch kann die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens beispielsweise annähernd in Echtzeit erfolgen.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0019] Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 4 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

[0020] Fig.1 ein Messsystem zum Ermitteln eines Isolationswiderstands in einem Hochvolt-System

[0021] Fig.2 einen Ablauf des Verfahrens zum Ermitteln eines Isolationswiderstands in einem Hochvolt-System

[0022] Fig.3 einen Verlauf einer gemessenen Messspannung während des Verfahrens zum Ermitteln des Isolationswiderstands im Hochvolt-System

[0023] Fig.4 Verläufe der gemessenen Messspannung sowie von einem gemessenen Messstrom, einem Korrekturstrom und einem korrigierten Messstrom und von einem abgeleiteten Widerstand während einer Messphase

AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0024] Figur 1 zeigt beispielhaft und schematisch ein Messsystem 1, mit welchem ein Isolationswiderstand R in einem Hochvolt-System 2 bzw. in einem HV-System 2 ermittelt werden kann. Das zu testende HV-System 2 bzw. die zu testende Komponente 2 (z.B. HV-Kabel, Ladebuchse, Leistungselektronik, etc.) des HV-Systems ist dabei als Parallelschaltung einer Kapazität C und eines Widerstands R dargestellt, wobei der Widerstand R den zu messenden Isolationswiderstand R symbolisiert und die Kapazität C für die Kapazitäten im HV-System 2 bzw. in HV-Komponente 2 steht. Das Messsystem 1 ist über Messkontakte 31, 32 mit dem zu testenden HV-System 2 bzw. der zu testenden HV-Komponente 2 verbindbar. Die Messkontakte 31, 31 können z.B.

als Prüfspitzen ausgestaltet sein, welche mit Messpunkten (z.B. positiver Hochvolt-Anschluss des zu testenden HV-Systems 2 bzw. der zu testenden Komponente und Chassis als Bezugspotential, negativer Hochvolt-Anschluss des zu testenden HV-Systems 2 bzw. der zu testenden Komponente und Chassis als Bezugspotential) in Verbindung gebracht werden. Die Messkontakte 31, 32 können aber auch als Anschlüsse und/oder Klemmen ausgestaltet werden, um z.B. an einen passende Messbuchse (z.B. HV+-Buchse, HV- -Buchse) angeschlossen oder auf einem Messpunkt (z.B. Chassis des Fahrzeugs) geklemmt zu werden.

[0025] Weiterhin weist das Messsystem 1 eine Spannungsquelle 4 auf, von welcher eine Testspannung mit einem vorgegebenen Sollwert U_t (z.B. 500 Volt) generiert wird. Die Testspannung wird an das zu testende HV-System 2 bzw. die zu testende Komponente 2 zwischen den Messkontakten 31, 32 angelegt und bewirkt einen Messstrom i_m . Um den Messstrom i_m zu messen, weist das Messsystem 1 ein Strommessgerät A auf, welches in Serie zur Spannungsquelle 4 angeordnet ist. Weiterhin weist das Messsystem 1 ein Spannungsmessgerät V auf, welche parallel zur Spannungsquelle 4 angeordnet ist. Mit dem Spannungsmessgerät V kann beispielsweise eine jeweils aktuell am zu testenden HV-System 2 bzw. an der zu testenden HV-Komponente 2 anliegende Messspannung u_m gemessen werden.

[0026] Wenn die Testspannung auf den vorgegebenen Sollwert U_t hochläuft und die Kapazität C des HV-Systems 2 bzw. der HV-Komponente 2 dadurch geladen wird (d.h., durch die Testspannung aufgeladen oder entladen wird), teilt sich der Messstrom i_m - wie in Figur 1 beispielhaft dargestellt - in einen Ladestrom i_c und in einen Leckstrom i_r auf. Im Idealfall klingt der Ladestrom i_c mit steigender elektrischer Ladung der Kapazität C ab und hat bei voll aufgeladener Kapazität C einen Wert von Null, sodass dann der Messstrom i_m weitgehend dem Leckstrom i_r entspricht. Dabei hat in einer Messphase MP die Testspannung im Idealfall den vorgegebenen Sollwert U_t erreicht und weist diesen konstant auf, sodass eine Spannung mit diesem Sollwert U_t am zu testenden HV-System 2 bzw. an der zu testenden Komponente 2 anliegt. Das Einreichen des Sollwerts U_t der Testspannung am zu testenden HV-System 2 bzw. an der zu testenden Komponente 2 kann z.B. mit Hilfe der vom Spannungsmessgerät V gemessenen Messspannung u_m festgestellt werden. Der in der Messphase MP gemessene Messstrom i_m kann dann für die Ermittlung des Isolationswiderstands R - idealerweise nach dem Ohm'schen Gesetz - herangezogen werden.

[0027] In einem realen Messsystem 1, vor allem bei Verwendung einer geregelten Spannungsquelle 4 bzw. eines Spannungsreglers als Spannungsquelle 4, kann die Spannungsquelle 4 langsame Drifts und Schwankungen u_{dr} aufweisen. Diese sind in Figur 1 beispielhaft durch eine Wechselspannungsquelle bzw. Driftspannung u_{dr} dargestellt. Die Drifts und Schwankungen u_{dr} werden z.B. in der Regel durch ein niederfrequentes Rauschen (z.B. im Bereich von ca. 1 Hertz) in einer Rückkopplung der Regelung der Spannungsquelle 4 verursacht, sodass die Testspannung auch in der Messphase MP mit sehr geringen Abweichungen u_{dr} um den vorgegebenen Sollwert U_t schwankt - wie in der Folge noch anhand der Figuren 3 und 4 beispielhaft gezeigt wird. Insbesondere bei einer relativ großen Kapazität C (z.B. im Bereich von ca. 1 μ Farad oder größer) im HV-System 2 bewirkt die Driftspannung u_{dr} weiterhin - auch nach Laden bzw. Umladen der Kapazität C im HV-System 2 bzw. in der Messphase MP - relativ große kapazitive Ladeströme i_c , welche den gemessenen Messstrom i_m verfälschen. Da insbesondere bei einem sehr großem Isolationswiderstand R, beispielsweise im Megaohm-Bereich, der Leckstrom i_r relativ klein ist, kann der relativ kleine Leckstrom i_r von den kapazitiven Ladeströmen i_c überdeckt werden, wodurch es zu einer fehlerhaften Ermittlung des Isolationswiderstands R kommen kann.

[0028] Um einen Einfluss der Ladeströme i_c zu kompensieren, weist das Messsystem 1 eine Auswerteeinheit 5 auf. Die Auswerteeinheit 5 kann wie eine Messwerterfassung durch das Strommessgerät A und durch das Spannungsmessgerät V Mikrokontroller basiert ausgeführt sein. Die Auswerteeinheit 5 ist dazu eingerichtet, während des Hochlaufens LP der Testspannung auf den vorgegebenen konstanten Sollwert U_t die elektrische Ladung des zu testenden Hochvolt-Systems 2 und/oder der zu testenden Komponente 2 zwischen einem ersten Spannungswert U_1 der Messspannung u_m und einem zweiten Spannungswert U_2 der Messspannung u_m durch Aufintegrieren des weitgehend simultan zur Messspannung u_m gemessenen Messstroms i_m zu ermitteln und

daraus einen Wert der Kapazität C abzuschätzen. Weiterhin ist die Auswerteeinheit 5 dazu eingerichtet, während der Messphase MP - d.h. nach Erreichen des Sollwerts U_t durch die Testspannung - aus dem ermittelten Kapazitätswert C und einer zeitlichen Abweichung der vom Spannungsmessgerät V gemessenen Messspannung um vom vorgegebenen konstanten Sollwert U_t der Testspannung ein Korrekturstrom i_{dr} zu ermitteln. Dieser Korrekturstrom i_{dr} wird von der Auswerteeinheit 5 verwendet, um den vom Strommessgerät A gemessenen Messstrom i_m zu korrigieren. Außerdem ist die Auswerteeinheit 5 dazu eingerichtet, aus dem korrigierten Messstrom i_{korrr} den Isolationswiderstand abzuleiten. Die Auswerteeinheit 5 erhält dazu die jeweils aktuell gemessenen Werte des Messstroms i_m vom Strommessgerät A sowie die jeweils aktuell gemessenen Werte der Messspannung u_m vom Spannungsmessgerät V . Die Messung des Messstrom i_m durch das Strommessgerät A und die Messung der Messspannung u_m durch das Spannungsmessgerät V können dazu z.B. kontinuierlich oder mittels zeitlich diskreter Abtastung erfolgen.

[0029] Weiterhin kann eine Anzeigeeinheit 6 vorgesehen sein, auf welcher zumindest der aus dem korrigierten Messstrom i_{korrr} abgeleitete Isolationswiderstand R darstellbar ist. Der Isolationswiderstand R kann dabei z.B. absolut in Megaohm und/oder als gemessener Widerstand R bezogen auf die Spannung in Ω/V angegeben werden. Zusätzlich könnte auf der Anzeigeeinheit 6 auch eine Bewertung des gemessenen Isolationswiderstands R (z.B. Isolationswiderstand R ausreichend; Isolationswiderstand R zu klein, etc.) angegeben werden.

[0030] In Figur 2 ist beispielhaft ein Ablauf des Verfahrens zum Ermitteln eines Isolationswiderstands R in einem Hochvolt-System 2 dargestellt. Dazu wird für die Durchführung des Verfahrens das Messsystem 1 mit dem zu testenden HV-System 2 oder mit der zu testenden Komponente des HV-Systems 2 über die Messkontakte 31, 32 verbunden. Über die Messkontakte 31, 32 wird die von der Spannungsquelle 4 des Messsystems 1 generierte Testspannung an das zu testende HV-System 2 bzw. an die zu testende Komponente angelegt. Die Testspannung wird auf den vorgegebenen Sollwert U_t hochgefahren, welcher in der Messphase MP erreicht wird und bis auf relativ kleine Abweichungen durch die Driftspannung u_{dr} gehalten wird. Die Testspannung ruft einen Messstrom i_m hervor, welcher vom Strommessgerät A des Messsystems 1 kontinuierlich oder mittels zeitdiskreter Abtastung gemessen werden kann. Weitgehend simultan wird die aktuell am zu testenden HV-System 2 bzw. an der zu testenden Komponente anliegende Messspannung um vom Spannungsmessgerät V des Messsystems 1 gemessen, wodurch überprüft werden kann, wann der Sollwert U_t der Testspannung von der am zu testenden HV-System 2 bzw. der zu testenden Komponente erreicht und weitgehend - bis auf die Abweichungen durch die Spannungsdrift U_{dr} - gehalten wird und die Messphase MP beginnen kann.

[0031] In einem ersten Ermittlungsschritt 101 wird während beim Hochlaufen der Testspannung auf den vorgegebenen Sollwert U_t in der Auswerteeinheit 5 die elektrische Ladung des zu testenden Hochvolt-System 2 bzw. der zu testenden Komponente ermittelt. D.h., es wird z.B. die Aufladung eines nicht geladenen Hochvolt-Systems 2 bzw. einer zu testenden Komponente durch Anlegen der Testspannung ermittelt. Alternativ, könnte auch ein Entladen bzw. eine Änderung der Ladung eines aufgeladenen Hochvolt-Systems 2 bzw. einer zu testenden Komponente durch Anlegen der Testspannung ermittelt werden. Dazu wird der gemessene Messstrom i_m beispielsweise zwischen zwei vorgegebenen Spannungswerten U_1 , U_2 aufintegriert. Als erster Spannungswert U_1 , bei welchem mit der Integration des Messstroms i_m begonnen wird, können z.B. 20% des Sollwerts U_t der Testspannung verwendet werden. Als zweiter Spannungswert U_2 , bei welchem die Integration des Messstroms i_m wieder beendet wird, können z.B. 90% des Sollwert U_t der Testspannung vorgesehen sein. Die elektrische Ladung Q des zu testenden Hochvolt-System 2 bzw. der zu testenden Komponente ergibt sich dann beispielsweise durch folgende Formel (1).

$$(1) Q = \int_{t_1}^{t_2} i(t) dt,$$

wobei $i(t)$ dem gemessene Messstrom i_m bzw. einer Abfolge von zeitdiskret abgetasteten Messwerten des Messstrom i_m beim Hochlaufen der Testspannung entspricht. Die Zeitpunkte t_1 , t_2 , zwischen welchen der Strom i_m aufintegriert wird, entsprechen den Zeitpunkten t_1 , t_2 an welchen die Messspannung um die vorgegebenen Spannungswerte U_1 , U_2 erreicht.

[0032] Dies beispielsweise aus der Figur 3 ersichtlich, welche einen zeitlichen Verlauf der Messspannung u_m während der Durchführung des Verfahrens beispielhaft zeigt, wobei beispielsweise von einem nicht geladenen zu testenden HV-System 2 bzw. einer zu testenden Komponente mit einer relativ großen Kapazität C (z.B. 1 μ Farad) und einem parallelen Widerstand R im hochohmigen Bereich (z.B. 1 $G\Omega$) ausgegangen wurde. Dazu ist auf der x-Achse die Zeit t in Sekunden und auf der y-Achse die Spannung U (z.B. in Volt) dargestellt. Auf der y-Achse ist weiterhin der vorgegebene konstante Sollwert U_t der Testspannung eingetragen. Dieser kann z.B. 500 V betragen. Während des Hochlaufens LP wird die Testspannung auf den Sollwert U_t hochgefahren. Idealerweise wird beim Hochlaufen LP der Testspannung eine zeitliche Änderung - d.h. ein $du(t)/dt$ - der am zu testenden HV-System 2 bzw. an der zu testenden Komponente anliegenden Spannung, welche der Messspannung u_m entspricht, begrenzt und das zu testende HV-System 2 bzw. die zu testende Komponente z.B. mit einem limitierten, idealerweise konstanten Strom aufgeladen. Wird an einem Zeitpunkt t_m der Sollwert U_t erreicht und bis auf die Abweichungen durch die Spannungsdrift u_{dr} konstant gehalten, so wird mit der Messphase MP begonnen. D. h., die Messphase MP beginnt, wenn die Spannungsschwankungen unter eine vorgegebene Schwelle gesunken sind bzw. die Testspannung entsprechend eingeregelt ist.

[0033] In Figur 3 ist auch beispielhaft der erste Spannungswert U_1 (z.B. 20% des Sollwerts U_t der Testspannung) eingetragen, welcher zu einem Zeitpunkt t_1 vom Spannungsmessgerät V gemessen wird. Bei diesem Spannungswert U_1 bzw. zu diesem Zeitpunkt t_1 beginnt die Auswerteeinheit 5 den gemessenen Messstrom i_m aufzuintegrieren. Weiterhin ist in Figur 3 auch der zweite Spannungswert U_2 (z.B. 90% des Sollwerts U_t der Testspannung) eingetragen. Dieser wird zum Zeitpunkt t_2 erreicht und die Auswerteeinheit 5 beendet zu diesem Zeitpunkt t_2 die Aufintegration des gemessenen Messstroms i_m , um die Ladung Q des zu testenden HV-Systems 2 bzw. der zu testenden Komponente zu ermitteln.

[0034] In einem Abschätzschritt 102 wird dann aus der ermittelten Ladung Q des zu testenden HV-Systems 2 bzw. der zu testenden Komponente ein Wert für die Kapazität C des zu testenden HV-Systems 2 bzw. der zu testenden Komponente abgeschätzt. Dies erfolgt unter Vernachlässigung des (relativ kleinen) Leckstroms i_r über den Isolationswiderstand R beispielsweise nach den folgenden Formeln (2a) und (2b):

$$2a \Delta u = u(t_2) - u(t_1) = U_2 - U_1$$

$$2b C = Q / \Delta u$$

[0035] Δu entspricht dabei einer Differenz zwischen dem ersten und dem zweiten Spannungswert U_1 , U_2 bzw. den an den Zeitpunkten t_1 , t_2 gemessenen Werte $u(t_1)$, $u(t_2)$ der Messspannung u_m . Der Kapazitätswert C wird dann durch Division der im ersten Ermittlungsschritt 101 ermittelten elektrischen Ladung Q durch die Spannungsdifferenz Δu bestimmt.

[0036] Alternativ bzw. für eine genauere Bestimmung der Kapazität C kann die Ermittlung der Ladung im ersten Ermittlungsschritt 101 auch über zwei Spannungsbereiche durchgeführt werden. Dies kann vor allem von Interesse sein, wenn z.B. kein rein kapazitives bzw. kein weitgehend kapazitives zu testendes HV-System 2 vorliegt. Dabei könnte z.B. ein relativ großer Anteil des gemessenen Stroms i_m bzw. der ermittelten Ladung Q auch durch einen Strom über zur Kapazität C parallelen (eher niederohmigen) Widerstand im HV-System 2 verursacht sein. Dazu wird z.B. neben dem ersten und dem zweiten Spannungswert U_1 , U_2 eine weiterer, dritter Spannungswert U_3 vorgegeben, welcher größer als der erste Spannungswert U_1 und kleiner als der zweite Spannungswert U_2 ist. Der dritte Spannungswert U_3 könnte z.B. bei 50% des Sollwerts U_t der Testspannung liegen. Im ersten Ermittlungsschritt 101 werden dann gemäß der oben angeführten Formel (1) eine elektrische Ladung zwischen dem ersten und dem dritten Spannungswert U_1 , U_3 und eine elektrische Ladung zwischen dem dritten und dem zweiten Spannungswert U_3 , U_2 bestimmt. Dazu wird jeweils der Messstrom i_m im zwischen den Zeitpunkten, an denen der erste und dritte Spannungswert U_1 , U_3 bzw. der dritte und der zweite Spannungswert U_3 , U_2 vom Spannungsmessgerät V gemessen wird, aufintegriert.

[0037] Im Abschätzschritt 102 wird dann jeweils aus den für die beiden Spannungsbereich - d.h.

dem Bereich zwischen ersten und dritten Spannungswert U_1 , U_3 und dem Bereich zwischen dritten und zweiten Spannungswert U_3 , U_2 - ermittelten Ladungswerten ein Kapazitätswert C des zu testenden HV-System 2 bzw. der zu testenden Komponente abgeschätzt. Die abgeschätzten Kapazitätswerte C werden dann miteinander verglichen. Sind die beiden abgeschätzten Kapazitätswerte C annähernd ident, so liegt ein weitgehend kapazitives HV-System 2 bzw. eine weitgehend kapazitive Komponente vor. Der im Abschätzschritt 2 mittels eines der beiden Spannungsbereiche abgeschätzte Kapazitätswert C kann dann für einen weiteren Verlauf des Verfahrens verwendet werden. Weichen die beiden im Abschätzschritt 102 abgeschätzten Kapazitätswerte C signifikant voneinander ab, so liegt kein rein kapazitives bzw. kein weitgehend kapazitives zu testendes HV-System 2 vor. Für den weiteren Verlauf des Verfahrens kann beispielsweise ein arithmetisches Mittel der beiden abgeschätzten Kapazitätswerte C verwendet werden. Zusätzlich kann die Abschätzung des Kapazitätswerts C mit Hilfe von zwei Spannungsbereich auch genutzt werden, um die Spannungsquelle 4 besser auf das zu testende HV-System 2 bzw. die zu testende Komponente einzustellen bzw. einzuregeln.

[0038] In einem zweiten Ermittlungsschritt 103 wird dann während der Messphase MP in der Auswerteeinheit 5 aus dem im Abschätzschritt 102 abgeschätzten Kapazitätswert C und aus einer zeitlichen Abweichung der gemessenen Messspannung u_m vom vorgegebenen Sollwert U_t der Testspannung ein Korrekturstrom i_{dr} ermittelt. Die Messphase MP beginnt - wie z.B. in Figur 3 beispielhaft dargestellt - an einem Zeitpunkt t_m , an welchem der Sollwert U_t erreicht und bis auf die Abweichungen durch die Spannungsdrift u_{dr} konstant gehalten wird. Der Korrekturstrom i_{dr} wird dabei entsprechend der folgenden Formel (3) ermittelt.

$$(3) i_{dr}(t) = C * \frac{du(t)}{dt}$$

[0039] Dabei ist C der abgeschätzte Kapazitätswert C und $u(t)$ entspricht der gemessenen Messspannung u_m , welche vom Spannungsmessgerät V z.B. kontinuierlich oder in Form von zeitdiskret abgetasteten Messwerten ermittelt werden kann. $du(t)/dt$ repräsentiert dann die Abweichung der gemessenen Messspannung u_m vom vorgegebenen konstanten Sollwert der Testspannung bzw. die Spannungsdrift u_{dr} . Der so von der Auswerteeinheit 5 ermittelte Korrekturstrom i_{dr} wird dann dazu verwendet, um den gemessenen Messstrom i_m zu korrigieren. Gemäß der Formel (4) ergibt sich damit ein korrigierte Messstrom i_{korrr} als Differenz aus gemessenem Messstrom i_m und ermittelten Korrekturstrom i_{dr} .

$$(4) i_{korrr}(t) = i_m(t) - i_{dr}(t)$$

[0040] In einem Ableitschritt 104 wird dann von der Auswerteeinheit 5 aus dem korrigierten Messstrom i_{korrr} und der gemessenen Messspannung u_m der Isolationswiderstand R abgeleitet. Dazu kann z.B. das Ohm'sche Gesetz herangezogen werden, wobei beispielweise die gemessene Messspannung u_m durch den jeweils aktuell ermittelten Wert des Korrekturstroms i_{korrr} dividiert wird. Die Einzelergebnisse dieser Widerstandsermittlung können dann noch gefiltert bzw. gemittelt werden.

[0041] Zeitliche Verläufe der gemessenen Messspannung u_m , des gemessenen Messstrom i_m , des Korrekturstrom i_{korrr} und des korrigierten Messstrom i_{dr} während der Messphase bzw. während des zweiten Ermittlungsschritt 103 und des Ableitschritts 104 sind beispielhaft in Figur 4 dargestellt. Dabei wurde beispielweise von einem zu testenden HV-System 2 bzw. einer zu testenden Komponente 2 mit einer relativ großen Kapazität C (z.B. 1 μ Farad) und einem parallelen Widerstand R im hochohmigen Bereich (z.B. 1 G Ω) ausgegangen. Weiterhin zeigt Figur 4 beispielhaft einen zeitlichen Verlauf des im Ableitschritt 104 aus dem korrigierten Messstrom i_{korrr} abgeleiteten Widerstands R . Dabei zeigt der erste zeitliche Verlauf eine vergrößerte Darstellung des beispielhaften, zeitlichen Verlaufs der Messspannung u_m aus Figur 3, um vor allem die Abweichungen aufgrund der Spannungsdrift u_{dr} besser sichtbar zu machen. Der zweite zeitliche Verlauf zeigt den zeitlichen Verlauf des gemessenen Messstrom i_m , des Korrekturstrom i_{dr} und des korrigierten Messstrom i_{korrr} , wobei auf der x-Achse wieder die Zeit t in Sekunden aufgetragen ist. Auf der y-Achse ist der Strom i (z.B. in μ Ampere) aufgetragen. So ist aus Figur 4 auch ersichtlich, dass der Verlauf des ursprünglich gemessenen Messstrom i_m Schwankungen aufweisen kann, welche

größer als der mittlere gemessene Strom selbst sind. Der berechnete Stromanteil i_{dr} kann diese Schwankungen - verursacht durch die Driftspannung U_{dr} der Spannungsquelle 4 - effektiv reduzieren, wie aus dem Verlauf des korrigierten Messstrom i_{kor} ersichtlich ist. Der dritte Verlauf zeigt dann einen zeitlichen Verlauf des abgeleiteten Widerstands R , wobei auf der y-Achse z.B. in $G\Omega$ aufgetragen sind.

[0042] Nach dem Ableitschritt 104 kann dann der abgeleitete Isolationswiderstand R in einem Ausgabeschritt 105 beispielsweise auf einer Anzeigeeinheit 6 ausgegeben werden. Dies kann z.B. als Darstellung in Form eines Widerstandswerts in Megaohm und/oder bezogen auf die Spannung in Ohm/Volt erfolgen. Weiterhin kann auf der Anzeigeeinheit 6 im Ausgabeschritt 105 noch eine Bewertung des abgeleiteten Isolationswiderstands R (z.B. Isolationswiderstand R ausreichend, Isolationswiderstand R zu klein, etc.) ausgegebenen und angezeigt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln eines Isolationswiderstands (R) in einem Hochvolt-System (2), wobei eine Testspannung mit einem vorgegebenen konstanten Sollwert (U_t) an das zu testende Hochvolt-System (2) und/oder eine zu testende Komponente angelegt wird, und wobei ein durch die Testspannung hervorgerufener Messstrom (i_m) und eine aktuell am zu testenden Hochvolt-System (2) und/oder an der zu testenden Komponente anliegende Messspannung (u_m) gemessen werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass während eines Hochlaufens der Testspannung auf den vorgegebenen konstanten Sollwert (U_t) eine elektrische Ladung des zu testenden Hochvolt-Systems (2) und/oder der zu testenden Komponente ermittelt wird (101), dass aus der ermittelten Ladung ein Kapazitätswert (C) für das zu testenden Hochvolt-System (2) und/oder die zu testenden Komponente abgeschätzt wird (102), dass während einer Messphase (MP) aus dem abgeschätzten Kapazitätswert (C) und aus einer zeitlichen Abweichung der gemessenen Messspannung (u_m) vom vorgegebenen Sollwert (U_t) der Testspannung ein Korrekturstrom (i_{dr}) ermittelt wird (103), mit welchem der jeweils gemessene Messstrom (i_m) korrigiert wird, und dass aus dem korrigierten Messstrom (i_{korrr}) und der gemessenen Messspannung (u_m) der Isolationswiderstand (R) abgeleitet wird (104).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrische Ladung des zu testenden Hochvolt-Systems (2) und/oder der zu testenden Komponente durch Aufintegrieren des gemessenen Messstroms (i_m) ermittelt wird (101).
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass für ein Abschätzen des Kapazitätswerts (C) des zu testenden Hochvolt-Systems (2) und/oder der zu testenden Komponente ein erster und ein zweiter Spannungswert (U_1 , U_2) der Messspannung (u_m) vorgegeben werden, zwischen welchen die elektrische Ladung des zu testenden Hochvolt-Systems (2) und/oder der zu testenden Komponente ermittelt wird (101).
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass für das Abschätzen des Kapazitätswerts (C) des zu testenden Hochvolt-Systems (2) und/oder der zu testenden Komponente ein dritter Spannungswert (U_3) der Messspannung (u_m) vorgegeben wird, welcher größer als der erste Spannungswert (U_1) der Messspannung (u_m) und kleiner als der zweite Spannungswert (U_2) der Messspannung (u_m) ist, wobei jeweils die elektrische Ladung des zu testenden Hochvolt-Systems (2) und/oder der zu testenden Komponente zwischen dem ersten und dem dritten Spannungswert (U_1 , U_3) und die elektrische Ladung des zu testenden Hochvolt-System (2) und/oder der zu testenden Komponente zwischen dem dritten und dem zweiten Spannungswert (U_3 , U_2) ermittelt wird (101), und wobei jeweils aus den ermittelten Aufladungen ein Kapazitätswert (C) des zu testenden Hochvolt-Systems (2) und/oder der zu testende Komponente abgeschätzt wird (102).
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest der abgeleitete Isolationswiderstand (R) ausgegebenen und dargestellt wird (105).
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Messung des Messstroms (i_m) und eine Messung der Messspannung (u_m) simultan durchgeführt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass während des Hochlaufens der Testspannung auf den vorgegebenen konstanten Sollwert (U_t) eine zeitliche Änderung der am zu testenden Hochvolt-System (2) und/oder an der zu testenden Komponente anliegenden Messspannung (u_m) beim Hochlaufen der Testspannung auf den vorgegebenen Sollwert (U_t) begrenzt wird (101).
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messung des Messstroms (i_m) und/oder der Messspannung (u_m) kontinuierlich erfolgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messung des Messstroms (i_m) und/oder der Messspannung (u_m) mittels zeitdiskreter Abtastung durchgeführt wird.

10. Messsystem (1) zum Ermitteln eines Isolationswiderstands (R) in einem Hochvolt-System (2), wobei das Messsystem (1) mit dem zu testenden Hochvolt-System (2) und/oder mit einer zu testenden Komponente des Hochvolt-Systems (2) verbindbar ist, und wobei das Messsystem (1) zumindest eine Spannungsquelle (4) zum Generieren einer Testspannung mit einem vorgegebenen konstanten Sollwert (U_t), ein Strommessgerät (A) zum Messen eines durch die Testspannung hervorgerufenen Messstrom (i_m) und ein Spannungsmessgerät (V) zum Messen einer am zu testenden Hochvolt-System (2) und/oder der zu testenden Komponente anliegenden Messspannung (u_m) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Messsystem (1) weiterhin eine Auswerteeinheit (5) aufweist, welche dazu eingerichtet ist, während eines Hochlaufens der Testspannung auf den vorgegebenen konstanten Sollwert (U_t) eine elektrische Ladung des zu testenden Hochvolt-Systems (2) und/oder der zu testenden Komponente zu ermitteln und aus der ermittelten Ladung einen Kapazitätswert (C) des zu testenden Hochvolt-Systems (2) und/oder der zu testenden Komponente abzuschätzen, und welche weiterhin dazu eingerichtet ist, während einer Messphase (MP) aus dem ermittelten Kapazitätswert (C) und aus einer zeitlichen Abweichung der vom Spannungsmessgerät (V) gemessenen Messspannung (u_m) vom vorgegebenen konstanten Sollwert (U_t) der Testspannung ein Korrekturstrom (i_{dr}) zum Korrigieren des vom Strommessgerät (A) gemessenen Messstroms (i_m) zu ermitteln und aus dem korrigierten Messstrom (i_{kor}) und der gemessenen Messspannung (u_m) den Isolationswiderstand (R) abzuleiten.
11. Messsystem nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Anzeigeeinheit (6) vorgesehen ist, über welche zumindest der aus dem korrigierten Messstrom (i_{kor}) abgeleitete Isolationswiderstand (R) darstellbar ist.
12. Messsystem nach einem der Ansprüche 10 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Messwerterfassung durch das Strommessgerät (A) und durch das Spannungsmessgerät (V) sowie die Auswerteeinheit (5) Mikrocontroller basiert ausgestaltet sind.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

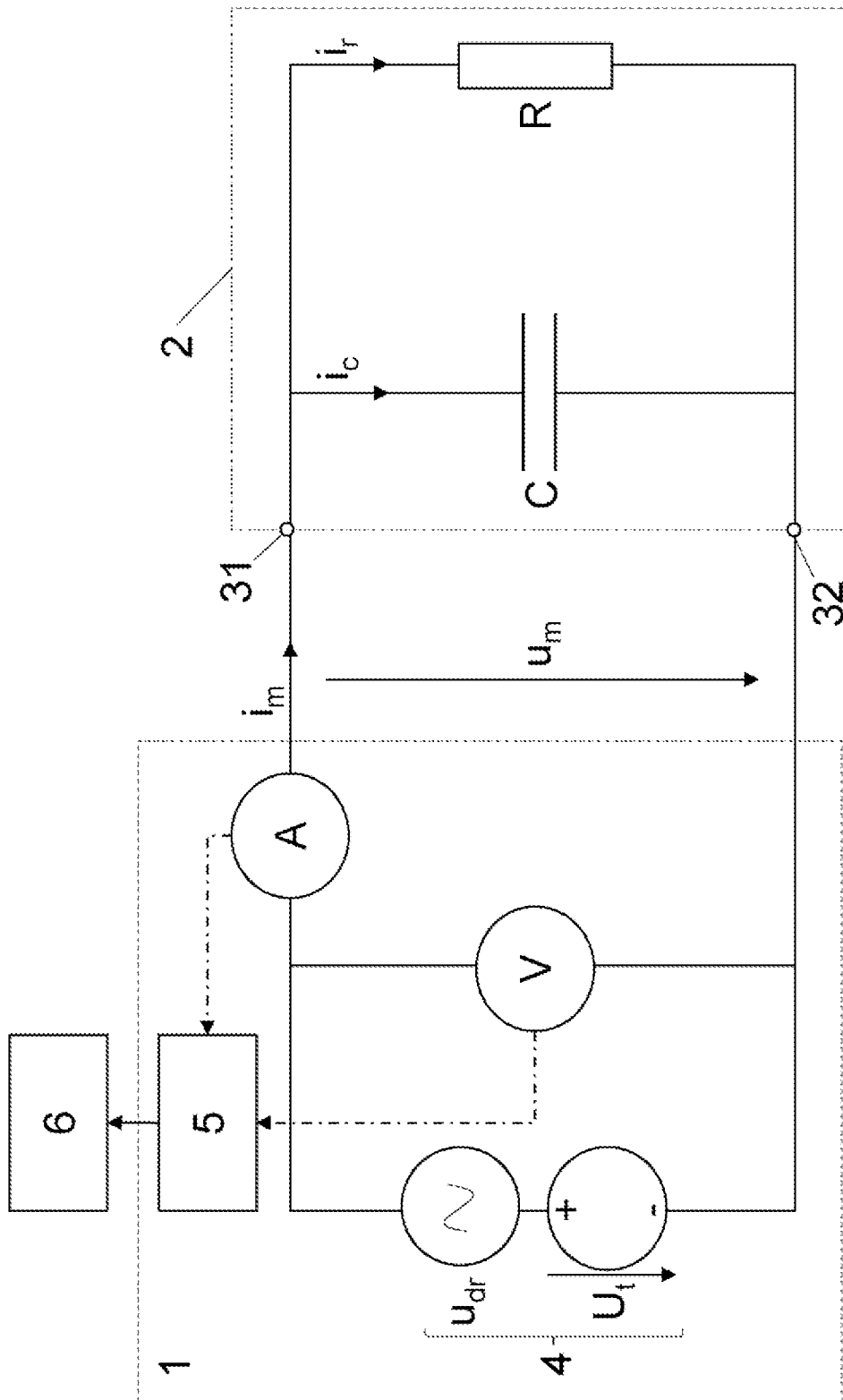


Fig. 1

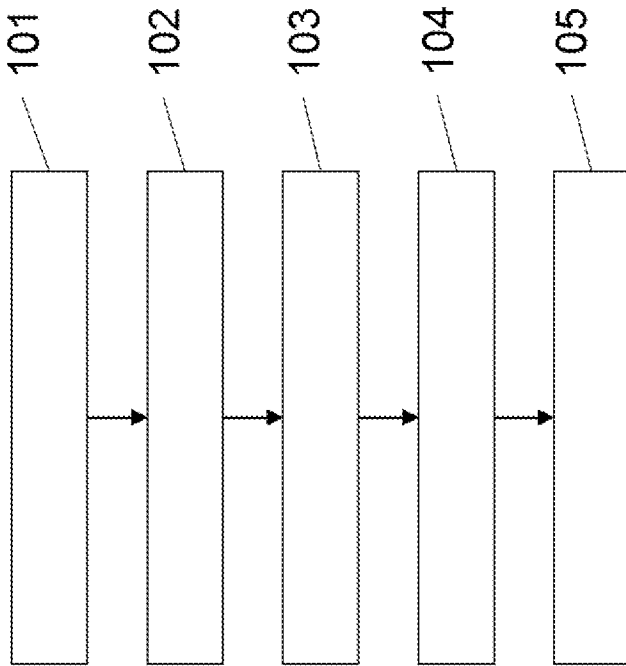


Fig. 2

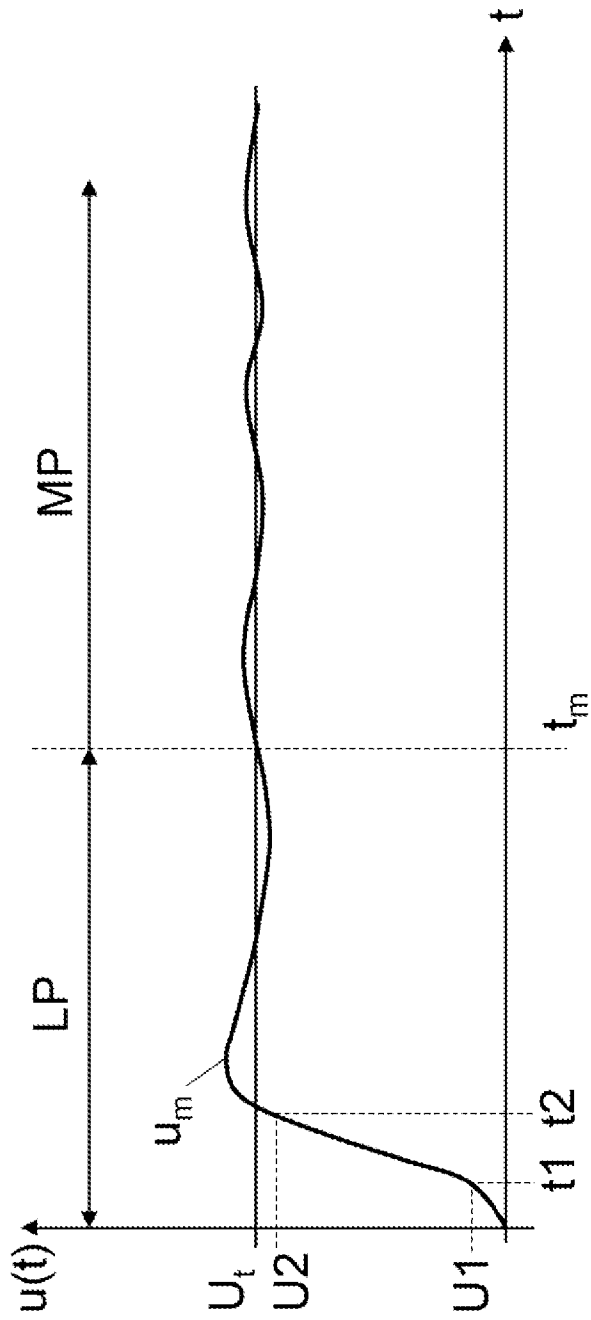


Fig. 3

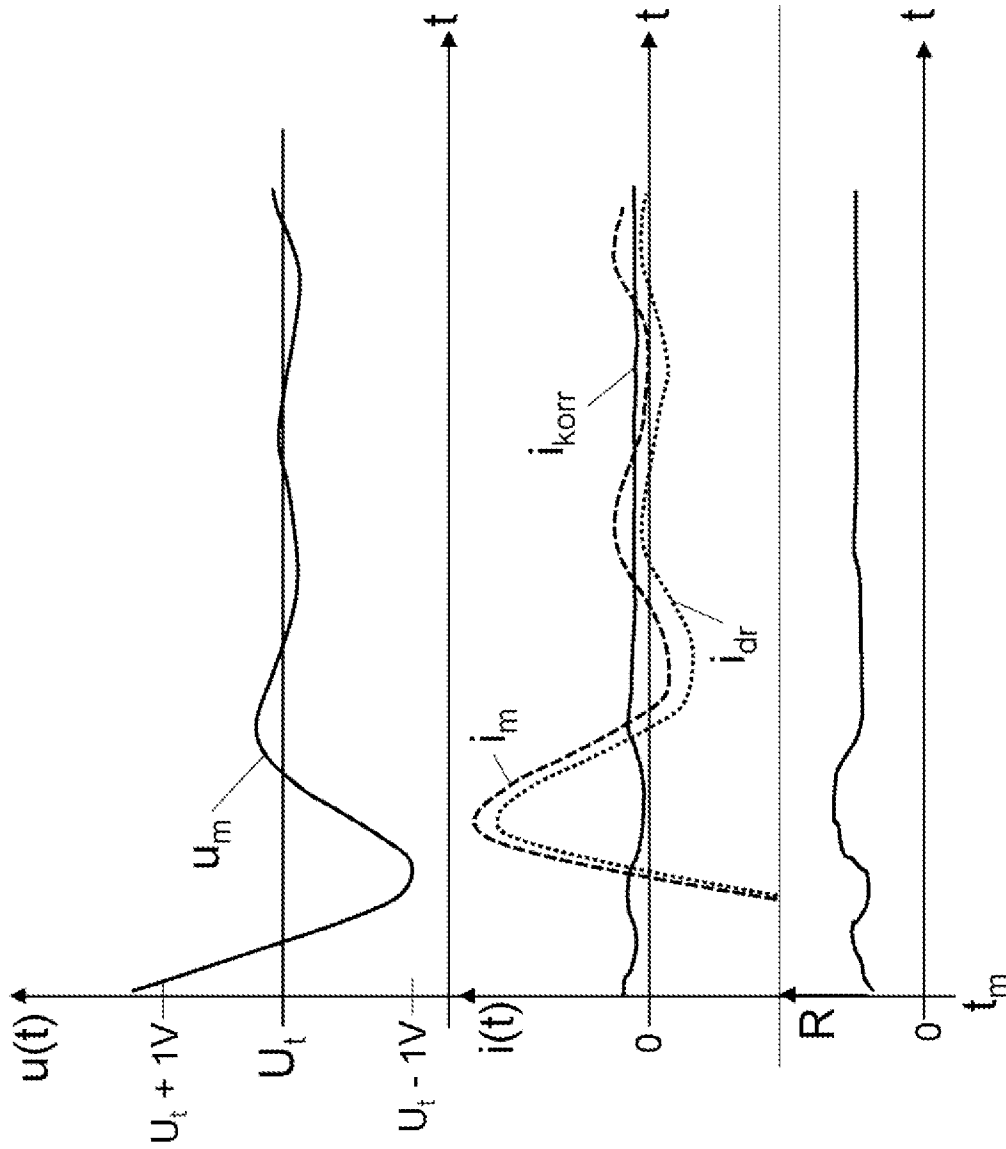


Fig. 4