



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 286 090 A7

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2
Patentgesetz der DDR
vom 27. 10. 1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) G 01 R 31/14
H 03 K 3/335

DEUTSCHES PATENTAMT

(21) DD G 01 R / 319 690 2

(22) 12.09.88

(45) 17.01.91

(71) VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden, Lingnerallee 3, Dresden, 8012, DD

(72) Lemke, Eberhard, Prof. Dr.-Ing.; Matz, Gerhard, DD

(73) VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“, Dresden, 8012; Technische Universität, Dresden, 8019, DD

(54) Ladungsinjektor

(55) Ladungsinjektor; Kalibrierung; Teilentladung; TE-Sonde; TE-Sensor; Ladespeichercondensator; Hochohmwiderstand; Nachladeeinrichtung; Kurzzeitschalter; Avalanche transistor; Antenne; Prüflingsgehäuse; Injektorgehäuse; Folgefrequenzsteuerung; Lichtleitkanal; fokussierter Lichtstrahl
(57) Der Ladungsinjektor dient vorzugsweise zur Kalibrierung eines Teilentladungsmeßkreises, einschließlich TE-Meßgerät, TE-Sonde oder TE-Sensor. Er besteht im wesentlichen aus einem Ladespeichercondensator, der von einer Nachladeeinrichtung mit höherer Spannung, vorzugsweise über 100 V, gespeist wird und dem ein Kurzzeitschalter in Reihe mit Hochohmwiderständen parallel geschaltet ist. Am Verbindungspunkt des Hochohmwiderstandes mit dem Kurzzeitschalter ist ein Reihencondensator zur Ausgangsklemme geführt. Die andere Ausgangsklemme liegt am anderen Anschluß des Kurzzeitschalters. Die Klemmen können mit dem TE-Meßkreis oder mit dem Prüfling bzw. den metallischen Prüflingsgehäuse im Mindestabstand von etwa 10 cm kontaktiert sein bzw. kann eine Klemme mit dem Injektorgehäuse und/oder einer Strahlerantenne verbunden sein und elektromagnetische Ladungen zur Kalibrierung einkoppeln. Als Kurzzeitschalter dient vorzugsweise die Anordnung eines Avalanche transistors, dessen Folgefrequenz triggerbar, umschaltbar und/oder Ein/Aus, vorzugsweise über Lichtleitkabel oder einem fokussierten modulierten Lichtstrahl steuerbar ist. Fig. 1

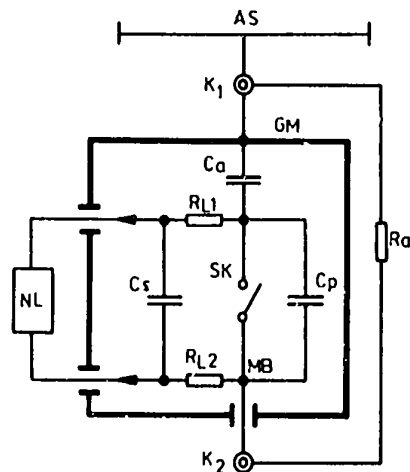


Fig 1

Patentansprüche

1. Ladungsinjektor, vorzugsweise zur Kalibrierung eines Teilentladung(TE)-Meßkreises, einschließlich TE-Meßgerät, TE-Sonde oder TE-Sensor, gekennzeichnet dadurch, daß ein von einer Nachladeeinrichtung (NL) mit höherer Spannung, vorzugsweise über 100 V, gespeister Ladespeicherkondensator (Cs) mit einem Anschluß über einen ersten Hochohmwiderstand (RL1) und einen Reihenkondensator (Ca) auf eine Ausgangsklemme (K1) und mit seinem anderen Anschluß direkt oder über einen weiteren Hochohmwiderstand (RL2) an die andere Ausgangsklemme (K2) geschaltet ist und von dieser ein Kurzzeitschalter (SK) zu dem Verbindungspunkt des ersten Hochohmwiderstandes (RL1) mit dem Reihenkondensator (Ca) geschaltet ist, wobei die Ausgangsklemmen (K1; K2) galvanisch mit dem TE-Meßkreis oder mit Prüflingsklemmen oder im Mindestabstand von ca. 10 cm mit Metalloberflächen des Prüflingsgefäßes oder mit einem Prüflingspotential und vorzugsweise dem leitenden Injektorgehäuse (GM) und/oder einem elektromagnetischen Antennenstrahler (AS) verbunden sind und daß gegebenenfalls beide Ausgangsklemmen (K1; K2) mit einem Ableitwiderstand (Ra), vorzugsweise auch als Wellenwiderstandsabschluß eines angeschlossenen Kabels überbrückt sind.
2. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß die Nachladeeinrichtung (NL) für den Ladespeicherkondensator (CS) als Netzgleichrichter für manuelles, kurzzeitiges Nachladen aus der Netzsteckdose aufgebaut ist, wobei vorzugsweise ein metallisches Gehäuse des Injektors mit einer Schutzisolation überzogen ist.
3. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß die Nachladeeinrichtung (NL) als Gleichspannungsumformer aus einer Batteriespannung in eine höhere Spannung, vorzugsweise mittels Zwischenumformung in Wechselspannung mit Hochtransformation ausgebildet ist.

4. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß die Nachladeeinrichtung (NL) des mit einer Ausgangsklemme (K2) auf Hochspannungspotential liegenden Ladungsinjektors, dessen andere Ausgangsklemme (K1) galvanisch mit dem leitenden, vorzugsweise kugel- oder zylinderförmigen Injektorgehäuse (GM) verbunden ist, aus einer Gleichrichterschaltung (Rv; D1; D2) für die über die Raumkapazität (Cm) des Gehäuses (GM) eingekoppelte Hochspannung besteht, wobei parallel zum Ladespeicherkondensator (Cs) ein Spannungsbegrenzer (GS), vorzugsweise eine Glimmlampe geschaltet ist.
5. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß als Kurzzeitschalter (SK) ein gasgeschütztes Relais mit Hg-benetzten Kontakten verwendet ist.
6. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß als Kurzzeitschalter (SK) ein Avalanche-Transistor (AT) verwendet ist.
7. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1, 5 und 6, gekennzeichnet dadurch, daß durch Einwirkung mittels fokussierten Lichtstrahl oder mittels Lichtleitkabel, eine Hochspannungssicherheitsdistanz überbrückend, eine Fernsteuerung des Ladungsinjektors mittels eines Lichtsenders (LS) und Lichtempfängers (LE), vorzugsweise mit abgestimmter Wellenlänge und/oder Codemodulation vorgesehen ist.
8. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1, 5, 6 und 7, gekennzeichnet dadurch, daß der Steuereingang des Kurzzeitschalters (KS) mit dem Ausgang des Lichtempfängers (LE) so verbunden ist, daß eine Triggerung der Folgefrequenz, als auch eine Aus/Einschaltung der Ladungsimpulse erfolgen kann.

9. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1 und 6 bis 8, gekennzeichnet dadurch, daß die Basis des Avalanche-Transistors (AT) am Verbindungspunkt einer über den Ladespeicherkondensator (Cs) geschalteten Teilerschaltung eines Widerstandes mit einem vorzugsweise außerhalb des Injektorgehäuses fokussierten Fototransistors (FT1) liegt.
10. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1 und 9, gekennzeichnet dadurch, daß die Widerstände so dimensioniert und der Fototransistor (FT1) so geschaltet ist, daß sein aktiver niederohmiger Zustand einen positiven Basisstrom und einen solchen Durchlaßstrom im Avalanche-Transistor (AT) verursacht, daß in Folge Spannungsabfalls am Hochohmwiderstand (RL) kein Avalanche-durchbruch erfolgen kann.
11. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1 und 6 bis 10, gekennzeichnet dadurch, daß parallel zur Emitter-Kollektorstrecke des Avalanche-Transistors (AT) eine die Folgefrequenz der Ladungsimpulse beeinflussender Kondensator (Cp) oder eine die abgegebene Ladung teilende Reihenschaltung von Kondensatoren (Cp1; Cp2) geschaltet sind.
12. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1 und 11, gekennzeichnet dadurch, daß an den Verbindungspunkten der in Reihe liegenden Kondensatoren (Cp1; Cp2) jeweils über eine Reihkapazität (Ca1; Ca2) definiert abgeschwächte Ladungsimpulse auskoppelbar sind.
13. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1, 6 und 7, gekennzeichnet dadurch, daß der Ladespeicherkondensator (Cs) vorzugsweise von einer Serienschaltung zweier Avalanche-Transistoren (AT1; AT2) mit einem Entladewiderstand (RE) überbrückt ist, wobei die Avalanche-Transistoren von einem Fototransistor (FT3) in den Durchbruch steuerbar sind.

14. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1, 5 und 6, gekennzeichnet dadurch, daß ein oder mehrere der zwischen Ladespeicher-kondensator (CL) und dem Kurzzeitschalter (SK) eingefügten Hoch-ohmwiderstände (RL2) mit der Kollektor-Emitterstrecke eines, mittels fokussierten Lichtstrahls oder Lichtleitkabels steuerbaren Fototransistors (FT2) überbrückt sind.
15. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß in Serie mit den Reihenkapazitäten (Ca1; Ca2) nieder-ohmige Dämpfungswiderstände (RC) eingefügt sind.
16. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß seine Adaptierung bzw. Kontaktierung mit dem Prüfling an ferromagnetische Baugruppen oder an dessen ferromagnetischen Gehäuse oder Gefäß mittels Haftmagnet erfolgt.
17. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß mehrere Ladungsinjektoren an verschiedenen Orten eines Prüflingsobjektes, vorzugsweise mit unterschiedlichen Injektorfolgefrequenzen angeordnet sind.
18. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß er permanent in Nähe von möglichen TE-Quellen innerhalb eines Prüflings, vorzugsweise Ein/Aus-steuerbar implementiert ist.
19. Ladungsinjektor gemäß Anspruch 7 bis 10 und 13, 14, gekennzeichnet dadurch, daß als Lichtempfänger oder -Sensoren Fotodioden oder Fotowiderstände verwendet sind.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung bezieht sich auf Messung und Indikation von Teilentladungen (TE) zur Prüfung und Fehlersuche von entstehenden Isolationsschäden an Hoch- und Mittelspannungsausrüstungen, speziell der Kalibrierung derartiger TE-Meßanordnungen.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

In Schwachstellen des Dielektrikums von Hochspannungsausrüstungen können Entladungen zünden, die weite Bereiche der Isolierung überbrücken. Derartige Teilentladungen sind gekennzeichnet durch impulsförmige Ausgleichvorgänge. Die Anstiegszeit der TE-Impulse reicht bis in den Sub-Nanosekunden-Zeitbereich, während die Dauer in der Größenordnung von 100 ns liegt.

Zur Simulation derartiger TE-Impulse und damit zur Kalibrierung von TE-Prüfkreisen werden in der Standard-Prüftechnik sogenannte Kalibratoren verwendet (- Partial discharge measurement. IEC-Publication 270 (1981), - Hochspannungsprüftechnik. Messung von Teilentladungen. TGL 20625). Das Grundprinzip basiert auf der externen Nachbildung der elektrischen Ausgleichvorgänge, die bei TE-Prozessen im Prüfling auftreten. Dazu wird der interne Spannungssprung, der beim Funkendurchbruch im zerstörten Dielektrikum auftritt, durch einen externen Spannungssprung nachgebildet, der üblicherweise mit einem elektronischen Rechteckimpulsgenerator mit einer Wiederholfrequenz entsprechend der Prüfwechselspannung bzw. in der Größenordnung von 100 Hz erzeugt wird. Gleichfalls wird die interne Restkapazität des noch gesunden Dielektrikums, die die Signalübertragung zu den meßtechnisch zugänglichen Klemmen des Prüflings gewährleistet, durch einen externen Reihenkapazitor realisiert. Die Kombination von Rechteckimpulsgenerator

und Reihenkondensator stellen den Kalibrator dar, der über Meßleitungen an die Klemmen des Prüflings gelegt wird. Natürlich darf während der Kalibrierung am Prüfling keine Hochspannung anliegen, um eine Zerstörung des Kalibrators und eine Gefährdung des Meßpersonals zu vermeiden.

Bei Verwendung des o.g. Prinzips korrespondiert die Anstiegszeit des Rechteckimpulses mit der Dauer des in die Prüflingsklemmen injizierten Kalibrierimpulses. Bei Bezugnahme auf reale TE-Impulse ist somit die Anstiegszeit auf max. 100 ns zu begrenzen. Außerdem ist zu beachten, daß die Simulation von TE-Ausgleichsvorgängen im Prüfling einen Reihenkondensator verlangt, dessen Kapazität die Größenordnung der internen Restkapazität nicht wesentlich übersteigen darf, da sonst unvertretbare Rückwirkungen des Kalibrators auf den TE-Prüfkreis auftreten, die zu Fehlmessungen führen können. Als Richtwert für den Reihenkondensator hat sich eine Kapazität in der Größenordnung von max. 100 pF erwiesen.

Es ist ein spezieller Kalibrator für TE-Meßeinrichtungen bekannt (Tettex AG, TE-Meßgerät System Biddle, Bulletin B 1001 d-10/976, Firmenprospekt), welcher synchronisierbar, im Bereich von 0...5000 pC stufenlos einstellbar ist und zwei Impulse pro Periode liefert. Bei diesem Gerät ist nur eine galvanische Kopplung mit dem TE-Meßkreis vorgesehen, so daß eine Kalibrierung während der Hochspannungsprüfung entfallen muß und auch nur für einen geringen Frequenzbereich der Prüfwechselspannung Kalibrierimpulse erzeugt werden können.

Bei einem anderen Gerät (F.C. Robinson & Partners Limited, Engl. E.R.A., TE-Meßgerät, Model 3, Typ 652, Firmenprospekt) ist die Möglichkeit der Ladungsänderung des Kalibrierimpulses im großen Bereich, jedoch nicht die Änderung der Frequenz der Prüfspannung möglich bzw. zulässig.

Die DD-PS 150 802 offenbart eine Kalibriereinrichtung mit einem netzsynchronisierten Rechteckspannungsgenerator mit regelbarer Ausgangsamplitude mit nachfolgendem Vorverstärker und Leistungsverstärker, dessen Versorgungsspannung über einen weiteren Verstärker, dessen Arbeitswiderstand er bildet, einstellbar ist. Weiterhin ist zwischen Rechteckspannungsgenerator und Leistungsteil ein Multivibrator zur frequenzabhängigen Impulsdauerveränderung vorhanden und der Arbeitswiderstand des Leistungsverstärkers bildet einen umschaltbaren Spannungsteiler. Der Aufbau der Stromversorgung ist so gewählt, daß mittels eines Wendepotentiometers eine feinstufige Spannungseinstellung erfolgen kann.

Zur Auskopplung von TE-Signalen aus dem Prüfling werden entsprechend den einschlägigen Standards (IEC 270; TGL 20625) TE-Prüfkreise empfohlen, bei denen der Prüfling über eine Meßimpedanz geerdet ist, so daß das TE-Signal über einer Meßimpedanz abgegriffen werden kann. Die Kalibrierung dieser Prüfanordnung erfordert den potentialfreien Betrieb des Kalibrators, da er meistens an die Klemmen des Prüflings angeschlossen werden muß. Bei geerdetem Betrieb des Kalibrators würde die Meßimpedanz in unzulässiger Weise überbrückt werden. Daher werden übliche TE-Kalibratoren meistens potentialfrei mittels interner Batterien oder aufladbarer Akkus betrieben, wobei aus ökonomisch-technischen Gründen die Batteriespannung auf 10 V begrenzt ist. Daraus folgt, daß bei der bereits erwähnten Begrenzung der Kapazität des Reihen-kondensators auf etwa 100 pF die maximal abgebbare Ladung ($10 \text{ V} * 100 \text{ pF} = 1000 \text{ pC}$) den Wert von 1000 pC nicht übersteigen kann.

Eine weiterer Nachteil batteriebetriebener Kalibratoren ist, daß eine häufige Kontrolle des Zustandes der Batterie und bei Akkus eine rechtzeitige Nachladung erforderlich ist, damit während der Kalibrierung kein unkontrollierbarer Ausfall mit erheblichen Konsequenzen für das Prüfergebnis auftritt.

Im Hinblick auf die moderne TE-Sonden-Meßtechnik besteht außerdem die Forderung, daß Ladungsimpulse nicht nur in die Klemmen des Prüflings injiziert werden, sondern auch in metalische (meist geerdete) Gehäuse von Hochspannungsausrüstungen (Großtransformatoren, SF₆-Schaltanlagen, Generatoren, Motoren).

- Lemke, E.; Weißenberg, W.; Scharnhorst, K.: Meßsonde und Schaltungsanordnung zur elektrischen Detektion von Teilentladungen. DD-PS 214 461
- Lemke, E.: A new procedure for partial discharge measurements on the basis of an electromagnetical sensor. 5 th Intern. Symp. on High Voltage Engineering Braunschweig (1987), paper 41.02
- Lemke, E.; Friese, G.: Teilentladungssonde M 4202 - Aufbau, Wirkungsweise und Anwendungsmöglichkeiten. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 2, S. 61-62.

Für diese Zwecke sind übliche Kalibratoren nicht einsetzbar, da einerseits Anstiegszeiten bis in den Sub-Nanosekunden-Zeitbereich gefordert werden, um Wellenvorgänge auf metallischen Flächen auf einer Länge von weniger als 10 cm anzuregen und andererseits die injizierte Ladung 1000 pC übersteigen müßte im Hinblick auf die bei derartigen Objekten auftretenden TE-Signalpegel, die sogar Werte von einigen 10000 pC erreichen können.

Zusätzlich ist es wünschenswert, auch bei anliegender Hochspannung Kalibrierladungen einzuspeisen. Das ist bei der klassischen Kalibrierung nur möglich, wenn der externe Reihenkapazitor hochspannungsfest ausgeführt wird, bei Einhaltung der einschlägigen Prüfvorschriften für Hochspannungs-Ausrüstungen. Außerdem wird für den Rechteckimpuls-generator ein sicherer Überspannungsschutz gefordert, der seinerseits jedoch die abgegebenen Rechteckimpulse nicht verzerren darf. Es liegt auf der Hand, daß eine Realisierung der Kalibrierung bei anliegender Hochspannung mit erheblichem Aufwand verbunden ist.

Ziel der Erfindung

Die Erfindung stellt sich das Ziel mit einem extrem einfachen Schaltungskonzept die vorstehenden Nachteile des Standes der Technik, wie z.B. den wartungsaufwendigen internen Batteriebetrieb, die Begrenzung der Kalibrierladung, die Hochspannungsfreischaltung des Prüflings beim Kalibrieren oder den extrem hohen Aufwand für hochspannungsfesten Reihenkapazitor und Überspannungsschutz für einen Rechteckgenerator zu vermeiden.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Ausgehend von vorstehender Zielstellung besteht die Aufgabe darin, einen Ladungsinjektor zur Simulation von TE-Impulsen vorzuschlagen, der auch bei betriebsmäßiger Hochspannung in den Prüfling oder als Wellenvorgänge auf Metallflächen, z.B. Gefäße von Hochspannungseinrichtungen bzw. auch als elektromagnetische Strahlung mittels Antenne eine Kalibrierung sowohl standardmäßiger TE-Meßgeräte, als auch Anordnungen mit TE-Sonde und TE-Sensor gestattet, wobei auf eine interne Batterie, als auch externe Stromspeisung verzichtet werden kann. Der Ladungsinjektor soll bei geringem Volumen und Masse so aufgebaut sein, daß eine permanente Implementierung auch im Innern von Prüflingen, sowie eine Fernsteuerung bzw. Ferntriggerung möglich ist, um so eine zweifelsfreie und praxisnahe Simulation von TE-Fehlerstellen zu bewirken.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß ein von einer Nachladeeinrichtung mit höherer Spannung, vorzugsweise über 100 V, gespeister Ladespeicherkondensator mit einem Anschluß über einen ersten Hochohmwiderstand und einen Reihenkapazitor auf eine Ausgangsklemme und mit seinem anderen Anschluß direkt oder über einen weiteren Hochohmwiderstand an die andere Ausgangsklemme geschaltet ist und von dieser ein Kurzzeitschalter zu dem Verbindungspunkt des ersten Hochohmwiderstandes mit dem Reihenkapazitor geschaltet ist, wobei die Ausgangsklemmen galvanisch mit dem TE-Meßkreis oder mit Prüflingsklemmen oder im Mindestabstand von ca. 10 cm mit Metalloberflächen des Prüflingsgefäßes

oder mit einem Prüflingspotential und vorzugsweise dem leitenden Injektorgehäuse und/oder einem elektromagnetischen Antennenstrahler verbunden sind und gegebenenfalls beide Ausgangsklemmen mit einem Ableitwiderstand vorzugsweise auch als Wellenwiderstandsabschluß eines angeschlossenen Kabels überbrückt sind.

Zur Kalibrierung bei kurzzeitigen Routinemessungen ist es ausreichend, wenn die Nachladeeinrichtung für den Ladespeicherkondensator als Netzgleichrichter für manuelles, kurzzeitiges Nachladen aus der 220 V-Netzsteckdose aufgebaut ist, wobei vorzugsweise das metallische Gehäuse des Injektors mit einer Schutzisolation überzogen ist. Um netzunabhängig zu bleiben, kann es in einigen Fällen vorteilhaft sein, wenn die Nachladeeinrichtung als Gleichspannungsumformer aus einer Batteriespannung in eine höhere Spannung, vorzugsweise mittels Zwischenumformung in Wechselspannung mit Hochtransformation (z.B. Transverter) ausgebildet ist. Bei permanentem Einsatz des Ladungsinjektors an in Betrieb befindlichen Hochspannungsausrüstungen ist vorgesehen, daß die Nachladeeinrichtung des mit einer Ausgangsklemme auf Hochspannungspotential liegenden Ladungsinjektors, dessen andere Ausgangsklemme galvanisch mit dem leitenden, vorzugsweise kugel- oder zylinderförmigen Injektorgehäuse verbunden ist, aus einer Gleichrichterschaltung für die über die Raumkapazität des Gehäuses eingekoppelte Hochspannung besteht, wobei parallel zum Ladespeicherkondensator ein Spannungsbegrenzer, vorzugsweise eine Glimmlampe, geschaltet ist.

Für eine gesteuerte Erzeugung von Kalibrierimpulsen kann der Kurzzeitschalter bei gesicherter Prellfreiheit mittels eines gasgeschützten Relais mit Quecksilberbenetzten Kontakten realisiert werden. Für eine freilaufende Folgefrequenz der Kalibrierimpulse bei besonders kleiner Ausführung ist erfindungsgemäß vorgesehen, einen Avalanchetransistor als Kurzzeitschalter anzuordnen, wobei parallel zur Emitter-Kollektorstrecke des Avalanchetransistors eine die Folgefrequenz der Ladungsimpulse beeinflussender Kondensator oder eine die abgebbare Ladung teilende Reihenschaltung

von Kondensatoren geschaltet sind. Kalibrierimpulse unterschiedlicher Ladungsmenge werden derart erzeugt, daß an den Verbindungspunkten der in Reihe liegenden Kondensatoren jeweils über eine Reihkapazität definiert abgeschwächte Ladungsimpulse auskoppelbar sind.

Erfindungsgemäß kann jedoch auch eine Fernschaltung und/oder Ferntriggerung der Folgefrequenz dadurch erfolgen, daß durch Einwirkung mittels fokussierter Lichtstrahles oder mittels Lichtleitkabel, eine Hochspannungssicherheitsdistanz überbrückend, eine Fernsteuerung des Ladungsinjektors mittels eines Lichtsenders und Lichtempfängers vorzugsweise mit abgestimmter Wellenlänge und/oder Codemodulation vorgesehen ist, wobei der Steuereingang des Kurzzeitschalters mit dem Ausgang des Lichtempfängers so verbunden ist, daß eine Triggerung der Folgefrequenz, als auch eine Aus/Ein-Schaltung der Ladungsimpulse erfolgen kann. Eine einfache Ausführungsform des Ladungsinjektors bei Anwendung eines gebündelten Lichtstrahls sieht vor, daß die Basis des Avalanche-Transistors am Verbindungspunkt einer über den Ladespeicherkondensator geschalteten Teilerschaltung eines Widerstandes mit einem vorzugsweise außerhalb des Injektorgehäuses fokussierten Fototransistors liegt. Eine Ein/Aus-Schaltung der Kalibrierimpulse wird dadurch erzielt, daß die Widerstände so dimensioniert sind und der Fototransistor so geschaltet ist, daß sein aktiver niederohmiger Zustand einen positiven Basisstrom und einen solchen Durchlaßstrom im Avalanche-Transistor verursacht, daß in Folge Spannungsabfalls am Hochohmwiderstand kein Avalanchedurchbruch erfolgen kann. Zur vorläufigen Beendigung der Injektion von Ladungsimpulsen mit einem kurzen Lichtimpuls ist vorgesehen, daß der Ladespeicherkondensator vorzugsweise von einer Serienschaltung zweier Avalanche-Transistoren mit einem Entladewiderstand überbrückt ist, wobei die Avalanche-Transistoren von einem Fototransistor in den Durchbruch steuerbar sind. Wird der Fototransistor niederohmig, verschiebt er ein Potential der beiden, im offenen Zustand die Ladespannung etwa

gleichmäßig unter sich aufteilenden Transistoren so, daß erst einer und daraufhin sofort der zweite Transistor durchbricht und den Ladespeicherkondensator unter die Durchbruchspannungsschwelle des Avalanche-Generators entlädt.

Zur Umschaltung der freilaufenden Folgefrequenz der Ladungsimpulse ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß ein oder mehrere der zwischen Ladespeicherkondensator und dem Kurzzeitschalter eingefügten Hochohmwiderstände mit der Kollektor-Emitterstrecke eines, mittels fokussierten Lichtstrahls oder Lichtleitkabels steuerbaren Fototransistors überbrückt sind, so daß im aktiven niederohmigen Zustand des Fototransistors sich der Gesamt-Hochohmwiderstand verringert und damit die Folgefrequenz erhöht wird. Als Lichtempfänger oder Sensor eignen sich gleichermaßen in vorstehenden Anwendungsfällen auf Fotodioden oder Fotowiderstände.

Zur Vermeidung von unkontrollierten Einschwingvorgängen im Sub-Nanosekunden-Zeitbereich ist vorgesehen, daß in Serie mit den Reihenkapazitäten niederohmige Dämpfungswiderstände eingefügt sind.

Bei Ermittlung zu beachtender Dämpfungsfaktoren im Rahmen prophylaktischer Reihemessungen an elektrischen Betriebsmitteln sieht die Erfindung vor, daß mehrere Ladungsinjektoren an verschiedenen Orten eines Prüflingsobjektes, vorzugsweise mit unterschiedlichen Injektorfolgefrequenzen angeordnet sind. Das geringe Gewicht des erfindungsgemäßen Ladungsinjektors ermöglicht es auch, daß seine Adaptierung bzw. Kontaktierung mit dem Prüfling an ferromagnetische Baugruppen oder an dessen ferromagnetischen Gehäuse oder Gefäß mittels Haftmagnet erfolgt oder daß er permanent in Nähe von möglichen TE-Quellen innerhalb eines Prüflings, vorzugsweise Ein/Aus-steuerbar implementiert ist.

Ausführungsbeispiel

Im nachfolgenden Ausführungsbeispiel wird an Hand mehrerer Modifikationen die Erfindung näher erläutert.

Fig. 1 zeigt den grundsätzlichen Aufbau des Injektors, bei dem, gespeist aus einer Nachladeeinrichtung NL, ein Ladungsspeicher verwendet wird, bestehend aus einem Hochvolt-Speicherkondensator Cs, dessen Kapazität etwa das 10^5 -fache einer Reihenkapazität Ca beträgt und damit im Bereich von einigen $10 \mu\text{F}$ liegt. Die Ladenspannung des Speicherkondensators Cs beträgt mehr als 100 V, so daß eine gespeicherte Energie gemäß

$$W_s = U_s^2 * C_s / 2$$

in der Größenordnung von 1 Ws leicht erreichbar ist.

Mittels eines Kurzzeit-Schalters SK wird die Reihenkapazität Ca bei einer Durchschaltverzögerung im Sub-Nanosekunden-Zeitbereich gegen das Bezugspotential MB geklemmt, und nach mehr als 100 ns wird die direkte Verbindung zum Bezugspotential MB wieder aufgehoben. Der zweite Anschluß des Reihenkondensators Ca wird zweckmäßigerweise mit einem elektromagnetischen Strahler (Antenne) AS verbunden und über einen Ableitwiderstand Ra an das Bezugspotential MB gelegt.

Als Strahler kann vorzugsweise auch das metalische Gehäuse GM Verwendung finden, in dem die Gesamtschaltung untergebracht ist.

Zur Ladungsinjektion in den Prüfling ist somit nur eine einpolige Kontaktierung erforderlich; wobei die mit dem Bezugspotential MB in Verbindung stehende Klemme K2 ohne zusätzliche Verbindungsleitungen an ausgewählte Injektionspunkte des Prüflings geführt wird. Natürlich kann auch das Gehäuse über die Klemme K1 an den Prüfling angeschlossen werden, so daß die klassische Kalibrierung möglich ist. Außerdem ist der Anschluß weiterer Zusatzantennen (z.B. Bandleitung oder Kreisscheibe) an Klemme K1 realisierbar.

Beide Klemmen K1 und K2 können aber auch bei einem Mindestabstand von etwa 10 cm mit dem Metallgehäuse des Prüflings verbunden werden, so daß elektromagnetische Ausgleichsvorgänge entstehen, die zur Kalibrierung der TE-Sonden-Messung genutzt werden können.

Die Kapazität des Reihenkondensators C_a wird zweckmäßigerweise in der Größenordnung von nicht mehr als 100 pF gewählt. Bei der einfach zu realisierenden Ladespannung für den Speicherkondensator C_s von z.B. 100 V ist dann eine Ladung in der Größenordnung von 10000 pC erzeugbar.

Die Aufladung des Reihenkondensators C_a aus dem Speicherkondensator C_s erfolgt über einen Ladewiderstand R_L in der Größenordnung von einigen 10 bis 100 M Ω , um Rückwirkungen vom Speicherkondensator C_a während der momentanen Impulserzeugung (Dauer ca. 100 ns) auszuschließen.

Da im Rahmen praktischer TE-Messungen die Kalibrierung i.a. wenigen Minuten nicht überschreitet, ist somit eine ausreichend lange Betriebsdauer bei einer Aufladung des Speicherkondensators C_s gewährleistet. Andernfalls müßte eine kurze Unterbrechung der Messung zwecks Nachladung erfolgen, die in wenigen Sekunden realisiert werden kann. Diese Nachladung kann für Routine-Messungen einmalig über einen kurzzeitigen manuellen Anschluß an eine 220-V-Netzsteckdose mittels eines Netzgleichrichters erfolgen, wobei das metallische Gehäuse des Injektors mit einer Schutzisolierung umhüllt ist. Es kann jedoch auch aus einer Batterie über einen Gleichspannungsumformer mit Zwischenumformung in Wechselstrom, Hochtransformation und Gleichrichtung (z.B. mittels Transverter) eine Nachladung permanent oder intervallförmig vorgenommen werden.

Da bei einer Impulsfolgefrequenz von 100 Hz und einer Impulsladung von 10000 pC der mittlere Entladestrom des Speicherkondensators C_s nur 1 μ A beträgt, kann vorzugsweise auch ein aus dem Umfeld der Hochspannung gewonnener kapazitiver Ladestrom zur

ständigen Nachladung des Speicherkondensators C_s genutzt werden. Das ist bei der einpoligen Ladungsinjektion auf Hochspannungspotential relativ einfach realisierbar und hat außerdem den Vorteil, daß unter diesen i.A. komplizierteren Meßbedingungen eine Unterbrechung der Kalibrierung zwecks Nachladung nicht mehr notwendig ist. Um den Ladestrom von z.B. $1 \mu\text{A}$ zu erhalten, wird das Gehäuse des Ladungsinjektors nicht nur als elektromagnetischer Strahler sondern auch als kapazitiver Sensor für die 50-Hz-Komponente genutzt (Fig. 2). Da ein Ladestrom von $1 \mu\text{A}$ einem mittleren Ladungsumsatz von $Q_m = 1 \mu\text{C}$ entspricht, kann bei vorgegebener Prüfspannung U_p auch die erforderliche Mindestkapazität C_m des Ladungsinjektor-Gehäuses gemäß

$$C_m = Q_m/U_p$$

abgeschätzt werden. So erhält man z.B. für $U_p = 100 \text{ kV}$ einen Wert von $C_p = 10 \text{ pF}$, der z.B. durch eine Kugel von weniger als 10 cm Radius bereits realisiert werden kann. Zur Umwandlung des kapazitiven Wechselstromes in eine Gleichspannung wird der Strom von der Gehäuseelektrode GM über einen Vorwiderstand R_v und der Diode D1 während einer Halbwelle zur Bezugselektrode MB abgeleitet, während in der folgenden Halbwelle die Nachladung des Speicherkondensators CS über die Diode D2 erfolgt. Dadurch werden unsymmetrische Potentialverlagerungen vermieden, die zu einer spannungsmäßigen Überbeanspruchung und damit zur Zerstörung der Bauelemente führen können. Außerdem wird parallel zum Speicherkondensator C_s ein Überspannungsschutz GS vorgesehen, um unkontrollierbare Spannungsüberhöhungen auszuschließen. Dazu eignen sich in einfacher Weise übliche Glimmlampen.

Als Kurzzeitschalter empfiehlt sich entweder die Verwendung mechanischer Relais mit Hg-benetzten Kontakten (Reed-Relais) oder der Einsatz von Avalanche-Transistoren. Um ein sicheres Zünden sowie Verlöschen des Avalanche-Transistors im freilaufenden Betrieb zu gewährleisten, wird seine Basis über einen Basiswiderstand R_B in der Größenordnung von mehreren $100 \text{ k}\Omega$ mit dem Bezugspotential MB verbunden (Fig. 3).

Für praktische Messungen hat sich ein Zeitabstand aufeinanderfolgender Kalibrierimpulse vor, etwa 10 ms als zweckmäßig erwiesen. Dieser freilaufende Betrieb mit ca. 100 Hz Impulsfolgefrequenz wird durch die Aufladezeit eines parallel zur Kollektor-Emitter-Strecke des Avalanche-Transistors AT geschalteten Kondensators CP über den Hochohmwiderstand RL bis jeweils zur Durchbruchspannung des Avalanchetransistors AT bestimmt.

Es ist jedoch in einigen Anwendungsfällen bei stark gestörter Umgebung zur eindeutigen Indikation der Kalibrierimpulse vorteilhaft, wenn man ferngesteuert die Folgefrequenz der Kalibrierimpulse verändern oder triggern kann oder unter Beobachtung der TE-Indikation im Meßkreis diese ein- und ausschalten kann. Dazu wird eine triggernde oder statische Arbeitspunktbeeinflussung an der Basis des Avalanchetransistors AT vorgenommen (Fig. 3 gestrichelt).

Ein aus dem Ladespeicher Cs gespeister und mit einem lichtempfindlichen Bauelement gesteuerter Schwellwertschalter, der die Arbeitspunktbeeinflussung an der Basis des Avalanchetransistors AT bewirkt, bilden einen Lichtempfänger LE, der mittels gebündeltem Lichtstrahl oder über Lichtleitkabel mit einer lichtsendenden Fernsteuereinheit LS in optischer Verbindung steht, wenn gleich der Ladungsinjektor auf Hochspannungspotential liegt.

Eine einfache Ausführungsform, bei der durch Lichtempfang mittels eines Fototransistors FT1 ein Aussetzen der Ladungsimpulse bewirkt wird, zeigt Fig. 4.

Die niederohmig werdende Kollektor-Emitter-Strecke des Fototransistors FT1 speist einen positiven Basisstrom in die Basis des Avalanchetransistors AT, der damit stromführend einen solchen Spannungsabfall am Hochohmwiderstand RL verursacht, daß seine Durchbruchspannung nicht erreicht wird und er damit nicht durchbrechen kann.

Der Ladewiderstand RL läßt sich auch in einzelne Teilwiderstände RL1; RL2; RL3 aufteilen. Wird durch einen Fototransistor FT2 in niederohmigem, beleuchteten Zustand der Teilwiderstand RL1 überbrückt, so erhöht sich die Folgefrequenz der Kalibrierimpulse.

Eine plötzliche Entladung des Ladespeicherkondensators Cs und damit Abbruch der Kalibrierimpulserzeugung kann mit einem kurzen Lichtblitz dadurch erreicht werden, daß der Ladespeicherkondensator Cs vorzugsweise von einer Serienschaltung zweier Avalanche-Transistoren AT1; AT2 mit einem Entladewiderstand RE überbrückt ist, wobei die Avalanchetransistoren von einem Fototransistor FT3 in den Durchbruch steuerbar sind. Wird durch den Lichtblitz der Fototransistor FT3 niederohmig, so verschiebt er das Potential zwischen den beiden in Reihe liegenden Transistoren AT1; AT2 derart, daß erst einer und daraufhin auch gleich der zweite Transistor in einen Lawinendurchbruch gesteuert wird und somit der nicht permanent nachgeladene Ladespeicherkondensator unter die Durchbruchspannungsschwelle des Generatoravalanchetransistors AT über den Entladewiderstand RE entladen wird.

Die Fernsteuerung oder Triggerung erfolgt vorzugsweise über verschiedene Lichtleitkabel oder bei Anwendung von frei übertragenen fokussierten Lichtstrahlen durch eine Aufteilung der Fokussierungswinkel oder Verwendung verschiedener Wellenlängenfilter bzw. -Selektion beim Lichtsender LS und -Empfänger LE. Mit höherem Aufwand kann auch eine Code- oder Zeitmultiplexmodulation der Licht- oder Laserstrecke erfolgen.

Bei einem Reihenkondensator Ca der Kapazität von 100 pF und einer Durchbruchspannung von 100 V wird bei jedem Impuls eine Energie von weniger als 10^{-6} Joule umgesetzt. Entsprechend dem o.g. Anfangs-Energiewert von z.B. 1 Joule, der auf dem Speicherkondensator Cs nach vollständiger Ladung abgespeichert ist, würden etwa $N = 10^5$ Impulse eine Energieabnahme des Speicherkondensators Cs erst um 10 % bewirken, was identisch ist mit einer Ab-

senkung der Ladespannung um weniger als 5 %. Bei der o.g. Impulsfolgefrequenz von $f = 100$ Hz wäre demzufolge eine Betriebsdauer von

$$\begin{aligned} TB &= N/f & (3) \\ TB &= 10^5 / 10^2 \text{ s} = 10^3 \text{ s} \approx 15 \text{ Min.} \end{aligned}$$

erreichbar.

Es sei bemerkt, daß der Speicherkondensator C_s auch auf eine wesentlich höhere Spannung aufgeladen werden kann, als der mittels des Kurzzeitschalters KS erzeugte Spannungssprung. Um die gewünschte Impulsfolge beizubehalten, ist die Nachladung des Reihenkondensators C_a durch Vergrößerung des Ladewiderstandes RL zu begrenzen. Da die gespeicherte Energie mit dem Quadrat der Ladespannung ansteigt, ist dadurch eine effektive Verlängerung der Betriebsdauer gegeben. So würde eine Verdopplung der Ladespannung entsprechend dem obigen Beispiel bereits eine Betriebsdauer von etwa 1 h ergeben.

Als Kalibrierimpulse ist es notwendig, die Ladungsmenge der Injektorimpulse definiert zu dimensionieren. Das ist in einfacher Weise durch die Aufteilung des Kondensators C_p in einen kapazitiven Spannungsteiler C_{p1} ; C_{p2} realisiert, so daß an Klemme $K1.2$ über den Reihenkondensator C_{a2} nur ein entsprechender Teil der an Klemme $K1.1$ möglichen Ladungsmenge auskoppelbar ist (Fig. 4).

Die dargestellten Reihewiderstände RD in der Größe einiger Ohm verhindern, daß sich unkontrollierte Einschwingvorgänge höherer Frequenzen ausbilden können.

Aufgrund der sehr einfachen Schaltungsanordnung bei extremer geringer Zahl der Bauelemente können die Abmessungen des Ladungsinjektors äußerst klein gehalten werden, so daß er in reale Prüflinge an kritischen Stellen implementiert werden kann, um somit TE-Vorgänge an den Stellen zu simulieren, an denen solche erwartet werden, so daß das Signalübertragungsverhalten in bisher nicht möglicher Weise studiert werden kann.

Abschließend sei erwähnt, daß der Ladungsinjektor aufgrund seines kompakten und kapazitätsarmen Aufbaus auch zum Studium der elektromagnetischen Verträglichkeit elektronischer Schaltungen vorteilhaft einsetzbar ist.

Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Verwendung als Sender für die Trassensuche bei Einsatz der TE-Sonden-Meßtechnik.

Es sei erwähnt, daß aufgrund des außerordentlich geringen Gewichts auch eine Adaptierung an Eisengefäßen mittels Haftmagnet in einfacher Weise realisiert werden kann. Dadurch ergeben sich z.B. bei Transformatoren und Generatoren äußerst einfache Möglichkeiten der Ladungsinjektion im Hinblick auf eine rasche Änderung der Injektionspunkte bei der TE-Diagnose (auch Anbringung mehrerer Ladungsinjektoren).

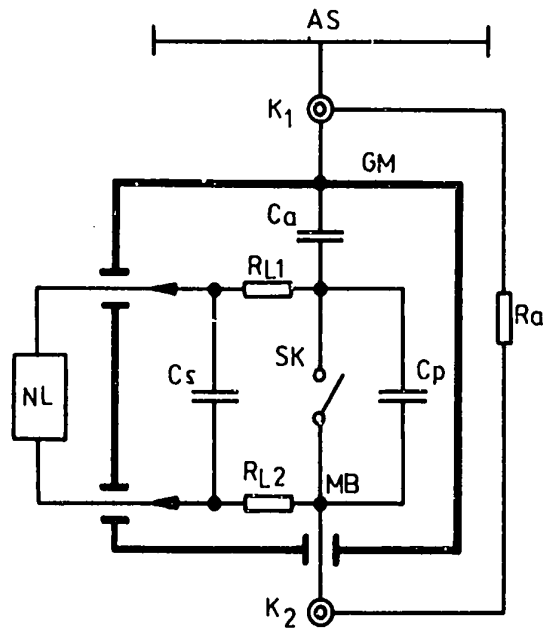


Fig 1

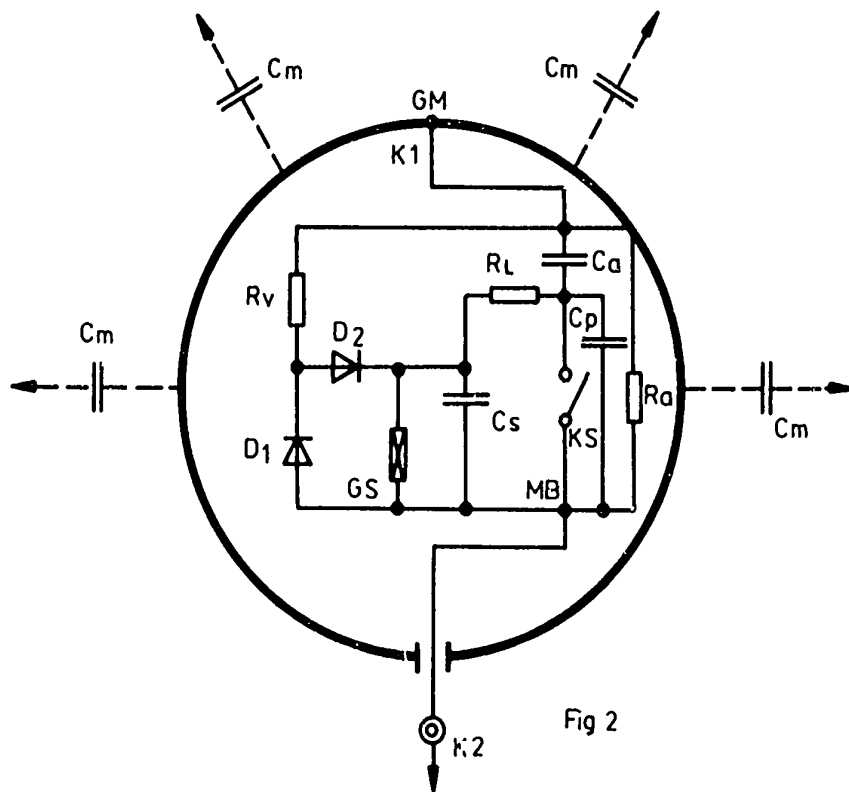


Fig 2

