



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 2576/89

22 Anmeldungsdatum: 11.07.1989

30 Priorität(en): 12.09.1988 DD 319690

24 Patent erteilt: 31.10.1991

45 Patentschrift
veröffentlicht: 31.10.1991

73 Inhaber:
VEB Kombinat Robotron Dresden, Dresden (DD)

72 Erfinder:
Lemke, Eberhard, Prof. Dr. sc. techn., Dresden
(DD)
Matz, Gerhard, Dresden (DD)

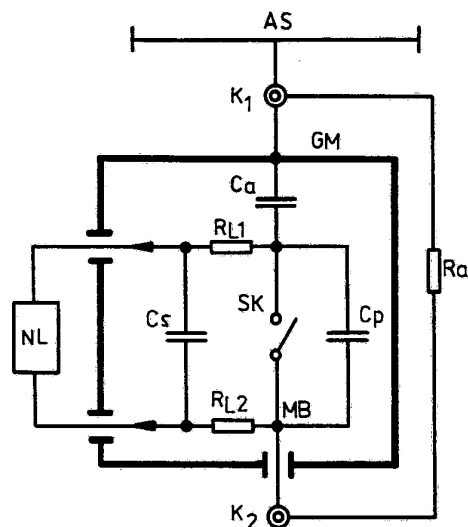
74 Vertreter:
Bovard AG, Bern 25

54 Ladungsinjektor.

57 Der Ladungsinjektor besteht im wesentlichen aus einem Ladespeicherkondensator (C_s), der von einer Nachladeeinrichtung (NL) mit höherer Spannung, vorzugsweise über 100 V, gespeist wird und dem ein Kurzzeitschalter (SK) in Reihe mit Hochohmwiderständen ($RL1$, $RL2$) parallel geschaltet ist. Am Verbindungspunkt des Hochohmwiderstandes ($RL1$) mit dem Kurzzeitschalter (SK) ist ein Reihenkondensator (C_o) zur Ausgangsklemme ($K1$) geführt. Die andere Ausgangsklemme ($K2$) liegt am anderen Anschluss des Kurzzeitschalters (SK).

Die Klemmen ($K1$, $K2$) können mit dem Teilentladungs (TE)-Messkreis oder mit dem Prüfling bzw. den metallischen Prüflingsgehäuse im Mindestabstand von ca. 10 m kontaktiert sein bzw. kann eine Klemme mit dem Injektorgehäuse und/oder einer Strahlerantenne (A5) verbunden sein und elektromagnetische Ladungen zur Kalibrierung einkoppeln. Als Kurzzeitschalter (SK) 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.

Der Ladungsinjektor dient vorzugsweise zur Kalibrierung eines TE-Messkreises, einschliesslich TE-Messgerät, TE-Sonde oder TE-Sensor, bei der Prüfung und Suche von Isolationsschäden an Hoch- und Mittelspannungsausrüstungen.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Ladungsinjektor, gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 1, und die Verwendung desselben gemäss den Oberbegriffen der Patentansprüche 19, 20 und 21. Die Erfindung bezieht sich auf Messung und Indikation von Teilentladungen (TE) zur Prüfung und Fehlersuche von entstehenden Isolationschäden an Hoch- und Mittelspannungsausrüstungen, speziell der Kalibrierung derartiger TE-Messanordnungen.

In Schwachstellen des Dielektrikums von Hochspannungsausrüstungen können Entladungen zünden, die Teilbereiche 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 20 625). 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 Reihenkondensator 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 unvermeidbare 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 Sy-

stem 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 20 625) 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 Reihenkondensators auf etwa 100 pF die maximal abgebbare Ladung ($10 \text{ V} \cdot 100 \text{ pF} = 1000 \text{ pC}$) 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 metallische (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. 5th 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 10 000 pC erreichen können.

Zusätzlich ist es wünschenswert, auch bei anliegender Hochspannung Kalibrierladungen einzuspeisen. Das ist bei der klassischen Kalibrierung nur möglich, wenn der externe Reihenkontensator hochspannungsfest ausgeführt wird, bei Einhaltung der einschlägigen Prüfvorschriften für Hochspannungs-Ausrüstungen. Ausserdem wird für den Rechteckimpulsgenerator 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.

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 Reihenkontensator und Überspannungsschutz für einen Rechteckgenerator zu vermeiden.

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-Fehlern zu bewirken.

Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe durch die im kennzeichnenden Teil des Patentanspruches 1 aufgeführten Merkmale gelöst.

Erfindungsgemässe Verwendungen des Ladungsinjektors sind in den kennzeichnenden Teilen der Patentansprüche 19, 20 und 21 genannt.

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 Glühlampe, 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 Avalanche-Transistor als Kurzzeitschalter anzuordnen, wobei parallel zur Emitter-Kollektorstrecke des Avalanche-Transistors 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 Reihenkapazität definiert abgeschwächte Ladungsimpulse auskoppelbar sind.

Erfindungsgemäss kann jedoch auch eine Fernschaltung und/oder Ferntriggerung der Folgefrequenz dadurch erfolgen, dass durch Einwirkung mittels fokussierten 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 Entlade-widerstand 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 Avalanchedurchschalters 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 auch 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 Reihennmessungen 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 ferromagnetischem 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.

Im nachfolgenden Ausführungsbeispiel wird an Hand mehrerer Modifikationen die Erfindung beispielsweise 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 10⁵fache einer Reihenkapazität Ca beträgt und damit im Bereich von einigen 10 µF liegt. Die Ladespannung des Speicherkondensators Cs beträgt mehr als 100 V, so dass eine gespeicherte Energie gemäss

$$W_s = U_s^2 \cdot C_s / 2$$

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. Der Abschlusswiderstand Ra dient vorzugsweise als Wellenwiderstandsabschluss eines angeschlossenen Kabels.

Als Strahler kann vorzugsweise auch das metallische 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 Ca wird zweckmässigerweise in der Grössenordnung von nicht mehr als 100 pF gewählt. Bei der einfach zu realisierenden Ladespannung für den Speicherkondensator Cs von z.B. 100 V ist dann eine Ladung in der Grössenordnung von 10 000 pC erzeugbar.

Die Aufladung des Reihenkondensators Ca aus dem Speicherkondensator Cs erfolgt über einen Ladewiderstand RL in der Grössenordnung von einigen 10 bis 100 MOhm, um Rückwirkungen vom Speicherkondensator Ca 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 Cs 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 An-

schluss 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 10 000 pC der mittlere Entladestrom des Speicherkondensators Cs nur 1 μ A beträgt, kann vorzugsweise auch ein aus dem Umfeld der Hochspannung gewonnener kapazitiver Ladestrom zur ständigen Nachladung des Speicherkondensators Cs 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 μ 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 μ A einem mittleren Ladungsumsatz von $Q_m = 1 \mu C$ 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 $U_p = 100$ kV einen Wert von $C_p = 10$ 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 Cs 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 Basis-Widerstand RB in der Grössenordnung von mehreren 100 kOhm mit dem Bezugspotential MB verbunden (Fig. 3)

Für praktische Messungen hat sich ein Zeitabstand aufeinanderfolgender Kalibrierimpulse von etwa 10 ms als zweckmässig erwiesen. Dieser freilaufende Betrieb mit ca. 100 Hz Impulsfolgefre-

quenz 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 Avalanche-Transistors 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 Avalanche-Transistors 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 Avalanche-Transistors AT bewirkt, bilden einen Lichtempfänger LE, der mittels gebündeltem Lichtstrahl oder über Lichtleitkabel mit einer lichtsendenden Fernsteuereinheit LS in optischer Verbindung steht, wenngleich 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 Avalanche-Transistors 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, beleuchtetem 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 Avalanche-Transistoren 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 Wellenlän-

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

$$TB = N/f (3)$$

$$TB = 10^5 / 10^2 \text{ s} = 10^3 \text{ s} \approx 15 \text{ Min.}$$

erreichbar.

Es sei bemerkt, dass der Speicherkondensator Cs 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 Ca 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 Cp in einen kapazitiven Spannungsteiler Cp1; Cp2 realisiert, so dass an Klemme K1.2 über den Reihenkondensator Ca2 nur ein entsprechender Teil der an Klemme K1.1 möglichen Ladungsmenge auskoppelbar ist (Fig. 4).

Die dargestellten Reihenwiderstände RD in der Grösse einiger Ohm verhindern, dass sich unkontrollierte Einschwingvorgänge höherer Frequenzen ausbilden können.

Aufgrund der sehr einfachen Schaltungsanordnung bei extrem 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).

Patentansprüche

1. Ladungsinjektor, vorzugsweise zur Kalibrierung eines Teilentladungs (TE)-Messkreises einschliesslich TE-Messgerät, TE-Sonde oder TE-Sensor, gekennzeichnet dadurch,

– dass ein von einer Nachladeeinrichtung (NL) mit einer Spannung 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,

– dass eine der Ausgangsklemmen (K1; K2) mit dem leitenden Injektorgehäuse (GM) und/oder einem elektromagnetischen Antennenstrahler (AS) verbunden ist.

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 Glühlampe 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 einem der Ansprüche 1, 5 und 6, gekennzeichnet dadurch, dass durch Einwirkung mittels fokussierten Lichtstrahls oder mit-

tels Lichtleitkabels, 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 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 einem der Ansprüche 5 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 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 infolge Spannungsabfalls am Hockohmwiderstand (RL) kein Avalanchedurchbruch erfolgen kann.

11. Ladungsinjektor gemäss einem der Ansprüche 6 bis 10, gekennzeichnet dadurch, dass parallel zur Ermittler-Kollektorstrecke des Avalanche-Transistors (AT) ein die Folgefrequenz der Ladungsimpulse beeinflussender Kondensator (Cp) oder eine die abgebbare Ladung teilende Reihenschaltung von Kondensatoren (Cp1, Cp2) geschaltet sind.

12. Ladungsinjektor gemäss Anspruch 11, gekennzeichnet dadurch, dass an den Verbindungspunkten der in Reihe liegenden Kondensatoren (Cp1, Cp2) jeweils über eine Reihenskapazität (Ca1, Ca2) definiert abgeschwächte Ladungsimpulse auskoppelbar sind.

13. Ladungsinjektor gemäss Anspruch 6 oder 7, gekennzeichnet dadurch, dass der Ladespeicherkondensator (Cs) von einer Serienschaltung vorzugsweise 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 einem der Ansprüche 1, 5 und 6, gekennzeichnet dadurch, dass ein oder mehrere der zwischen Ladespeicherkondensator (CI) und dem Kurzzeitschalter (SK) eingefügten Hochohmwiderstände (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 Reihenskapazitäten (Ca1, Ca2) niederohmige Dämpfungswiderstände (RD) eingefügt sind.

16. Ladungsinjektor gemäss Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass seine Adaptierung bzw.

Kontaktierung mit dem Prüfling an ferromagnetische Baugruppen oder an dessen ferromagnetischem Gehäuse oder Gefäss mittels Haftmagnet erfolgt.

17. Ladungsinjektor gemäss einem der Ansprüche 7 bis 10 und 13, 14, gekennzeichnet dadurch, dass als Lichtempfänger oder -sensoren Fotodioden oder Fotowiderstände verwendet sind.

18. Ladungsinjektor gemäss Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass beide Ausgangsklemmen (K1, K2) mit einem Ableitwiderstand (Ra), der auch als Wellenwiderstandsabschluss eines angeschlossenen Kabels bestimmt ist, überbrückt sind.

19. Verwendung des Ladungsinjektors gemäss Anspruch 1, zur Prüfung eines Prüflingsobjektes, gekennzeichnet dadurch, dass mehrere Ladungsinjektoren an verschiedenen Orten des Prüflingsobjektes angeordnet werden.

20. Verwendung des Ladungsinjektors gemäss Anspruch 1, zur Prüfung eines Prüflingsobjektes, gekennzeichnet dadurch, dass er permanent in Nähe von möglichen TE-Quellen innerhalb des Prüflings implementiert wird.

21. Verwendung des Ladungsinjektors nach Anspruch 1 zur Kalibrierung eines Teilentladungs (TE)-Messkreises, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgangsklemmen galvanisch mit dem TE-Messkreis verbunden werden.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

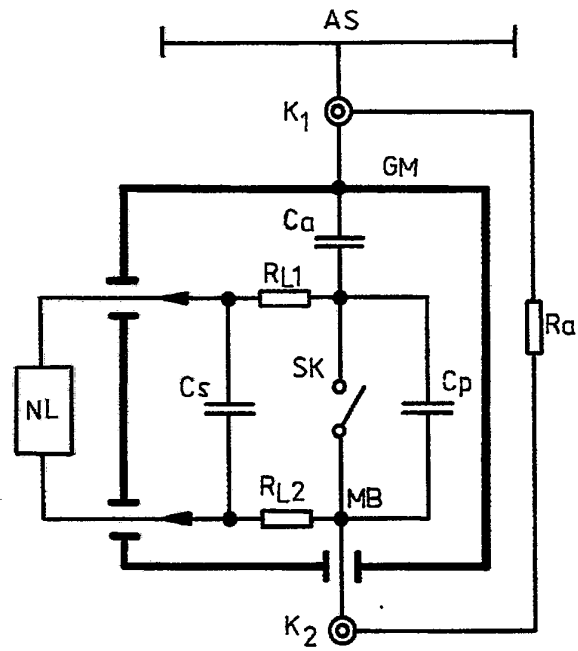


Fig 1

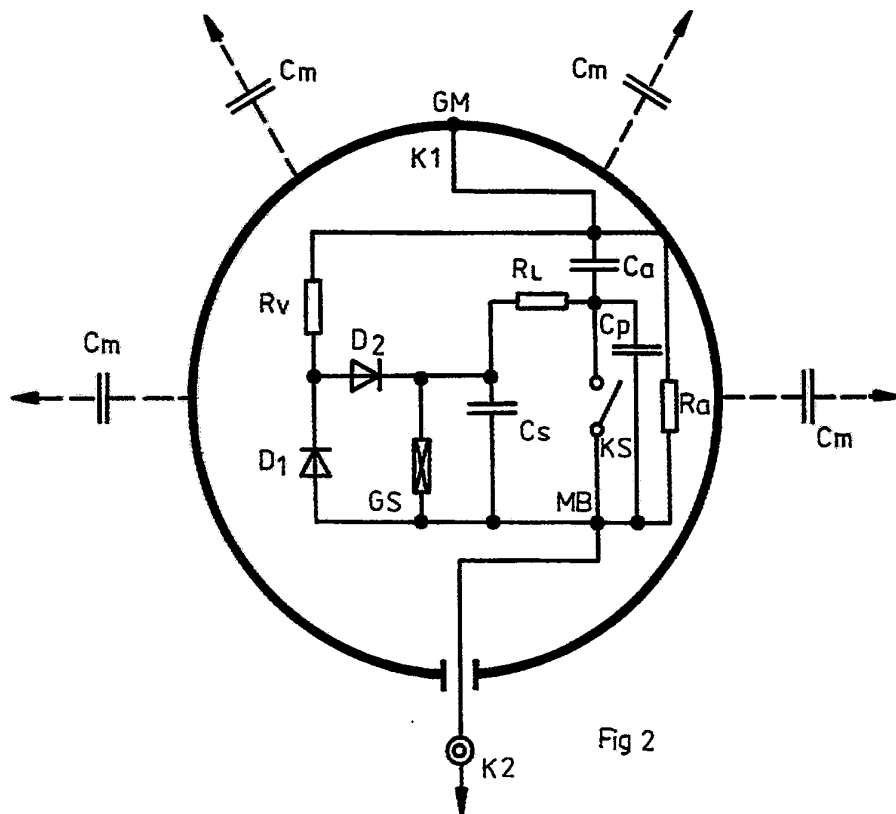


Fig 2

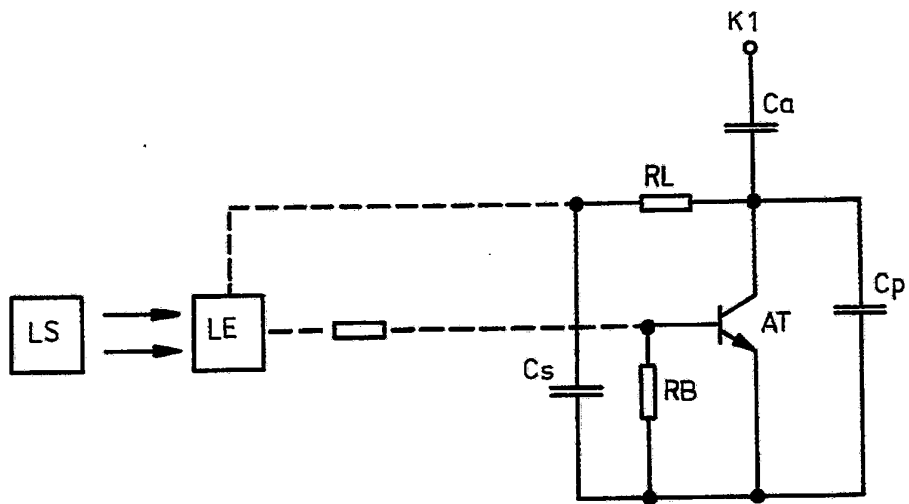


Fig.3

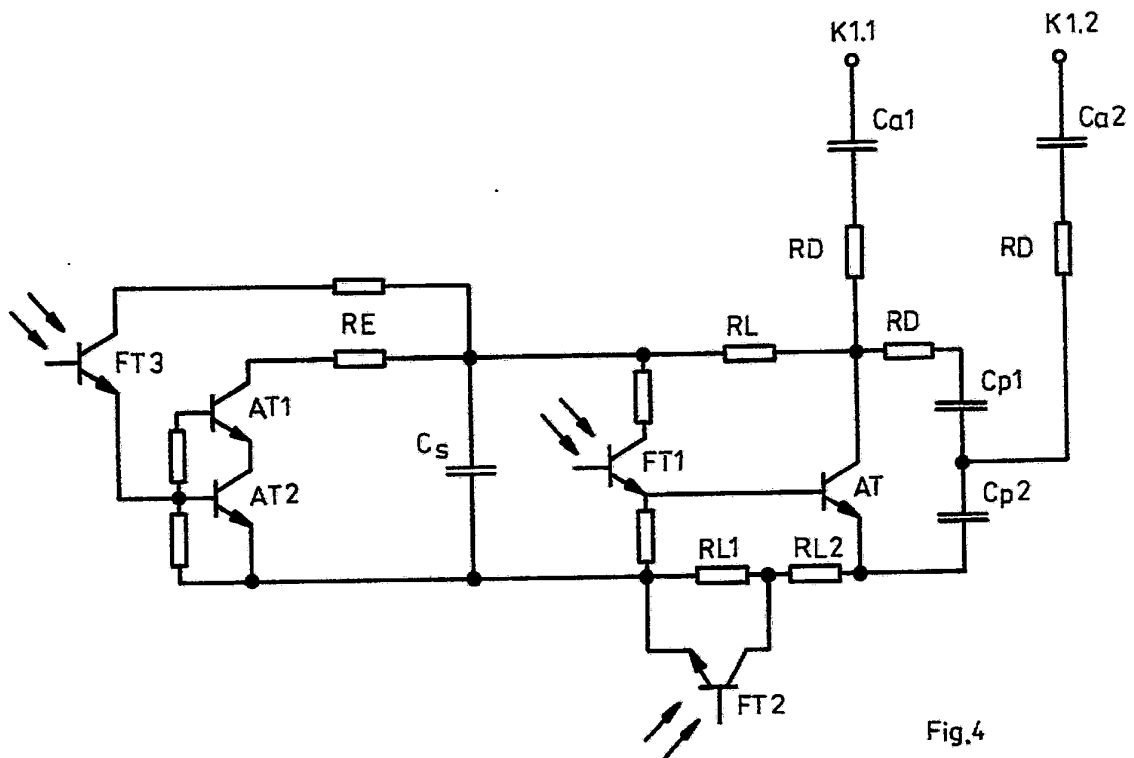


Fig.4