



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 25 927 T2** 2006.09.14

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 222 472 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 25 927.7**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/AU00/01028**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 955 962.6**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2001/018554**

(86) PCT-Anmeldetag: **30.08.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **15.03.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **17.07.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **08.02.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **14.09.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01R 31/12** (2006.01)

H01H 9/50 (2006.01)

H01H 33/26 (2006.01)

H01F 27/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

PQ260599 02.09.1999 AU

(73) Patentinhaber:

**Transgrid, Sydney, N.S.W, AU; University of
Technology, Broadway, New South Wales, AU**

(74) Vertreter:

**Patent- und Rechtsanwälte Kraus & Weisert,
80539 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

**UNSWORTH, Joseph, Villawood, New South
Wales 2163, AU**

(54) Bezeichnung: **TEILENTLADUNGSÜBERWACHUNGSSYSTEM FÜR TRANSFORMATOREN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Technisches Umfeld

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich im Wesentlichen auf ein System zum Überwachen der Funktionen einer elektrischen Einrichtung, wie zum Beispiel Hochspannungstransformatoren. Insbesondere kann das System das Auftreten von Fehlern in der gesamten Isolation derartiger Transformatoren detektieren und Signale bereitstellen, welche lokale und/oder entfernte Alarmer auslösen, welche die Fehler anzeigen.

Stand der Technik

[0002] Ein Hochspannungsgenerator und Übertragungstransformatoren bilden einen wesentlichen Bestandteil eines jeden elektrischen Energieerzeugungs-, Verteilungs- und Übertragungssystems. Andere Transformatoren, wie zum Beispiel Gleichrichtertransformatoren, werden auch in industriellen Verfahren, wie zum Beispiel schmelzenden Elektroaufdampfverfahren, verwendet. Weiterhin werden Stromtransformatoren (Current Transformers, CTs) zum Schutz und zur Zählwerterfassung von Elektrizitätsverteilungssystemen verwendet.

[0003] Der wichtigste Bestandteil der Isolation bei ölgefüllten Transformatoren umfasst Papier, welches um die Kupferwicklungen gewickelt ist. Es gibt Abstandshalter, Unterlegscheiben, Dichtungen, Durchführungsplatten, Abgriffe und Durchführungen, welche auch Teil des Isolationssystems innerhalb des Transformators sind. Um die Isolation und die Beständigkeit zu verbessern, wird das Papier von einem Dielektrikum, typischerweise einem Mineralöl oder Silikonöl, das den Transformator füllt, durchdrungen. Dieses Isolationsöl dient auch als ein Kühlmittel, welches die Wärme durch Konvektion oder eine erzwungene Strömung verteilt, und dämpft außerdem Entladungen. Andere Transformatortypen weisen Hochfrequenzkommunikationstransformatoren, welche feste polymerische Dielektrika verwenden, wie zum Beispiel Epoxydduroplast, welches in den Transformator mittels Unterdruck gefüllt wird, und gasgefüllte Transformatoren auf. Gasgefüllte Transformatoren, zum Beispiel die, welche in unterirdischen Minen verwendet werden, sind aus Sicherheitsgründen normalerweise mit Argon oder Schwefelhexafluorid gefüllt. Weiterhin gibt es einige luftgefüllte Niederspannungstransformatoren.

[0004] Die Betriebslebensdauer eines Hochspannungstransformators kann größer als 35 Jahre sein. Die Lebensdauer hängt von der Belastung, der Bauart, der Qualität der Herstellung und den Materialien und Wartungsroutinen ab. Während seiner Lebensdauer kann sich die Transformatorisolation verschlechtern, wobei der Grad der Verschlechterung

von der Belastung und den internen Betriebsbedingungen des Transformators, wie zum Beispiel Temperatur, Feuchtigkeitsgehalt, pH-Wert und dergleichen abhängt. Jegliche Verschlechterung der Isolation, wie zum Beispiel elektrische und ionische Plasmaerosion der festen Isolation, die eine Luftblase umschließt, welche aufgrund fehlerhafter Herstellung eingeschlossen ist, kann zu einem erhöhten Pegel der Teilentladung innerhalb des Transformators führen. Ein Auftreten von Teilentladungen führt weiterhin zur Entwicklung von Gasen, wie zum Beispiel Wasserstoff und Acetylen innerhalb des Transformators. Eine derartig erhöhte Teilentladung führt zu einer weiteren Verschlechterung der Isolation, was wiederum zu erhöhten Pegeln der Teilentladung führt. Fortgesetzte Verschlechterung der Isolation kann zu schwerwiegenden Entladungen, Kurzschlussfehlern oder einem katastrophalen Fehler aufgrund einer Explosion des Gases, zum Beispiel Wasserstoff, Acetylen und Ethylen, die als chemische Nebenprodukte des Verschlechterungsvorgangs entstehen, führen. Derartige Fehler können zu einer Verminderung oder einem Ausfall der Versorgung des Energiesystems, erheblichen Auslagen für Ersatz oder Reparatur des Transformators führen und stellen außerdem ein ernsthaftes Risiko für in der Nähe befindliches Personal und die Umwelt dar.

[0005] Teilentladung in Transformatoren kann auch aufgrund fehlerhafter Herstellung und/oder mechanischer oder elektrischer Ermüdung auftreten. Beispielsweise stellt die Bewegung lockerer Komponenten und Kriechdehnung und Spannungserholung metallischer Komponenten, wie zum Beispiel Befestigungen oder fremdmetallische Körper innerhalb des Transformators, eine Gelegenheit für ein Auftreten von Entladungen bereit, sogar wenn keine oder geringe Verschlechterung der Isolation vorhanden ist.

[0006] Teilentladung in Transformatoren kann auch aufgrund von Wicklungen entstehen, die innerhalb des Transformators locker werden. Abnutzung an dem Umsteller, welche durch die Anzapfanschlüsse hervorgerufen wird, kann auch Teilentladungen bewirken. Fehler in Durchführungen können auch zu Teilentladungen führen.

[0007] Es ist bekannt, dass Teilentladungen Signale an verschiedenen Stellen innerhalb eines großen Transformators erzeugen können, welche einen Entladestrom im Nullleiter, der durch Ungleichgewicht hervorgerufen wird, einen Verschiebungsstrom durch die kapazitive Anzapfung einer Durchführung, einen abgestrahlten Hochfrequenzimpuls oder eine abgestrahlte Hochfrequenzwelle (Radio Frequency, RF) und einen abgestrahlten Ultraschall- (US)Impuls oder eine abgestrahlte Ultraschallwelle aufweisen.

[0008] Die Stärke der Teilentladung innerhalb des Transformators stellt ein Mittel zum Bestimmen der

Unversehrtheit der Transformatorisolation bereit. Beispielsweise würde eine erkannte Teilentladung mit einer Größe von 50 pC normalerweise bei normalem Spannungsbetrieb ignoriert werden, eine Messung von 500 pC würde mit einigem Bedenken betrachtet werden, während eine Messung von 5000 pC als möglicherweise gefährlich betrachtet werden würde.

[0009] Energiebehörden testen Transformatoren typischerweise durch Prüfen des Mineralöls in dem Transformator ungefähr einmal im Jahr, um die in dem Öl gelöste Gaskonzentration durch Analyse (Dissolved Gas Concentration by Analysis, DGA) und durch den dielektrischen Verlustwinkel (Dielectric Loss Angle, DLA) zu bestimmen. Wenn hohe Gasmessungen erreicht werden, wird die Überprüfungs-frequenz auf monatliche oder sogar wöchentliche Überprüfung erhöht. Es ist jedoch immer etwas Abstand zwischen dem Überprüfen und der Analyse in dem Labor. Eine rasche Verschlechterung der Isolation könnte nicht detektiert werden und Transformatoren haben katastrophal versagt, obwohl DGA-Überprüfungen durchgeführt wurden. Seit bekannt ist, dass sich Teilentladungen einer hohen Stärke und/oder Wiederholfrequenz kurz vor einem Hauptfehler entwickeln, ist eine kontinuierliche Überwachung der elektrischen Einrichtung sehr wünschenswert, um frühe Warnungen bereitzustellen, während sie weiterhin in Betrieb gehalten wird.

[0010] Teilentladungen können durch Verwenden von Geräten, wie zum Beispiels Robinson-, Haefly- oder Tettex-Teilentladungsdetektoren, gemessen werden, welche elektrische Hochfrequenzsignale (RF) detektieren, indem sie nur an dem unteren Teil der Durchführung an den Transformator oder an die Wicklungen unter Verwendung von Kapazitätsteilern und einem Toroidsystem gekoppelt werden. Diese Geräte werden normalerweise in einem Prüfgestell bei Hochspannungserprobungstests für neue oder neu gewickelte Transformatoren verwendet. Diese Messungen können jedoch normalerweise nicht in einer Umspannstation wegen des hohen Wertes der elektrischen Interferenz ausgeführt werden. Außerdem erfordert das Anfertigen zuverlässiger Messungen mit diesen Geräten eine beachtliche Qualifikation.

[0011] Eine Vorrichtung zum Detektieren des Auftretens eines einzelnen Teilentladungsvorgangs in einem Transformator ist in der internationalen Patentanmeldung No. PCT/AU94/00263 (WO 94/28566) beschrieben. Diese Vorrichtung umfasst einen Ultraschallmessaufnehmer und eine Hochfrequenzantenne, welche in der Transformatorwand angebracht sind und welche ausgestaltet sind, die Ultraschall- bzw. Hochfrequenzimpulse zu detektieren, die durch eine Teilentladung erzeugt werden. Wenn ein Hochfrequenzsignal innerhalb einer vorbestimmten Zeit vor einer Detektion eines Ultraschallsignals detektiert

wurde, wird angenommen, dass eine Teilentladung aufgetreten ist. Obwohl die Vorrichtung in der Lage ist, derartige Signale zu erkennen, war ein Problem mit der in WO 94/28566 beschriebenen Vorrichtung, dass elektrisches Rauschen innerhalb des Transformators zufällig auftretende Hochfrequenzsignale erzeugen würde, welche zum Auslösen falscher Alar-me eines Auftretens einer Teilentladung führen. Abschalten eines Transformators aufgrund eines falschen Alarms ist verständlicherweise unerwünscht und teuer. Weiterhin beschreibt Unsworth, J. et al., Evaluation of Novel On-line Remote Partial Discharge Monitor for High Voltage Power Transformers During Operation, Proceedings of the Nordic Insulation Symposium, Copenhagen, 14.-16. Juni 1999, Seite 133-140 auch ein Teilentladungsüberwachungssystem.

Offenbarung der Erfindung

[0012] Gemäß einem ersten Aspekt ist die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zum Detektieren von Teilentladungen in einer angeschlossenen Hochspannungseinrichtung, die ein Dielektrikum enthält, wobei jede Teilentladung einen Hochfrequenzimpuls oder eine Hochfrequenzwelle und einen Ultraschallimpuls oder eine Ultraschallwelle erzeugt, wobei die Vorrichtung umfasst:

mindestens ein Messaufnahmemittel zum Detektieren des/der durch das Auftreten der Teilentladung erzeugten Ultraschallimpulses oder Ultraschallwelle und zum anschließenden Ausgeben eines Signals entsprechend dieser Detektion; mindestens ein Messaufnahmemittel zum Detektieren des/der durch das Auftreten einer Teilentladung erzeugten Hochfrequenzimpulses oder Hochfrequenzwelle und andere Hochfrequenzimpulse oder Hochfrequenzwellen, die innerhalb der Einrichtung erzeugt wurden, und zum anschließenden Ausgeben eines Signals entsprechend dieser Detektion; und ein Mittel zur Signalverarbeitung und -analyse, welches die der Detektion der Hochfrequenz- und Ultraschallimpulse oder -wellen entsprechenden Signale empfängt, und welches bei Empfang eines der Detektion eines Ultraschallimpulses oder einer Ultraschallwelle entsprechendes Signal ausgestaltet ist, um:

(a) die Verzögerungszeit zwischen dem Vorgang der Detektion von allen detektierten Hochfrequenzimpulsen oder -wellen innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums, der dem Vorgang der Detektion des Ultraschallimpulses oder der Ultraschallwelle voranging, zu bestimmen, und eine Streubreite von Verzögerungszeitwerten über dem vorgegebenen Zeitraum zu erzeugen;

(b) die Streubreite der Verzögerungszeitwerte gegen andere Streubreiten von Verzögerungszeitwerten von mehreren anderen detektierten Ultraschallimpulsen oder Ultraschallwellen zu überlagern; und

(c) die überlagerten Streubreiten der Verzögerungs-

zeitwerte zu analysieren, um zu bestimmen, ob ein Anteil der detektierten Ultraschallimpulse oder Ultraschallwellen bei einem oder mehreren bestimmten Verzögerungszeitwerten nach dem Zeitpunkt der Detektion der detektierten Hochfrequenzimpulse oder Hochfrequenzwellen detektiert werden.

[0013] Gemäß einem zweiten Aspekt ist die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Detektion von Teilentladungen in einer angeschlossenen elektrischen Einrichtung, die ein Dielektrikum enthält, wobei jede Teilentladung einen Hochfrequenzimpuls oder eine Hochfrequenzwelle und einen Ultraschallimpuls oder eine Ultraschallwelle erzeugt, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:

- (i) Detektion von Hochfrequenzimpulsen oder Hochfrequenzwellen, die innerhalb der Einrichtung erzeugt wurden;
- (ii) Detektion von Ultraschallimpulsen oder -wellen, die innerhalb der Einrichtung erzeugt wurden;
- (iii) bei Detektion eines Ultraschallimpulses oder einer Ultraschallwelle Bestimmung der Verzögerungszeit zwischen dem Vorgang der Detektion aller detektierten Hochfrequenzimpulse oder -wellen und dem Vorgang der Detektion des Ultraschallimpulses oder der Ultraschallwelle innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums, der dem Vorgang der Zeit der Detektion des Ultraschallimpulses oder der Ultraschallwelle vorangegangen ist, und Erzeugung einer Streubreite von Verzögerungszeitwerten über den vorgegebenen Zeitraum;
- (iv) Überlagern der Streubreite der Verzögerungszeitwerte mit anderen Streubreiten von Verzögerungszeitwerten von mehreren anderen detektierten Ultraschallimpulsen oder Ultraschallwellen; und
- (v) Analysieren der überlagerten Streubreiten der Verzögerungszeitwerte, um zu bestimmen, ob ein Anteil der detektierten Ultraschallimpulse oder Ultraschallwellen bei einem oder mehreren bestimmten Verzögerungszeitwerten nach der Zeit der Detektion der detektierten Hochfrequenzimpulse oder Hochfrequenzwellen detektiert wurde.

[0014] In den oben genannten Aspekten führt das Überlagern der Streubreiten der Verzögerungszeitwerte von mehreren detektierten Ultraschallimpulsen zu der konstruktiven Addition jeglicher identischer Verzögerungszeitwerte aus jeder der Streubreiten in einem Histogramm von Zählwerten der Verzögerungszeitwerte über dem vorbestimmten Zeitraum. Diese konstruktive Addition für eine oder mehrere bestimmte Verzögerungszeitwerte grenzt diesen bestimmten Verzögerungszeitwert von den festgestellten Verzögerungszeitwerten, die einfach ein Ergebnis asynchronen elektrischen Rauschens innerhalb und um die elektrische Vorrichtung sind, leicht ab.

[0015] Die elektrische Einrichtung, welche von der

Vorrichtung und dem Verfahren in den obigen Aspekten überwacht wird, umfasst vorzugsweise Leistungs-, Mess-, Strom- und Hochfrequenztransformatoren, welche ein Dielektrikum enthalten, wobei das Dielektrikum ein Mineral- oder Silikonöl, Epoxyd oder Gas ist. Im Folgenden wird, zum Zwecke der Klarheit, ein Betrieb der vorliegenden Erfindung in Bezug auf ihre Anwendung auf eine Überwachung von Teilentladungen in Hochspannungstransformatoren beschrieben werden. Unter angeschlossen ist zu verstehen, dass die vorliegende Erfindung die Transformatoren überwachen kann, wenn die Transformatoren in Betrieb oder in Benutzung sind. Dies kann umfassen, wenn der Transformator unter normalen Betriebsbedingungen betrieben wird, aber es kann auch Situationen umfassen, in denen der Transformator unter ungewöhnlichen Bedingungen betrieben wird oder zum Zwecke seines Tests, zum Beispiel während Abnahmetests, wenn Überspannungen oder Impulse angewendet werden, oder während des Tests eines Systems zu dem der Transformator gehört.

[0016] In einer bevorzugten Ausführungsform eines jeden Aspekts können jegliche Hochfrequenzimpulse, welche innerhalb des Transformators erzeugt werden, kontinuierlich überwacht werden. Ähnlich können sämtliche Ultraschallimpulse, welche innerhalb des Transformators erzeugt werden, kontinuierlich beobachtet werden. Somit ist selbstverständlich, dass im Normalbetrieb das Überwachen der Ultraschall- und Hochfrequenzimpulse gleichzeitig ausgeführt wird. Außerdem wird in einer bevorzugten Ausführungsform das Überwachen der Ultraschall- und Hochfrequenzimpulse sogar fortgesetzt, wenn das Mittel zur Analyse die empfangenen Signale analysiert.

[0017] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der vorgegebene Zeitraum, der dem Vorgang der Detektion des Ultraschallimpulses voranging, größer als die maximal mögliche Verzögerungszeit zu setzen, die zwischen einem detektierten Hochfrequenzimpuls und einem detektierten Ultraschallimpuls existieren kann. In einer Ausführungsform kann der Zeitraum zu der Zeit der Installation der Vorrichtung in dem Transformator eingestellt werden. In einer anderen Ausführungsform kann der Zeitraum nach der Installation der Vorrichtung einstellbar sein. In einem typischen Transformator kann der vorgegebene Zeitraum zwischen 1 ms und 10 ms, vorzugsweise zwischen 2 ms und 6 ms und weiter vorzugsweise auf ungefähr 4 ms festgelegt werden. Dieser vorgegebene Zeitraum wird durch die Datenspeicherkapazitäten der Vorrichtung bestimmt und sollte die größte interne Abmessung des Transformators (normalerweise der diagonale Abstand von Ecke zu Ecke) und die Geschwindigkeiten von Ultraschallimpulsen in den Materialien, die die internen Teile des Transformators wie zum Beispiel Dielektrikum, geschichteter Eisenkern, Kupferwicklungen und dergleichen umfassen,

in Betracht ziehen.

[0018] In dem Fall, wo die vorgegebene Zeit vor dem Ultraschallimpuls auf 4 Millisekunden gesetzt ist und die Vorrichtung in 60 Mikrosekundenblöcken abtastet, ist verständlich, dass maximal 66 Abtastverzögerungszeiträume, welche die Verteilung der Verzögerungszeitwerte bilden können, in dem Histogramm zusammengefasst werden.

[0019] Beim Überlagern mehrerer Streubreiten von Verzögerungszeitwerten können die Signalverarbeitungssoftware und die Mittel zur Analyse aller Streubreiten, welche innerhalb eines bestimmten Zeitraums erzeugt wurden, überlagern. Der Zeitraum kann, wenn gewünscht, von wenigen Millisekunden bis Minuten und sogar Stunden reichen. In einer Ausführungsform kann das Mittel zur Analyse alle Streubreiten überlagern, die innerhalb eines bestimmten Zeitraums, der gerade dem Schritt der Überlagerung der Streubreiten voranging, erzeugt werden. Der Zeitraum kann zwischen 0,1 und 10 Sekunden, vorzugsweise zwischen 1 und 8 Sekunden und weiter vorzugsweise ungefähr 2 Sekunden betragen. Die Mittel zur Analyse können ausgestaltet sein, um die Überlagerung der Streubreiten der erzeugten Verzögerungszeitwerte kontinuierlich zu aktualisieren, um so die Streubreiten zu verwerfen, die früher als der bestimmte Zeitraum erzeugt wurden. Beispielsweise weist die Überlagerung zu einer bestimmten Zeit nur die Streubreiten von Verzögerungszeitwerten auf, die in dem bestimmten Zeitraum, der dieser Zeit voranging, erzeugt wurden. In einer Ausführungsform kann der bestimmte Zeitraum zum Zeitpunkt der Installation der Vorrichtung in einem Transformator vorgegeben werden. In einer anderen Ausführungsform kann der Zeitraum nach der Installation der Vorrichtung eingestellt werden.

[0020] In einer bevorzugten Ausführungsform umfassen die Mittel zur Analyse ein von geeigneten Softwarebefehlen gesteuertes Mikroprozessormittel. Das Mikroprozessormittel kann physikalisch dicht bei dem Transformator angeordnet sein oder kann an einem entfernten Ort angeordnet sein.

[0021] Die Softwarebefehle des Mikroprozessors können geeignet sein, um die Anzahl der bestimmten Verzögerungszeitwerte innerhalb einer Streubreite von Verzögerungszeitwerten statistisch zu zählen und diese Zahlen mit den Zahlen, welche aus mehreren solcher Streubreiten, die aufgrund der Detektion anderer Ultraschallimpulse innerhalb des bestimmten vorgegebenen Zeitraums erzeugt wurden, gefertigt wurden, zu überlagern, um ein Histogramm von Zählwerten über Verzögerungszeitwerte zu bilden. Da der Verzögerungszeitwert einer bestimmten Teilentladungsstelle sich nicht ändert, entwickelt sich eine Spitze in dem Histogramm, welche dem Verzögerungszeitwert zwischen dem Hochfrequenzimpuls

und dem Ultraschallimpuls, welche durch die Teilentladung erzeugt wurden, entspricht. Wenn zwei Orte von Teilentladungen innerhalb des Transformators vorhanden sind, würden zwei Spitzen in dem Histogramm erzeugt werden, sofern der Abstand zwischen jedem Ort und dem Messaufnehmer unterschiedlich ist. Da im Betrieb die Mittel zur Analyse benötigt werden, um mehrere Streubreiten von Verzögerungszeitwerten zu überlagern, ist es verständlich, dass die Mittel zur Analyse ein Mittel zum Verarbeiten einer derartigen Vielzahl von Streubreiten für mindestens einen Zeitraum, welcher ausreichend ist, um ein Bilden des Histogramms von Zählwerten über Verzögerungszeitwerten zu ermöglichen, aufweist. Wenn jedoch die Verzögerungszeit für einen Kopf gleich ist, wird sie unterschiedlich für einen anderen Kopf sein. Typischerweise können zwei, drei oder vier Köpfe abhängig von dem Typ, der Größe, der Ausführung und der Leistung des Transformators installiert werden, um auf die Angelegenheit einzugehen.

[0022] In einer bevorzugten Ausführungsform gibt das Ultraschallmessaufnehmermittel zum Detektieren eines Ultraschallimpulses auch ein Signal aus, welches die Amplitude des detektierten Ultraschallimpulses darstellt. In dieser Ausführungsform ist das Mittel zur Analyse vorzugsweise geeignet, dieses Amplitudesignal zum empfangen. Das Mittel zur Analyse kann geeignet sein, Störsignale zu ignorieren, welche Ultraschallimpulse kleiner als eine vorbestimmten Amplitudeneinstellung darstellen. In einer Ausführungsform kann das Mittel zur Analyse geeignet sein, keine weitere Analyse des Ultraschallsignals auszuführen, wenn die Amplitude des Ultraschallimpulses, der zu der Erzeugung des Signals führte, unterhalb einer vorgegebenen Amplitudeneinstellung ist. Die vorgegebenen Amplitudeneinstellung kann zur Zeit der Installation der Vorrichtung in dem Transformator vorgegeben werden. In einer anderen Ausführungsform kann die vorgegebene Amplitudeneinstellung nach einer Installation der Vorrichtung eingestellt werden. Es ist auch verständlich, dass einige Ultraschallimpulse erzeugt werden können, die unterhalb der Detektionsschwelle des Ultraschallmessaufnehmers sind.

[0023] In einer anderen Ausführungsform geben die Hochfrequenzmessaufnehmermittel bei Detektion eines Hochfrequenzimpulses auch ein Signal aus, welches die Amplitude des detektierten Hochfrequenzimpulses darstellt. In dieser Ausführungsform ist das Mittel zur Analyse vorzugsweise geeignet, dieses Amplitudesignal zum empfangen. Die Mittel zur Analyse können geeignet sein, Signale zu ignorieren, welche Hochfrequenzimpulse kleiner als eine vorgegebene Amplitudeneinstellung darstellen. Die vorbestimmten Amplitudeneinstellung für Hochfrequenzimpulse kann zur Zeit der Installation der Vorrichtung in dem Transformator vorgegeben werden. In einer anderen Ausführungsform kann die vorgegebene Amp-

litudeneinstellung nach einer Installation der Vorrichtung eingestellt werden. Es ist ferner selbstverständlich, dass einige Hochfrequenzimpulse in dem Transformator erzeugt werden können, die unterhalb der Detektionsschwelle der Ultraschallmessaufnehmer sind.

[0024] In einer Ausführungsform kann das Mittel zur Analyse geeignet sein, ein Alarmmittel zu betätigen, wenn die Ergebnisse einer Analyse der empfangenen Signale über einen Zeitraum Merkmale trifft, welche als teilladungsanzeigend betrachtet werden. Die Merkmale, welche als teilladungsanzeigend betrachtet werden, können zu der Zeit der Installation der Vorrichtung in dem Transformator vorgegeben werden. In einer anderen Ausführungsform können die Merkmale nach einer Installation eingestellt werden.

[0025] In einer Ausführungsform können die Mittel zur Analyse geeignet sein, unterschiedliche Typen von Alarmmitteln in Abhängigkeit von der Eigenschaft der detektierten Ultraschallimpulse zu betätigen. Zum Beispiel kann das Mittel zur Analyse nach Empfang eines Ultraschallsignals und Feststellen, dass eine Spitze der Zählwerte an einem oder mehreren bestimmten Verzögerungszeitwerten zwischen einer Detektion des Hochfrequenz- und des Ultraschallimpulses vorhanden ist, bestimmen, ob der Ultraschallimpuls eine Größe größer als die vorgegebene Amplitudeneinstellung aufweist. Wenn die Amplitude größer als die vorbestimmte Amplitudeneinstellung ist und/oder eine beachtliche Wiederholfrequenz der Erzeugung von Ultraschallimpulsen über einigen vorgegebenen Einstellungen vorhanden ist, kann die Signalverarbeitungssoftware und das Analysemittel einen bestimmten Typ von Alarmmitteln betätigen. Zum Beispiel kann diese Gruppe von Bedingungen zum Betätigen eines Klasse 1-Alarms gelten. Wenn eine Spitze an einem Verzögerungszeitwert bestimmt wurde, aber die Amplitude und/oder die Wiederholfrequenz der Erzeugung des Ultraschallpulses unter der vorgegebenen Einstellung ist, dann kann diese Gruppe von Bedingungen zum Betätigen eines Klasse 2-Alarms gelten.

[0026] Wenn das Analysemittel Signale empfängt, welche Ultraschallimpulse darstellen, die größer als die vorgegebene Amplitude und/oder der Wiederholfrequenzeinstellung ist, aber nicht feststellt, dass irgendeine Spitze an einem Verzögerungszeitwert zwischen den Signalen und beliebigen vorhergehenden Hochfrequenzsignalen vorhanden ist, kann diese Gruppe von Bedingungen als Aktivierung eines Klasse 3-Alarms gelten. Schließlich, wenn Ultraschallimpulse detektiert werden, die kleiner als die vorgegebene Amplituden- und/oder Wiederholfrequenzeinstellung sind, aber wiederum ohne irgendeine Bestimmung einer Spitze an einem Verzögerungszeitwert sind, kann diese Gruppe von Bedingungen als

Aktivierung eines Klasse 4-Alarms gelten. In noch einer weiteren Ausführungsform kann die vorgegebene Amplituden- und/oder Wiederholfrequenzeinstellung in dem Analysemittel in dem Fall, in dem an keinem Verzögerungszeitwert eine Spitze festgestellt wurde, anders sein als wenn eine Spitze an einigen Verzögerungszeitwerten festgestellt wurde. Zum Beispiel, wenn eine Spitze der Zählwerte an einem Zeitverzögerungswert festgestellt wird, kann die vorgegebene Einstellung niedriger eingestellt sein als die Einstellung in dem Fall, in dem keine Spitze an einem Verzögerungszeitwert zwischen einem detektierten Ultraschallimpuls und einem Hochfrequenzimpuls festgestellt wurde.

[0027] Durch Betätigen verschiedener Klassen von Alarmen stellt das Analysemittel einer Einrichtung, die die Funktion eines Transformators überwacht (zum Beispiel eine Energieerzeugungs- oder Verteilungsbehörde), die Möglichkeit bereit, die Ernsthaftigkeit des Fehlers in dem Transformator zu bestimmen. Beispielsweise kann eine Betätigung eines Klasse 4-Alarms als nicht besonders besorgniserregend betrachtet werden, aber rechtfertigen, dass dieser Transformator genauer überwacht werden sollte oder an einem früheren Tag als ansonsten geplant einer Routineüberprüfung und Wartung unterzogen wird. Demgegenüber kann eine Betätigung eines Klasse 1-Alarms von der Überwachungsorganisation als angemessen betrachtet werden, den Transformator sofort oder relativ schnell abzuschalten, um vor Ort Überprüfungen und, falls notwendig, eine Reparatur des Fehlers entweder vor Ort oder in einer Reparaturwerkstatt zu ermöglichen. Wenn über einen Zeitraum von Minuten, Stunden, Tagen oder sogar Wochen die Vorrichtung zum ersten Mal einen Klasse 4-Alarm betätigt, welcher von einem Klasse 3- oder Klasse 2- und dann einem Klasse 1-Alarm gefolgt wird, stellt dies der Überwachungsorganisation einen Hinweis auf die Geschwindigkeit der Erhöhung der Ernsthaftigkeit des Fehlers in dem Transformator bereit und gibt einen Hinweis, wann der Transformator einer Inspektion unterzogen werden sollte. Rasche Wechsel von der Betätigung eines Klasse 4-Alarms zu einem Klasse 3-Alarm oder einem Klasse 2-Alarm oder zu einem Klasse 1-Alarm würden beispielsweise als sehr gefährlich betrachtet werden und normalerweise dazu führen, dass der Transformator abgeklemmt und ausgeschaltet wird.

[0028] Die Alarme können sowohl optische als auch akustische Mittel umfassen. Die optischen Alarmmittel können helle blinkende farbige Lichter, Licht emittierende Dioden (LEDs) oder ähnliche Vorrichtungen umfassen und können in vorher vorhandenen Softwareüberwachungssystemen, wie zum Beispiel SCADA, Harley, Citect, usw. integriert werden. Es ist verständlich, dass ein Alarmzustand durch das Einschalten eines Lichts oder durch das Ausschalten eines Lichts angezeigt werden kann. In einigen Fällen

wird das Letztere bevorzugt, da jeder Fehler der Leuchte leicht bemerkt wird und korrigiert werden kann. In einer alternativen Ausführungsform kann das Alarmmittel ein Anzeigen einer angemessenen Nachricht auf einem Bildschirm oder Computermonitor umfassen. Das akustische Alarmmittel kann eine Klingel, einen Summer, eine Sirene oder andere ähnliche Vorrichtungen umfassen. Es wurde herausgefunden, dass ein kontinuierlicher 3 kHz-Ton von einem Hochtonlautsprecher besonders wirksam ist. Das Alarmmittel kann physikalisch dicht bei dem überwachten Transformator oder an etwas entferntem Ort angeordnet sein.

[0029] In einer weiteren Ausführungsform kann das Analysemittel einen Datenspeicher aufweisen, welcher geeignet ist, alle von den jeweiligen Messaufnehmermitteln empfangenen Signale und/oder die erzeugten Überlagerungen der Streubreiten der Verzögerungszeiten zu speichern. Der Datenspeicher kann geeignet sein, nur die zuletzt aufgezeichneten Daten innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums zu speichern oder nur Daten zu speichern, welche Ereignisse von Teilentladungen anzeigen. Beispielsweise kann der Speicher nur alle aufgezeichneten Daten eines vorangegangenen Zeitraums von 24 Stunden speichern.

[0030] Die gespeicherten Daten können zu einem Kontrollmittel an einer lokalen oder entfernten Position entweder auf Anfrage eines Bedieners oder automatisch heruntergeladen werden. In einer Ausführungsform kann das Kontrollmittel oder das Analysemittel routinemäßig einen Datentransfer von dem Analysemittel an einem bestimmten Tag oder zu einer bestimmten Zeit auslösen. Beispielsweise kann, wenn ein Speicher geeignet ist Daten für 24 Stunden zu speichern, das Kontrollmittel oder das Analysemittel einen Datentransfer von dem Analysemittel ebenfalls alle 24 Stunden auslösen. Andere Zeiträume für Datenübertragungen sind leicht vorstellbar.

[0031] Wenn das Kontrollmittel feststellt, dass der Mikroprozessor ein Alarmmittel ausgelöst hat, kann es einen entsprechenden Hinweis für einen Bediener, welcher für eine Überwachung der Funktion des Transformators verantwortlich ist, bereitstellen. Solch ein entsprechender Hinweis kann optische und/oder akustische Hinweise an einem Computermonitor umfassen. Das Kontrollmittel kann ferner geeignete Datenspeicher aufweisen, um ein Speichern der gesamten Daten, welche von dem Analysemittel übertragen wurden, zu ermöglichen. Das System ermöglicht ein Archivieren der Alarme und der Daten über Zeiträume von mehreren Monaten oder sogar Jahren. Diese Datenspeicher würden einem verantwortlichen Bediener in der Überwachungsorganisation ermöglichen, ein überwachtetes Transformatorverhalten gegen das zu vergleichen, welche zu früherer Zeit beobachtet wurde, und somit festzustellen, ob eine Ver-

änderung in dem Verhalten aufgetreten ist, das heißt eine Trendanalyse. In einer weiteren Ausführungsform würde das Kontrollmittel vorzugsweise geeignet sein, Daten zu empfangen, die von mehreren verschiedenen Analysemitteln übertragen werden, die mehrere verschiedene Transformatoren überwachen. Beispielsweise kann das Kontrollmittel, welches einer Energieerzeugungs- oder Verteilungsbehörde gehört, mit allen oder einem Anteil ihrer Transformatoren, die die Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung installiert aufweisen, in dem Netz vernetzt sein. Dies ermöglicht der Energieverteilungsbehörde die Funktion der Transformatoren in ihrem Netz zu überwachen ohne die Notwendigkeit, dass Wartungspersonal physikalisch an dem Ort eines jeden Transformators anwesend sein muss.

[0032] In einer Ausführungsform können die jeweiligen Messaufnehmer in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht sein. Das Gehäuse kann innerhalb der Wand des Transformators derart positioniert sein, dass eine Oberfläche eines jeden Messaufnehmers mit der innenseitigen Oberfläche der Wand zusammenfällt.

[0033] Der Messaufnehmer zum Detektieren von Ultraschallimpulsen umfasst vorzugsweise ein piezoelektrisches Element. Das piezoelektrische Element weist vorzugsweise eine erste Fläche und eine zweite Fläche auf. Das piezoelektrische Element weist vorzugsweise eine Dickenresonanzfrequenz zwischen ungefähr 50 und ungefähr 300 kHz, weiter vorzugsweise 60 bis 250 kHz und noch weiter vorzugsweise von ungefähr 190 kHz auf. Das piezoelektrische Element weist vorzugsweise eine maximale Betriebstemperatur von mindestens 100°C und weiter vorzugsweise von mindestens 120°C auf. Das piezoelektrische Element kann vorzugsweise außerdem mechanische Vibrationen von mindestens bis zu 5 g aushalten.

[0034] Das piezoelektrische Element ist weiterhin vorzugsweise ein Keramik-/Polymerverbundstoff. Das piezoelektrische Element weist vorzugsweise eine 1-3-Geometrie auf. Die Keramik kann aus der Gruppe bestehend aus polykristallinem Blei, Titanat, Bleizirkonattitanat (PZT), Bleiniobat oder Bariumtitanat ausgewählt werden. Das Polymer ist vorzugsweise ein heiß härtendes Polymer. Das heiß härtende Polymer kann aus der Gruppe bestehend aus Epoxidharz, Polyurethan, Silikon oder Bakelit ausgewählt werden.

[0035] Die Keramik in dem piezoelektrischen Element kann durch Sintern und Brennen von Oxiden oder Karbonaten von Barium, Titanat, Zirkonat und/oder Blei hergestellt werden, um eine keramische Scheibe auszubilden. Die gegenüberliegenden parallelen Flächen der keramischen Scheibe werden dann vorzugsweise mit einem geeigneten leitfähigen

Material beschichtet, um Elektroden auszubilden. Die keramische Scheibe wird dann vorzugsweise durch Eintauchen der Scheibe in heißes Öl und Anwenden eines elektrischen Gleichstromfeldes auf die Scheibe gepolt, während die Scheibe auf einer Temperatur von ungefähr 90°C gehalten wird. Das Öl kühlt dann vorzugsweise auf Raumtemperatur ab, während das elektrische Feld durch die Scheibe aufrechterhalten wird.

[0036] Sobald die Scheibe gepolt ist, wird sie an einem Aluminium- oder Epoxydblock durch Kleben einer Fläche der Scheibe an dem Block angebracht, wobei ein Epoxydklebstoff verwendet wird. Der Block wird dann vorzugsweise vorsichtig in der Aufspannvorrichtung einer Diamantsägenschneidmaschine erfasst, um einen Schaden an der keramischen Scheibe zu vermeiden. Die keramische Scheibe wird dann vorzugsweise mit einer mit einer Diamantschneide versehenen Säge aufgeschnitten, um eine Reihe von beabstandeten parallelen Schnitten auszubilden. Die Scheibe wird dann vorzugsweise mit Methanol gereinigt, um jegliche Ablagerung zu entfernen und dann mit dem heiß härtenden Polymer, wie zum Beispiel Epoxyd, vakuumverfüllt. Jegliches überschüssiges Epoxyd wird vorzugsweise durch Lappen entfernt, bevor die Scheibe wieder vorzugsweise durch die Schneidmaschine aufgeschnitten wird, um weiter eine Reihe von beabstandeten parallelen Schnitten auszubilden, welche in einem rechten Winkel zu der ersten Gruppe von Schnitten ist. Die Scheibe wird dann mit Methanol gereinigt bevor ein äußeres Gehäuse mit geringfügig größerem Durchmesser und geringfügig größerer Höhe vorzugsweise um die Scheibe angeordnet wird, bevor die Scheibe und das umgebende Gehäuse mit Epoxyd vakuumverfüllt wird. Das Ergebnis ist eine Gruppe von parallelen keramischen Säulen oder Stiften, die in dem Duroplaste epoxyd gehalten werden.

[0037] Das äußere Gehäuse stellt einen zusätzlichen Halt für die äußeren Stifte in dem Verbundstoff bereit und hilft, jegliches unbeabsichtigtes Brechen von ihnen zu verhindern, insbesondere wenn der Verbundstoff anschließend von dem Stützblock geschnitten wird. Das äußere Gehäuse ist ferner vorzugsweise aus einem heiß härtenden Polymer, wie zum Beispiel Epoxyd, ausgebildet. Das äußere Gehäuse dient weiterhin dazu, die seitliche Empfindlichkeit des Messaufnehmers auf Transversalwellen und seitliche Hochfrequenzvibrationen in der Transformatorwand, welche ohne Bezug zu Ultraschallwellen von Teilentladungen sind, zu verringern. Sobald der Verbundstoff von dem Stützblock entfernt ist, werden die ersten und zweiten Oberflächen des Verbundstoffs vorzugsweise unter Verwendung von 120er, 400er bzw. 600er Schmirgelpapier geläppt, um die keramischen Säulen freizulegen.

[0038] In einer bevorzugten Ausführungsform sind

die ersten und zweiten Oberflächen mit einem elektrisch leitfähigen Klebstoff beschichtet, wie zum Beispiel mit Silber angereichertes Epoxyd. Nach der Anwendung und vor dem Härten des mit Silber angereicherten Epoxyds werden elektrisch leitfähige Drahtgeflechtelektroden in das mit Silber angereicherte Epoxyd gedrückt und damit verklebt, um Elektroden für den Verbundstoffmessaufnehmer auszubilden. Das elektrisch leitfähige Drahtgeflecht ist vorzugsweise ein metallisches Drahtgeflecht und kann weiter vorzugsweise ein Messingdrahtgeflecht sein. Beim Ankleben ist der Durchmesser des metallischen Drahtgeflechts vorzugsweise größer als der der ersten und zweiten Oberflächen des Verbundstoffs. Sobald das Drahtgeflecht angebracht ist, kann es an den Durchmesser der ersten bzw. zweiten Oberflächen angepasst werden. Jeweils ein kleiner Anhänger des Drahtgeflechts wird vorzugsweise zurückbehalten, um eine betriebsbereite starke zuverlässige ohmsche elektrische Verbindung zu den Elektroden zu ermöglichen. Eine elektrische Verbindung zu den Anhängern wird vorzugsweise durch isolierte Kupferdrähte bereitgestellt, die an jeden Anhänger gelötet werden.

[0039] Der Verbundstoffmessaufnehmer weist vorzugsweise eine kurze Abklingzeit auf, so dass er sich schnell von einer Erkennung eines Ultraschallimpulses erholt und bereit ist, den nächsten zu detektieren. Um die Dämpfung des Messaufnehmers zu erhöhen, kann eine Rückplatte auf die zweite Oberfläche des Messaufnehmers geklebt werden. Die Rückplatte ist vorzugsweise aus einem mit Wolfram angereicherten Epoxyd ausgebildet.

[0040] Außerdem kann eine Anpassungsschicht an der ersten Oberfläche des Verbundstoffmessaufnehmers angebracht werden. Die Anpassungsschicht kann eine oder mehrere Schichten des in dem Verbundstoff verwendeten heiß härtenden Polymers umfassen. Die Dicke dieser Anpassungsschicht ist vorzugsweise ein Viertel der Wellenlänge der Messaufnehmerdickenresonanzfrequenz. Die Anpassungsschicht dient als ein akustischer Impedanzwandler zwischen der höheren akustischen Impedanz der Stifte und der des Öls, und verbessert somit die akustische Impedanzanpassung des gesamten Verbundstoffs. Die akustische Impedanz des Messaufnehmers entspricht vorzugsweise so genau wie möglich der akustischen Impedanz des Öls, um Reflektionen von longitudinalen Ultraschallwellen an der ersten Oberfläche des Messaufnehmers zu minimieren. Für eine maximale Übertragung ist die Anpassungsschicht vorzugsweise das geometrische Mittel von dem Verbundstoff und dem Öl. Die Anpassungsschicht dient außerdem als eine Verschleißplatte, um den Verbundstoff während der Benutzung zu schützen.

[0041] Der Verbundstoffmessaufnehmer kann ein

induktives Einstellbauteil aufweisen, welches elektrisch zwischen den Kupferdrähten, die mit den ersten und zweiten Oberflächenelektroden verbunden sind, verbunden ist, um die Empfindlichkeit weiter zu verbessern. Das induktive Einstellbauteil ist vorzugsweise abgeschirmt, um eine magnetische Strömung des induktiven Bauteils in dem Transformatorumfeld zu verhindern.

[0042] Sobald jeder Verbundstoffmessaufnehmer hergestellt ist, wird er vorzugsweise unter Verwendung eines Impedanzmessgerätes getestet, um die elektromechanische Kopplung des Messaufnehmers zu messen, wobei die elektromechanische Kopplung ein Maß für die Effizienz des Messaufnehmers beim Umwandeln mechanischer Energie in elektrische Energie aufgrund der Ultraschallwellen ist.

[0043] In einer anderen Ausführungsform für gasgefüllte Transformatoren kann der Ultraschallmessaufnehmer aus einem piezoelektrischen Polymermaterial gefertigt werden. In einer bevorzugten Ausführungsform kann das piezoelektrische Polymermaterial Polyvinylidenfluorid (PVDF) sein.

[0044] Das Messaufnehmermittel zur Detektion von Hochfrequenzimpulsen kann eine Antenne umfassen, welche aus der Gruppe einer Ferritkernantenne, einem abgestimmten Schwingkreis oder einer kapazitiven Metallplatte ausgewählt wird. Die kapazitive Metallplatte wird bevorzugt und weist vorzugsweise eine Kapazität zu Masse zwischen 20 pF und 250 pF auf. Die Platte weist vorzugsweise eine ringförmige Geometrie auf und kann aus Messing hergestellt werden. Die Fläche der ringförmigen Platte, die dielektrische Konstante des Isolators in dem Transformator und der Abstand der ringförmigen Platte und stützender einstellbarer Abstandshalter von der Transformatorwand (welche geerdet ist und die andere Platte der Kapazität ausbildet) bestimmen den Kapazitätswert.

[0045] Innerhalb des gemeinsamen Gehäuses ist das piezoelektrische Element vorzugsweise koaxial innerhalb der kapazitiven ringförmigen Platte angeordnet und derart ausgestaltet, dass das Dielektrikum die kapazitive Platte und alles außer einer Fläche des äußeren Gehäuses des piezoelektrischen Messaufnehmers umgibt. Es wird bevorzugt, dass alle Luftblasen in dem Dielektrikum durch Entgasen vor oder nach der Installation des Messaufnehmers entfernt werden. Ein Entlüftungsloch kann bereitgestellt werden, um sicherzustellen, dass der Raum um die Messaufnehmer vollständig mit Mineralöl gefüllt ist.

[0046] Sowohl die Ultraschall- als auch die Hochfrequenzmessaufnehmer können elektrisch und mechanisch an einer Leitungsdurchführungsplatte unter Verwendung dicker Kupferdrähte und eines oder mehrerer Bolzen befestigt werden. Einstellbare Ab-

standshalter um die Bolzen, welche die ringförmige Messingplatte stützen, ermöglichen, den Abstand zwischen der Platte und der Transformatorwand auf einen gewünschten Abstand einzustellen, wodurch eine Einstellung der Kapazität des Hochfrequenzmessaufnehmers ermöglicht wird.

[0047] Die Leitungsdurchführungsplatte besteht vorzugsweise aus einer geformten Epoxydplatte mit eingesetzten Messinggewindeverbindern. Wenn ein Kupferdraht mit einer Seite der Platte verbunden ist und ein Kupferdraht an der anderen Seite der Epoxydplatte angebracht ist, ist ein Stromdurchgang durch die Epoxydplatte von einer Seite zu der anderen bereitgestellt. Typischerweise weist die Leitungsdurchführungsplatte mehrere eingesetzte Messingverbinder auf. Einer dieser eingesetzten Messingverbinder kann verwendet werden, um den Ultraschallmessaufnehmer unter Verwendung eines Bolzens zu stützen, welcher in den Messaufnehmer eingegossen ist, zwei eingesetzte Verbinder können verwendet werden, um die dicken Kupferdrähte von dem Ultraschallmessaufnehmer zu verbinden, und drei oder mehr eingesetzte Verbinder können verwendet werden, um die ringförmige Messingplatte, welche als Hochfrequenzantenne verwendet wird, zu halten.

[0048] Die Epoxydleitungsdurchführungsplatte mit den daran angebrachten Messaufnehmern wird derart durch ein Loch in der Transformatorwand oder durch eine Inspektionsabdeckung angeordnet, dass die Messaufnehmer innerhalb des Transformators sind. Die Leitungsdurchführungsplatte ist dann vorzugsweise mit Neopren-O-Ringen oder gummierten Korkdichtungen abgedichtet und mit Metallflanschen in Position gehalten. Außerhalb des Transformators ist ein Metallgehäuse an den Flanschen angebracht.

[0049] Elektrische Verbindungen, welche geschirmte Koaxialkabel verwenden, werden vorzugsweise über die eingesetzten Messingverbinder in der Epoxydleitungsdurchführungsplatte von den Messaufnehmern zu einem Ultraschallmessaufnehmerschaltkreis und einem Hochfrequenzmessaufnehmerschaltkreis hergestellt. Dieser Schaltkreis ist vorzugsweise in einem kleinen Metallgehäuse untergebracht. Dieses kleine Gehäuse passt vorzugsweise in das größere Metallgehäuse, welches an den Flanschen angebracht ist. Geschirmte verdrehte Zweidrahtleitungen verbinden dann vorzugsweise die Ausgänge des Ultraschallmessaufnehmerschaltkreises und des Hochfrequenzmessaufnehmerschaltkreises in dem Metallgehäuse mit isolierten Leitungsdurchführungsanschlüssen in der Seite des Metallgehäuses. Der Deckel des Gehäuses, welcher vorzugsweise auf einer gummierten Korkdichtung sitzt, wird dann vorzugsweise derart in Position geklemmt, dass die gesamte Anordnung wasserdicht und termiten- und ungezieferresistent ist.

[0050] Der Ultraschallmessaufnehmerprozessor, welcher die Signale zwischen dem Messaufnehmer und dem Analysemittel überträgt, umfasst vorzugsweise in Folge einen Verstärker, einen Präzisionsgleichrichter, ein 125 kHz Hochpassfilter, ein 1 kHz Tiefpassfilter, einen Verstärker und einen Puffer mit einem Analogausgang. Der Hochfrequenzmessaufnehmerprozessor, welcher die Signale zwischen dem Hochfrequenzmessaufnehmer und dem Analysemittel überträgt, umfasst vorzugsweise in Folge einen 1-70 MHz Vorverstärker, einen Präzisionsgleichrichter, ein 1 MHz Tiefpassfilter, einen Hochgeschwindigkeitsvergleichler und einen Monoshot mit optisch isoliertem Digitalausgang. Alle elektronischen Komponenten in den elektronischen Verarbeitungsvorrichtungen sind vorzugsweise geeignet, hohen Temperaturen zu widerstehen, das heißt militärischen Anforderungen von 120°C, wegen der möglichen Temperaturen in den Kopfg Gehäusen an der Oberseite des Transformators.

[0051] Wo erforderlich, werden im Folgenden die Messaufnehmer, die Epoxyleitungsdurchführungsplatte, die Verbinder, die geschirmten Kabel, die Dichtungen, die Abstandshalter, das Metallgehäuse, der Ultraschallmessaufnehmerschaltkreis, der Hochfrequenzschaltkreis und der Deckel zusammen als „Kopf“ bezeichnet.

[0052] Von den Ausgängen der Ultraschall- und Hochfrequenzmessaufnehmerschaltkreise werden elektrische Ausgabesignale für den Mikroprozessor des Analysemittels über geschirmte verdrehte Zweidrahtkabel bereitgestellt. Die Ausgabe des Mikroprozessors kann über optische Glasfaserkabel an einen Computer mit einem angekoppelten Modem gekoppelt werden. Der Computer kann ausgestaltet sein, Alarmbedingungen auf einem Computermonitor anzuzeigen oder kann die Alarmbedingungen über das Modem und ein Telefon oder ein anderes Kommunikationsnetz zu dem entfernt angeordneten Kontrollmittel übertragen.

[0053] Für die meisten Installationen muss das System normalerweise geeignet sein, Umgebungstemperaturen in einem Bereich von -25°C bis +120°C zu widerstehen. Mit speziellen Komponenten kann dieser Bereich jedoch auf -35°C bis +120°C erweitert werden. Eine spezielle elektronische Ausschaltvorrichtung, welche auf +110°C eingestellt ist, kann eingebaut werden, um das System auszuschalten und zu schützen. Der mögliche Arbeitsbereich ist daher -35°C bis +110°C, welcher hinreichend für die meisten Installationen ist.

[0054] In einer weiteren Ausführungsform kann die Stelle einer Teilentladungsquelle innerhalb eines Hochspannungstransformators durch Analyse der Signalausgaben von mindestens drei Messaufnehmerköpfen, welche innerhalb der Wand des Transforma-

tors angebracht sind, dreidimensional bestimmt werden. Wenn eine Teilentladung erkannt ist, bestimmen die Analysemittel vorzugsweise die Verzögerungszeit an jedem Messaufnehmerkopf und berechnen dann die Stelle der Teilentladungsquelle durch Triangulation. Es ist verständlich, dass die Auflösung der Stelle unter Beachtung einer Schwankung der Geschwindigkeiten der Ultraschallwellen in verschiedenen Materialien in dem Transformator, unter Beachtung einer Brechung an Schnittstellen und durch Iteration, welche die wahrscheinlichsten akustischen Pfade der Ultraschallimpulse von der Teilentladungsquelle zu jedem der drei Köpfe findet, verbessert werden kann.

[0055] In noch einer weiteren Ausführungsform kann die Vorrichtung, nach einer Installation einer Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung in einem Transformator, getestet und kalibriert werden. Derartiges Testen und Kalibrieren kann durch Anordnen eines Teilentladungserzeugers in dem Transformator durchgeführt werden, um einen Fehler in der Isolation des Transformators zu simulieren. Indem die Pegel der Teilentladungen, welche in den Transformator eingespeist werden, variiert werden, ist es möglich, die Empfindlichkeitspegel der Vorrichtung einzustellen. Sobald ein Testen und Kalibrieren fertiggestellt ist, kann der Teilentladungserzeuger entfernt werden.

[0056] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst die Messaufnehmereinheit eine piezoelektrische Verbundstoffscheibe zur Detektion von Ultraschallimpulsen oder -wellen und zum nachfolgenden Ausgeben eines Signals entsprechend dieser Detektion, wobei das piezoelektrische Element Elektroden aufweist, welche an einer ersten Oberfläche und einer zweiten Oberfläche ausgebildet sind, wobei die Elektroden aus einem elektrisch leitfähigen Metalldrahtgeflechtmaterial ausgebildet sind, welches in einen elektrisch leitfähigen Klebstoff gedrückt ist; und eine ringförmige kapazitive Platte zur Detektion von Hochfrequenzimpulsen oder Hochfrequenzwellen und zum nachfolgenden Ausgeben eines elektrischen Signals gemäß dieser Detektion.

[0057] In einer bevorzugten Ausführungsform dieser weiteren Ausführungsform ist der elektrisch leitfähige Klebstoff ein mit Silber angereichertes Epoxyd, welches auf den ersten und zweiten Oberflächen aufgetragen ist. Das elektrisch leitfähige Drahtgeflecht ist vorzugsweise ein Messing- oder Kupferdrahtgeflecht. Der Durchmesser des metallischen Drahtgeflechts ist vorzugsweise größer als der der ersten und zweiten Oberflächen des Verbundstoffs. Sobald das Drahtgeflecht angebracht ist, kann es auf den Durchmesser der ersten bzw. zweiten Oberflächen angepasst werden. Jeweils ein kleiner Anhänger des Drahtgeflechts wird vorzugsweise zurückbehalten um einen betriebsbereiten elektrischen Anschluss für die Elektroden zu ermöglichen. Ein elektrischer An-

schluss mit den Anhängern wird vorzugsweise durch isolierte oder lackierte Kupferdrähte bereitgestellt, welche an jeden Anhänger gelötet sind.

[0058] In anderen Ausführungsformen kann die Messaufnehmereinheit die Merkmale wie oben beschrieben bezogen auf den ersten Aspekt der Erfindung aufweisen.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0059] Nur beispielhaft wird eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben werden, in welchen:

[0060] [Fig. 1](#) eine teilweise Querschnittsansicht ist, welche einen Messaufnehmerkopf einer Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt, welcher in der Wand eines Transformators angeordnet ist;

[0061] [Fig. 2](#) eine Querschnittsansicht des Ultraschalldetektors innerhalb des Messaufnehmerkopfes ist;

[0062] [Fig. 3](#) eine schematische Ansicht der Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung ist;

[0063] [Fig. 4](#) eine schematische Ansicht des Ultraschallsignal- und Hochfrequenzsignalprozessors der in [Fig. 3](#) dargestellte Vorrichtung ist;

[0064] [Fig. 5](#) ein Graph ist, welcher die Prozessorausgabe einer Ausführungsform eines Mikroprozessors in der Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung über der Zeit darstellt, welche einer Detektion eines Hochfrequenzsignals und eines Ultraschallsignals folgt;

[0065] [Fig. 6](#) ein Histogramm von Zählwerten von mehreren Streubreiten von Verzögerungszeitwerten ist, welches von dem Mikroprozessor der vorliegenden Erfindung erzeugt wurde; und

[0066] [Fig. 7](#) ein Ablaufdiagramm für die Erzeugung unterschiedlicher Alarmklassen durch den Mikroprozessor gemäß der vorliegenden Erfindung ist.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung

[0067] Der Messaufnehmerkopf einer Vorrichtung zum Überwachen von Teilentladungen in angeschlossenen Hochspannungstransformatoren ist im Allgemeinen in den Zeichnungen als **10** gezeigt.

[0068] Wie in [Fig. 1](#) dargestellt, ist der Messaufnehmerkopf **10** innerhalb einer Wand **11** eines Transformators **12**, welcher Mineralöl **13** enthält, angebracht. Der Messaufnehmerkopf **10** umfasst ein Metallgehäuse **14** mit einem Metalldeckel **14a**, innerhalb wel-

chem eine ringförmige kapazitive Messingplatte **15** für die Detektion von Hochfrequenzimpulsen und ein Ultraschallmessaufnehmer **16**, welcher als Detektor für Ultraschallimpulse arbeitet, angeordnet ist. Die Platte **15** und der Messaufnehmer **16** sind derart angeordnet, dass sie mit der inneren Oberfläche der Wand **11** des Transformators **12** zusammenfallen, obwohl dies nicht entscheidend ist.

[0069] Wie in [Fig. 2](#) deutlicher dargestellt ist, ist der Ultraschallmessaufnehmer **16** ein Keramik/Polymerverbundstoff mit einer 1-3-Geometrie, das heißt die Keramik ist in einer Richtung ausgerichtet, während das Polymer drei Richtungen aufweist. Die Keramik innerhalb des Messaufnehmers **16** ist Bleizirkonattitanat (PZT), andere geeignete piezoelektrische keramische Materialien können jedoch verwendet werden. Das Polymer in dem Verbundstoff ist ein heiß härtendes Epoxydharz. Während der Herstellung wird der Ultraschallmessaufnehmer **16** in einem Epoxydgehäuse **29** verkapselt. Sobald das Gehäuse **29** in dem Messaufnehmerkopf **10** installiert ist, wird es mit einem Befestigungsbolzen **31** an einer Leitungsdurchführungsplatte **32** angebracht. Das Gehäuse **29** weist eine erste Fläche **33** und eine zweite Fläche **34** auf.

[0070] Innerhalb des Gehäuses **29** ist eine Epoxydanpassungsschicht **35**, welche sich von der ersten Fläche **33** nach außen erstreckt. Die Anpassungsschicht **35** ist für Mineralöl **13** undurchlässig und weist einen niedrigen akustischen Widerstand in Mineralöl für Ultraschallimpulse auf, wodurch eine Detektion mit geringer Reflektion eines Ultraschallimpulses von einer Teilentladung möglich ist. Die Dicke der Anpassungsschicht **35** beträgt ein Viertel der Wellenlänge der Messaufnehmerdickenresonanzfrequenz. Von der zweiten Fläche **34** erstreckt sich nach außen eine Rückplatte **36**, welche aus mit Wolframpartikeln angereichertem Epoxydharz ausgebildet ist, welches im Wesentlichen undurchlässig für Ultraschallimpulse ist. Die Wolframanreicherung des Epoxyds in der Rückplatte **36** dient zum Sicherstellen, dass keine Reflektion von Ultraschallsignalen von der Leitungsdurchführungsplatte **32** von dem Ultraschallmessaufnehmer **16** detektiert wird und hilft außerdem, zu verhindern, dass Ultraschallimpulse, welche sich in der Wand **11** des Transformators **12** fortpflanzen, zu dem Ultraschallmessaufnehmer **16** übertragen werden.

[0071] Jede Seite des Ultraschallmessaufnehmers **16** weist eine Elektrode **37** für das Sammeln einer Ladung auf. Jede Elektrode **37** umfasst eine Schicht aus mit Silber angereichertem Epoxydklebstoff, in welche eine dünne Messingdrahtgeflechtlage eingedrückt wurde.

[0072] Elektrisches Verbinden einer jeden Elektrode **37** erfolgt durch verzinkten Kupferdraht **38** und lackierten Kupferdraht **39**. Obwohl nicht dargestellt,

kann eine Abstimminduktivität zwischen den Kupferdrähten elektrisch angeschlossen werden.

[0073] Der Ultraschallmessaufnehmer **16** ist koaxial innerhalb der ringförmigen Platte **15** derart angeordnet, dass das Mineralöl **13** die Platte **15** und alles außer einer Fläche des Gehäuses **29** umgibt. Die ringförmige Platte **15** kann eine Kapazität bezüglich Masse zwischen 20 und 250 pF aufweisen und ist aus Messing gefertigt.

[0074] Die Leitungsdurchführungsplatte **32**, welche durch Flansche **9** in Position gehalten wird, besteht aus einer aus Epoxyd geformten Platte mit eingesetzten Messinggewindeverbindern. Zwei eingesetzte Verbinder in der Leitungsdurchführungsplatte **32** können als elektrische Verbindung durch die Platte **32** von dem Kupferdraht **39**, welcher sich von dem Ultraschallmessaufnehmer **16** erstreckt, zu koaxialen Kabeln, welche sich zu dem Ultraschallmessaufnehmerschaltkreis **40** erstrecken, verwendet werden. Zwei oder drei einstellbare eingesetzt Messinggewindeverbinder **15a** werden verwendet, um die ringförmige Platte **15** zu halten und um außerdem eine elektrische Verbindung für die elektrischen Signale, welche von der Platte **15** empfangen werden, durch die Platte **32** zu dem Hochfrequenzsignalprozessor **21** zu leiten, bereitzustellen (siehe [Fig. 3](#)).

[0075] Die elektronische Schaltung des Ultraschall-signalprozessors **40** und der Hochfrequenzsignalprozessor **21** sind in einem kleinen Metallgehäuse **17** innerhalb des Gehäuses **14**, welches an der äußeren Wand des Transformators **12** angebracht ist, untergebracht. Eine elektromagnetische Rauschabschirmung **18** umgibt außerdem die Platte **32**. Energie für die Prozessoren **21**, **40** wird von einer (nicht dargestellten) Energieversorgung bereitgestellt, welche Energie durch ein Kabel **19**, welches in das Gehäuse **14** eindringt, liefert.

[0076] Wie in [Fig. 4](#) dargestellt, umfasst der Ultraschall-detektorsignalprozessor **40**, welcher die Signale von dem Ultraschallmessaufnehmer **16** empfängt und sie zu dem Analysemittel **50** weiterleitet, in Folge einen Vorverstärker **41**, einen Präzisionsgleichrichter **42**, ein 125 kHz Hochpassfilter **43**, ein 1 kHz Tiefpassfilter **44**, eine Verstärker und einen Puffer **45** mit einem analogen Ausgang **46**.

[0077] Der Hochfrequenzsignalprozessor **21** umfasst in Folge einen 1-70 MHz Vorverstärker **22**, einen Präzisionsgleichrichter **23**, ein 1 MHz Tiefpassfilter **24**, einen Hochgeschwindigkeitsvergleicher **25** und einen Monoshot **26** mit einem digitalen Ausgang **27**.

[0078] Die verstärkten elektrische Signale von dem Hochfrequenzausgang **27** und dem Ultraschallausgang **46** des Messaufnehmerkopfs **10** werden über

koaxial geschirmte Kabel zu dem Analysemittel **50** übertragen.

[0079] Das Analysemittel **50** umfasst einen Mikroprozessor **51**, welcher die ankommenden Signale unter der Steuerung einer geeigneten Softwareanleitung verarbeitet.

[0080] Entweder bei der Installation oder nach der Installation wird die Software des Mikroprozessors **51** kalibriert. Diese Kalibrierung enthält ein Einstellen eines Wertes, welcher der vorgegebene Zeitraum sein wird, welcher der Zeit der Detektion eines Ultraschallimpulses vorangeht. Der vorgegebene Zeitraum würde normalerweise größer gesetzt werden als die maximal mögliche Verzögerungszeit, welche zwischen einem detektierten Hochfrequenzimpuls und einem detektierten Ultraschallimpuls existieren kann, welche durch die Abmessungen des Transformators **12**, in welchem die Vorrichtung installiert ist, gegeben ist. Im Normalfall wird der vorgegebene Zeitraum in dem dargestellten Mikroprozessor **51** auf ungefähr 4 ms gesetzt werden.

[0081] Zur Zeit der Kalibrierung ist es auch normal, den bestimmten Zeitraum einzustellen, aus dem der Mikroprozessor **51** alle Streubreiten von Verzögerungszeitwerten, welche zwischen detektierten Hochfrequenz- und Ultraschallimpulsen gemessen wurden, auswählen und überlagern wird. Im Normalfall und zum Zwecke der folgenden Beschreibung ist der bestimmte Zeitraum auf die vorhergehenden 2 Sekunden gesetzt.

[0082] Zur Zeit des Kalibrierens ist es auch normal, die Empfindlichkeit der Vorrichtung einzustellen. Zum Beispiel kann der Mikroprozessor **51** eingestellt sein, Signale zu ignorieren, welche von dem Ultraschallmessaufnehmer **16** und/oder dem Hochfrequenzdetektor **15** übertragen wurden, die unterhalb einer bestimmten Amplitude und/oder Wiederholfrequenz sind. Während des Kalibrierens kann ferner die vorher festgelegte Amplitudeneinstellung vorgegeben werden, welche die Klasse eines Alarms festlegt, der von dem Mikroprozessor **51** erhoben wird.

[0083] Im Betrieb bestimmt der Mikroprozessor **51** nach Empfang eines Signals von dem Schaltkreis **40**, welches einem Ultraschallimpuls entspricht, innerhalb des vorgegebenen Zeitraums von 4 ms die Verzögerungszeit zwischen der Detektion eines beliebigen detektierten Hochfrequenzimpulses und der Detektion eines Ultraschallimpulses und erzeugt eine Streubreite von Zählwerten von Verzögerungszeitwerten über den 4 ms Zeitraum. Diese Streubreite der Verzögerungszeitwerte wird dann von dem Mikroprozessor **51** mit anderen festgestellten Streubreiten von Verzögerungszeitwerten, welche in den vorhergehenden 2 Sekunden erzeugt wurden, überlagert. Die Überlagerung der mehreren Streubreiten

wird verwendet, um ein Histogramm wie in [Fig. 6](#) dargestellt auszubilden. Da sich der Verzögerungszeitwert, wie in [Fig. 5](#) dargestellt, für eine bestimmte Teilentladungsstelle nicht verändert, entwickelt sich in dem Histogramm eine Spitze, welche diesen Verzögerungszeitwert von anderen Zeitverzögerungswerten, die ein Ergebnis eines asynchronen elektrischen Rauschens innerhalb des Transformators sind, unterscheidet. Obwohl nicht dargestellt, kann vorausgesehen werden, dass zwei Spitzen in dem Histogramm erzeugt werden würden, wenn zwei Orte mit Teilentladungen innerhalb des Transformators vorhanden sind, solange der Abstand zwischen jedem Ort und dem Messaufnehmerkopf unterschiedlich ist.

[0084] Sobald der Mikroprozessor **51** festgestellt hat, dass eine Verzögerungszeit zwischen einem detektierten Hochfrequenz- und Ultraschallimpuls in dem Transformator vorliegt, können die Eigenschaften des detektierten Ultraschallimpulses mit vorher eingestellten Einstellungen verglichen werden. Wie in [Fig. 7](#) dargestellt, wenn die Amplitude und/oder die Wiederholfrequenz eines Ultraschallimpulses größer als eine vorher eingestellte Einstellung ist, welche betrachtet wird, einen hohen Ultraschallpegel darzustellen, kann der Mikroprozessor einen Klasse 1-Alarmtyp betätigen. Wenn die Ultraschallamplitude und/oder Wiederholfrequenz keinen hohen Pegel aufweist, kann der Mikroprozessor **52** einen Klasse 2-Alarmtyp betätigen.

[0085] Wie außerdem in [Fig. 6](#) dargestellt, kann der Mikroprozessor **51** ausgestaltet sein, sogar noch in den Umständen, in denen keine Spitze von Verzögerungszeitwerten festgestellt wurde, einen Alarm zu betätigen. Beispielsweise können einfach aufgrund einer Detektion von hohen oder mittleren Pegeln von Ultraschallimpulsen unterschiedliche Alarmtypen betätigt werden.

[0086] Dadurch, dass der Mikroprozessor **51** geeignet ist, unterschiedliche Alarmklassen zu betätigen, kann er nicht nur als eine Anzeigeeinrichtung für das Vorhandensein eines Fehlers in der Transformatorisolation verwendet werden, sondern auch als einen Anzeigeeinrichtung für die Ernsthaftigkeit des Fehlers und der Häufigkeit der Beeinträchtigung des Transformators. Beispielsweise kann eine Betätigung eines Klasse 4-Alarmtyps nicht als erheblicher Grund zur Besorgnis betrachtet werden, aber kann zumindest gewährleisten, dass dieser Transformator in Zukunft genauer überwacht wird. Es kann außerdem bedeuten, dass der Transformator früher als erwartet einer routinemäßigen Wartung unterzogen werden sollte. Demgegenüber kann ein Klasse 1-Alarmtyp als erheblicher Grund zur Besorgnis betrachtet werden und sofortiges oder relativ schnelles Abschalten des Transformators begründen, um ein geeignetes Testen vor Ort zu ermöglichen.

[0087] Es wird erwartet, dass in dem Fall, in dem ein Fehler allmählich in der Isolation eines Transformators auftritt, mindestens ein Klasse 2-Alarmtyp und möglicherweise ein Klasse 3- oder Klasse 4-Alarmtyp vor der Betätigung eines Klasse 1-Alarmtyps betätigt wird. Beispielsweise stellt ein Überwachen der Häufigkeit der Betätigung eines der Alarmtypen aus Klasse 4 bis 1 außerdem ein Anzeichen dafür bereit, wie schnell die Ernsthaftigkeit des Fehlers in der Isolation des Transformators ansteigt.

[0088] In der dargestellten Ausführungsform umfasst der Alarm, der von dem Mikroprozessor **51** betätigt wird, eine Nachricht auf einem Computermonitor **52**, die die Klasse des Alarms, welcher von dem Mikroprozessor **51** betätigt wurde, anzeigt. Ein entsprechender akustischer Alarm kann außerdem betätigt werden.

[0089] Das Analysemittel **50** kann mit einer zentralen Steuerung **60**, wie zum Beispiel einer Monitoranzeige eines PCs und einer Datenaufzeichnungsvorrichtung, vernetzt sein. Die Monitoranzeige des PCs und die Datenaufzeichnungsvorrichtung können dicht oder weit entfernt von dem Transformator **12**, welcher überwacht wird, angeordnet sein. Zum Beispiel können das Analysemittel **50** und eine PC-Monitoranzeige und eine Datenaufzeichnungsvorrichtung **60** über ein Telekommunikationsnetz, wie zum Beispiel ein Telefonnetz, vernetzt sein. Es ist vorstellbar, dass in einem System ein Analysemittel **50** durchgängig in Verbindung mit der PC-Monitoranzeige und der Datenaufzeichnungsvorrichtung **60** ist. In einer anderen Ausführungsform kann ein Modem, welches mit dem Analysemittel **50** verbunden ist, geeignet sein, ein Modem in der PC-Monitoranzeige und der Datenaufzeichnungsvorrichtung **60** anzuschließen oder umgekehrt und einen Datentransfer soweit erforderlich zu ermöglichen. Das Anschließen der Modems kann, wie von der Überwachungsorganisation als notwendig betrachtet, periodisch durchgeführt werden. Während das Analysemittel **50** Daten zu der PC-Monitoranzeige und der Datenaufzeichnungsvorrichtung **60** herunterlädt, wird erwartet, dass die PC-Monitoranzeige und die Datenaufzeichnungsvorrichtung **60** Anweisungen für das Analysemittel **50** zur Verfügung stellen können. Derartige Anweisungen können verwendet werden, um online Einstellungen an den Einstellungen der Softwareanleitungen, die auf dem Mikroprozessor **51** laufen, zu ermöglichen.

[0090] Obwohl die PC-Monitoranzeige und die Datenaufzeichnungsvorrichtung **60** vernetzt dargestellt sind, um nur ein Analysemittel **50** einzustellen, ist verständlich, dass sie mit mehreren Analysemitteln **50**, die an verschiedenen Transformatoren an vielen verschiedenen Orten angebracht sind, vernetzt sein können. Dies ermöglicht zum Beispiel einer Energieübertragungsbehörde die Funktion der Transformato-

ren in ihrem Netz zu überwachen, ohne dass es nötig ist, dass Wartungspersonal an dem Ort eines jeden Transformators anwesend ist. Dies ist attraktiv für entfernt gelegene Orte in ländlichen Gegenden.

[0091] Es ist selbstverständlich, dass Fachleute verschiedene Abweichungen oder Veränderungen der Erfindung, wie sie in speziellen Ausführungsformen gezeigt ist, ersinnen können, ohne von dem Umfang der Erfindung, wie er durch die folgenden Ansprüche definiert ist, abzuweichen. Die vorliegenden Ausführungsformen sind daher in jeder Hinsicht als veranschaulichend und nicht beschränkend zu betrachten.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Detektieren von Teilentladungen in einer angeschlossenen elektrischen Hochspannungseinrichtung, die ein Dielektrikum enthält, wobei jede Teilentladung einen Hochfrequenzimpuls oder eine Hochfrequenzwelle und einen Ultraschallimpuls oder eine Ultraschallwelle erzeugt, wobei die Vorrichtung umfasst:

mindestens ein Messaufnehmermittel zum Detektieren des/der durch das Auftreten der Teilentladung erzeugten Ultraschallimpulses oder -welle und zum anschließenden Ausgeben eines Signals entsprechend dieser Detektion;

mindestens ein Messaufnehmermittel zum Erzeugen des/der durch das Auftreten einer Teilentladung erzeugten Hochfrequenzimpulses oder -welle und andere Hochfrequenzimpulse oder -wellen, die innerhalb oder außerhalb der Einrichtung erzeugt wurden, und zum anschließenden Ausgeben eines Signals entsprechend dieser Detektierung; und

ein Mittel zur Signalverarbeitung und -analyse, welches ausgestaltet ist, die der Detektion der Hochfrequenz- und Ultraschallimpulse oder -wellen entsprechenden Signale zu empfangen, und welches bei Empfang eines der Detektion eines Ultraschallimpulses oder einer Ultraschallwelle entsprechendes Signal ausgestaltet ist, um:

(a) die Verzögerungszeit zwischen dem Vorgang der Detektion von allen detektierten Hochfrequenzimpulsen oder -wellen und dem Vorgang der Detektion der Ultraschallimpulse oder -wellen innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums, der dem Vorgang der Detektion des Ultraschallimpulses oder der Ultraschallwelle voranging, zu bestimmen, und eine Streubreite von Verzögerungszeitwerten über dem vorgegebenen Zeitraum zu erzeugen; und **dadurch gekennzeichnet**,

dass es ferner ausgestaltet ist, um:

(b) die Streubreite der Verzögerungszeitwerte gegen andere Streubreiten von Verzögerungszeitwerten von mehreren anderen detektierten Ultraschallimpulsen oder Ultraschallwellen zu überlagern; und

(c) die überlagerten Streubreiten der Verzögerungszeitwerte zu analysieren, um zu bestimmen, ob ein

Anteil der detektierten Ultraschallimpulse oder Ultraschallwellen bei einem oder mehreren bestimmten Verzögerungszeitwerten nach dem Zeitpunkt der Detektion der detektierten Hochfrequenzimpulse oder -wellen detektiert werden.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das jeweilige Messaufnehmermittel ausgestaltet ist, die elektrische Einrichtung kontinuierlich zu überwachen.

3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei der vorgegebene Zeitraum, welcher der Zeit der Detektion der Ultraschallimpulse vorausgeht, größer gewählt ist als die maximal mögliche Verzögerungszeit, die zwischen einem detektierten Hochfrequenzimpuls und einem detektierten Ultraschallimpuls in der elektrischen Einrichtung existieren kann.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der vorgegebene Zeitraum zwischen 1 ms und 10 ms, vorzugsweise zwischen 2 ms und 6 ms und weiter vorzugsweise auf 4 ms festgelegt ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Signalverarbeitungssoftware und das Analysemittel ausgestaltet sind, alle Streubreiten, die innerhalb einer bestimmten Zeit erzeugt wurden, zu überlagern.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei das Analysemittel ausgestaltet ist, alle Streubreiten, die in einem bestimmten Zeitraum, der gerade dem Schritt der Überlagerung der Streubreiten voranging, erzeugt wurden, zu überlagern.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei der Zeitraum zwischen 0,1 und 10 Sekunden, vorzugsweise zwischen 1 und 8 Sekunden sein kann und weiter vorzugsweise 2 Sekunden beträgt.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Analysemittel ein von geeigneten Softwarebefehlen gesteuertes Mikroprozessormittel umfasst.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei die Software des Mikroprozessors ausgestaltet ist, die Anzahl der bestimmten Verzögerungszeitwerte innerhalb einer Streubreite von Verzögerungszeitwerten statistisch zu zählen und diese Zählwerte mit den Zählwerten, die aus mehreren solchen Streubreiten, die aufgrund der Detektion von anderen Ultraschallimpulsen innerhalb des bestimmten vorgegebenen Zeitraums erzeugt wurden, gebildet wurden, zu überlagern, um ein Histogramm von Zählwerten über Verzögerungszeitwerten zu bilden.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Ultraschallmessaufnehmer-

mittel bei Detektion eines Ultraschallimpulses ferner ausgestaltet ist, ein Signal, welches die Amplitude des detektierten Ultraschallimpulses darstellt, auszugeben.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, wobei das Analysemittel ausgestaltet ist, keine weitere Analyse des Ultraschallsignals auszuführen, wenn die Amplitude des Ultraschallimpulses, der zu der Erzeugung des Signals führte, unterhalb einer vorgegebenen Amplitudeneinstellung ist.

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Hochfrequenzmessaufnehmermittel bei Detektion eines Hochfrequenzimpulses auch ausgestaltet ist, ein Signal, welches die Amplitude des detektierten Hochfrequenzimpulses repräsentiert, auszugeben.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, wobei das Analysemittel ausgestaltet ist, Signale, die Hochfrequenzimpulse kleiner als eine vorgegebene Amplitudeneinstellung darstellen, nicht zu berücksichtigen.

14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Analysemittel ausgestaltet ist, unterschiedliche Typen von Alarmmitteln in Abhängigkeit von der Eigenschaft der detektierten Ultraschallimpulse zu betätigen.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei die Alarmmittel optische und/oder akustische Mittel umfassen.

16. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, wobei das Alarmmittel physikalisch nahe bei dem überwachten Transformator oder an etwas entfernter Stelle angeordnet ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14-16, wobei das Analysemittel ein Datenspeichermittel aufweist, welche ausgestaltet ist, alle von den jeweiligen Messaufnehmermitteln empfangenen Signale und/oder die erzeugten Überlagerungen der Streubreiten der Verzögerungszeitwerte zu speichern.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, wobei die Daten, die in dem Datenspeichermittel gespeichert sind, zu einem Steuermittel an einer lokalen oder entfernten Position entweder auf Anfrage eines Bedieners oder automatisch herunterladbar sind.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, wobei das Steuermittel an das Personal, welches für die Überwachung der Funktion des Transformators zuständig ist, eine entsprechende Meldung liefert, wenn es ein Signal empfängt, welches die Aktivierung eines Alarmmittels anzeigt.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 oder 19, wobei das Steuermittel ausgestaltet ist, um Daten, die von mehreren verschiedenen Analysemiteln übertragen werden, zu empfangen.

21. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die jeweiligen Messaufnehmermittel in einem gemeinsamen Gehäuse, welches innerhalb einer Wand von der elektrischen Einrichtung positionierbar ist, so dass eine Oberfläche eines jeden Messaufnehmermittels mit der innenseitigen Oberfläche der Wand zusammenfällt, untergebracht sind.

22. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Messaufnehmermittel zur Detektion der Ultraschallimpulse ein piezoelektrisches Element, welches eine erste Fläche und eine zweite Fläche besitzt, aufweist, wobei das piezoelektrische Element eine Dickenresonanzfrequenz zwischen 50 und 300 kHz, vorzugsweise 60 bis 250 kHz und weiter vorzugsweise von 190 kHz besitzt.

23. Vorrichtung nach Anspruch 22, wobei das piezoelektrische Element ein Keramik/Polymerverbundstoff ist, der eine 1-3-Geometrie besitzt, wobei die Keramik aus der Gruppe bestehend aus polykristallinem Bleititanat, Bleizirkonattitanat, Bleiniobat oder Bariumtitanat ausgewählt ist.

24. Vorrichtung nach einer der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Messaufnehmermittel zur Detektion der Hochfrequenzimpulse eine Antenne ist, die aus der Gruppe einer Ferritkernantenne, einem abgestimmten Schwingkreis oder einer kapazitiven Metallplatte ausgewählt ist.

25. Vorrichtung nach Anspruch 24, wobei die Antenne eine kapazitive Metallplatte ist, die eine ringförmige Geometrie besitzt.

26. Vorrichtung nach Anspruch 25, wobei das piezoelektrische Element koaxial innerhalb der kapazitiven ringförmigen Platte angeordnet ist.

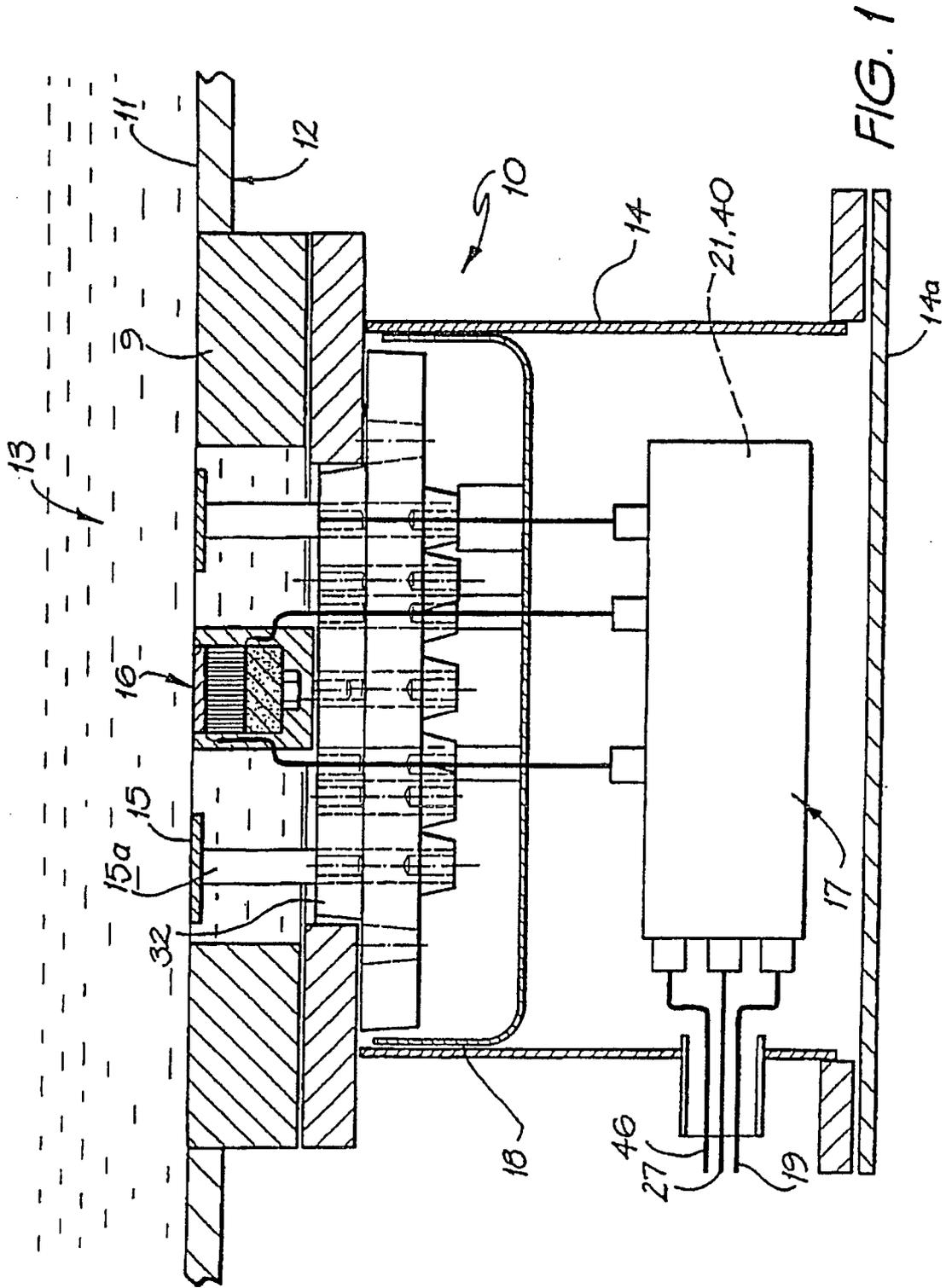
27. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Ort einer Teilentladungsquelle innerhalb der elektrischen Hochspannungseinrichtung derart ist, um durch Analyse der Signalausgaben von mindestens drei Messaufnehmerköpfen, die innerhalb einer Wand der elektrischen Einrichtung untergebracht sind, bestimmt zu werden.

28. Verfahren zur Detektion von Teilentladungen in einer angeschlossenen elektrischen Einrichtung, die ein Dielektrikum enthält, wobei jede Teilentladung einen Hochfrequenzimpuls oder eine Hochfrequenzwelle und einen Ultraschallimpuls oder eine Ultraschallwelle erzeugt, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:

(i) Detektion von Hochfrequenzimpulsen oder -wel-

len, die innerhalb der Einrichtung erzeugt wurden,
(ii) Detektion von Ultraschallimpulsen oder -wellen, die innerhalb der Einrichtung erzeugt wurden;
(iii) bei Detektion eines Ultraschallimpulses oder einer Ultraschallwelle Bestimmung der Verzögerungszeit zwischen dem Vorgang der Detektion aller detektierten Hochfrequenzimpulse oder -wellen und dem Vorgang der Detektion des Ultraschallimpulses oder der Ultraschallwelle innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums, der dem Vorgang der Zeit der Detektion des Ultraschallimpulses oder der Ultraschallwelle vorangegangen ist, und Erzeugung einer Streubreite von Verzögerungszeitwerten über dem vorgegebenen Zeitraum; und gekennzeichnet durch
(iv) Überlagern der Streubreite der Verzögerungszeitwerte mit anderen Streubreiten von Verzögerungszeitwerten von mehreren anderen detektierten Ultraschallimpulsen oder -wellen; und
(v) Analysieren der überlagerten Streubreiten der Verzögerungszeitwerte, um zu bestimmen, ob ein Anteil der detektierten Ultraschallimpulse oder -wellen bei einem oder mehreren bestimmten Verzögerungszeitwerten nach der Zeit der Detektion der detektierten Hochfrequenzimpulse oder -wellen detektiert wurden.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen



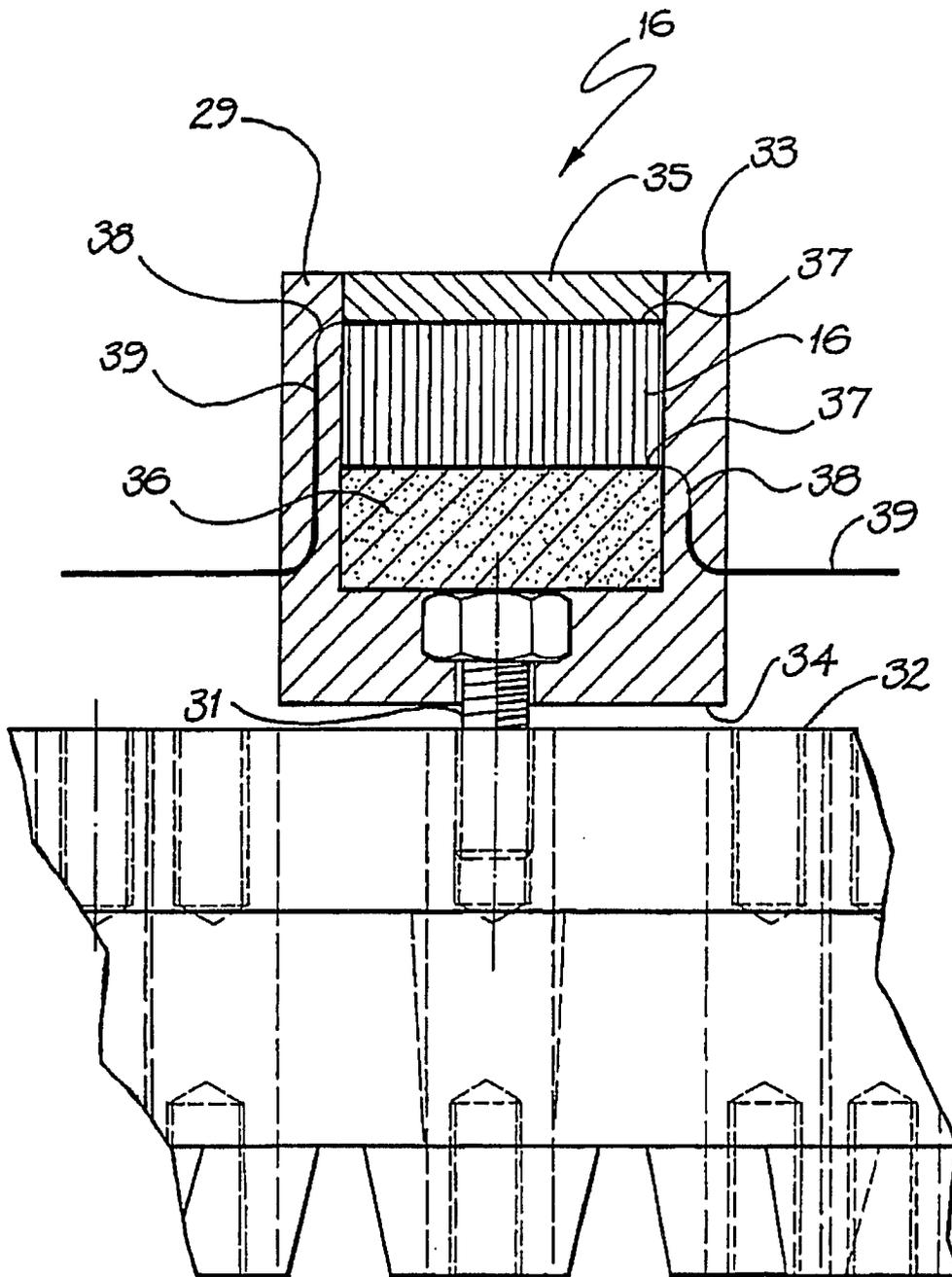


FIG. 2

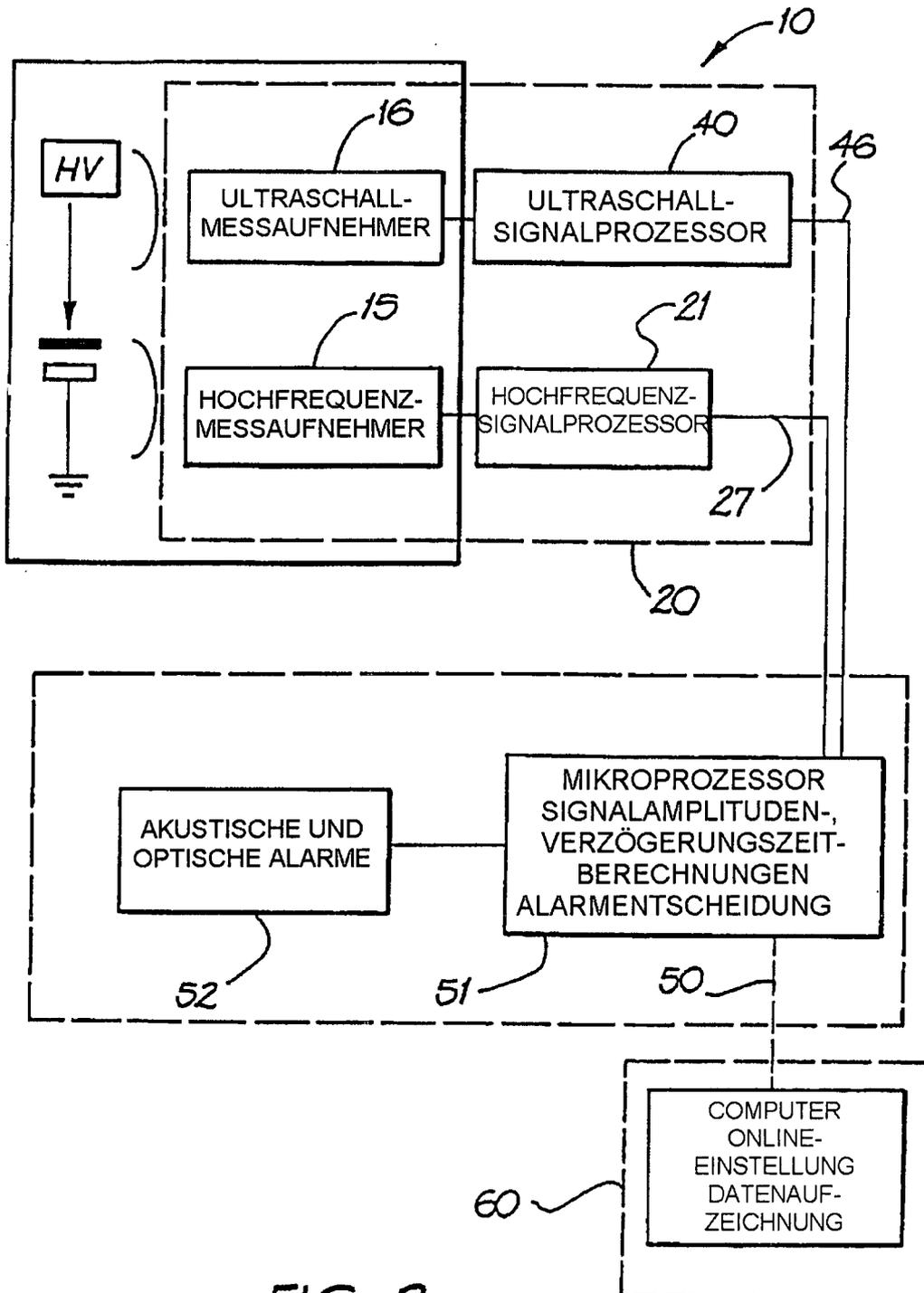


FIG. 3

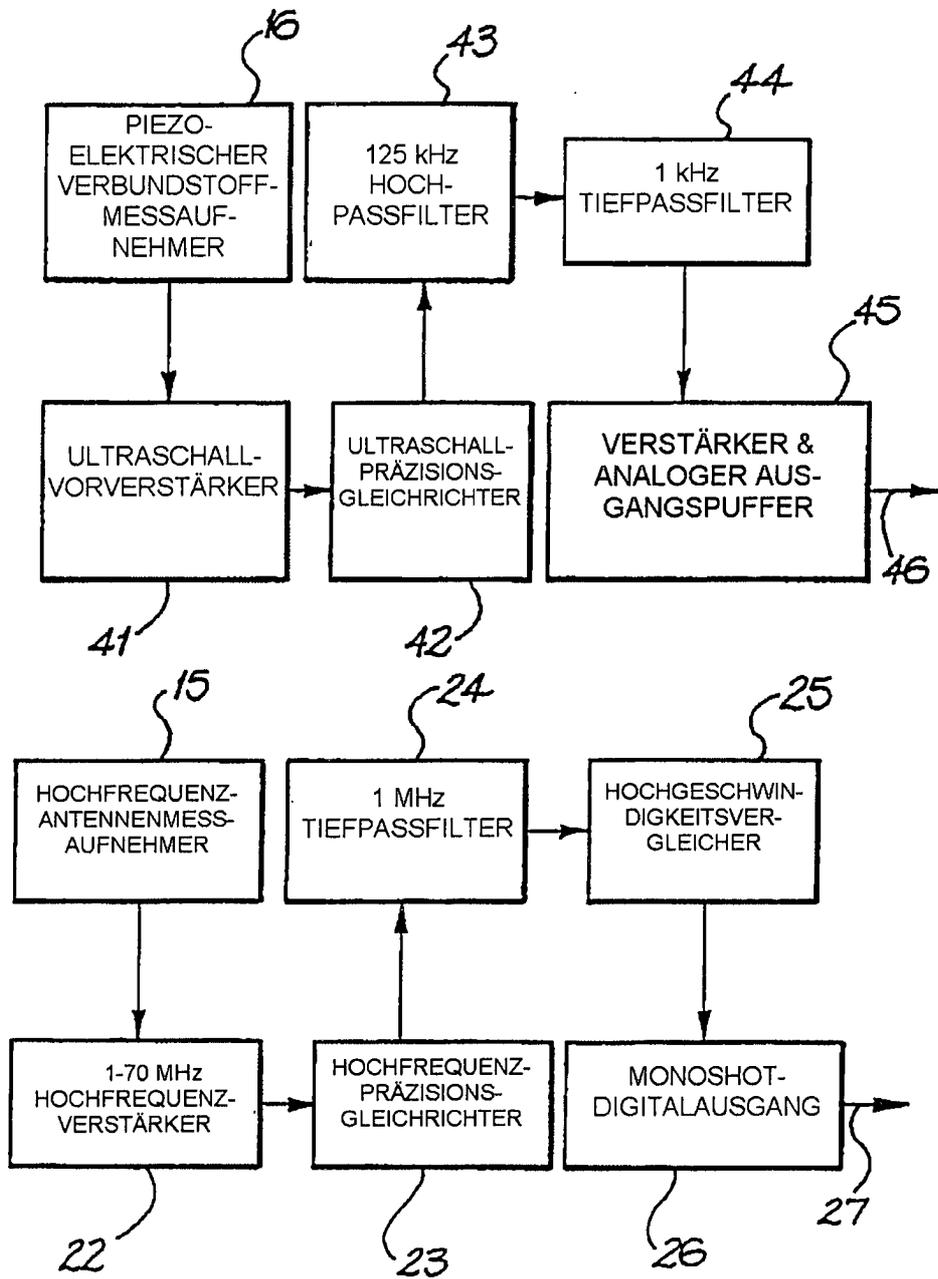


FIG. 4

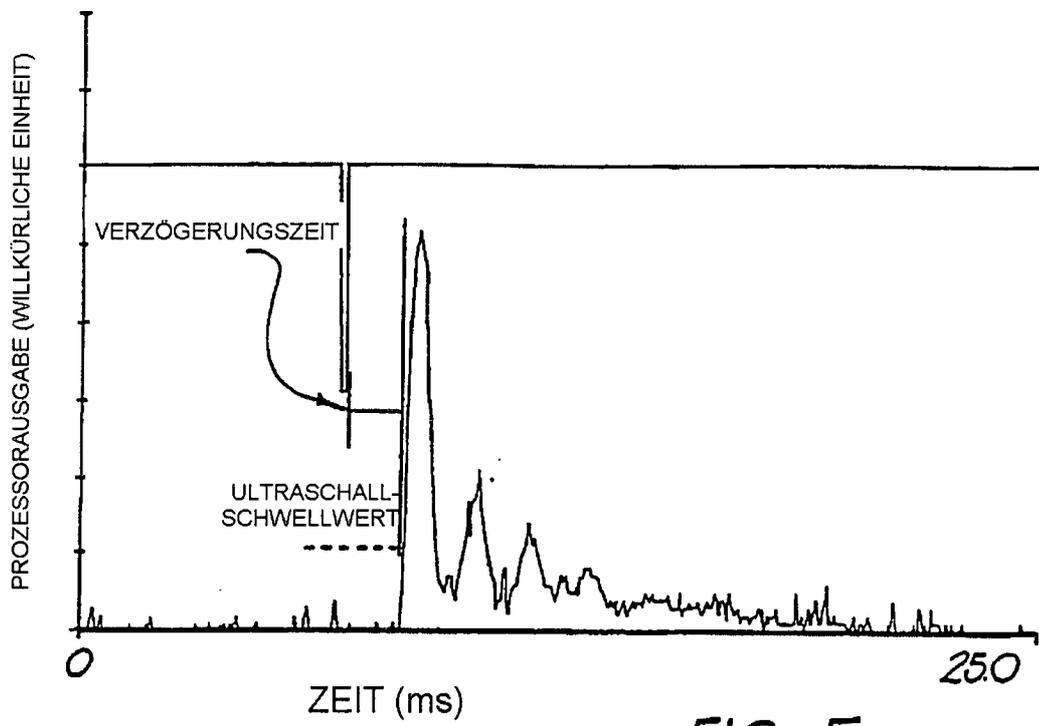


FIG. 5

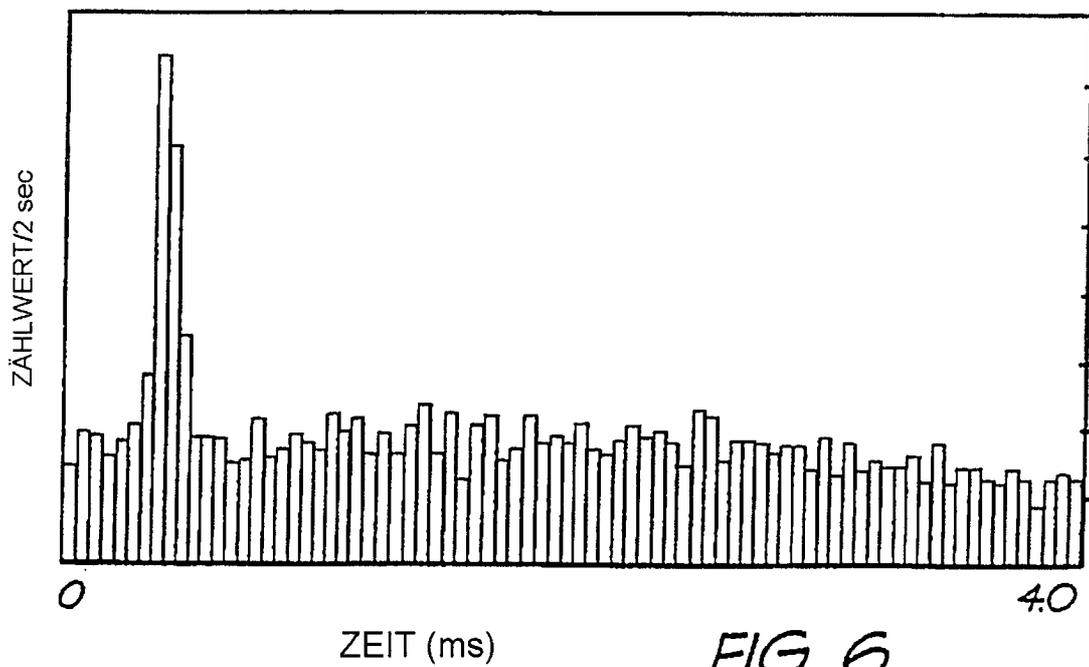


FIG. 6

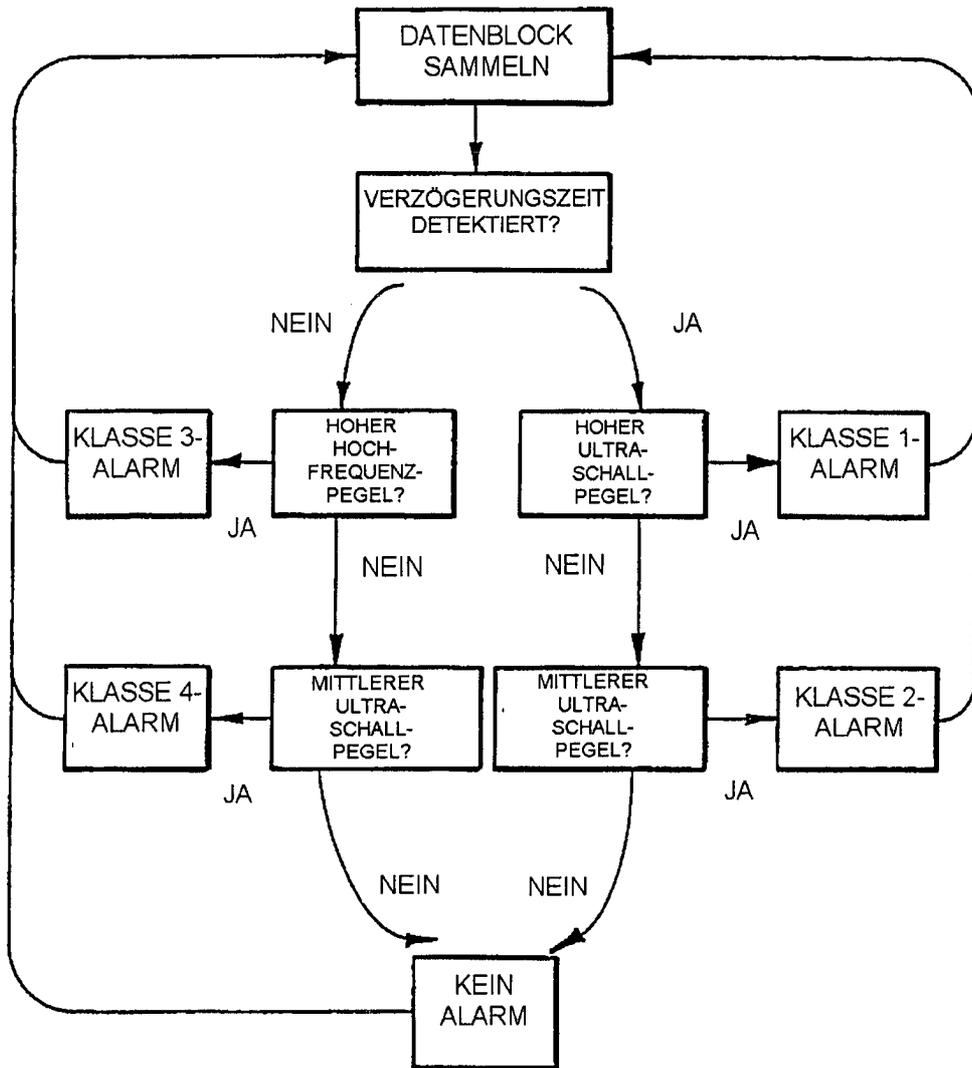


FIG. 7