

Universelles Meßsystem zur komplexen Analyse von dielektrischen Parametern und TE-Prozessen

E. Lemke T. Strehl R. Zieschang H. Elze D. Rußwurm

LEMKE DIAGNOSTICS GmbH

Volkersdorf Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG: Zur Diagnose von elektrischen Betriebsmitteln werden häufig unterschiedliche Meßverfahren gemeinsam angewandt, um anhand der Ergebnisse von integralen und differentiellen Methoden eine möglichst umfassende Analyse durchzuführen und somit den Zustand der Geräte genauer beschreiben zu können. Durch die Integration verschiedener Meßsysteme zu einer gemeinsamen, kompakten und computerbasierten Plattform wird hier erstmals die Möglichkeit eröffnet, gleichzeitig die Erfassung und Bewertung der Impedanz- und der Teilentladungskenngrößen durchzuführen. Somit werden neben der präzisen Messung von Leistungs- und Verlustfaktor, Kapazität, Induktivität, Widerstand, Blind- und Wirkleistung, Frequenz, Spannung und Strom auch alle Teilentladungsparameter mit großer Auflösung und hoher Impulswiederholrate erfaßt. Gleichzeitig ist zur Ermittlung des Fehlstellenortes die TE-Fehlerortung bereits während der Messung möglich, und zur Analyse des Fehlstellentyps wird ein datenbankbasiertes Expertensystem eingesetzt. Somit wird die Zustandserfassung hinsichtlich des Fehlertyps, des Fehlerortes, aber auch des globalen Zustands der Qualität der Isolierung von Betriebsmitteln mit nur einem einzigen Diagnosesystem durchgeführt.

1. EINFÜHRUNG

Sowohl die Messung von Verlustfaktor / Impedanz als auch die TE-Messung sind für Untersuchungen dielektrischer Eigenschaften von Hochspannungsisolierungen bewährte und akzeptierte Meßverfahren. Das im folgenden vorgestellte Meßsystem kombiniert diese beiden Methoden zu einem universellen Meßsystem für die komplexe Zustandsanalyse von Isolieranordnungen.

Durch die unterschiedlichen Aussagen beider Verfahren und unter Berücksichtigung des jeweiligen diagnostischen Zieles werden zur umfassenden Isolierstoffbeurteilung meist beide Methoden nacheinander angewandt [1]. In Analogie zur medizinischen Diagnostik ist sowohl der „integrale“ Gesamtzustand als auch der „differentielle“ Detailzustand bei der Fehleranalyse und Zustandsbeurteilung eines

Hochspannungsisoliersystems von Bedeutung [2]. Nur durch die Verwendung, dem jeweiligen diagnostischen Ziel angepaßte Meß- und Diagnoseverfahren sind optimale Servicekriterien zu erhalten [2]. Um diesbezügliche Aussagen schneller zu gewinnen und gleichzeitig die Möglichkeit des unmittelbaren Quervergleiches von Meßergebnissen zu treffen, ist die Integration beider Verfahren zu einem kompakten Diagnosesystem anzustreben. Dieses Ziel wurde mit einem neuartigen Meßsystem erreicht.

2. SYSTEMARCHITEKTUR

Um die verschiedensten, komplexen Meßaufgaben optimal durchführen zu können, ist das Gesamtkonzept modular gestaltet. Bereits vor mehr als 20 Jahren wurde erstmalig begonnen, TE-Meßgeräte digital zu realisieren [3]. Konsequenterweise wurde die Architektur des entwickelten Meßsystems dahingehend entworfen, nahezu die gesamte Funktionalität in digitalen Komponenten zu implementieren. Unentbehrliche analoge Einheiten wurden nur in geringem Maßstab eingesetzt.

Als Plattform für das Bediener-Interface dient ein gebräuchlicher iX86- Industriecomputer. Die Signalverarbeitung wird von verschiedenen, unabhängig voneinander arbeitenden DSP- Modulen realisiert. Diese wiederum geben die komprimierten Daten über den Systembus an den Computer weiter. Über parallel arbeitende NT-Kernel Treiber werden die entsprechenden Daten in Echtzeit zur Weiterverarbeitung einem Windows-Softwarepaket zur Verfügung gestellt. Hiermit kann der Benutzer die gesamte Systembedienung sowie alle Analysen und Diagnoseauswertungen durchführen.

Das System kann mit verschiedenen Erfassungseinheiten unterschiedlicher Digitalisierungscharakteristik bestückt werden.

2.1. VERLUSTFAKTOR / IMPEDANZ MEßTECHNOLOGIE

Bereits 1919 hatte Schering ein Meßverfahren zur „Verlustmessung“ [4] vorgestellt. Auf Grund der sehr zweckmäßigen Eignung zur Beurteilung von Isolierstoffen wurde dieses vielfach optimiert [5,6]. Die

Einführung des Stromkomparators von Kuster und Peterson [6] beispielsweise führte zu einer erheblichen Reduktion der Störeinflüsse der Brückenstreckkapazitäten. Auf Grund der, verglichen mit modernen Meßverfahren, jedoch immer noch bestehenden Unannehmlichkeiten [7] wurde das Meßverfahren entsprechend neu konzipiert. Das bereits in [8] beschriebene Meßprinzip ist schematisch in Bild 1 dargestellt. Amplitude und Phase der beiden im Meß- und Referenzzweig fließenden Ströme werden von zwei über Lichtwellenleiter verbundenen, akkuversorgten, unabhängigen Stromsensoren kontinuierlich und potentialfrei gemessen.

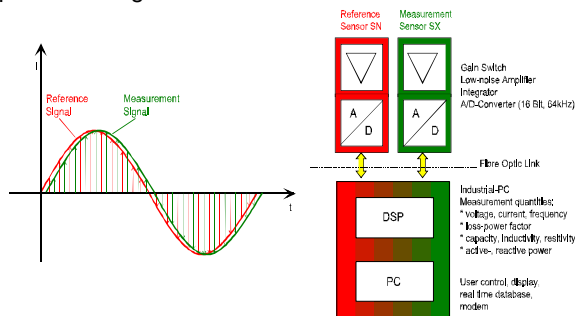


Bild 1: Konzept des Verlustfaktor / Impedanz Meßsystems

Signal Erfassung, Abtastung, Digitalisierung

Die über der äquivalenten Eingangskapazität abfallende Spannung der beiden Sensoren wird in einem Kompensationsverstärker mit sehr hoher Dynamik erfaßt (siehe Bild 1). Die optimale Bereichsanpassung wird über eine sehr schnelle Aussteuererkennung durchgeführt. Bereits in jedem Sensor implementiert ist nach dem hochohmigen, rauscharmen Verstärker ein 2-kanaliger 16 Bit A/D Wandler und eine bidirektionale optische Schnittstelle. Mit einer Abtastrate von 64 kHz pro Kanal werden die digitalen optischen Signale über LWL zur Empfangseinheit im Meßsystem übertragen. Zur potentialfreien Signalerfassung werden die Sensoren über Akkus versorgt. Deren jeweiliger Ladezustand sowie die Sensortemperatur werden überwacht und angezeigt.

Signal Processing, Signal Komprimierung

Der kontinuierlich übertragene Datenstrom der beiden Sensoren wird gepuffert und in einem digitalen Signalprozessor (DSP) weiterverarbeitet. Der DSP führt von den Signalen der beiden Sensoren eine DFT (Discrete Fourier Transformation) in Echtzeit aus. Die vektoriell zerlegten, frequenz aufgelösten Größen der hochgenau gemessenen Ströme stehen nun zur weiteren Auswertung hinsichtlich der interessierenden Impedanzkenngrößen zur Verfügung.

Die frequenzabhängigen komplexen Stromwerte werden kontinuierlich in eine Echtzeit-Datenbank aufgenommen. Somit steht für jede Periode der Prüfspannung ein neuer Datensatz in der Datenbank zur Verfügung. Von der windows-basierten Programmplattform kann der Benutzer nun auf Wunsch alle interessierenden Verlust- und Impedanzkennwerte graphisch oder in Tabellenform anzeigen oder protokollieren lassen und speichern. Die Einbettung und Übertragung der Datensätze in andere Applikationssoftware ist genauso möglich wie die

komplette Fernsteuerung des Meßsystems von anderen Programmen aus.

Der Umfang der dargestellten Meßgrößen umfaßt alle Arten von Impedanzkennwerten und zusätzlich abgeleitete mathematische und statistische Parameter. Wie in Bild 2a dargestellt, können Verlust- und Leistungsfaktor, Kapazität und Induktivität, Strom, Spannung und Widerstand, Wirk- und Blindleistung, sowie die umgesetzte Ladung kontinuierlich in Echtzeit jeweils als Funktion einer anderen Größe frequenz aufgelöst dargestellt und weiterverarbeitet werden. Darüber hinaus werden Drift und Standardabweichung ausgegeben. Alle Werte sind graphisch als Funktion zu einer jeweils andern Größe (siehe Bild 2b) darstellbar. In tabellarischer Form stehen die Meßwerte auch in einem sogenannten EXCEL-Spreadsheet zur Verfügung und können ausgegeben oder gespeichert werden, sowie über OLE-Funktionen (Object Link and Embedment) zur Weiterverarbeitung übertragen werden.

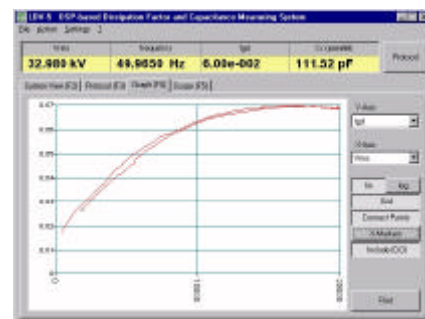


Bild 2: Graph window, z.B. $\tan \delta$ über Spannung

Zur Automatisierung von vorkonfigurierten Meßprozeduren [9, 10, 11] werden Steuer-kommandos wie Zeit- oder Frequenzsollwerte definiert und Meßabläufe dann unter Verwendung der Steuerkommandos quasi in einer Tabelle programmiert. Diese Meßprozeduren können jederzeit wieder geladen und neu ausgeführt werden. Beispielsweise können diese Steuervariablen genutzt werden, um zur Oberwellenanalyse an bestimmten Frequenzstützstellen die Impedanz zu messen.

2.2. TEILENTLADUNGSMERTECHNIK

Die elektrische Teilentladungsmessung ist unerlässlich in vielen Bereichen der Isolierstoffuntersuchung, von Qualitätskontrollprüfungen im Labor nach der Herstellung bis hin zur diagnostischen Prüfung vor Ort nach Installationen oder Reparaturarbeiten.

Auf Grund des weitreichenden Anwendungsgebietes von TE-Meßsystemen kann die Zusammenstellung der Komponenten flexibel der jeweiligen Meßsituation (Testobjekt, Störumgebung, etc.) angepaßt werden. So besteht das konzipierte Meßsystem aus verschiedenen Modulen, die jederzeit ergänzt oder getauscht werden können.

Hardwarekonzept

Ein schematisches Übersichtsdiagramm über die wichtigsten Hardwarekomponenten ist in Bild 3 dargestellt. Dabei werden folgende Einheiten hinsichtlich Ihrer Funktion unterschieden:

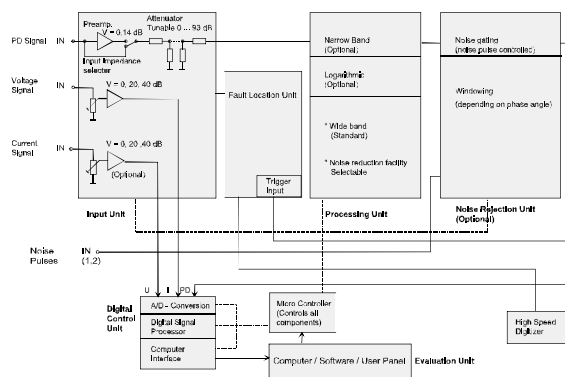


Bild 3: Prinzipdarstellung des Hardwarekonzepts der TE-Meßkomponenten

- **Input Unit:**
 - Erfassung der Signale von der Auskoppereinheit (Eine Vielzahl verschiedener Typen von Auskoppereinheiten kann angeschlossen werden)
 - einstellbare Breitband-Verstärkung
 - softwaregesteuerte Filterbank
 - einstellbare Dämpfung in einem weiten Dynamikbereich (93 dB)
 - separater Spannungseingang zur Erfassung der Momentanwerte der Prüfspannung, für die Scheitelwertbestimmung und Phasenzuordnung der TE-Impulse
 - zusätzlicher Eingang zur Erfassung der Momentanwerte des Prüflingsstroms oder anderer prüfrelevanter Größen (z.B. stromabhängige TE-Phänomene)
- **Processing Unit (PU)**

Verschiedene Impulsverarbeitungseinheiten können kombiniert und in Einschubtechnik zusammengestellt werden

 - Breitband PU zur sehr empfindlichen TE-Messung
 - Logarithmische Breitband PU mit hoher Dynamik in der Amplitudenauflösung für die logarithmische Einzelimpulsbewertung
 - Frequenzselektive PU zur schmalbandigen TE-Detektion, abstimmbare in einem weiten Frequenzbereich oder mit einzelnen kaskadierbaren Festfrequenzen.
- **Noise Rejection Unit**
 - Windowing zur Eliminierung phasenstarrer Störimpulse
 - Gating / Masking (Austasten) von Störimpulsen, ausgelöst von externen Triggersignalen oder durch separate Störimpulseingänge zum Anschluß von Sensoren / Antennen zur Erfassung von Störsignalen
- **Matching Unit**
 - analog - digital Wandlung
 - High-speed "programmable gate array pre-processing", zur TE-Impuls-, Spannungs- und Stromerfassung, Polaritätserkennung, Spitzenwerterkennung, Signalanpassung zur Weiterverarbeitung, digitale Störungsunterdrückung, Timegating zur Reflexions- und Oszillationsunterdrückung
 - Digital-Signal-Processing Modul zur schnellen

Datenverarbeitung und Kompression, kurzzeitige Pufferung, Zeit- und Phasenzuordnung der TE-Ereignisse, Steuerkommandoumsetzung und Konvertierung

- "Software – Windowing"
- BUS-Interface zur Workstation
- **Control Unit**
 - μ -Controller gesteuerter Control Bus für die Steuerung aller Geräte und Komponenten
 - "auxiliary-ports" zur Implementierung zusätzlicher Funktionen
- **externe Multiplexing Unit**
 - Software gesteuerte Mehrkanalschaltung zum Aufbau von Mehrstellenmeßsystemen
 - Fernsteuerung und Signalumsetzung
- **Evaluation Unit**
 - Computer-Workstation zur Realisierung komplexer Diagnoseauswertungen
 - Echtzeit - Darstellung aller gemessenen TE-Kenngrößen, mit einer TE-Impulsauflösung bis über 100 kHz
 - Speicherung, Protokollierung, template-basierter Protokollgenerator für benutzerspezifische Berichte
 - Automatisierung von Meßprozeduren
 - Datenbankbindung über OLE (Object link and embedment) Schnittstellen
 - Umfangreiche analytische und statistische Auswertefunktionen (Phasenaufgelöste 3D Pattern, etc.)
 - Implementiertes TE-Expertensystem

Softwarekonzept

Das Softwarekonzept zeichnet sich durch eine strikte Verteilung der einzelnen numerischen Datenverarbeitungsroutinen auf verschiedene programmierbare Hardware-Bausteine aus.

- Logic Device:

Die erste Ebene der numerischen Datenverarbeitung wird in einem „field programmable gate array“ (FPGA) realisiert. Der Baustein hat eine flexible programmierbare Architektur von frei- konfigurierbaren Logikblöcken, welche hierarchisch geroutet werden. Der Baustein kann jederzeit mit neuen oder anderen logischen Funktionen rekonfiguriert werden. Hier erfolgt die TE-Peak-Detektion und Bewertung, die Impulsolaritätserfassung sowie das Time-gating.

- Digital Signal Prozessor (DSP), PC-Interface:

In der DSP-Einheit wird die Zuordnung der TE-Impulse zur Phasenlage der Prüfspannung sowie die Datenkompression realisiert. Gleichzeitig wird die Umsetzung der Steuerbefehle von der Control-Unit durchgeführt. Basierend auf dieser Staffellung der digitalen Verarbeitungsprozesse steht die Rechenleistung des Computers weitestgehend zur Darstellung und Analyse zur Verfügung.

- Hardwaresteuerung:

Die Steuerung für das gesamte Hardware-Management wird von einem separaten μ -Controller übernommen. Steuersignale vom Controller zu den einzelnen Baugruppen und Ports werden über einen internen GPIB-Bus (General Purpose Interface Bus) übertragen.

Softwarebasierte Störungsunterdrückung

Zur Ausblendung phasenstabiler Störungen werden klassischerweise sogenannte "Fenster" gesetzt, deren

Position und Breite meist an zwei symmetrischen Phasenpositionen einstellbar ist. Jedoch können Störungen auch stabil in Relation bei ganz bestimmten Spannungspegeln oder Zeitpunkten während einer TE-Messung auftreten. Softwareeinstellbare Fenster bieten somit die Möglichkeit, Störungen, deren Auftreten in Relation zu bestimmten anderen Größen oder Meßwerten stehen, zu unterdrücken. Realisiert sind unter anderem folgende Fensterungsmöglichkeiten:

- Phasen: Anzahl, Breite und Position jedes Fensters, separat einstellbar
- Spannung: Spannungspegel und Variationsbreite jedes Fensters, separat einstellbar
- Zeit: Anzahl der Fenster, Zeitpunkt und zeitliche Dauer jedes Fensters, separat einstellbar

Die Einstellungen der Fenster werden softwaregesteuert vorgenommen und können durch weitere Parameter zusätzlich ergänzt werden.

Analyse & Statistische Auswertung

Zur Darstellung, Auswertung, Analyse und Diagnose ist ein umfangreiches Softwarepaket unter Windows implementiert. Es bietet ein breites Spektrum von Analysemöglichkeiten [12]. Typische Auswertungen, wie sie bei Routineprüfungen [10] zur Qualitätssicherung genutzt werden, stehen ebenso zur Verfügung wie solche für die Vor-Ort-Prüfung an Anlagen oder für periodisches bzw. kontinuierliches Zustandsmonitoring. Auch für den weiten Bereich wissenschaftlicher TE-Analysen sind entsprechende Funktionen implementiert. [12].

In der analytischen und statistischen Funktionsbibliothek sind unter anderem folgende Auswertmöglichkeiten bereits realisiert:

- Wiedergabe aller TE-Meßgrößen und abgeleiteter Kennwerte (q , q^2 , $qxU(t)$) in Übereinstimmung mit den entsprechenden Standards (IEC, VDE, AEIC, IPCEA, ASTM, ANSI) (Videoplayer-Modus)
- Darstellungsarten:
Klassische Darstellung im Oszilloskop-Modus, zeitliche oder elliptische Darstellung
Zeit- und spannungsabhängige Darstellung aller definierten TE-Meßgrößen im Rekorder-Modus : scheinbare Ladung q , Impulswiederholrate n , mittlerer Entladestrom I , TE-Impulsenergie P , quadratische TE-Ladungsdichte D , etc.
TE-Häufigkeitsverteilung, phasenaufgelöste 2D & 3D Darstellung (PRPPA)
- TE-Impulsverteilung zeitlich segmentiert oder kontinuierlich dargestellt
- Impuls / Impuls-Korrelation [13]
- Wasserfall-Diagramm der TE-Häufigkeit über der Ladung (siehe Bild 4)
- Mittlerer TE-Strom als Funktion der Phasenlage, zeitlich aufgelöst
- Alle phasen- und polaritätsabhängigen statistischen TE-Parameter (q , $H(q)$):
Maximum, Minimum, Mittelwert, Standardabweichung, Skewness, Kurtosis, Kreuzkorrelation

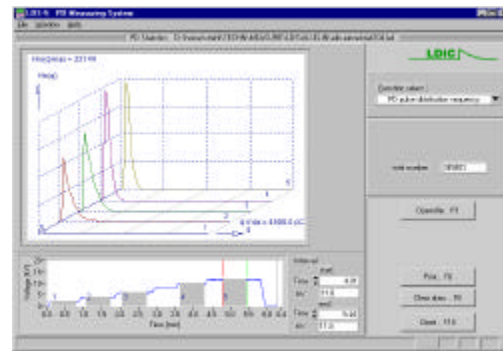


Bild 4: TE-Impulshäufigkeitsverteilung über verschiedene Zeitbereiche

Software Automatisierungs-, Kontroll-, Protokoll-Schnittstelle

Mit den Analysefunktionen können alle Arten von benötigten Auswertungen durchgeführt und entsprechende Protokolle hierzu erstellt werden. Darüber hinaus können die TE-Daten zur Weiterverarbeitung in Tabellenkalkulations- und Datenbankprogrammen übertragen werden. Mit Hilfe von vorkonfigurierbaren vom Benutzer gestalteten Dokument-Templates ist auch die individuelle Gestaltung von Auswerteprotokollen und Berichten möglich, die jederzeit modifizierbar sind. Spezifische Verarbeitungsroutinen können somit auch mit anderen Anwendungsprogrammen durchgeführt werden.

Durch die vorhandene OLE (object link and embedment) Funktionalität ist die direkte Implementation und Fernsteuerung von kundenspezifischen Bedienungsprogrammen einfach möglich. Beispielsweise ist die Einbindung von Steuergeräten zur Automatisierung von Hochspannungsprüfsystemen [10,11] eine typische Anwendung, um SPS-Steuergeräte mit den Meßsystemen über diese gemeinsame Objektschnittstelle zu einem vollautomatisierten System zu kombinieren [11]. Steuerung und Datentransfer zwischen verschiedenen Programmen können in ähnlicher Weise auch über ein Rechnernetzwerk (LAN) erfolgen. Über die Anbindung an ein analoges oder digitales Telefonnetz ist eine ferngesteuerte Messung für das Monitoring von Teilentladungs- und Verlustfaktormessungen unmittelbar möglich.

TE Expertensystem

Bislang ist eine ausreichend mathematische Modellierung von Teilentladungsfehlern, gerade durch die Verschiedenheit der physikalischen Modelle, nicht möglich. Nur in einzelnen Fällen ist die Bestimmung von physikalischen Parametern des singulären Entladeprozesses gelungen. Dies erlaubt allerdings meist nur für bestimmte typische Entladungsklassen phänomenologische Beschreibungen in Modelle zu überführen und kann somit nicht für die Ermittlung des von Teilentladungen ausgehenden Betriebsrisikos als ausreichend bezeichnet werden.

Daher muß sich jeder allgemeine Diagnoseansatz auf die Wiedererkennung von spezifischen Symptomen in Teilentladungsmeßdaten beschränken. In diesem Zusammenhang muß bemerkt werden, daß durch das Fehlen einer allgemeinen Modellvorstellung der Qualität der extrahierten charakteristische Merkmale hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Fehleridentifikation eine besondere Bedeutung zukommt [14].

Über die Eignung von Merkmalen zur TE-Fehlererkennung werden vielfach wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt.

Zur Realisierung der rechnerbasierten TE-Fehlererkennung werden zwei unabhängige Merkmalskriterien genutzt.

- Die Koeffizienten der Fourier Reihenentwicklung der phasenaufgelösten TE-Ladungssignale werden auf eine mittlere Periodenanzahl der Prüfspannung normiert. Um die TE-Verteilung zu beschreiben, wird nur eine geringe Anzahl von Koeffizienten der Fourier-Reihe herangezogen [14] und in dem Merkmalsfeld hinterlegt. Zusätzlich wird die Änderung der Koeffizienten über der anregenden Prüfspannung einbezogen.
- Weiterhin stehen die klassischen statistischen Operatoren [15] der aus den Datensätzen abgeleiteten Histogramm Funktionen der TE-Häufigkeitsverteilung dem Merkmalsraum zur Verfügung.

Nach der Extraktion werden die beiden resultierenden Merkmalsfelder einem Klassifikator unterzogen. Während der Klassifikation wird die größte Übereinstimmung des aktuellen Merkmalsobjekts zu allen sich in einer Referenzdatenbank befindlichen festgestellt. Als Klassifikationsergebnis wird die bedingte Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit zu einer Referenzklasse für einen Fehlstellentyp dargestellt. Ein typisches Klassifikationsergebnis eines künstlichen TE-Fehlers zeigt Bild 5.

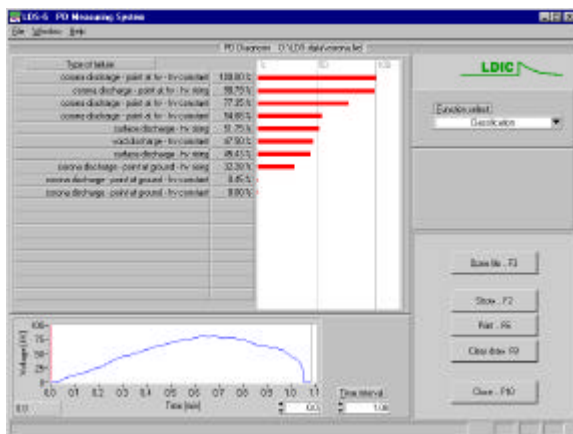


Bild 5: TE-Fehleridentifikation

2.3. TE ORTUNGSTECHNOLOGIE

Die Ermittlung der TE-Kenngrößen, wie scheinbare Ladung, Impulswiederholrate und Phasenkorrelation, spielen bei der Einschätzung der Teilentladungsgefährdung sicher die dominante Rolle. Zusätzlich stehen computergestützte Expertensysteme zur automatisierten TE-Identifikation zur Verfügung. Zur Einschätzung des Fehlers ist jedoch meist die Kenntnis des genauen Fehlstellenortes von Bedeutung. Hauptsächlich in räumlich ausgedehnten Objekten, wie z.B. bei Kabeln, ist der Ort der Fehlstelle von höherer Bedeutung als der Typ [16].

Zur Ortung von Fehlern in Kabeln werden häufig Reflektometrieverfahren genutzt [17]. Ein breitbandiger, schnellabtastender Digitizer zur Zeitbereichsreflektometrie kann daher in das TE-Meßsystem integriert werden (siehe Bild 3).

Reflektometer Methode

Für den TE-Impuls wirkt das Kabel als dielektrischer

Wellenleiter. Der von der TE-Fehlstelle ausgehende Impuls teilt sich entsprechend der differentiellen charakteristischen Impedanz des Kabels in zwei Richtungen auf. Das hochfrequente direkte TE-Signal und dessen reflektiertes Echo wird über einem separaten breitbandigen Verstärker an den Digitizer geleitet. Dort wird das Signal mit 8 oder optional 12 Bit und einer Abtastrate von 100 MS/s gewandelt.

Der Rechner wertet zur Fehlerortung den Zeitunterschied zwischen dem direkt gemessenen Signal und dem ersten reflektierten Impuls aus, in Relation zur Gesamtreflexionszeit [18]. Ein entsprechendes Impulsreflektogramm ist in Bild 6 dargestellt.

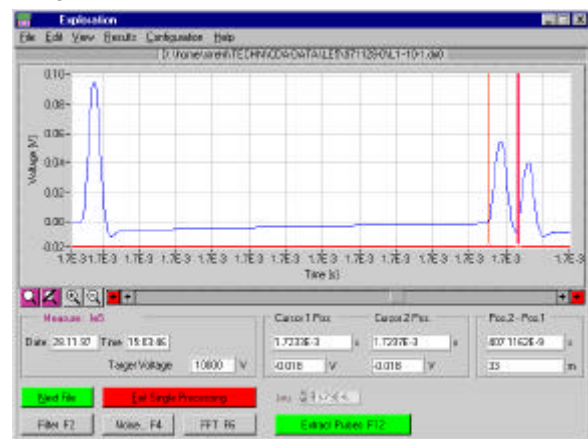


Bild 6: TE-Impulsreflektogramm

Für die Impulsechoauswertung werden im Computer mehrere komplette TE-Datensätze herangezogen. Dadurch kann mit diesem System nicht nur der TE-Fehler mit der höchsten Amplitude geortet werden, sondern es ist auch die Ortung von Mehrfachfehlern möglich. Alle TE-Fehler werden automatisch erkannt, hinsichtlich ihres Ortes extrahiert und zur Auswertung für das sogenannte TE-Mapping herangezogen. In dem resultierenden Diagramm werden die georteten TE-Impulse mit ihrer Amplitude als Funktion ihres jeweiligen Fehlstellenortes zusammen mit der Häufigkeit der georteten TE-Impulse dargestellt (siehe Bild 7)

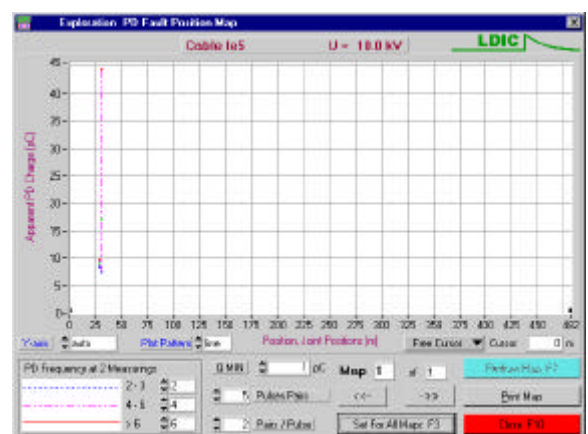


Bild 7: TE-Fehler-Mapping

Alle Funktionen des Fehlstellenortungsmoduls sind von der gemeinsamen Softwareplattform aus zu bedienen, so daß auch eine Analyse des Fehlertyps parallel durchgeführt werden kann.

Erhöhung der Ortungsempfindlichkeit

Zur Erhöhung der Ortungsempfindlichkeit und Ortungsschärfe wurden zusätzliche hochentwickelte digitale Signalverarbeitungsfeatures realisiert:

- Eine kontinuierliche Signalüberlagerung und Mittelwertbildung kann zugeschaltet werden, um kontinuierliche harmonische Störungen zu eliminieren. Ein einstellbarer Schwellwertpegel dient zur Unterdrückung von Grundrauschen und Impulsoszillationen
- Eine FFT-Analyse unterstützt den Benutzer bei der schnellen Analyse harmonischer Rundfunkstörer. Eine Auswahl von digitalen Filtern kann somit optimal auf die jeweilige Störsituation eingestellt werden
- Die Anstiegszeit der TE-Impulse wird ausgewertet, um sicher zwischen TE-Fehlern vom nahen und fernen Ende unterscheiden zu können
- Zur Bestimmung der scheinbaren Ladung unabhängig von der Entfernung vom Fehlerort erfolgt für alle georteten Impulse automatisch ein Dämpfungsausgleich.

3. ZUSAMMENFASSUNG

Das vorgestellte Meßsystem vereint eine Vielzahl von meßtechnischen Teilfunktionen zu einem universellen komplexen System. So wird erstmals ein hochgenaues und frequenzunabhängig messendes Verlust / Impedanz Meßmodul mit einem digitalen TE-Analysemodul kombiniert, das die Volumen- und Schwachstelleneigenschaften von Hochspannungsisolierungen zeitgleich bewertet.

Verschiedene Signalverarbeitungseinheiten erlauben es, die jeweilige Meßaufgabe unter Berücksichtigung der spezifischen Störsituation optimal zu lösen. Zusätzlich kann das System ergänzt werden, um eine TE-Ortung durchzuführen.

Die entwickelte Hard- und Software ermöglicht es, die Meß- und Ortungsempfindlichkeit durch zusätzliche Features zur Störunterdrückung erheblich zu verbessern. Umfangreiche Analyse- und Diagnosesoftware erlaubt die automatisierte TE-Fehlstellenerkennung und Identifikation.

Das Einsatzgebiet dieses komplexen Meßsystems reicht von der wissenschaftlichen und industriellen Forschung über die Stück- und Typprüfung in der Fertigung bis zur Vor-Ort-Diagnose und dem permanenten Zustands-Monitoring an installierten Anlagen.

4. LITERATUR

- [1] Holboll, J.T., Edin, H., "PD-Detection vs. Loss Measurement at High Voltages with Variable Frequencies", 10th ISH, Montréal, Canada, 1997
- [2] Thärning, P., Werelius, B., Holmgren, B., Gäfvert, U., "High Voltage Dielectric Response Analyzer for Cable Diagnostics", 1993 Annual Report – Conf. On Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 745-750, 1993
- [3] Tanaka, T., Okamoto, O., "A minicomputer-based partial discharge measurement system", IEEE intern. Symp. On Electrical Insulation, Philadelphia, Conf. Record, 1978
- [4] Schering, H., "Brücke für Verlustmessungen", Tätigkeitsbericht der Physikalisch Technischen Reichsanstalt, 1919
- [5] Kusters, N.L., Mooore, W.J.M., "The Compensated Current Comparator", IEEE Trans. Vol. IM-13, June-Sept. 1964
- [6] Malewski, R., Douville, J., "A Modified C-tgd δ Bridge for Measurement of Losses in EHV Shunt Reactors", IEEE Canadian Communications and Power Conference, Montreal, 1978
- [7] Lemke, E., Schmiegell, P., "Analysis of the Properties of Dielectrics on the Basis of a Non-conventional Measuring Procedure", 6th DMMA Conference, Manchester / UK, 1992
- [8] Kaul, G., Plath, R., Kalkner, W., "Development of a Computerized Loss Factor Measurement System for Different Frequencies, Including 0.1 Hz and 50/60 Hz", 8th ISH, Yokohama, Japan, 1993, paper 56.04
- [9] "Bestimmungen für elektrische Prüfungen von Isolierstoffen", Teil 4: Bestimmung der dielektrischen Eigenschaften, DIN VDE 0303
- [10] Hauschild, W., Baronick, M., Schmidt, V., "Das HIGHVOLT-Konzept für rechnergestützte Hochspannungsprüfungen", HIGHVOLT Kolloquium '97, Dresden, Deutschland, 1997
- [11] Baronick, M., Schmidt, V., Hauschild, W., "Nutzerfreundliche, offene Software für rechnergestützte Hochspannungsprüfungen", HIGHVOLT Kolloquium '99, Cottbus, Deutschland, 1999
- [12] Lemke, E., Rußwurm, D., Schellenberger, L., Zieschang, R., "Computergestütztes Teilentladungs-Diagnosesystem" 7. Tagung Techn. Diagnostik, Merseburg, 1996
- [13] Hoof, M., Patsch, R., "Pulse-sequence-Analysis: A New Method to Investigate the Physics of PD-Induced Aging", IEE Proc. Sci. Meas. Techn., Vol. 142,1, 1995
- [14] Hücker, T., "UHF Partial Discharge Expert System Diagnosis", 10th ISH, Montréal, Canada, 1997
- [15] Gulski, E., "Computer-Aided Recognition of Partial Discharges using Statistical Tools", Thesis TU Delft, 1991
- [16] Strehl, T., Kalkner, W., "Measurement and Location of Partial Discharges During On-Site Testing of XLPE Cables with Oscillating Voltages", International Symposium on High Voltage, 9th ISH, Graz, Austria, 1995
- [17] "Test methods for partial discharge measurement on lengths of extruded power cable" IEC885-3, 1989
- [18] Borsi, H., "Digital Location of Partial Discharges in HV Cables", IEEE Trans. On Electrical Insulation, Vol. 27, pp. 28-36, 1992

LEMKE DIAGNOSTICS GmbH

<http://www.ldic.de>