

Die UHF-Methode zur dielektrischen Überwachung von SF₆-Anlagen

R. Kurrer, Universität Stuttgart

1. Einleitung

Zur Diagnose des Betriebszustandes gasisolierter Schaltanlagen (GIS) werden mechanische, chemische und elektrische Meßgrößen überwacht. Für die dielektrische Überwachung von SF₆-Anlagen kann der Teilentladungspegel erfaßt werden. Zur Messung der Teilentladungen (TE) werden derzeit verschiedene Methoden diskutiert. Die elektrische TE-Meßtechnik nach der Vorschrift IEC 270 /1/ benutzt einen Frequenzbereich unterhalb von 2 MHz. In diesem Frequenzbereich beeinflussen sinusförmige und impulsförmige Störungen die TE-Messung und erlauben keine genügend empfindliche Messung in Schaltanlagen Vor-Ort. Für die TE-Messung an GIS im Betrieb sind deshalb alternative störungsresistente TE-Meßmethoden anzuwenden.

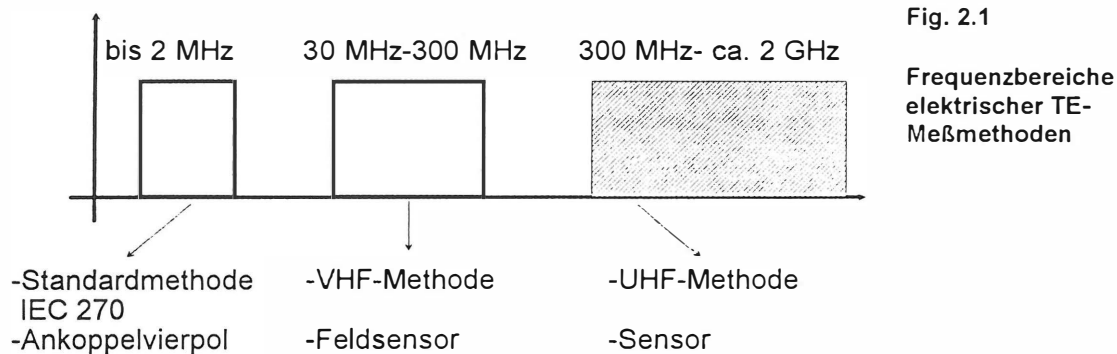
Im folgenden Beitrag wird die UHF-Methode zur TE-Messung an GIS vorgestellt. Diese Meßmethode benutzt Frequenzbänder im UHF-Bereich (0,3-3 GHz). Mit einem Spektrum Analysator wird das Spektrum der hochfrequenten TE-Vorgänge in der GIS während dem Betrieb aufgezeichnet. Infolge von TE-Vorgängen in der GIS verändern sich die gemessenen Spektren im Vergleich zu einem Referenzspektrum. Eine nachfolgende Untersuchung des Spektrums bis in den UHF-Bereich soll Aufschluß über die Ursache der TE geben.

Es werden grundlegende Themen für die Anwendung der UHF-Methode behandelt. Dies sind das Hochfrequenzverhalten von GIS und die Beschreibung von Sensoren im UHF-Bereich als Antennen. Verschiedene Möglichkeiten der Meßauswertung durch die Anwendung von Spektrum Analysatoren werden dargestellt. Für die ständige Überwachung werden Diagnosekonzepte vorgestellt.

2. UHF-Methode

2.1 Frequenzbereiche elektrischer TE-Meßmethoden

Die Messung von TE in gasisolierten Schaltanlagen während der Vor-Ort-Wechselspannungsprüfung bzw. der On-line-Überwachung setzt Meßmethoden voraus, die durch elektromagnetische Störungen nicht beeinträchtigt werden. Es wurden hierfür TE-Meßmethoden für GIS entwickelt, die Frequenzbänder im VHF-Bereich (30-300 MHz) /2/ und im UHF-Bereich (0,3-3 GHz) /3, 4/ benutzen. Die Erfassung von TE im UHF-Bereich wird als UHF-Methode bezeichnet. Fig. 2.1 zeigt eine Einteilung der elektrischen TE-Meßmethoden in die genutzten Frequenzbereiche. Die TE-Messung entsprechend der Standardmethode IEC 270 verwendet einen Koppelkondensator zur Auskopplung der TE-Impulse. Die VHF- und UHF-Methode benutzt einen Sensor, der in der GIS eingebaut ist.



2.2 Anwendung der UHF-Methode

Teilentladungen an Fehlstellen im Gasraum besitzen Anstiegszeiten im Sub-Nanosekundenbereich. Infolgedessen werden hochfrequente elektromagnetische Wellen im Gasraum der coaxial aufgebauten Schaltanlage angeregt. Die elektromagnetischen Wellen breiten sich in der GIS aus. Zur Auskopplung von TE-Signalen wird ein flacher Scheibensensor verwendet, der in der Anlage an einem Erderflansch oder einer Montageöffnung eingebaut ist (Fig. 2.2). Der Sensor verbleibt in der GIS, weshalb eine ständige Überwachung im Betrieb möglich ist.

Vor der TE-Messung wird ein Referenzspektrum im spannungslosen Zustand der GIS aufgenommen (Fig. 2.3). Ein Vergleich des Spektrums mit und ohne Spannung an der Anlage zeigt, ob Teilentladungen vorhanden sind. Tritt TE auf so sind abhängig vom Fehlstellentyp spektrale Anteile bis über 2 GHz erkennbar (Fig. 2.4). Im Spektrum treten reproduzierbare Resonanzen auf. Für steigende TE-Werte nehmen die spektralen Anteile zu, und das Spektrum wird dichter.

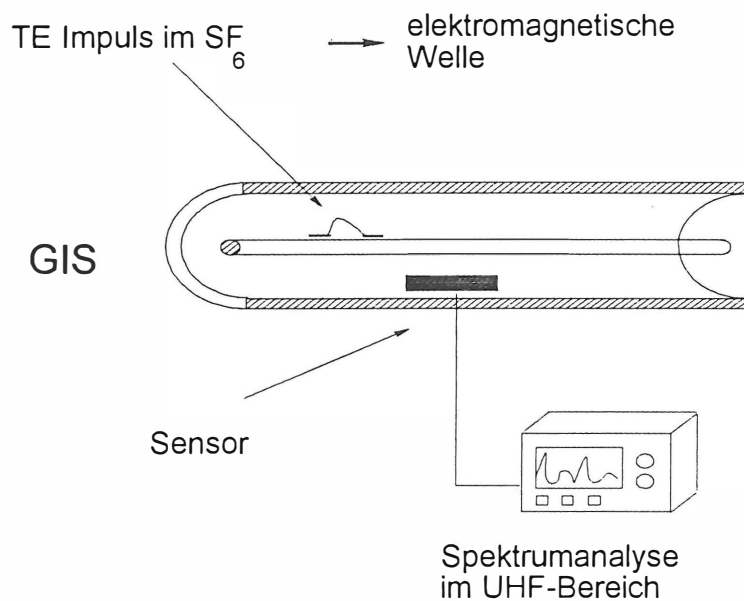


Fig. 2.2

Meßprinzip der UHF-Methode

Wird das Spektrum in einem kleinerem Frequenzbereich besser aufgelöst, sind Veränderungen früher erkennbar. Dies setzt aber voraus, daß ein Frequenzbereich mit optimaler Empfindlichkeit bekannt ist. Die Empfindlichkeit bei Messungen mit der UHF-Methode ist durch das Grundrauschen der Meßgeräte und der Sensorik bestimmt.

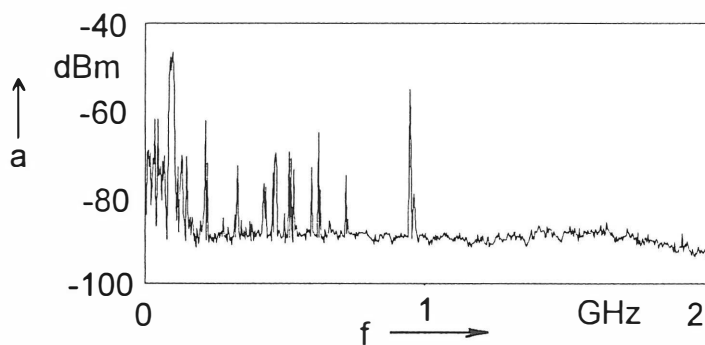


Fig. 2.3

Referenzspektrum

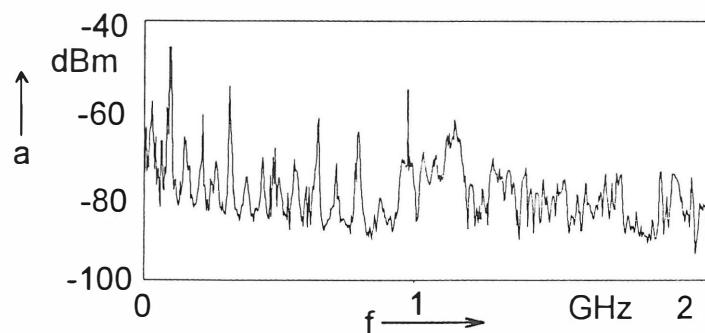


Fig. 2.4

Spektrum bei TE
(10 pC von einem
Nadeldefekt)

2.3 Einfluß von Störungen

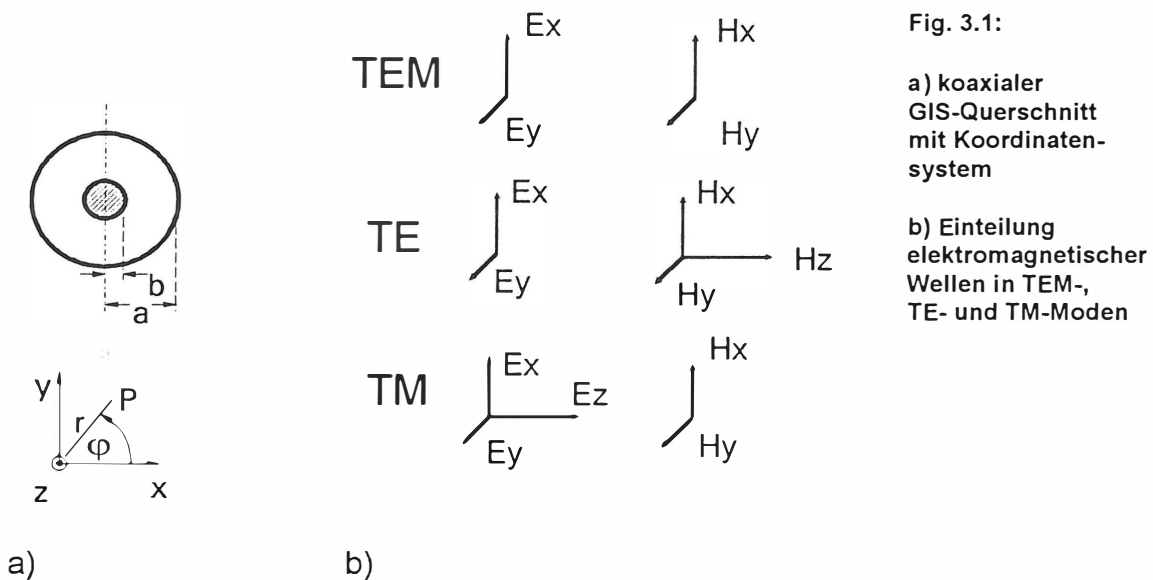
Bei der UHF-Methode wird der Sensor in die GIS-Anlage integriert. Dadurch wird die Schirmwirkung der Metallkapselung gegenüber hochfrequenten Störungen genutzt. Der gesamte Meßkreis für die TE-Messung wird in seinen Abmessungen reduziert, wodurch Störeinkopplungen vermindert werden. Störungen, die vor Ort eine TE-Messung nach der Standardmethode IEC 270 beeinträchtigen, können von vornherein im Spektrum erkannt werden (Fig. 2.3). Diese Störer sind als scharfe einzelne Linien im Spektrum zu erkennen. Durch die Wahl eines störungsfreien Frequenzbandes kann ein geringer Grundstörpegel erreicht werden. Die Auswertung des TE-Spektrums wird dann in einem störungsfreien Frequenzband durchgeführt. Der Einfluß von elektromagnetischen Störungen z. B. Korona auf Freileitungen, TV, Rundfunk, Mobilfunk und deren Erkennung im Meßsignal ist möglich [5]. Störer der Nachrichtenkommunikation können durch Demodulation des Signales erkannt, bzw. in Sendertabellen nachgeschlagen werden. Die Auswertung des Spektrums direkt im Frequenzbereich läßt die Erkennung kleinster Veränderungen auch nahe einem Störer zu. Im Zeitbereich würde das Störsignal das TE-Signal überdecken.

3. Hochfrequenzeigenschaften von GIS

Bei der TE-Messung nach der IEC 270 wird die gesamte GIS auf TE geprüft. Die UHF-Methode dagegen erfaßt Signale von TE direkt in der Anlage. Es sind an einem Sensor Messungen möglich, die eine lokale Aussage in der GIS zulassen. Es besteht deshalb prinzipiell die Möglichkeit der Ortung /6/. Andererseits ist der Ausbreitungsmechanismus von Bedeutung, wenn weit entfernt von einer Fehlstelle gemessen wird. Das Meßergebnis wird maßgeblich durch den Ausbreitungsweg von der Fehlstelle zum Sensor bestimmt.

3.1 GIS als koaxialer Hohlleiter

Als Modell für die GIS im UHF-Bereich wird ein koaxialer Hohlleiter (Fig. 3.1.a) verwendet. Nur dann werden alle ausbreitungsfähigen elektromagnetischen Wellen mathematisch richtig bestimmt. Mit der Theorie von Hohlleitern kann gezeigt werden, daß die elektromagnetischen Wellen als TEM-, TE- und TM- Moden in GIS-Anlagen ausbreitungsfähig sind /7/. Fig. 3.1.b zeigt die Feldkomponenten dieser Wellenmoden. Die TEM-Welle wird als Grundmode im koaxialen Querschnitt bezeichnet. Die TE- und TM-Wellen werden als höhere Moden bezeichnet.



TEM = transversal-elektromagnetisch
 TE = transversal-elektrisch
 TM = transversal-magnetisch

Diese Wellenmoden werden durch die kritische Grenzfrequenz f_k im koaxialen Hohlleiter charakterisiert. Unterhalb der kritischen Grenzfrequenz wird eine Wellenmode gedämpft. Oberhalb der kritischen Grenzfrequenz ist eine Wellenmode in der GIS ausbreitungsfähig. Für höhere Wellenmoden besitzt die GIS einen Hochpaßcharakter. Abhängig von der GIS-Baugröße liegt die kritische Grenzfrequenz der ersten ausbreitungsfähigen Mode zwischen 250 und 350 MHz. Der TEM-Mode ist ab der Grenzfrequenz 0 Hz in einem koaxialen Querschnitt ausbreitungsfähig. Fig. 3.2 zeigt als Beispiel die kritischen Grenzfrequenzen der

ersten 9 höheren Moden in einer GIS für die 245 kV Ebene. Die Grafik zeigt, daß in GIS im UHF-Bereich mit höheren Moden zu rechnen ist.

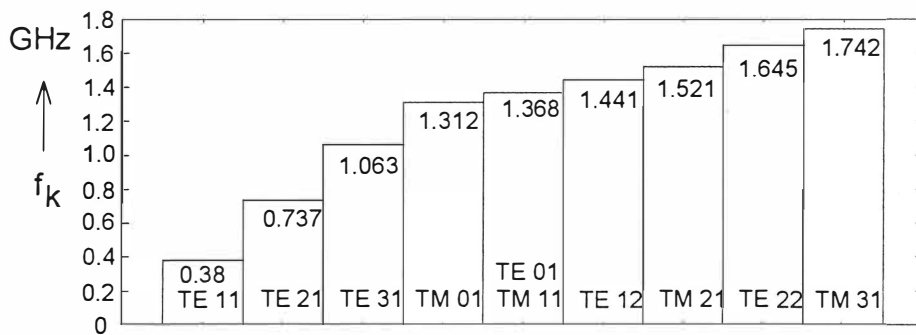


Fig. 3.2

Grenzfrequenzen
in einer GIS

Innenradius b: 0.185 m
Außenradius a: 0.072 m
Nennspannung:
245 - 362 kV

3.2 UHF-Resonanzen in GIS

An Inhomogenitäten im Ausbreitungsweg (Knicke, Stützer, Abgänge, Enddeckel, etc.) entstehen Reflexionen. Die Ausbildung stehender Wellen ist möglich mit der Folge, daß im UHF-Bereich Resonanzen in der Anlage auftreten. Es bilden sich elektromagnetische Resonanzen in der GIS, die durch die Anlagengeometrie bestimmt sind. Als einfachstes Modell wird die GIS als Hohlraumresonator der Länge l betrachtet. Fig. 3.3 zeigt ein Beispiel für die Resonanzfrequenzen in einem coaxialen Resonator mit den für GIS üblichen geometrischen Abmessungen.

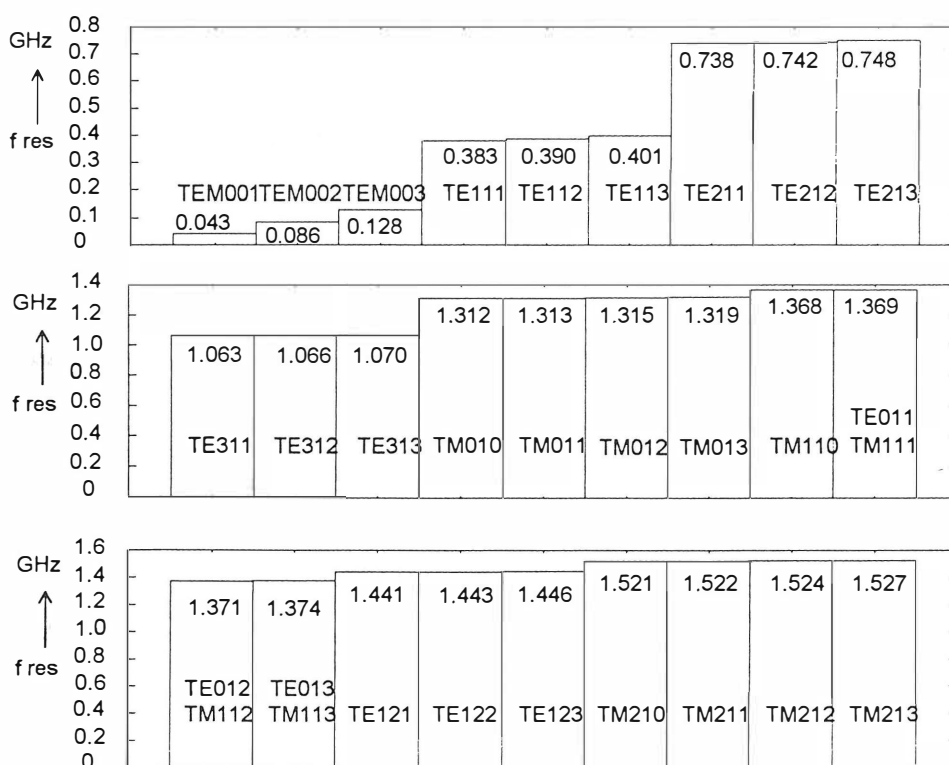


Fig. 3.3

Resonanzfrequenzen
in einer GIS

Länge: 3.5 m,
Innenradius b: 0.072 m
Außenradius a: 0.185 m
Nennspannung:
245 - 362 kV

Gezeigt wird jeweils ein Modentyp und die ersten 3 bzw. 4 Resonanzen des Wellenmodes. Die dargestellte Grafik in Fig. 3.3 gibt nur einen Teil der Resonanzen wieder, die sich ausbilden können. Die grafische Darstellung aller Resonanzen ist aufgrund ihrer Vielzahl nicht möglich. Es soll prinzipiell die hohe Dichte von Resonanzen gezeigt werden.

Aufgrund der großen geometrischen Abmessungen von GIS treten viele höhere Moden auf. Die Resonanzen des TEM-Modus treten als vielfache der erste Resonanzfrequenz auf. Die Resonanzen höherer Moden liegen nahe der zugehörigen kritischen Grenzfrequenz. Die Spektren von TE-Messungen mit der UHF-Methode zeigen deshalb sehr dichte Spektren. Die GIS selbst wirkt aufgrund ihres relativ großen Volumens als Resonator mit hoher Güte. Im Resonator gibt es eine Amplitudenüberhöhung bei der Resonanzfrequenz. Damit ist erklärbar, daß die energetisch geringe Wellenanregung von TE-Fehlstellen zu meßbaren Signalpegeln führt.

3.2 Dämpfung von Wellen in GIS

Die Dämpfung von Wellen in der Metallkapselung entsteht infolge des Skineffektes. Werden diese Werte für ideale Oberflächen berechnet ergibt sich ein theoretischer Wert von ca. 2 dB/km für die TEM-Mode. Die Dämpfung für höhere TE- und TM-Moden liegt in der gleichen Größenordnung. Wird die Oberflächenrauigkeit mit berücksichtigt so vergrößert sich dieser Wert. Bisher liegen noch keine konkreten Meßergebnisse über den genauen Dämpfungswert vor. Der Wert liegt aufgrund von praktischen Erfahrungen bei ca. 0.1-1 dB/m. Es laufen hierzu Untersuchungen, die insbesondere den Einfluß der Oberflächenrauigkeit im VHF und UHF-Bereich untersuchen. Bei dieser Form der Dämpfung durch den Skineffekt wird elektromagnetische Feldenergie in Verlustwärme umgesetzt.

3.3 Reflexion von Wellen an Stützisolatoren

Die Dämpfung von elektromagnetischen Wellen im UHF-Bereich wurde bisher in erster Linie auf Verluste in der Metallkapselung zurückgeführt. Damit können gemessene Amplitudenveränderungen im Spektrum an Stützisolatoren von ca. 5-10 dB nicht erklärt werden. Der Begriff Dämpfung ist hier an einem Stützer als Pegelverringerung von spektralen Anteilen im gemessenen Spektrum zu verstehen. Das Spektrum wird vor einem Stützer und nach einem Stützer verglichen. Durch teilweise Reflexion und Brechung von Wellen wird die Amplitude der weiterlaufenden Welle verringert. Es erfolgt eine Pegelveränderung durch die Reflexion einer Welle am Stützer und nicht durch die Wandlung von elektromagnetischer Feldenergie in ohmsche Verlustwärme. Im Isolierstoff selbst findet kein Verlust von Energie statt. Die Reflexion und Brechung elektromagnetischer Wellen an Stützisolatoren in GIS kann an einem Modell veranschaulicht werden. Fig. 3.4 zeigt das Modell der dielektrischen Scheibe und das zugehörige Leitungsersatzschaltbild in Fig. 3.5.

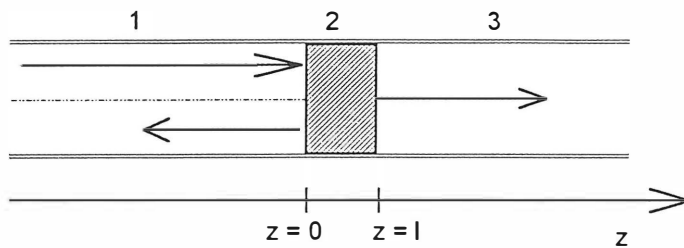


Fig. 3.4

Modell eines
Stützisolators
in einem
GIS Wellenleiter

Dielektrische Scheibe in einem GIS Wellenleiter

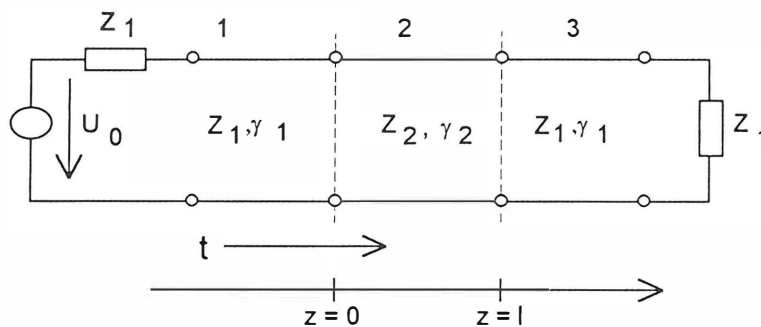


Fig. 3.5:

Leitungsersatz-
schaltbild

Leitungsersatzschaltbild des Wellenleiters mit Scheibe

Mit Hilfe des Leitungsersatzschaltbildes (Fig. 3.5) kann der Transmissionsfaktor t vor dem Stützer berechnet werden. Besitzt der Transmissionsfaktor den Wert 1 wird eine Welle am Stützer nicht reflektiert. Für Transmissionsfaktoren kleiner als 1 wird ein Teil der Welle reflektiert. Dies entspricht einer Dämpfung der einfallenden Welle. Fig. 3.6 zeigt den Transmissionsfaktor einer TEM-Welle an einer dielektrischen Scheibe der Dicke 5 cm.

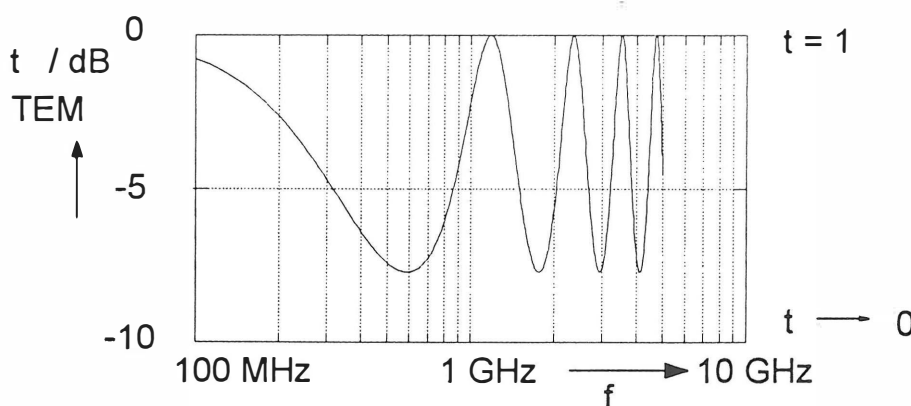


Fig 3.6:

Transmissionsfaktor
 t_{TEM} von
TEM-Wellen an einer
dielektrischen
Scheibe

(Dicke = 5 cm,
 $\epsilon_r = 6.5$)

Fig. 3.7 zeigt den Transmissionsfaktor t von TE- und TM-Wellen an derselben dielektrischen Scheibe. Zum besseren Vergleich wurde als Grenzfrequenz für beide Modentypen die gleiche kritische Grenzfrequenz im Hohlleiter zu 500 MHz gewählt.

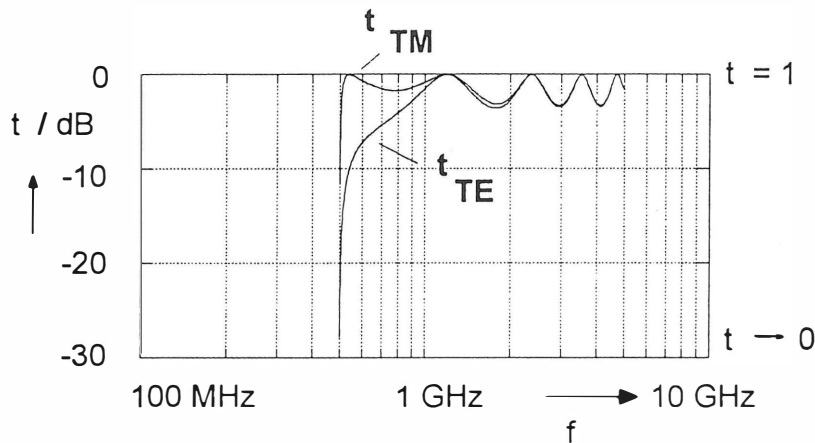


Fig. 3.7

Transmissionsfaktor t
von TE- und
TM-Wellen an einer
dielektrischen Scheibe

(Dicke = 5 cm,
 $\epsilon_r = 6.5$)

Wesentlich bei den Ergebnissen ist, daß es keinen pauschalen Dämpfungswert für elektromagnetische Wellen an Stützisolatoren gibt. Die Dämpfung ist frequenzabhängig und hängt vom Wellentyp ab. In der Nähe der kritischen Grenzfrequenz treten für die TE- und TM-Wellen hohe Dämpfungswerte auf. Im Frequenzbereich über 1 GHz treten in dem gerechneten Beispiel Dämpfungen von ca. 5 dB auf. In der Praxis ist mit größeren Werten zu rechnen. Mit diesen berechneten Ergebnissen können Meßergebnisse der UHF-Methode von Pegelveränderungen an Stützisolatoren richtig erklärt werden. Durch einen Stützer im Ausbreitungsweg z. B. zwischen einer Fehlstelle und einem Sensor werden Anteile im Spektrum in ihrer Amplitude verringert. Andererseits können sich aufgrund der Inhomogenität durch den Stützer neue Resonanzen ausbilden.

4. Sensoren im UHF- Bereich

4.1 Beschreibung von Sensoren als kapazitive Teiler

Für die Messung von TE im UHF-Bereich werden flache Scheibensensoren verwendet /4,8/. Die Entwicklung dieser Sensoren wurde für die Messung von transienten Spannungen in GIS durchgeführt. Im Frequenzbereich bis ca. 300 MHz kann ein Sensor (Fig. 4.1) als kapazitiver Teiler beschrieben werden (Fig. 4.2). Die Oberkapazität des Teilers wird durch die Kapazität C_1 der Sensorplatte zum Innenleiter in der GIS gebildet. Die Kapazität der Sensorplatte zum GIS-Außenleiter bildet die Unterkapazität C_2 des Spannungsteilers.

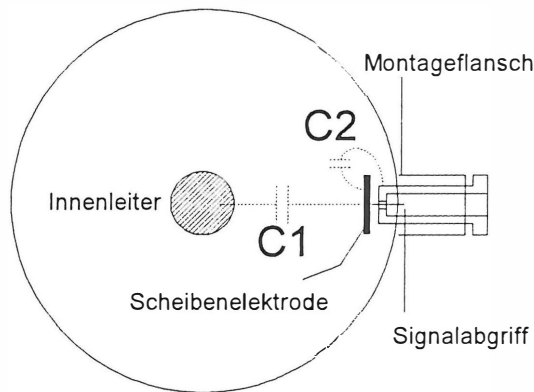


Fig. 4.1:

Sensor für TE-
Messung in einer
GIS

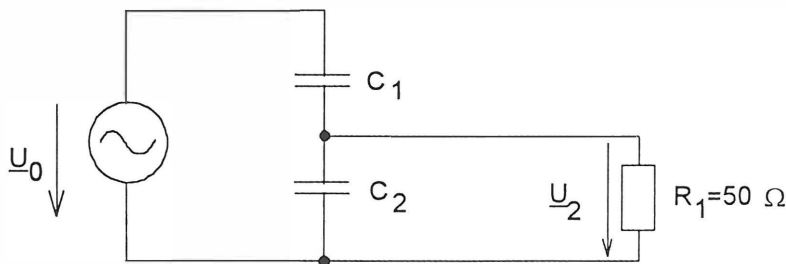


Fig. 4.2:

ESB eines Sensors
als kapazitiver
Teiler

Fig. 4.3 zeigt die Übertragungsfunktion des kapazitiven Teilers für zwei typischen Werte $C_1=0,2$ pF und $C_2=30$ pF. Die Übertragungsfunktion besitzt Hochpaßcharakter und würde im UHF-Frequenzbereich theoretisch einen konstanten Verlauf besitzen. In der Praxis ist dies nicht möglich. Parasitäre Effekte z. B. Streuinduktivitäten der Zuleitungen führen zu einem Abfall des Frequenzganges im UHF-Bereich. Im UHF-Bereich treten zudem Laufzeiteffekte auf der Sensorplatte auf. Bereits in /3/ wurde erkannt, daß Sensoren Resonanzen im UHF-Bereich besitzen. Der Frequenzgang eines Sensors ist frequenzabhängig. Dadurch wird die Messung von TE-Spektren im UHF-Bereich frequenzabhängig beeinflusst.

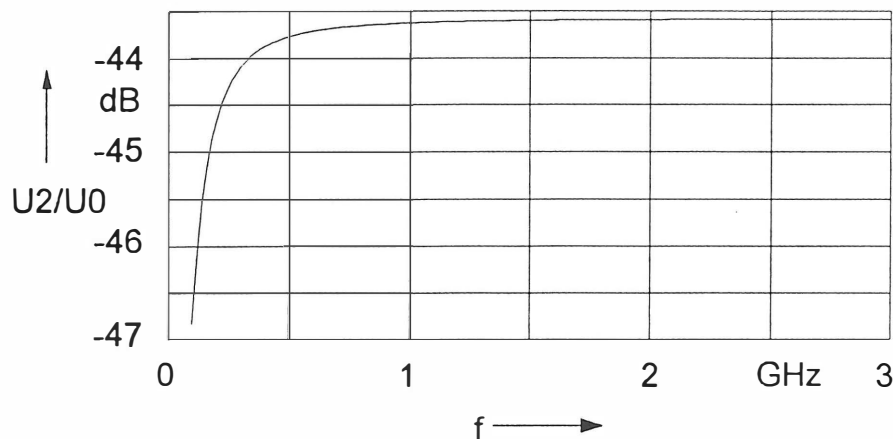


Fig. 4.3:

Frequenzgang des
kapazitiven Teilers

$C1 = 0,2 \text{ pF}$
 $C2 = 30 \text{ pF}$

4.2 UHF-Sensor als Antenne

Im UHF-Frequenzbereich z. B. bei 1 GHz und einer zugehörigen Wellenlänge von 30 cm liegt die Abmessung der Sensorplatte (ca. 10 - 30 cm) in der Größenordnung der zu empfangenden Wellenlänge. Der Sensor muß dann als Antenne beschrieben werden. Fig. 4.4 zeigt die Beschreibung des Sensors als Antenne. Der Sensor wird als eine Spannungsquelle mit der Leerlaufspannung \underline{U}_0 und der Strahlungsimpedanz \underline{Z}_a der Antenne beschrieben. \underline{Z}_L ist die Eingangsimpedanz der Sensorzuleitung und der Meßgeräte.

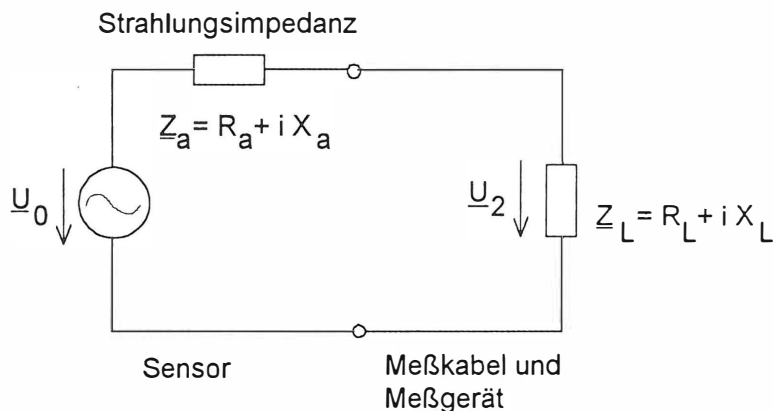


Fig. 4.4:

ESB des Sensors
im UHF-Bereich
Beschreibung als
Antenne

In [9] wird die Übertragungsfunktion für einen Scheibensensor berechnet. Als Beispiel wird ein Scheibensensor mit dem Durchmesser 10 cm angenommen. Fig. 4.5 zeigt das Simulationsergebnis. Die Übertragungsfunktion des Sensors zeigt Schwankungen im Frequenzgang. Fig 4.6 zeigt im Vergleich dazu die gemessene Übertragungsfunktion eines Sensors. Messung und Simulation zeigen eine gute Übereinstimmung. Der Frequenzgang des Sensors führt bei einer Messung zu einer frequenzabhängigen Bewertung der Resonanzen in der GIS. Dies ist bei der Auswertung der Meßergebnisse zu berücksichtigen.

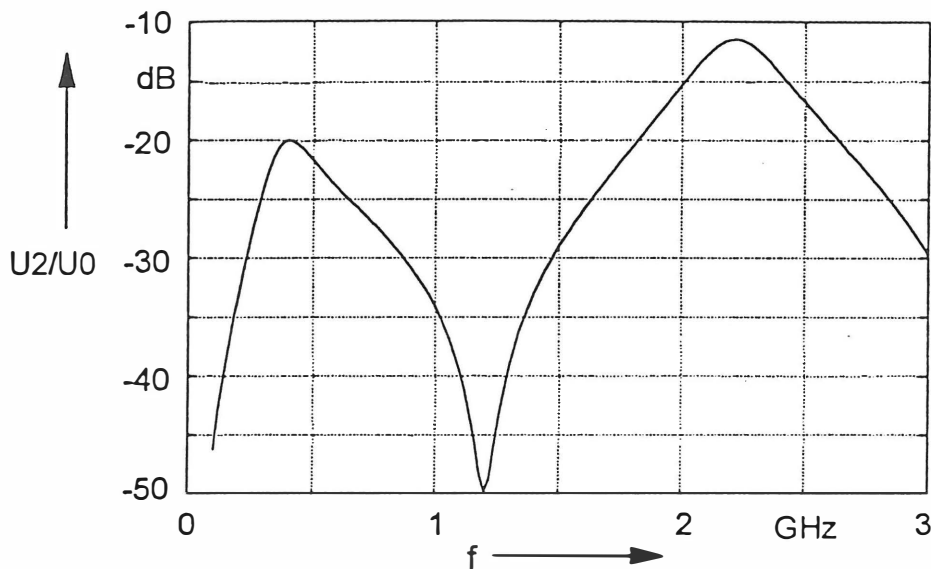


Fig. 4.5:

Simulation der Übertragungsfunktion eines Scheibensensors

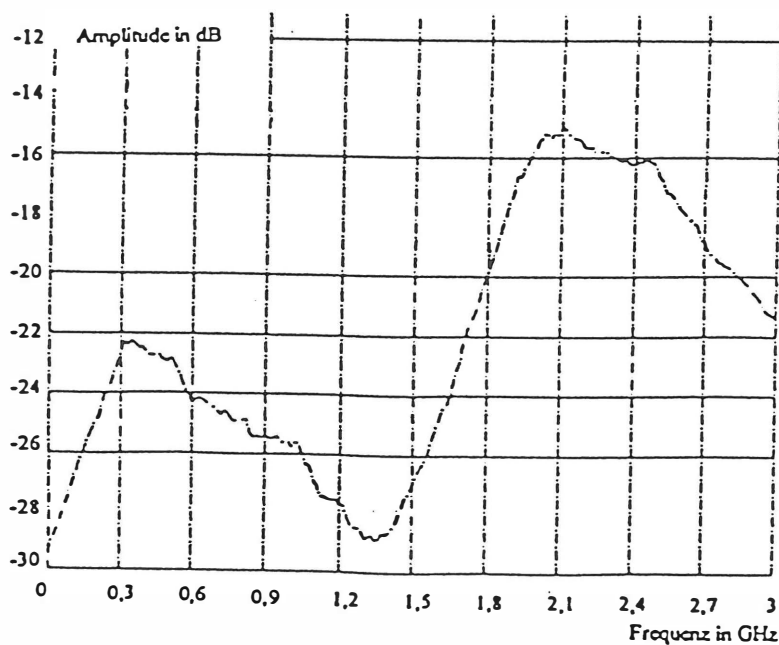


Fig. 4.6:

Messung der Übertragungsfunktion eines Scheibensensors

Bei Messungen mit Sensoren in GIS ist weiterhin zu berücksichtigen, daß das empfangene elektromagnetische Wellenfeld durch die GIS geführt wird und nicht aus dem Freiraum stammt. Das Meßergebnis wird wesentlich davon bestimmt in welchem Abstand der Sensor zur Fehlstelle liegt. Nahe einer Fehlstelle, bei Experimenten oft direkt gegenüber der Fehlstelle, wird in erster Linie das Strahlungsnahfeld der Fehlstelle gemessen. Einige Meter davon entfernt wirken sich die Hohlleitrandbedingungen auf die abgestrahlte elektromagnetische Welle aus. Das Meßergebnis ist dort ein Anderes.

5. Messungen mit der UHF-Methode

5.1 Schmalbandige und Breitbandige Auflösung

Bei der Messung von TE-Spektren im UHF-Bereich ist zu berücksichtigen, daß Spektren mit dicht beieinander liegenden Spektrallinien gemessen werden. Es muß zwischen Messungen mit schmalbandigen und breitbandigen Auflösungsfiltern unterschieden werden. Bei der schmalbandigen Auflösung (z. B. 300 Hz) eines Spektrums wird die Amplitude einer Spektrallinie richtig gemessen, da die einzelnen Anteile des Spektrums getrennt aufgelöst werden. Es erfolgt die Aufzeichnung eines Linienspektrums. Bei breitbandiger Auflösung z. B. 1 MHz werden einzelne Spektrallinien nicht getrennt. Gemessen wird dann die Hüllkurve des Spektrums. Beide Ergebnisse der breitbandigen und schmalbandigen Auflösung unterscheiden sich in der Amplitude der dargestellten Spektren. Werden Messungen verglichen ist deshalb auf gleiche Meßparameter zu achten. Durch eine breitbandige Auflösung werden mehrere Spektrale Anteile gleichzeitig erfaßt. Das Meßergebnis besitzt einen höheren Wert und ist damit empfindlicher als eine schmalbandige Messung. Für die Anwendung der UHF-Methode ist dies von Vorteil. Die notwendige Meßzeit eines Spektrum Analysators ist bei einer breitbandigen Auflösung kleiner als bei einer schmalbandigen Auflösung. Meßzeiten von ca. 50 ms - 1 s durch den gesamten Meßbereich sind möglich. In Hinblick auf eine begrenzte Meßzeit bei einer Vor-Ort-Prüfung ist dies maßgebend. Ebenso für die rationelle Durchführung von Routinemessungen zur Diagnose in GIS-Anlagen ist eine kurze Meßzeit Voraussetzung.

5.2 Messung im Frequenzbereich und Zeitbereich

Die UHF-Methode wird derzeit experimentell untersucht und angewendet. Messungen im Labor haben ergeben, daß zur Zeit mit der UHF-Methode z. B. für Fehlstellen auf dem Innen- oder Außenleiter eine Empfindlichkeit von 3-5 pC (scheinbare Ladung nach IEC 270) erreicht wird /10,11/. Diese Aussage bezieht sich auf eine bestimmte Fehlerart und auf einen speziellen Versuchsaufbau. Die Empfindlichkeit hängt von dem Fehlstellentyp, dem Abstand zum Sensor und dem Meßverfahren ab (schmalbandig, breitbandig, gewähltes Frequenzintervall). Die Auswertung von gemessenen hochfrequenten Signale kann im Frequenzbereich oder im Zeitbereich durchgeführt werden. Im Zeitbereich wird das Auftreten von hochfrequenten Spektralanteilen zeitlich zur Phase der Prüfspannung betrachtet. Anhand der Meßsignale wird die Klassifikation von Fehlstellen durchgeführt /12,13/.

Diese Vorgehensweise soll an einer für GIS typischen Fehlstelle verdeutlicht werden. In einer einphasigen GIS für die 123 kV-Ebene wurde ein 8 mm Teilchen auf einem Stützer fixiert. Fig. 5.1 zeigt das Referenzspektrum. Es liegt keine Prüfspannung an der Anlage. Bei einer Spannung von 220 kV wurde ein Teilentladungspegel von 5 pC mit der Standardmethode IEC 270 gemessen. Fig. 5.2 zeigt das zugehörige Spektrum der UHF-Methode. Nach der Messung im Frequenzbereich gibt es Möglichkeiten die Messungen mathematisch auszuwerten. Eine Möglichkeit ist die Differenz aus dem Spektrum mit TE und dem Spektrum der Hintergrundstörungen zu bilden. Eine Veränderung im Spektrum ist dann frühzeitig festzustellen. Das Auftreten von TE ist in der Differenz (Fig. 5.3) deutlich zu erkennen.

Im Spektrum (Fig. 5.2) sind Anteile bei ca. 860 MHz zu erkennen. Für eine Darstellung der hochfrequenten Anteile über der Zeit wird in diesem Beispiel eine feste Mittenfrequenz von 860 MHz verwendet. Der Spektrum Analysator soll nur bei dieser Mittenfrequenz messen. Es wird dazu ein Frequenzintervall von 0 Hz eingestellt, weshalb diese Art der Messung Zero-

Span Messung genannt wird. Fig. 5.4 zeigt die Frequenzanteile bei der Mittenfrequenz 860 MHz über der Zeit dargestellt.

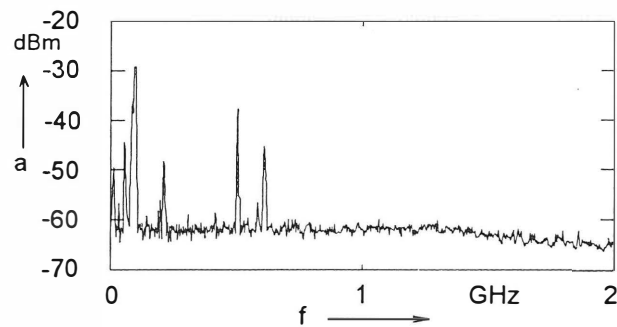


Fig. 5.1:

Referenzspektrum

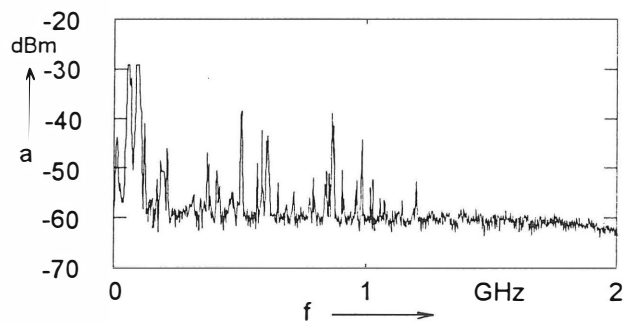


Fig 5.2:

Spektrum bei TE
(5 pC nach IEC 270,
8 mm Teilchen auf
einem Stützer)

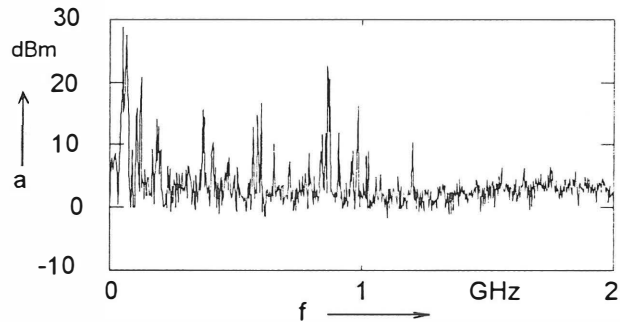


Fig. 5.3:

Differenz von
Spektrum bei TE und
Referenzspektrum

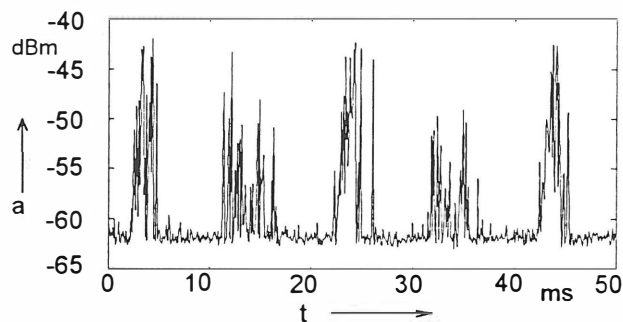


Fig. 5.4:

Darstellung im
Zeitbereich
(Mittenfrequenz
860 MHz)

5.3 Diagnosekonzepte an GIS mit der UHF-Methode

Werden GIS-Anlagen mit Sensoren bestückt kann ständig oder routinemäßig auf TE hin kontrolliert werden. Der Einsatz der UHF-Methode ist im Rahmen eines Überwachungssystems vorgesehen. Dazu werden Überwachungsempfänger an Sensoren direkt installiert /14/. Die GIS-Überwachung wird über ein optisches Datennetz mit der Leittechnik verbunden. Durch den Einsatz moderner Rechnersysteme und Datenbanken können Meßdaten ausgewertet und protokolliert werden. Damit kann über längere Zeiträume hinweg die Entwicklung einer TE-Aktivität nachvollzogen werden. Das Monitoring soll als erste Stufe Unregelmäßigkeiten z. B. Pegelveränderungen im Spektrum aufzeigen. Aufgrund einer Alarmfunktion werden danach verschiedene Stufen der Diagnose veranlaßt. Dies sind z. B. die qualitative Einschätzung der TE, Messungen im Zeitbereich, Auswertung von Meßdaten sowie die Hinzunahme von akustischen TE-Messungen. Soweit nötig kann dann eine Wartung der Anlage veranlaßt werden.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die UHF-Methode ist für die ständige Überwachung von GIS einsetzbar, da im Betrieb gemessen werden kann. In Kombination mit anderen Meßgrößen kann der Zustand einer Anlage beurteilt werden.

In diesem Beitrag wurde gezeigt, daß zur Erfassung und Beurteilung von Teilentladungen im UHF-Bereich die Ausbreitungsmechanismen elektromagnetischer Wellen in GIS zu berücksichtigen sind. Es sind höherer Wellenmoden in GIS ausbreitungsfähig. Die gemessenen Spektren entstehen aufgrund von Resonanzen in der GIS. Diese Spektren sind sehr dicht und breitbandig. Als Dämpfungsmechanismen sind Verluste in der Kapselung zu berücksichtigen. Wesentlichen Einfluß hat die frequenzabhängige Reflexion an einem Stützer, die zu einer Veränderung des Spektrums führen kann. Sensoren in GIS müssen im UHF-Bereich als Antennen beschrieben werden um Resonanzen im Frequenzgang richtig zu beschreiben. Diese Feststellungen zeigen, daß eine Kalibrierung der UHF-Methode schwierig und deshalb noch nicht zufriedenstellend beantwortet ist.

Die Standardmethode IEC 270 wird von einem großen Anwenderkreis zur Qualitätssicherung für verschiedene Betriebsmittel seit langen Jahren in der Hochspannungstechnik genutzt. Bei den Ergebnissen besteht ein Grundkonsens. Die UHF-Methode wird von GIS-Betreibern und Herstellern benutzt. Weitere Untersuchungen, Vergleiche und Diskussion von Messungen sind notwendig, um zu allgemeingültigen Ergebnissen und Aussagen für Messungen mit der UHF-Methode zu gelangen. Letztendlich wird eine Kombination von verschiedenen TE-Meßverfahren ein optimales Ergebnis liefern.

7. Literatur

- /1/ IEC Publikation 270 (1981): "Teilentladungsmessung".
- /2/ M. Albiez, M. Leijon: "PD-Measurement in GIS with Electrical Field Sensor and Acoustic Sensor". 7. ISH, Dresden, 1991, Paper 75.08.
- /3/ B.F. Hampton, R.J. Meats, B. Pryor, B. Watson-Jones: "The Application of Partial Discharge Measurements to GIS". Int. Symp. on Gas Insulated Substations, Toronto, 1985, Paper 33.
- /4/ B.F. Hampton, R.J. Meats: "Diagnostic Measurements at UHF in Gas Insulated Substations". IEE Proc., Vol. 135, Pt. C, No. 2, March 1988.
- /5/ A. Petit, C. Maulat: "GIS Monitoring by the UHF Method: Effect of External Perturbations and Effects on Solid Insulators". CIGRE Symp., Berlin, 1993, Paper 130-07.
- /6/ D. Lightle, B. Hampton, T. Irwin: "Monitoring of GIS at Ultra High Frequencies". 6. ISH, New Orleans, 1989, Paper 23.02.
- /7/ R. Kurrer, K. Feser, I. Herbst: "Calculation of Resonant Frequencies in GIS for UHF Partial Discharge Detection". 7. Int. Symp. on Gaseous Dielectrics, Knoxville, 1994.
- /8/ M. Albiez, W. Zaengl, J. Meppelink, K.J. Diederich: "Design and Calibration of an Universal Sensor for the Measurement of Partial Discharges and Very Fast Transients in GIS". 6. ISH, New Orleans, 1989, Paper 42.28.
- /9/ R. Kurrer, K. Feser, I. Herbst, T. Krauß: "Antenna Theory of flat Sensors for Partial Discharge Detection at Ultra-High-Frequencies in GIS". To be published at the ISH 1995, Graz.
- /10/ B.F. Hampton, J.S. Pearson, C.J. Jones, T. Irwin, L.M. Welch, B.M. Pryor: "Experience and Progress with the UHF Diagnostics in GIS". CIGRE Sess. Paris, 1992, Paper 15/23-03.
- /11/ H.D. Schlemper, R. Kurrer, K. Feser: "Sensitivity of On-Site Partial Discharge Detection in GIS". 8. ISH, Yokohama, 1993, Paper 66.04.
- /12/ A.G. Sellars, B.F. Hampton, O. Farish: "UHF Diagnosis of Pre-Breakdown Corona Pulses in GIS". 8. Int. Conf. on Gas Discharges and their Applications, Swansea, 1992, pp. 706-709.
- /13/ A.G. Sellars, B.F. Hampton, O. Farish: "Identifying the Streamer-Leader Transition in SF₆ Using the UHF Technique". 8. ISH, Yokohama, 1993, Paper 31.01.
- /14/ J. Pearson, B.F. Hampton, A.G. Sellars: "A Continuous UHF Monitor for Gas-insulated Substations". IEEE Trans. on El. Ins., Vol. 26 No. 3, June 1991.