

Messung transienter Vorgänge in Freiluft- und SF₆-Schaltanlagen

Thomas Dischinger, Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik
Universität Stuttgart

1 Einleitung

Bei Schaltvorgängen in Hochspannungsschaltanlagen entsteht bedingt durch die auftretenden hohen Feldstärken im Schalter ein sehr schneller Spannungszusammenbruch. Speziell in gasisolierten Anlagen kann dieser Zusammenbruch in wenigen Nanosekunden stattfinden, was zu sehr schnellen transienten Spannungen, Strömen und elektromagnetischen Feldern im Bereich der Schaltanlage führt. Diese transienten Signale können Sekundärgeräte - elektronischer Schutz oder Kontrollsysteme -, die in der Schaltanlage installiert sind, störend beeinflussen, wenn diese nicht eine entsprechende elektromagnetische Verträglichkeit aufweisen.

Um die für diese Geräte auftretenden Belastungen abschätzen zu können, ist es notwendig, die auftretenden Störgrößen im Normalbetrieb einer Anlage zu messen und auszuwerten. Die dabei ermittelten Werte der transienten elektromagnetischen Feldstärke, der Spannung und des Stromes sollten eine Grundlage bilden für Tests, mit denen die elektromagnetische Verträglichkeit der eingesetzten Schutz- und Kontrollgeräte bereits während der Entwicklung überprüft werden kann.

Es werden einige Messungen in gasisolierten und in Freiluftschaltanlagen vorgestellt, die während Trennerschaltungen durchgeführt wurden. Dabei handelt es sich sowohl um Feldmessungen als auch um Spannungs- bzw. Strommessungen. Dabei ist besonders zu berücksichtigen, daß eine möglichst rückwirkungsfreie Messung durchgeführt werden muß, da es sonst zu erheblichen Verfälschungen bei der Messung kommen kann. Ebenso muß sichergestellt sein, daß durch die auftretenden Störungen im Bereich der Schaltanlage die Meßgeräte bzw. die verwendeten Sensoren nicht oder nur gering beeinflusst werden.

2. Messung transienter elektrischer Felder

Bild 1 zeigt die transiente elektrische Feldstärke, die während des Schaltens eines Trenners in einer 123 kV gasisolierten Schaltanlage in der Nähe eines Steuerschranks gemessen wurde. Die Feldstärke wurde mit einem batteriebetriebenen potentialfreien Feldsensor gemessen [1]. Die obere Grenzfrequenz des Sensors liegt bei 100 MHz.

Die gemessene maximale Feldstärke liegt bei ca. 1,2 kV/m_{SS}. Das aus dem gemessenen Signal berechnete Frequenzspektrum zeigt wesentliche Anteile bis etwa 30 MHz.

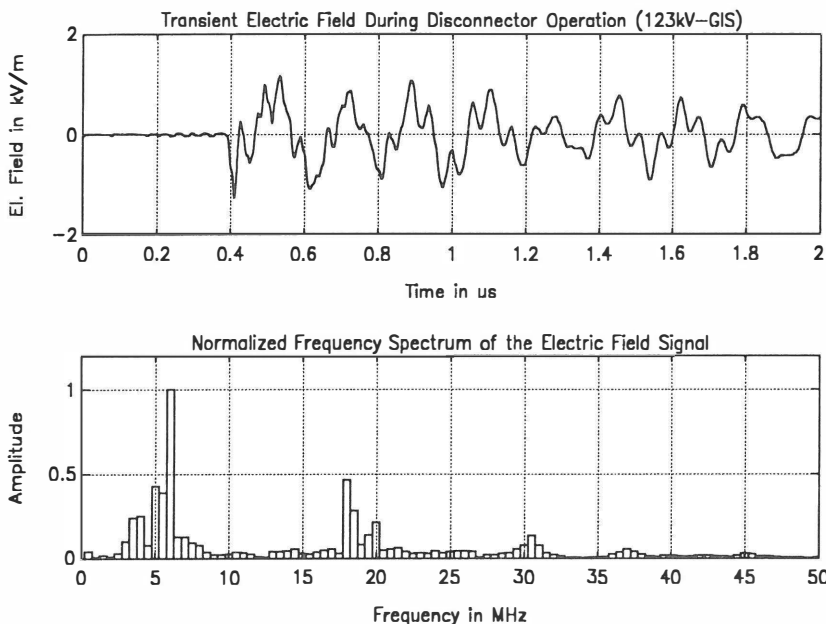


Bild 1:
In der Nähe eines Steuer-
schrankes gemessenes
transientes elektrisches
Feld (123 kV GIS)

In Abhängigkeit von der Position des Feldsensors und der Spannungsebene der Schaltanlage können die gemessenen Feldstärkewerte einige 10 kV/m_{SS} erreichen und Frequenzen im Bereich von 100 MHz beinhalten. Hohe Amplituden treten in der Nähe von langen GIS-Leitungen ohne Verzweigungspunkte auf, wie sie als Ausleitungen zu Freiluftdurchführungen zum Einsatz kommen. Die dabei auftretenden Frequenzen liegen im wesentlichen im Bereich von 10 MHz. Bei Sammelschienen mit vielen Abzweigen und Erdverbindungen liegt die auftretende Feldstärke im Bereich von 1 kV/m mit jedoch wesentlich höheren Frequenzen von bis zu 100 MHz.

Da in modernen Schaltanlagen eine Vielzahl von elektronischen Komponenten und Computern zur Überwachung und zur Steuerung der Anlage vorhanden ist, ist es notwendig, die Belastung durch transiente elektromagnetische Felder, die Einkopplungen in Steuerleitungen und in die Spannungsversorgung verursachen können, möglichst gering zu halten. Eine Möglichkeit, die transienten Felder bei gasisolierten Schaltanlagen mit Durchführungen zu Hochspannungsleitungen zu verringern, ist die Installation sogenannter VFT-Gitter. Darunter versteht man die Anbringung feinmaschiger gut geerdeter und mit der Kapselung der Schaltanlage verbundener Gitter im Bereich der Ausleitung aus dem Gebäude. Diese VFT-Gitter sollen die im Gebäude der Schaltanlage auftretenden transienten elektrischen Felder beim Trennerschalten reduzieren, indem die an der Durchführung reflektierte und auf der Kapselung der Anlage zurücklaufende Wanderwelle zum großen Teil niederinduktiv gegen

Erde abgeleitet wird. In Bild 2 und 3 werden Messungen des transienten elektrischen Feldes nahe an der Kapselung einer 420 kV GIS im Inneren des Gebäudes dargestellt. Zunächst wurden Messungen beim Schalten eines Trenners ohne VFT-Gitter durchgeführt. Dabei ergaben sich Feldstärken von bis zu 16 kV/m_{SS}. Nach der Montage des VFT-Gitters wurden die Messungen unter sonst gleichen Bedingungen wiederholt. Die gemessenen Feldstärkeamplituden waren um den Faktor 10 geringer als ohne VFT-Gitter. Eine Fourieranalyse der gemessenen Feldstärkeverläufe zeigte jedoch eine Erhöhung der dominant auftretenden Frequenzen. Somit kann nicht von einer Reduzierung der elektromagnetischen Belastung der im Gebäude vorhandenen Elektronik um den Faktor 10 ausgegangen werden.

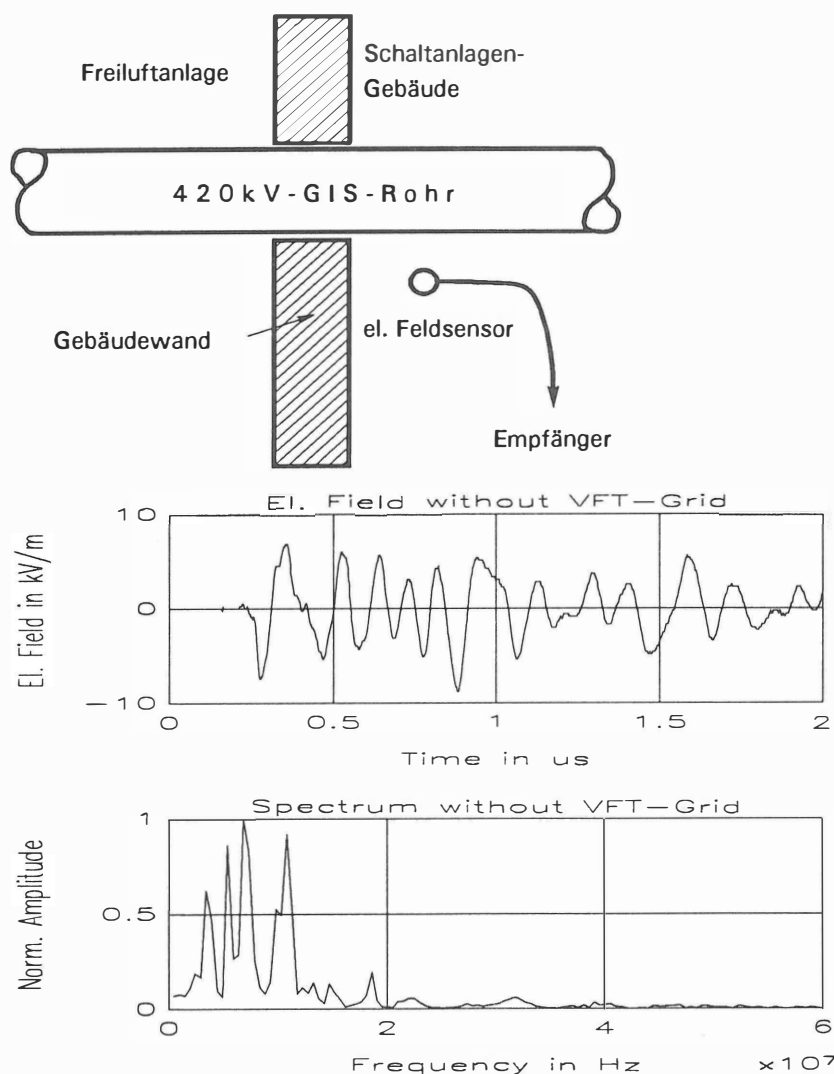


Bild 2
Meßanordnung zur Mes-sung
der transienten Feldstärke
ohne VFT-Gitter

Bild 2a
Messung der transienten
elektrischen Feldstärke ohne
VFT-Gitter

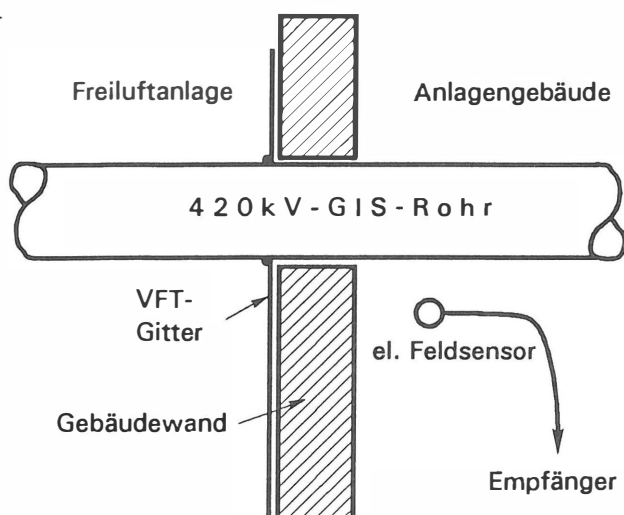


Bild 3
Meßanordnung zur Messung
der transienten elektrischen
Feldstärke mit VFT-Gitter

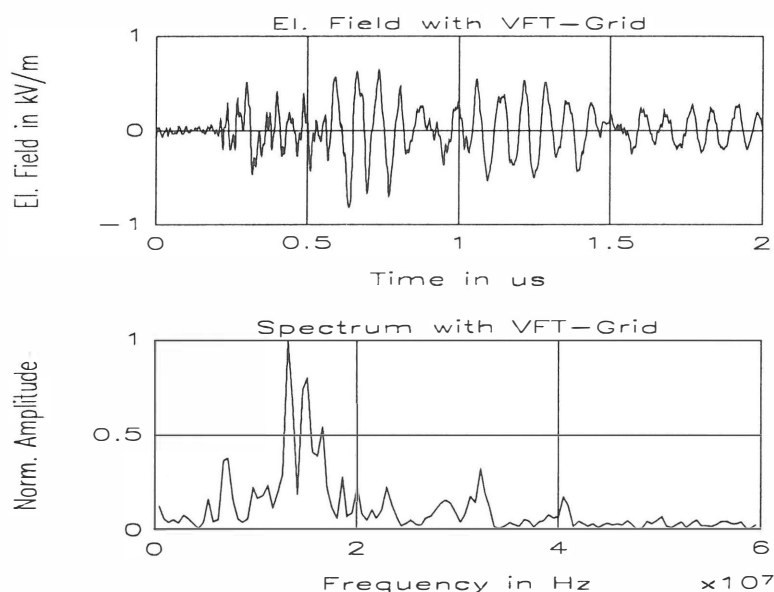


Bild 3a
Messung der transienten
elektrischen Feldstärke mit
VFT-Gitter

Die stärkste Auskopplung transienter Signale bei Schaltvorgängen tritt an den Stellen einer GIS auf, wo die Kapselung der Anlage endet oder unterbrochen ist, wie z.B. an Durchführungen oder Kabelanschlußpunkten. Häufig kann die Schirmung eines Hochspannungskabels nicht direkt mit der Schaltanlagenkapselung verbunden werden, weil ein kathodischer Korrosionsschutz des Kabels realisiert wird. In diesen Fällen wird der Kabelschirm über Dioden relativ weit entfernt vom Kabelanschlußpunkt geerdet (~ 10 m).

Durch die beim Schalten eines Trenners in der Schaltanlage auftretenden Wanderwellen werden an solchen Unstetigkeitsstellen transiente Überspannungen auf dem Kabelschirm und der Kapselung der Schaltanlage erzeugt. Diese führen zu hohen elektrischen Feldstärken in der Nähe des Kabelschirmes bzw. der Anlagenkapselung. Bild 4 zeigt ein Foto des Kabelanschlußpunktes einer 3phasigen 123 kV GIS. Durch den kathodischen Korrosionsschutz ist der Kabelschirm nicht direkt mit der Kapselung der Schaltanlage verbunden. Bei der gezeigten Anlage sind die Dioden, über die der Kabelschirm mit Erde verbunden ist, im Keller des Gebäudes in einer Entfernung von ca. 12 m vom Kabelanschlußpunkt installiert. Um die transienten Überspannungen zwischen der GIS-Kapselung und dem Kabel-

schirm zu begrenzen, wurden einfache Funkenstrecken an der Verbindungsstelle angebracht. Wahlweise ist auch ein Anbringen von Metalloxid-Varistoren an dieser Stelle möglich.

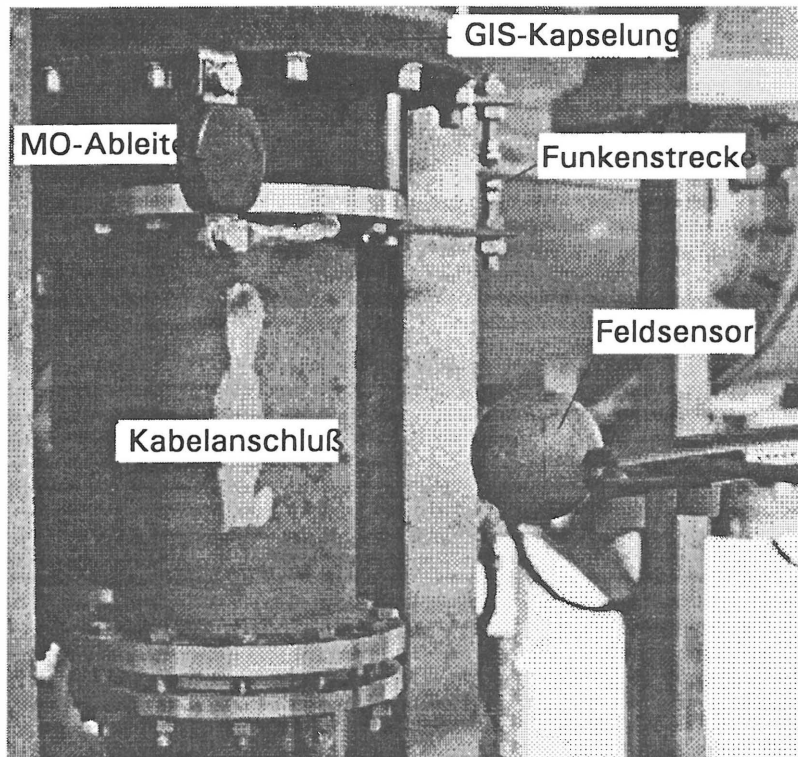


Bild 4
Kabelanschlußpunkt einer
3phasigen 123 kV GIS

Bild 5 zeigt das transiente elektrische Feld, das nahe am Kabelanschluß mit und ohne MO-Ableitern gemessen wurde. Der Abstand zwischen dem Feldsensor und den Kabeln betrug ca. 60 cm. Die Sammelschiene der GIS lag an Spannung und der Trenner zum Kabelabgangsfeld wurde geschlossen, was eine transiente Überspannung auf der Anlagenkapselung und dem Kabelschirm verursachte. Bild 4a zeigt die gemessenen Feldkomponenten in x, y und z-Richtung und die Gesamtamplitude des elektrischen Feldes ohne angeschlossenen MO-Ableiter. Bild 4b zeigt die selbe Messung mit MO-Ableiter. Die Amplitude des elektrischen Feldes nimmt durch den Anschluß eines MO-Ableiters etwa um einen Faktor 3 ab. Die zur Spannungsbegrenzung installierten Funkenstrecken sind offensichtlich nicht in der Lage, die transienten Spannungen auf kleine Werte zu begrenzen. Die Fourieranalyse der aufgezeichneten Messungen ergibt, daß das elektrische Feldes ohne MO-Ableiter eine sehr große Bandbreite aufweist, die durch den Einsatz eines Ableiters stark verringert wird.

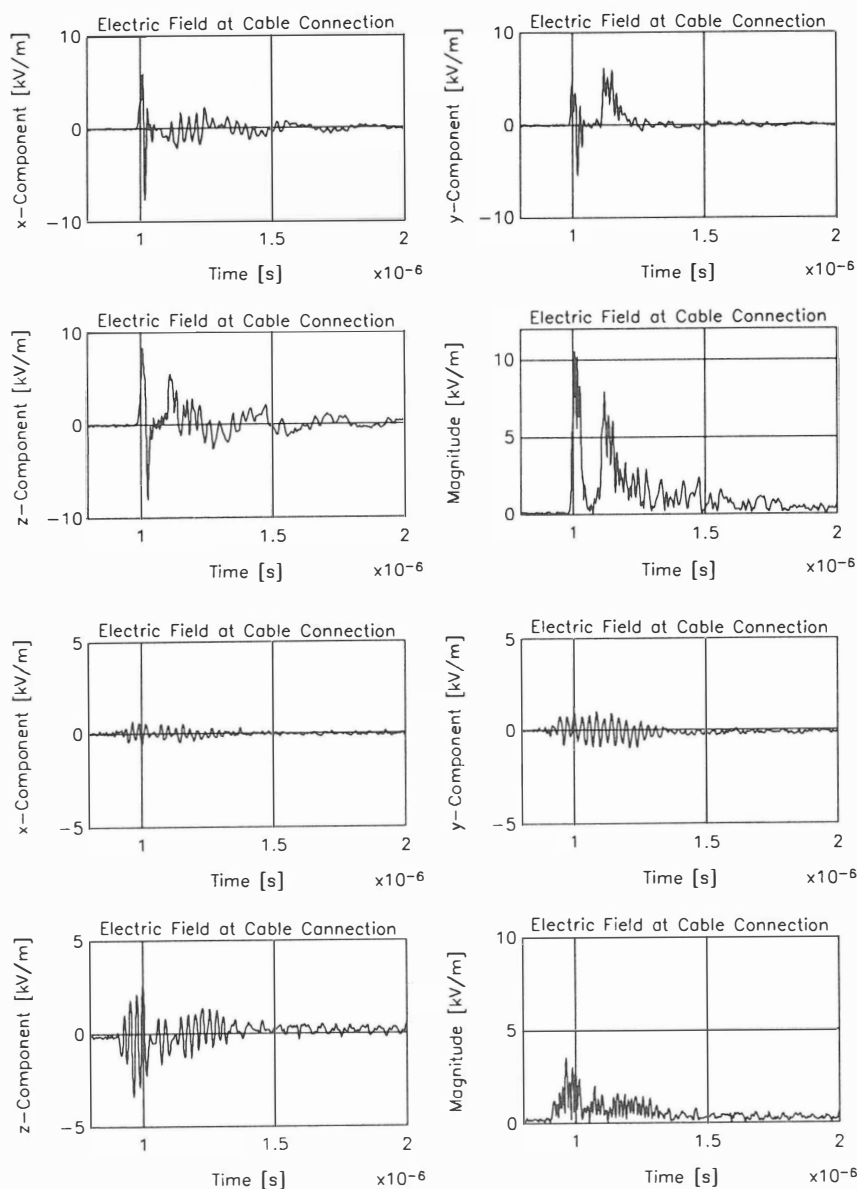


Bild 5
Gemessene elektrische
Feldstärken und deren
Spektren am Kabelanschluß-
punkt einer
123 kV GIS

Bild 5a
Feldstärke ohne Ableiter
x-, y-, z-Komponente und
Amplitudenbetrag

Bild 5b
Gemessene transiente
Feldstärke mit Ableiter
x-, y-, z-Komponente und
Amplitudenbetrag

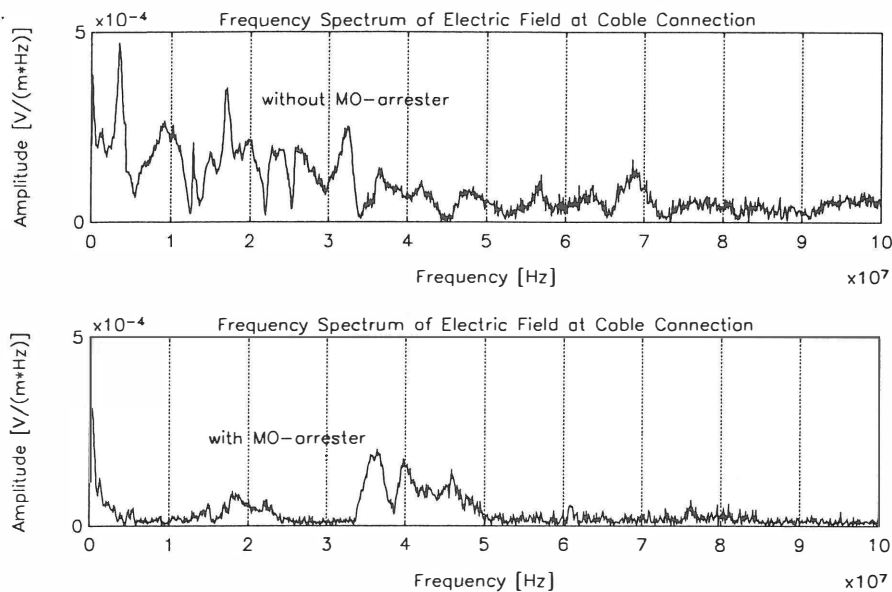


Bild 5c
Frequenzspektren der
Feldstärkemessungen

Im nächsten Beispiel wird eine Messung des elektrischen Feldes mit hohen Frequenzanteilen gezeigt. Diese hohen Frequenzen entstehen durch das Zuschalten einer sehr kurzen GIS-Sammelschiene, die am Ende offen ist. Über einen Trenner wurde die Sammelschiene mit einem unter Spannung stehenden Hochspannungskabel verbunden. Bild 6 zeigt den Meßaufbau für die Messung des elektrischen Feldes.

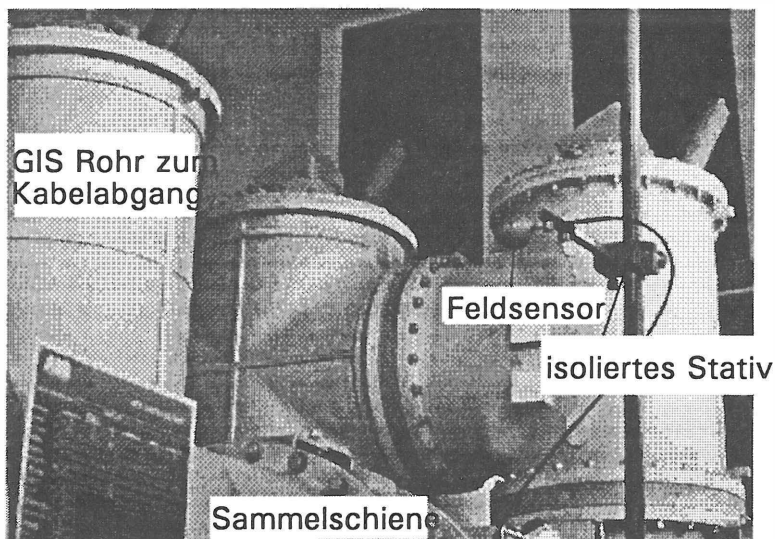


Bild 6
Meßaufbau zur Messung der
transienten elektrischen
Feldstärke verursacht durch
das Zuschalten einer kurzen
Sammelschiene über einen
Trenner

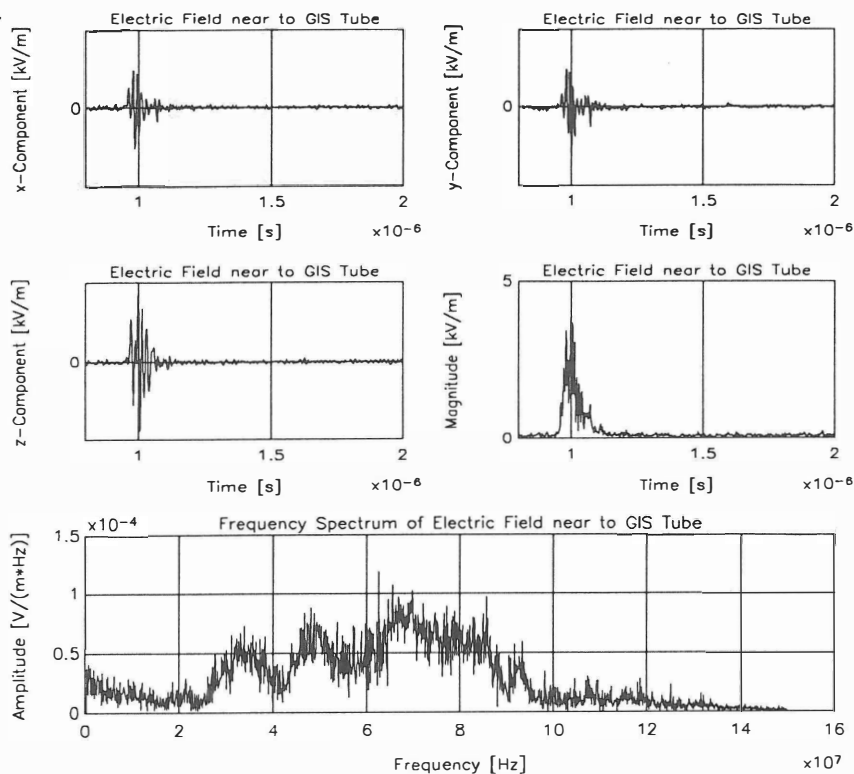


Bild 7a
Verlauf des transienten elektrischen Feldes beim Zuschalten einer kurzen Sammelschiene

Bild 7b
Berechnetes Spektrum des gemessenen elektrischen Feldes

Bild 7a zeigt den Zeitverlauf des gemessenen Feldsignals und Bild 7b das zugehörige Frequenzspektrum. Die maximal auftretende Gesamtamplitude betrug ca. 3,5 kV/m. Das Frequenzspektrum dieser Messung weist wesentliche Anteile bis zu einer Frequenz von 100 MHz auf, was der oberen 3 dB Grenzfrequenz des verwendeten Sensors entspricht. Diese hohen Frequenzen resultieren aus der sehr kurzen Länge der zugeschalteten Sammelschiene, die am Ende im Leerlauf betrieben wurde.

3. Messungen transienter Überspannungen auf Hochspannungsleitungen

Das nächste Bild zeigt eine Messung der durch das Schalten eines Trenners in GIS verursachten transienten Spannung auf einer 145 kV Freileitung. Die Freileitung ist mit einem 180 m langen Hochspannungskabel mit der gasisolierten Schaltanlage verbunden. Die erste Zündung des Trenners tritt im negativen Scheitel der 50 Hz-Spannung auf. Dadurch bricht die Spannung kurzzeitig zusammen und nähert sich oszillierend (ca. 6 MHz) dem ursprünglichen Wert. Nach ca. $2 \mu\text{s}$, was der doppelten Laufzeit auf dem Hochspannungskabel entspricht, tritt am Meßpunkt eine erste Reflexion der Wanderwelle auf. Die Amplitude dieser Reflexion ist bereits wesentlich kleiner als das Originalsignal. Die auftretende Schwingung von 6 MHz ist recht gut mit der Länge der Sammelschiene (12 m) korreliert.

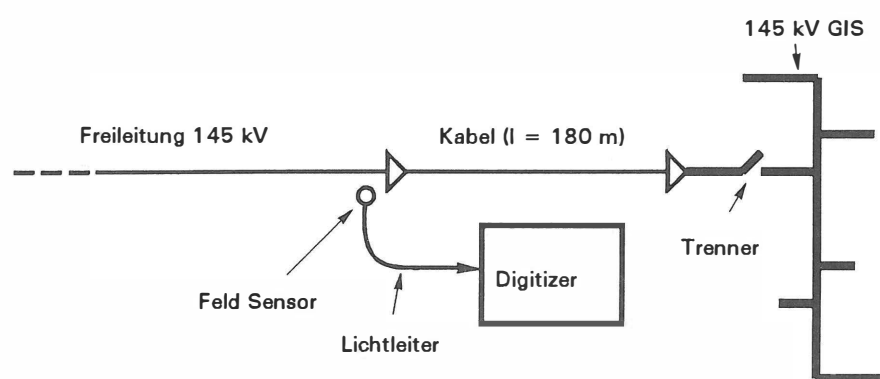


Bild 8
Schematischer Aufbau bei der Messung der transienten Überspannung auf einer Freileitung beim Trennerschalten

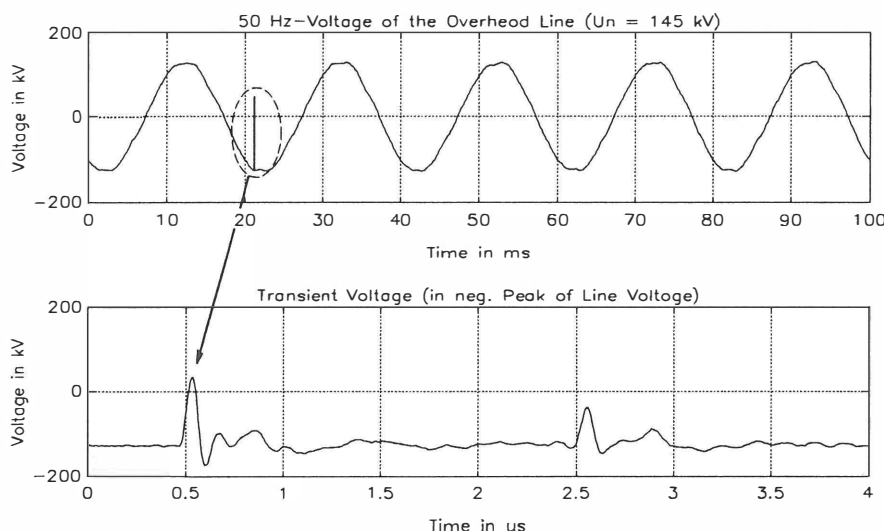


Bild 9
Messung der Spannung an der Kabeldurchführung

Zu dieser Messung wurde der oben beschriebene Feldsensor eingesetzt. Dieser wurde sehr nahe an die Hochspannungsleitung gebracht, woraus eine selektive Feldmessung resultiert. Die Kalibrierung des Feldsensors auf Spannung wurde mit Hilfe der anliegenden 50 Hz Hochspannung durchgeführt. Um die Messung durchzuführen zu können, mußte die Hochspannung nicht abgeschaltet werden, da der potentialfreie Feldsensor mit einem Teleskopstativ leicht in der Nähe der spannungsführenden Hochspannungsleitung positioniert

werden kann. Es muß jedoch beachtet werden, daß auf diese Art die in der gasisolierten Anlage auftretenden Amplituden nicht gemessen werden können, da das Signal durch die Dämpfung hoher Frequenzen auf dem Hochspannungskabel und am Anschlußpunkt der Freileitung verfälscht wird.

Bild 10 zeigt die Computer-Simulation des Schaltvorganges, der in Bild 9 gemessen wurde. Die Berechnungen wurden mit einem Wanderwellenprogramm durchgeführt. Das dabei verwendete Leitungsmodell ist ebenfalls in Bild 10 dargestellt. Es wurde der zeitliche Verlauf der transienten Spannung berechnet, die am Anschlußpunkt der Freileitung an das Hochspannungskabel durch das Zuschalten der Schaltanlage an die Freileitung entsteht. Die Impedanz der Hochspannungsleitung beträgt $400\ \Omega$, die des Kabels und der Schaltanlage $55\ \Omega$ bzw. $70\ \Omega$. Der Einfluß der Kabeldurchführung wurde durch eine Kapazität von $55\ \text{pF}$ angenähert. Es kann eine relativ gute Übereinstimmung zwischen der Simulation und der Messung festgestellt werden, obwohl ein sehr einfaches Modell zur Berechnung verwendet wurde.

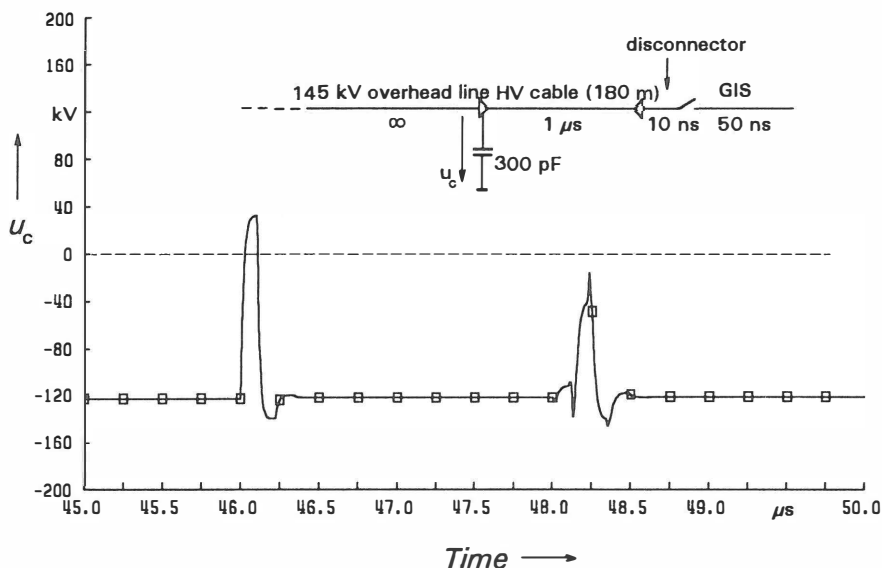


Bild 10
Berechneter Verlauf der
transienten Überspannung

Im nächsten Beispiel wird das gemessene elektrische Feld gezeigt, das beim Zuschalten einer gasisolierten Leitung mit Freiluftdurchführungen an die spannungsführende Sammelschiene in der Nähe der Durchführungen auftritt. Die Länge der gasisolierten Leitung mit den Durchführungen beträgt ca. 16 m, die Länge der Sammelschiene liegt bei 10 m. Die Sammelschiene wurde von einem Hochspannungskabel gespeist. Das elektrische Feld beim Zuschalten der Leitung mit den Freiluftdurchführungen wurde in ca. 5 m Entfernung von den Durchführungen in 7,5 m Höhe gemessen.

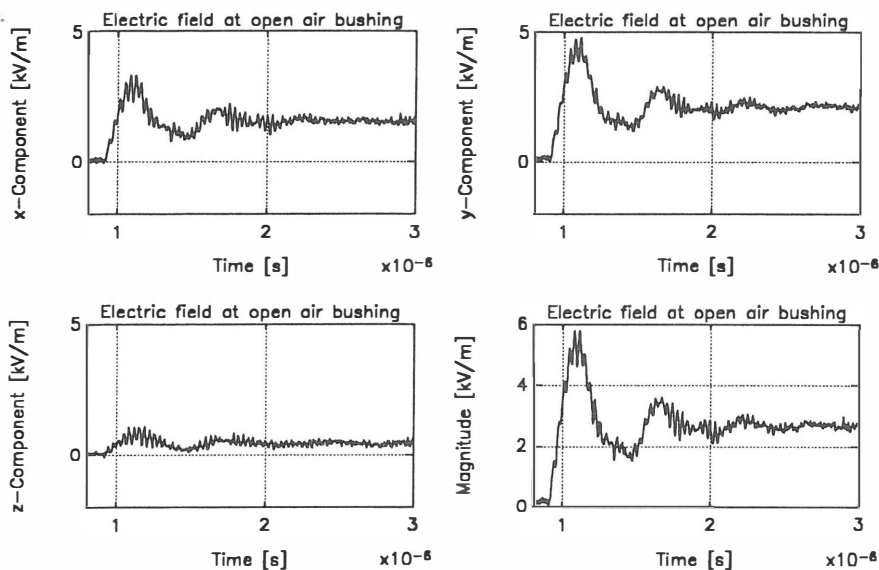


Bild 11
Gemessene transiente elektrische Feldstärke in der Nähe einer 123 kV Freiluftdurchführung x-, y-, z-Komponente und Amplitudenbetrag

In Bild 11 ist die Feldstärke bei der Zündung des Trenners im Scheitel der 50 Hz Spannung dargestellt. Das gemessene Signal weist ein Überspringen von etwa 100 % auf und nähert sich dem Endwert mit einer gedämpften Schwingung nach ca. 1 μ s an. Im Frequenzbereich (Bild 12) bis zu einigen MHz entspricht das transiente elektrische Feld der transienten Hochspannung am Freileitungsanschluß der Durchführung. Der Messung ist zusätzlich ein 28 MHz Hochfrequenzsignal überlagert. Ursachen dieses Signales könnten kurze Abzweige in der Schaltanlage oder metallische Strukturen im Transformatorgebäude sein, wie offene Transformatoranschlüsse oder das Kontrollkabel eines Krans, das frei von der Gebäudedecke herunterhängt.

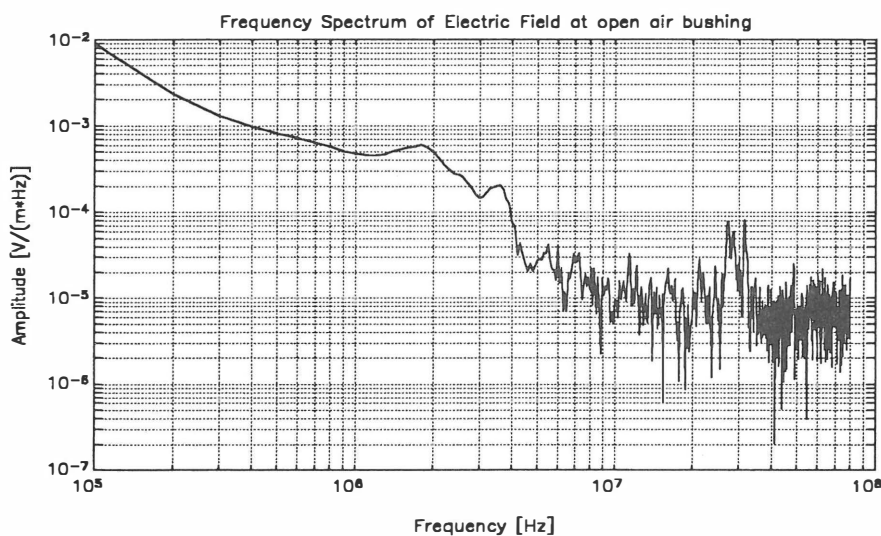


Bild 12
Frequenzspektrum des an der Freiluftdurchführung gemessenen elektrischen Feldes

In einer Freiluftschaltanlage konnten die in Bild 13 dargestellten Spannungen beim Trennerschalten gemessen werden. Dabei wurde die oben beschriebene Feldmeßsonde in der Nähe des Spannungswandleranschlusses einer 420 kV Freiluftschaltanlage angebracht. Beim Zuschalten der Spannung an die Leitung, an der gemessen wurde, konnte eine transiente Spannung auf der Hochspannungsleitung in der Größenordnung von 200 kV_{SS} ge-

messen werden. Die Fourieranalyse des gemessenen Signales zeigt, daß noch wesentliche Frequenzanteile im Bereich einiger MHz vorhanden sind.

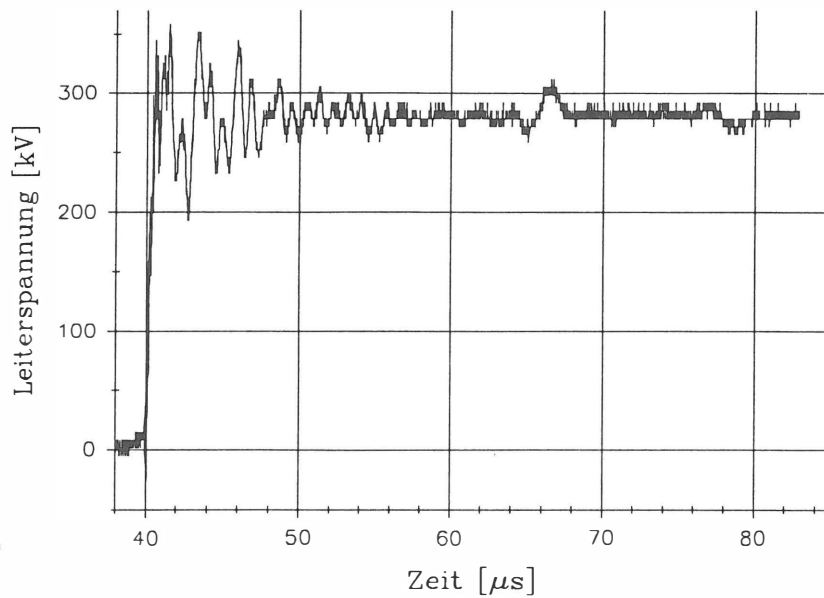


Bild 13
Auf der zugeschalteten
Leitung beim Trennerschalten
auftretende Spannung in einer
420 kV Freiluftschaltanlage

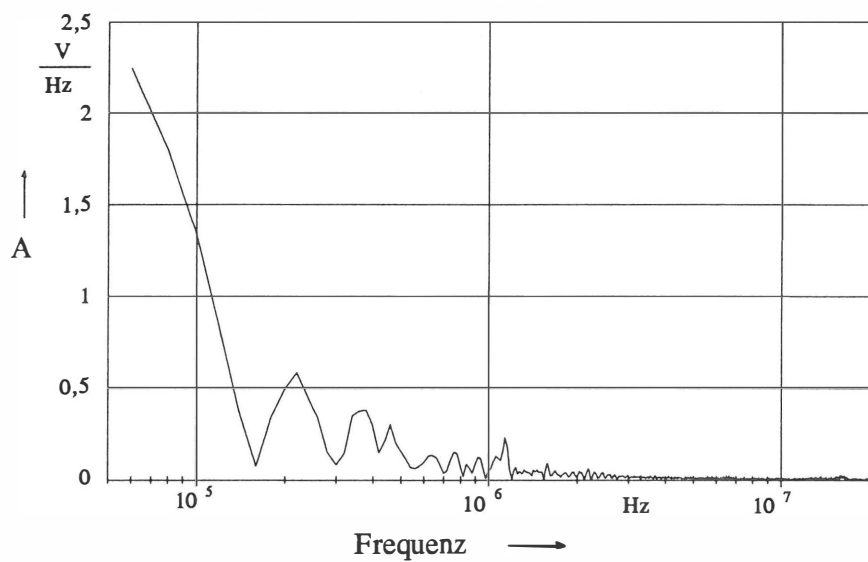


Bild 13a
Frequenzspektrum des
gemessenen elektrischen
Feldes

Eine weitere Schaltvariante, das Zuschalten der Sammelschiene an die gemessene Leitung, zeigte im Spektrum auch Frequenzen im Bereich von 10 MHz (Bild 14). Diese Frequenzen entstehen durch Wanderwellenvorgänge auf der zugeschalteten relativ kurzen Sammelschiene.

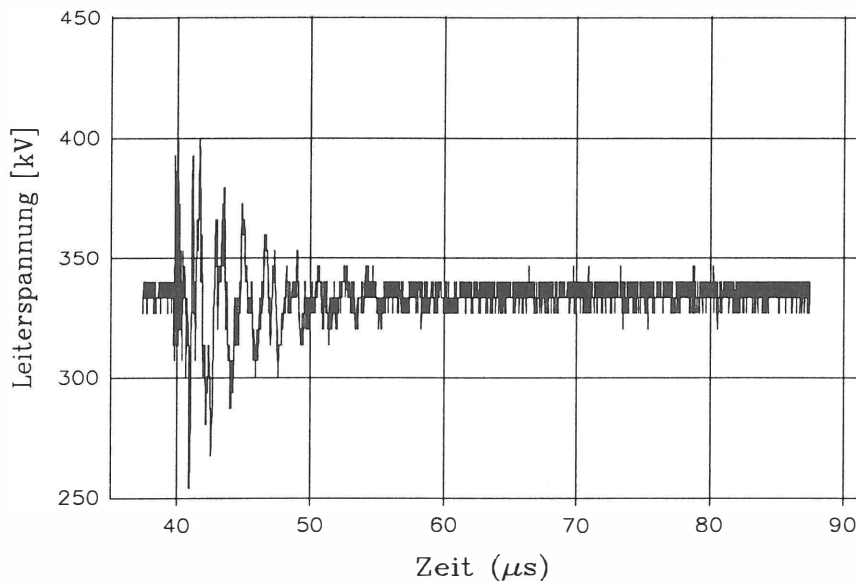


Bild 14
Beim Zuschalten der Sammelschiene gemessene transiente Spannung auf der Zuleitung

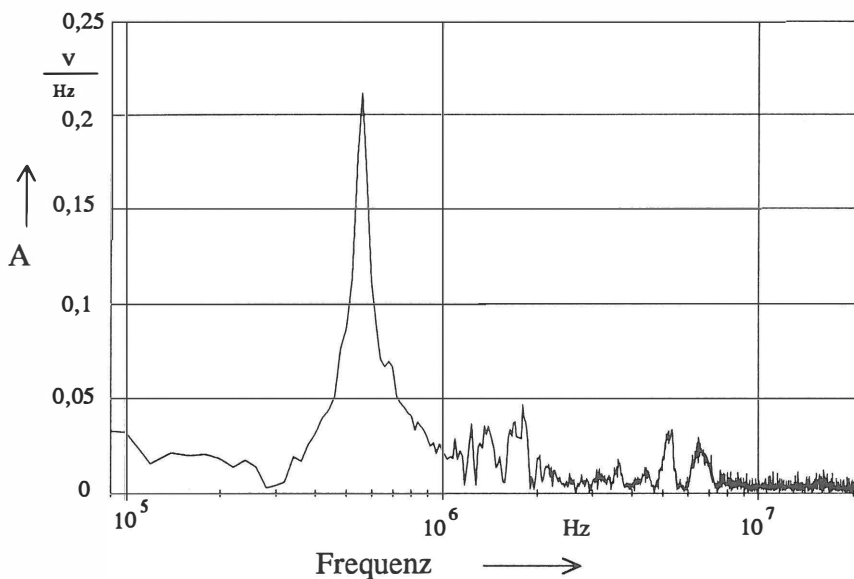


Bild 14a
Berechnetes Frequenzspektrum zum gemessenen Spannungsverlauf

4. Transiente Spannungen und Ströme auf der Niederspannungsseite

Kontroll- und Schutzeinrichtungen in einer Schaltanlage können außer durch elektromagnetische Felder auch durch kabelgeführte Störungen beeinflusst werden. Um abschätzen zu können, wie groß diese Belastung für die Sekundärgeräte einer Schaltanlage ist, wurden die in Kontrollkabeln induzierten Spannungen und Ströme gemessen.



Bild 15
Ansicht eines GIS Stromwandlers

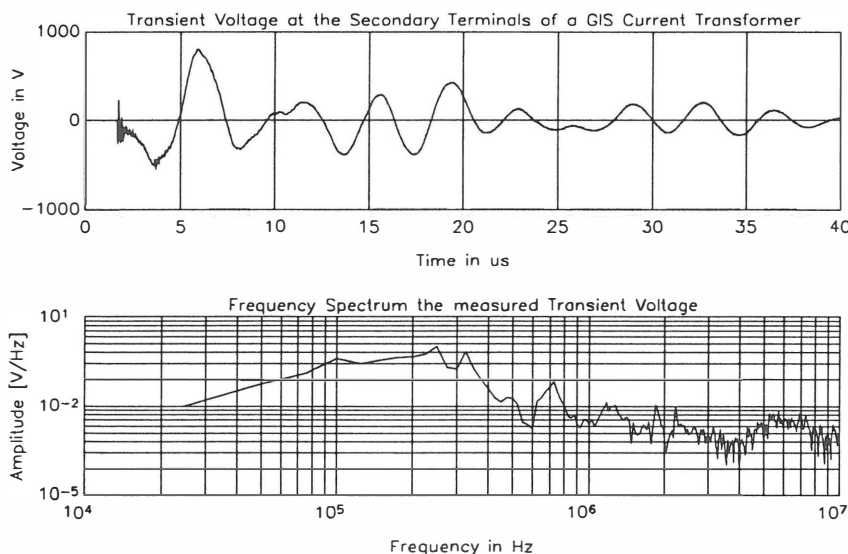


Bild 16
Messung der transienten Spannung am Stromwandleranschluß

Bild 16 zeigt die Messung der transienten Spannung auf der Meßleitung eines 123 kV GIS Stromwandlers (Bild 15). Die Messungen wurden direkt am Anschlußkasten des Stromwandlers durchgeführt. Die gemessene Maximalamplitude von 800 V erscheint verglichen mit der bei Nennbetrieb auftretenden 50 Hz-Spannung von $100/\sqrt{3}$ V recht groß. In Ab-

hängigkeit von der Konstruktion des Stromwandlers und der Schaltanlage können Amplituden der transienten Spannungen von bis zu 2000 V gemessen werden.

In Bild 17 sind die in einem Kontrollkabel auftretenden Ströme beim Schalten eines Trenners in einer 123 kV gasisolierten Schaltanlage dargestellt. Das Kabel, an dem gemessen wurde, war die Steuerleitung des betätigten Trennerantriebes. Der Strom wurde mit einem Pearson-Strom-Sensor gemessen, der eine obere Grenzfrequenz von 40 MHz hat. Sowohl der Strom auf dem Kabelschirm als auch der in der Steuerleitung wurde gemessen. Beide gemessenen Signale sind sehr ähnlich. Die Maximalamplitude liegt bei etwa 1 A_{SS} mit einer signifikanten Frequenz bei 20 MHz, wie aus dem Frequenzspektrum der Messung zu entnehmen ist.

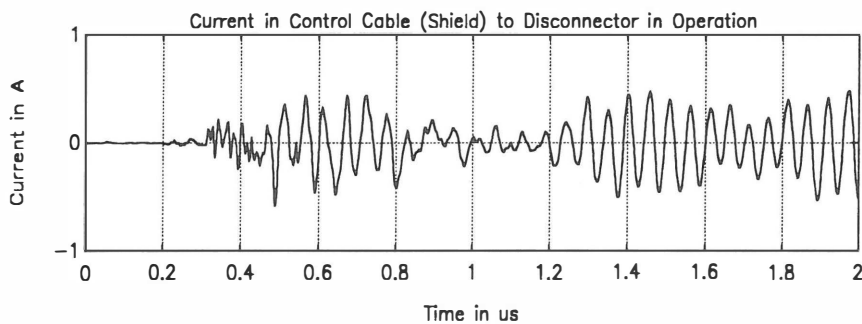


Bild 17
Messung des transienten Stromes auf dem Kabelschirm und dem Innenleiter eines Steuerkabels

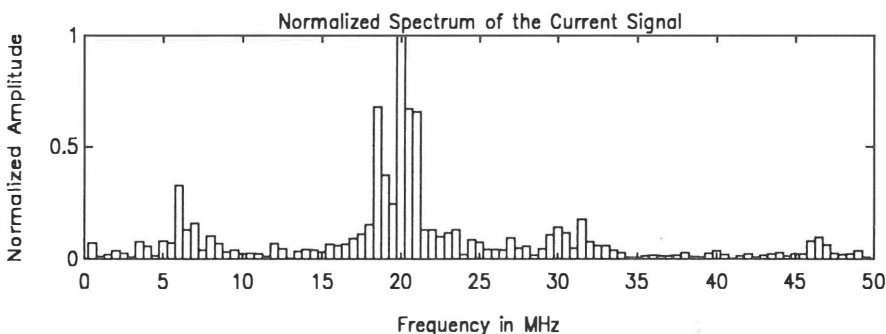
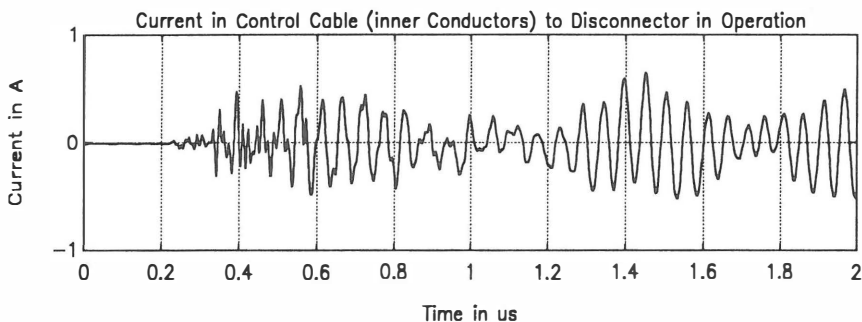


Bild 17a
Frequenzspektrum des gemessenen Stromes

Beim Schalten von Freilufttrennern wurden die auf der Sekundärseite eines Spannungswandlers auftretenden Spannungen im zugehörigen Kontrollgebäude aufgezeichnet. Die dabei gemessenen transienten Spannungen liegen im Bereich von 2 kV_{SS}. Die Eingänge der angeschlossenen Sekundärgeräte sind für solche Spannungen ausgelegt, so daß dies keine direkte Gefahr für diese Geräte darstellt. Die dabei auftretenden Frequenzen im Bereich von bis zu 4 MHz können jedoch über kapazitive Koppelmechanismen direkt auf die elektronischen Schaltungen einwirken, was zu Störungen führen kann.

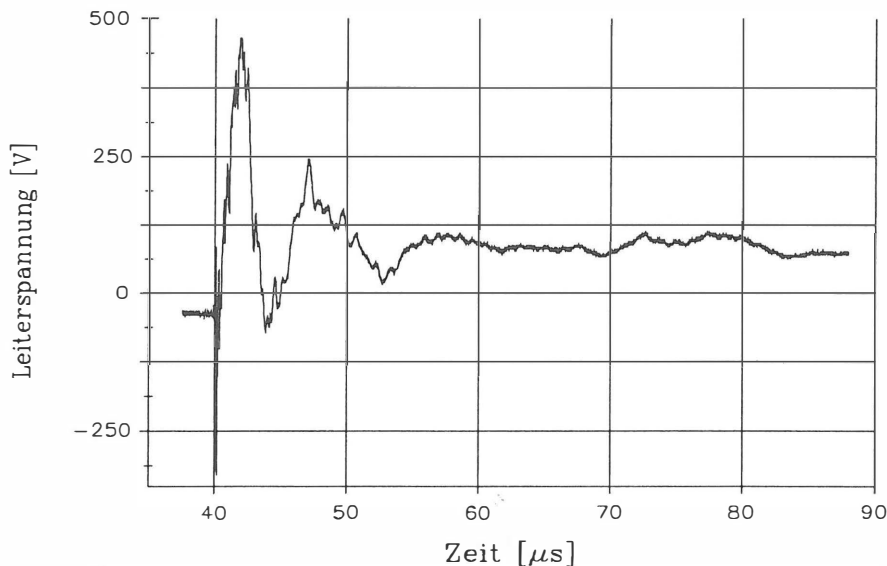


Bild 18
Spannung am Meßanschluß
des Spannungswandlers im
Kontrollgebäude beim Freiluft-
trennerschalten

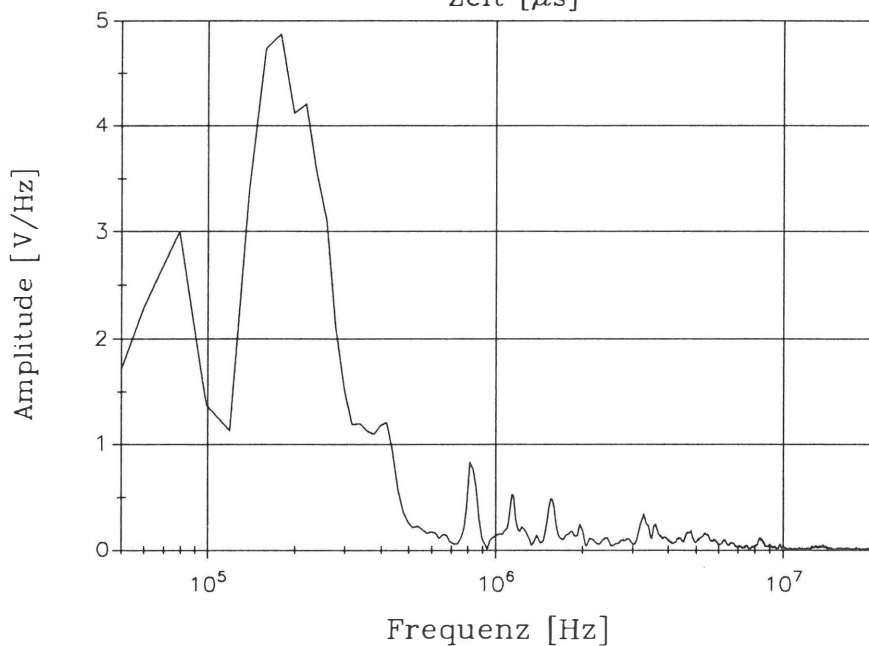


Bild 18a
Frequenzspektrum der
gemessenen transienten
Spannung beim Freiluft-
trennerschalten

Auf der Sekundärseite eines Stromwandlers wurden Spannungen bis zu 500 V_{SS} gemessen. Das Frequenzspektrum dieser Messung ist im oberen Frequenzbereich sehr ähnlich zu dem der Messung am Spannungswandler. Besonders beim Zuschalten von kurzen Leitungsstücken treten Frequenzen im Bereich von 10 MHz auf. Ähnliche Spannungspegel im selben Frequenzbereich konnten auch auf der 220 V Spannungsversorgung der Schutz- und Steuergeräte gemessen werden.

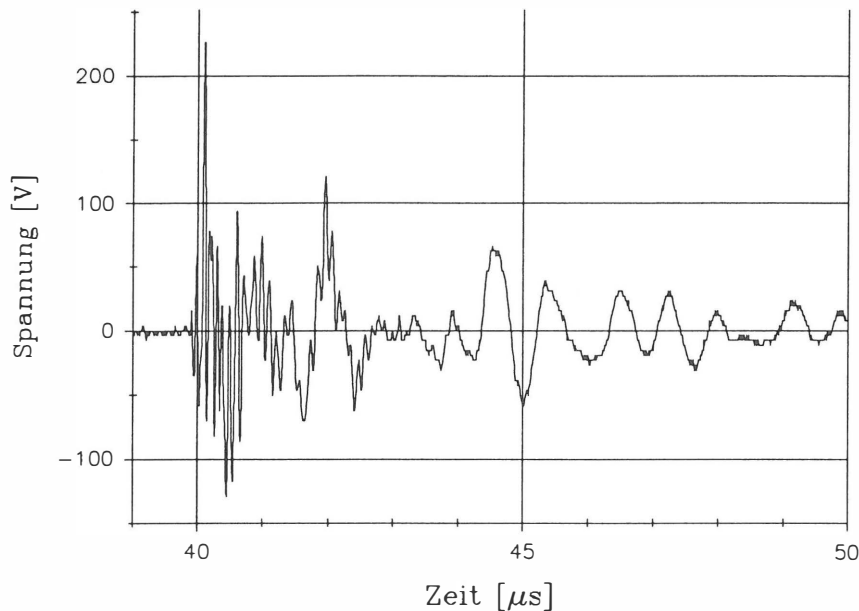


Bild 19
Auf der Sekundärseite des Stromwandlers gemessene transiente Spannung beim Freilufttrennerschalten

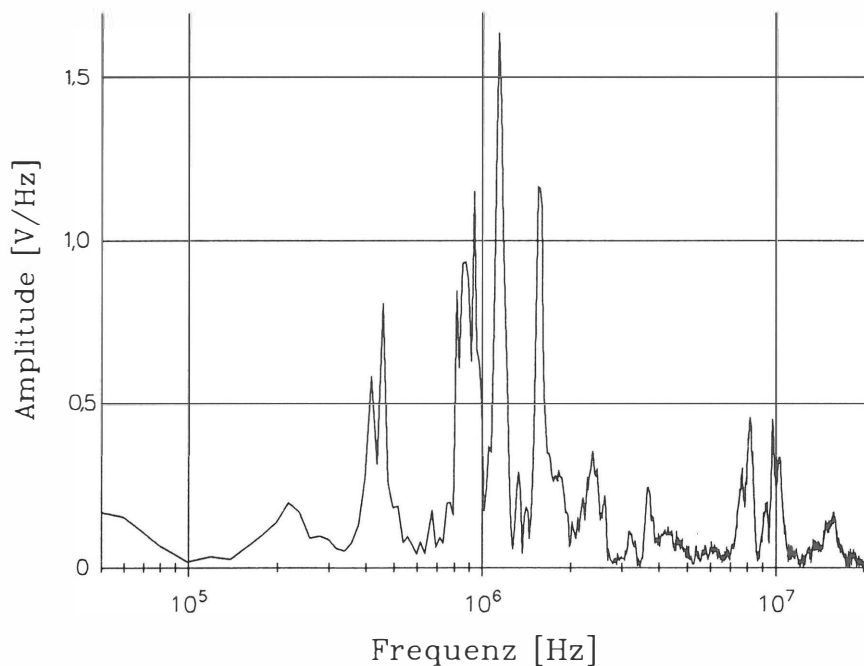


Bild 19a
Frequenzspektrum der gemessenen transienten Spannung auf der Sekundärseite eines Stromwandlers

5. EMV-Tests von Sekundärgeräten

EMV-Tests für Schutz- und Steuergeräte in Hochspannungsschaltanlagen, wie sie in den Normen angegeben werden, decken lediglich die leitungsgeführten EMV-Probleme ab. Normalerweise werden die Tests an einzelnen Geräten durchgeführt und nicht an kompletten Geräteeinheiten, wie sie in Schaltanlagen eingebaut werden. Aus den Messungen kann entnommen werden, daß im Betrieb sehr unterschiedliche leitungsgeführte Störungen auftreten können. Die auftretenden Amplituden und Frequenzen sind wesentlich vom Aufbau der einzelnen Anlage abhängig. Das ist nur teilweise in den Normen berücksichtigt worden. Lediglich der Burst-Test /3/ /4/ /5/ deckt einen großen Frequenzbereich ab, was die größte Bedrohung für die Geräte darstellt. Bisher wurden EMV-Tests, die gestrahlte pulsförmige elektromagnetische Felder berücksichtigen, vollständig vernachlässigt, obwohl diese Belastung in jeder Hochspannungsschaltanlage während Schalthandlungen auftritt.

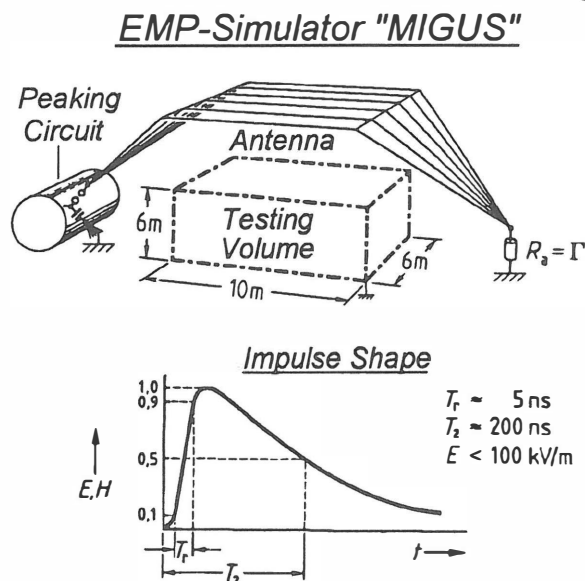


Bild 20
Prinzipaufbau des EMP-Simulators MIGUS und Impulsform

Zur Durchführung eines solchen Tests kann ein EMP-Simulator eingesetzt werden. Die schematische Darstellung einer solchen Anlage und der zeitliche Verlauf eines erzeugten Feldimpulses sind in Bild 20 dargestellt. In einem SF₆ isolierten Nachkreis wird ein steiler Hochspannungsimpuls erzeugt und an eine Streifenleiterantenne angelegt. Das Testvolumen beträgt maximal 10*6*6 m³. Bild 21 zeigt das Frequenzspektrum des elektromagnetischen Feldimpulses in einem solchen Simulator. Darin zeigt sich, daß das Spektrum eines EMP den Frequenzbereich aller gemessenen transienten elektrischen Felder überdeckt. Aus diesem Grund kann ein solcher Simulator zum EMV-Test von Schaltanlagen und Sekundärgeräten eingesetzt werden.

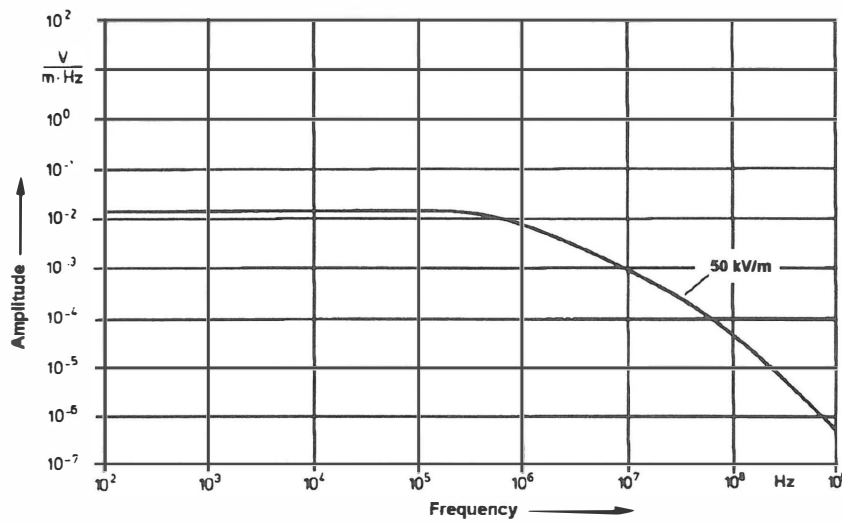


Bild 21
Frequenzspektrum eines mit dem EMP-Simulator erzeugten Impulses

Die Größe des Testvolumens erlaubt es, komplette Schaltanlageanteile inklusive Schutz- und Kontrollgeräte mit den entsprechenden Kabelverbindungen zu testen. Somit könnte das gesamte Schutz- und Kontrollsystem einer Schaltanlage unter betriebsähnlichen Bedingungen zur selben Zeit getestet werden.

6. Zusammenfassung

Bei Schalthandlungen in Hochspannungsschaltanlagen werden transiente elektromagnetische Felder abgestrahlt, die von den auf der Kapselung einer gasisolierten Schaltanlage auftretenden transienten Spannungen und Strömen verursacht werden bzw. durch den Schaltvorgang in Freiluftanlagen direkt abgestrahlt werden. Die Schutz- und Steuergeräte werden generell der Belastung durch solche Felder ausgesetzt. Die gemessenen Feldstärken des elektrischen Feldes lagen bis über 10 kV/m bei auftretenden Frequenzen bis zu 100 MHz. Die auftretenden elektromagnetischen Felder induzieren zudem Spannungen und Ströme auf Steuer- oder Meßleitungen, die zu Störungen in Sekundärgeräten führen können. Es wurden Spannungen bis 2 kV_{SS} und Ströme auf Kabeln bis zu 1 A_{SS} gemessen. Die Frequenzen erstreckten sich dabei bis zu mehreren 10 MHz.

Schirmungs- und Erdungssysteme, sowie die Installation von Metalloxid-Varistoren an entsprechenden Stellen können die Amplitude der auftretenden transienten elektromagnetischen Felder wesentlich reduzieren bzw. deren Auswirkungen verringern.

Ein möglicher Test, der die Belastungen von Sekundärgeräten in Bezug auf solche elektromagnetische Felder abdeckt, ist ein EMP-Test in einem entsprechenden Simulator. Die darin erzeugten elektromagnetischen Impulse decken die in Schaltanlagen auftretenden Amplituden über den gesamten auftretenden Frequenzbereich ab.

7. Literaturhinweise

- /1/ W. R. Pfaff, K. Feser, M. Lutz:
Potential-Free Spherical Sensor for Field Strength Measurement in NEMP Research and Testing,
8th EMC Symposium Zürich 1989, Paper-No. 7B3
- /2/ K. Feser, K. Feurer, M. Lutz, W. R. Pfaff:
MIGUS: A Flexible, Fully Automatic EMP Simulator,
7th EMC Symposium Zürich 1987, Paper-No. 27E7
- /3/ IEC 801-4, 1988:
Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment. Part 4: Electrical fast transient/burst requirements
- /4/ IEC 801-2, 1984:
Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment. Part 2: Electrostatic discharge requirements
- /5/ IEC255-22-1, 1988:
Electrical disturbance tests for measuring relays and protection equipment. Part 1: 1 MHz burst disturbance tests
- /6/ VG 96901, Teil 4:
Schutz gegen Nuklear-Elektromagnetischen Impuls (NEMP) und Blitzschlag;
Allgemeine Grundlagen, Bedrohungsdaten
- /7/ W. Köhler, T. Dischinger, U. Schärli:
Measurement of fast transients in HV substations and their effects on secondary equipment
10th EMC Symposium Zürich 1993, Paper-No. 67K2