

Dipl.-Ing. Thomas Krauß

„Optimierung eines Feldsimulators für EMV-Prüfungen mit Hochspannungsimpulsen“

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. K. Feser

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. habil. F. Landstorfer

Tag der mündlichen Prüfung: 21. Februar 2000

Kurzfassung:

Störfestigkeitsprüfungen großer Objekte im Zeitbereich mit Hochspannungsimpulsen werden in sogenannten Feldsimulatoren durchgeführt. Ein solcher Simulator in Form eines Impulsgenerators mit angeschlossenem Streifenleiter ist an der Universität Stuttgart aufgebaut. Bisher waren Störfestigkeitsprüfungen im Zeitbereich mit elektromagnetischen Impulsfeldern ausschließlich für militärische Objekte gefordert, um die Störfestigkeit gegen den durch eine Kernwaffendetonation in großer Höhe verursachten NEMP nachzuweisen. In letzter Zeit werden durch die zunehmende Integration der Leittechnik in Hochspannungsgeräte, z.B. in gasisolierte Schaltanlagen, diese Prüfungen auch für hochspannungstechnische Geräte diskutiert. Beim Schalten hoher Spannungen in gasisolierten Schaltanlagen (GIS) werden Impulse mit Anstiegszeiten und Amplituden erzeugt, die mit dem NEMP vergleichbar sind. Diese können auf die Leittechnik einwirken und zu Störungen führen. Zudem finden durch die IEC-Publikationen IEC 1000-4-23 bzw. IEC 1000-4-25 nun auch Störfestigkeitsprüfungen mit elektromagnetischen Impulsen Eingang in die zivile Normgebung. Für solche Prüfungen werden doppelt exponentielle Impulse (2,3/23 ns) sehr kleiner Anstiegszeit benötigt. Um solche Tests durchführen zu können, wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit der bestehende Feldsimulator MIGUS (Multipler Impulsgenerator der Universität Stuttgart) für wesentlich kleinere Anstiegszeiten optimiert.

Die Optimierung der Anlage kann in drei Arbeitsgebiete unterteilt werden. In einem ersten Schritt wurde die potentialfreie Meßtechnik zur Erfassung elektrischer und magnetischer Felder deutlich verbessert. Mit dieser neuen Meßtechnik läßt sich in einem zweiten Schritt eine Optimierung des als Impulsgenerator dienenden Nachkreises vornehmen, so daß die Impulsanstiegszeiten bei Amplituden von maximal 600 kV auf unter 2 ns reduziert werden konnten. Der dritte Gesichtspunkt betrifft die Ausbreitung der Prüfimpulse im Streifenleiter. Die Impulse sollen möglichst unverändert ins Prüfvolumen gelangen, so daß sich im gesamten Bereich des Streifenleiters nahezu identi-

sche Versuchsbedingungen ergeben. Gefordert werden kleine Anstiegszeiten und eine große Feldhomogenität im Prüfvolumen.

Die vorliegende Arbeit ist in sechs Kapitel unterteilt.

Nach einer Einleitung in Kapitel 1 wird in Kapitel 2 der konstruktive Aufbau des vollautomatisierten, rechnergesteuerten Feldsimulators kurz zusammengefaßt.

Kapitel 3 stellt systemtheoretische Gesichtspunkte der Messung elektromagnetischer Felder und potentialfreie elektrische und magnetische Feldsonden vor, welche die formgetreue Messung von Nanosekundenimpulsen mit sehr großer Amplitude erlauben. Neben den Prinzipien werden begrenzende parasitäre Effekte, der Aufbau, die potentialfreie Meßwertübertragung und Signalmrückgewinnung sowohl für elektrische wie magnetische Feldsonden dargelegt. Die Bandbreite beträgt bei allen Sonden mehr als 300 MHz, was einer Eigenanstiegszeit im Bereich einer Nanosekunde entspricht. Die Linearitätsfehler der Feldmeßsysteme sind geringer als 2 %. Die Dynamik jeder Sonde beträgt mehr als 65 dB. Der Nachweis der Sondeneigenschaften erfolgt durch Messungen.

In Kapitel 4 wird die Erzeugung doppelt exponentieller Prüfimpulse sehr kleiner Anstiegszeit und großer Amplitude erörtert. Als Impulsquelle dient ein sogenannter Nachkreis. Mit dessen Hilfe kann die Anstiegszeit der vom Generator gelieferten Impulse reduziert werden. Effekte, die die Anstiegszeit begrenzen, werden mit Hilfe eines PSPICE-Modelles diskutiert. Neben geometrischen Aspekten, die durch Wanderwelleneffekte zustande kommen, wird die nichtlineare Funkenstrecke, die als Schalter verwendet wird, mit in das Modell einbezogen. Durch eine Vielzahl konstruktiver Veränderungen wird die Anstiegszeit der Impulse am Nachkreis Ausgang auf unter 2 ns verringert. Feldmessungen sowohl des elektrischen wie des magnetischen Feldes werden zur Verifikation der Modelle verwendet. Weiterhin wird gezeigt, wie durch konstruktive Maßnahmen verschiedene Impulsformen erzeugt werden können. Eine Betrachtung zum Abstrahlverhalten zeigt, daß der Energieverlust durch Abstrahlung beim Schalten der Funkenstrecke weniger als 2% beträgt (vgl. Anhang A.8).

Kapitel 5 diskutiert die Ausbreitung der elektromagnetischen Impulse im Streifenleiter. Dispersive Effekte, welche die Impulsform vom Generator bis ins Prüfvolumen und in diesem selbst beeinflussen, werden sowohl mit numerischen Berechnungsverfahren wie meßtechnischen Methoden untersucht. Als Berechnungsverfahren für elektrische Felder im Streifenleiter kommt die Momentenmethode zum Einsatz. Es zeigt sich, daß die geometrische Form des Streifenleiters wesentlich zur Dispersion beiträgt. Um die

Änderung der Impulsform erfassen zu können, wurde die Ausbreitung aller drei elektrischer Feldkomponenten zeitlich korreliert an mehr als 1600 Meßpunkten aufgenommen (8/200 ns-Impulse). Die in den Streifenleiter einlaufende elektromagnetische Welle läßt sich als Bildsequenz darstellen. Messungen mit Impulsen kleinerer Anstiegszeit ($T_a = 1,5$ ns) werden an ausgewählten Test- und Referenzpunkten dargestellt, deren Impulsanstieg sich wesentlich deutlicher ändert als der von 8/200 ns-Impulsen. Die Impulse kurzer Anstiegszeit stellen deshalb den kritischeren Betriebsfall dar. Die gemessenen Feldkomponenten im Anlaufteil und im Prüfvolumen zeigen, daß konstruktive Änderungen zur Verbesserung der Feldqualität notwendig sind. Zwei Möglichkeiten zur Optimierung des Impulsanstiegs im Prüfvolumen werden untersucht. Ein geschlossenes Optimierungsverfahren scheidet durch den enormen Rechenzeitaufwand aus. Deshalb wird ein empirischer Optimierungsansatz gewählt. Es wird sowohl durch Messungen wie durch Feldberechnungen gezeigt, daß das Einfügen von Querdrähten bzw. -streifen in die Hochspannungselektrode und in die Erdelektrode des Streifenleiters die Feldqualität deutlich verbessert. Nach der Optimierung ergibt sich an Punkten, an denen Prüflinge plaziert werden können, ein um ca. 50% größeres nutzbares Prüfvolumen.

Kapitel 6 zeigt einige Anwendungsmöglichkeiten der Feldsonden und des Feldsimulators. Ein Prüfverfahren zur Berücksichtigung von Reflexionen durch Prüflinge wird in Analogie zur modifizierten Referenzfeldmethode im Frequenzbereich abgeleitet. Weitere Anwendungen wie die Untersuchung der Einkopplung eines NEMP in Kraftfahrzeugstrukturen am Beispiel eines LKW und Schirmdämpfungsmessungen im Zeitbereich schließen die Arbeit ab.