Diss. ETH Nr. 5863

AUTOMATISCHE, DIGITALE AUFZEICHNUNG UND AUSWERTUNG VON TRANSIENTEN SIGNALEN IN DER HOCHSPANNUNGSTECHNIK

ABHANDLUNG
zur Erlangung
des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften
der

EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von

PETER WIESENDANGER
dipl. El.- Ing. ETH und lic.oec.publ.
geboren am 9. August 1942
von Wiesendangen (ZH) und Luzern

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. W. Zaengl, Referent
Prof. Dr. R. Zwicky, Korreferent

Clausthal-Zellerfeld
Bönecke-Druck
1977

ABSTRACT

In this thesis, the problem of digital recording and evaluation of transients in high voltage technology is studied. The different methods available for the design of a system performing this job automatically are stated and compared. A data acquisition system is described. It is composed of two ultra fast analog to digital converters (ADC) and a minicomputer with standard peripheral equipment. The problems involved in the sampling of the transients are investigated. Novel testmethods make it possible to determine the static and dynamic performance of the ultra fast ADC. In this way, it is possible to determine in advance, the accuracy of some characteristics of the original transients which are calculated from the measured sampled values. This is checked experimentally using a 1.2/50 μs lightning impulse voltage. Shielding and filtering is necessary to reduce the interfering currents and voltages to sufficient low levels for proper operation of the measuring equipment. The effectiveness of the data acquisition system is demonstrated by measuring some probability distributions of impulse breakdown voltages in porcelain insulators.

7. ZUSAMMENFASSUNG

In den letzten Jahren wurde die Möglichkeit diskutiert, die Isolationskoordination von elektrischen Energieübertragungsanlagen nach statistischen Gesichtspunkten vorzunehmen, mit dem Ziel, die Isolationsprobleme wirtschaftlicher zu lösen. Eine erfolgreiche Anwendung der statistischen Methode erfordert vermehrte Kenntnisse einerseits der Häufigkeitsverteilungen der im Netz auftretenden Ueberspannungen und andererseits der Verteilungsfunktionen der Durchschlagsspannungen der verschiedenen Isolierungen. Diese statistischen Informationen zu gewinnen, ist eine Aufgabe, die nur mit Hilfe von automatischen Messsystemen bewältigt werden kann.

Die Anforderungen an ein Messsystem, das sowohl Ueberspannungen im Netz, wie auch transiente Vorgänge im Labor automatisch registrieren und auswerten kann,sind hoch. Dies besonders in bezug auf die Bandbreite, die Genauigkeit, die Temperatur- und Zeitstabilität, die Triggerung und die abzuspeichernde Datenmenge. Daneben sind weitere Randbedingungen zu berücksichtigen, welche die Eingangscharakteristiken, die Betriebseigenschaften, die Flexibilität, die Möglichkeiten der Versuchsautomatisierung und die Wirtschaftlichkeit des Datenerfassungssystems betreffen.

Eine kurze Systemtheorie der ultraschnellen Analog-Digital-Konversion führte zur Schlussfolgerung, dass die neuesten Entwicklungen auf dem Gebiet der schnellen, elektronischen Analog-Digital-Konverter (ADC) gute Zukunftsmöglichkeiten erschliessen für die wirtschaftliche, automatische Erfassung, Speicherung und Auswertung von transienten Vorgängen in der Hochspannungstechnik.

Um die Probleme zu erforschen, die bei der Anwendung von ultraschnellen, elektronischen ADC auftreten, wurde als Pilotanlage ein digitales Datenerfassungssystem aufgebaut. Ein 16 bit-Prozessrechner mit einer Speicherkapazität von 16 k Worten bildet seinen zentralen Teil. Für die Datenerfassung sind zwei sogenannte Transient Recorder eingebaut, die je einen schnellen 8 bit-ADC enthalten und maximale Abtastfrequenzen bis 5 MHz zu-

lassen. Sie enthalten zusätzlich einen Halbleiterspeicher zur Zwischenspeicherung von 1024 Abtastwerten, da die Daten bei einer Abtastfrequenz von 5 MHz nicht mehr direkt in den Kernspeicher des Computers übertragen werden können. Diese Zwischenspeicherung ermöglicht einen sogenannten Pretrigger-Modus; d.h. es kann ein wählbarer Anteil des Signalverlaufs vor dem Triggermoment registriert werden. Ueber ein Interface werden die Daten vom Zwischenspeicher in den Computerspeicher transferiert und anschliessend on-line ausgewertet. Für die Datenausgabe und Programmierung sind als weitere Peripheriegeräte ein Teletype-Fernschreiber, je ein schneller Lochstreifenleser und -stanzer sowie ein Digital-Magnetband angeschlossen.

Eine ganze Reihe von Problemen war zu lösen, bevor das digitale Datenerfassungssystem erfolgreich eingesetzt werden konnte. So zeigten erste theoretische Ueberlegungen, dass das Abtasttheorem auf die Erfassung von hochfrequenten,transienten Signalen nur beschränkt anwendbar ist. Wegen der unbegrenzten Amplitudenspektren von Transienten und wegen des nicht-idealen Verhaltens der Eingangsfilter muss die Abtastfrequenz mindestens viermal über der höchsten, interessierenden Signalfrequenz liegen.

In den Datenblättern wird das dynamische Verhalten der ADC meistens durch die Konversionszeit beschrieben. Es erwies sich aber, dass diese Grösse - sie beschreibt das Verhalten des ADC bei rechteckförmiger Eingangsspannung - für das dynamische Verhalten nicht repräsentativ ist, da der ADC bei kontinuierlich veränderlichen Eingangsspannungen grundsätzlich anderes Verhalten zeigt. Da sehr wenige Erfahrungen und Literaturstellen über das Genauigkeitsverhalten von ultraschnellen ADC vorliegen, wurde in der Arbeit ein Betrachtungsmodell für eine systematische Beschreibung der Fehlerquellen bei der schnellen Analog-Digital-Konversion entwickelt. Aufgrund dieses Modells wurden neue Testmethoden eingeführt, deren Ergebnisse das dynamische Verhalten des ADC umfassend beschreiben.

Die Resultate der statischen Testmethoden zeigten, dass die kritische, statische Kenngrösse jedes ultraschnellen ADC im Temperaturkoeffizienten der Offsetspannung liegt. Im vorliegenden Fall betrug dieser 0,5...1 LSB/°C.

Im allgemeinen müssen die Auswirkungen der internen Rauschquellen bei schnellen ADC berücksichtigt werden. Bei den verwendeten Transient Recordern ergab die Untersuchung, dass das Messresultat bei einzelnen Quantisierungsstufen durch den Einfluss der internen Rauschquellen um 1 LSB verunsichert werden kann.

Die wichtigste, dynamische Testmethode beruht auf der Idee, die Auftretenshäufigkeit der einzelnen, digitalen Quantisierungsintervalle, die bei hochfrequenten, sinusförmigen Eingangsspannungen gemessen werden können, mit theoretisch berechneten Werten zu vergleichen. Dabei wurde festgestellt, dass die dynamische Transfercharakteristik des ADC sich mit zunehmender Steilheit der Eingangsspannung ändert. Bis zu Signalfrequenzen von 200 kHz bleibt sie innerhalb der Toleranzen. Bei darüberliegenden Frequenzen wird die Charakteristik immer schlechter. An der steilsten Stelle eines 400 kHz-Signals entspricht die Genauigkeit beispielsweise noch derjenigen eines 6 bit-ADC.

Aufgrund der ermittelten, statischen und dynamischen Verhaltensparameter kann im voraus berechnet werden, wie genau sich die Parameter eines transienten Signals aus den gemessenen Abtastwerten bestimmen lassen. Dies wurde am Beispiel einer 1,2/50 µs-Blitzstossspannung gezeigt. Die experimentell ermittelten Werte stimmten mit den vorausberechneten Werten sehr gut überein.

Die elektromagnetischen Störeinflüsse, die in einem Hochspannungslabor auf ein elektronisches Messsystem einwirken, sind sehr gross. Es konnte ein Abschirmungssystem aufgebaut werden, das den störungsfreien Betrieb der Datenerfassungsanlage ermöglichte. Neben der Abschirmung der Anlage durch eine modulare, fahrbare, geschirmte Messkabine und neben der Verdrosselung der Netzeinspeisungen kommt dabei einem speziellen Abschirmrohr besondere Bedeutung zu. Dieses Abschirmrohr umgibt das koaxiale Signalkabel. Es verhindert, dass die hochfrequenten Ausgleichsströme hoher Amplitude, die beim Durchzünden einer Funkenstrecke unvermeidlich auftreten, über den Mantel des Messkabels und das Chassis des Messgerätes fliessen.

In einem Anwendungsbeispiel wurde die digitale Datenerfassungsanlage eingesetzt, um die Verteilungsfunktionen der Stossüberschlagsspannungen von acht Freiluft-Kappenisolatoren zu ermitteln. Dabei bestätigten sich die bisherigen Erfahrungen, dass zur Bestimmung einer Verteilungsfunktion - sofern nicht im vornherein eine Normalverteilung angenommen werden kann - etwa 1000 Stösse notwendig sind. Mit dem neuentwickelten, automatischen Datenerfassungssystem kann der entsprechende Messaufwand gegenüber den konventionellen Methoden stark reduziert werden. Der mittlere Zeitaufwand für die Durchführung der 1000 Stösse wurde praktisch nur durch den physikalischen Versuchsablauf bestimmt und betrug ca. 4,5 Std., inklusive Registrierung, Protokollierung und Auswertung.