

Ein digitales Datenerfassungssystem zur automatischen Messung der statistischen Stoffüberschlagskennlinien von Isolationsanordnungen

Autor(en): **Wiesendanger, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **68 (1977)**

Heft 12

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-915044>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein digitales Datenerfassungssystem zur automatischen Messung der statistischen Stossüberschlagskennlinien von Isolationsanordnungen

Von P. Wiesendanger

621.317.333.82: 681.3.01

Das statistische Verhalten der Stossüberschlagsspannungen von Isolationsanordnungen gewinnt in der Hochspannungs-Energieübertragung zunehmend an Bedeutung. Die Ermittlung der statistischen Überschlags-Kennlinien erfordert aber ausgedehnte Versuchsserien, die eine Automatisierung des Messvorganges bedingen. In der vorliegenden Arbeit wird ein digitales Datenerfassungssystem beschrieben, das in der Hochspannungstechnik für die automatische Erfassung, Speicherung und Auswertung von transienten Signalen universell eingesetzt werden kann. Die auftretenden Programmier-, Genauigkeits- und Abschirmprobleme werden diskutiert. In einem Anwendungsbeispiel werden die Verteilungsfunktionen der Blitzstoss-Überschlagsspannungen von einzelnen und parallelgeschalteten Porzellan-Stützisolatoren ermittelt.

Pour le transport d'énergie sous haute tension, le comportement statistique des tensions de claquage de structures isolantes gagne en importance. La détermination des caractéristiques de claquages statistiques nécessite de longues séries d'essais, donc des mesures automatiques. L'auteur décrit un système numérique qui peut être employé d'une façon universelle en haute tension pour la saisie, la mémorisation et l'interprétation automatiques de signaux transitoires. Il discute des problèmes que posent la programmation, la précision et le blindage. Dans un exemple d'application, les fonctions de répartition des surtensions de choc dues à la foudre sont déterminées pour des isolateurs-supports en porcelaine, individuels ou en parallèle.

1. Einleitung

Der Übergang zu immer höheren Übertragungsspannungen macht es notwendig, bei der Dimensionierung der Isolation von elektrischen Energieübertragungsanlagen vermehrt statistische Gesichtspunkte anzuwenden [1...5]¹⁾. Das entsprechende Vorgehen lässt sich anhand der Fig. 1 zusammenfassend erklären:

Die Kurve $P_\psi(U)$ stellt die Wahrscheinlichkeits-Verteilungsfunktion der Überschlagsspannungen der Isolation bei Beanspruchung mit Kategorie ψ -Überspannungen dar, und $p(U_\psi)$ ist die Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion der Amplituden der im Übertragungssystem auftretenden Kategorie ψ -Überspannungen. Daraus lässt sich das Störungsrisiko R_ψ berechnen, das die Wahrscheinlichkeit einer Störung beim Auftreten einer Kategorie ψ -Überspannung beschreibt. Damit können die jährlichen Störungen N_s abgeschätzt werden, indem man das Fehlerrisiko mit der Anzahl n_ψ der zu erwartenden Kategorie ψ -Überspannungen multipliziert und anschliessend über die k verschiedenen Überspannungskategorien summiert:

$$N_s = \sum_{\psi=1}^k n_\psi \int_0^{\infty} P_\psi(U) p(U_\psi) dU \quad (1)$$

Das Problem bei der Anwendung dieser Methode besteht darin, genügend gesicherte Eingabedaten für die Aufstellung der grundlegenden Dichte- und Verteilungsfunktionen $p(U_\psi)$ und $P_\psi(U)$ zu erhalten. Damit die notwendige Datenerfassung

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

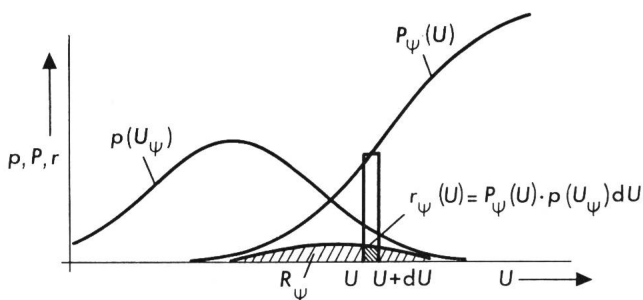


Fig. 1 Zur Berechnung des Störungsrisikos R_ψ
 $p(U_\psi)$ Wahrscheinlichkeitsdichte der Überspannungen von der Kategorie ψ
 $P_\psi(U)$ Verteilungsfunktion der Durchschlagsspannungen von der Kategorie ψ
 $r_\psi(U)$ Risikodichte

in Hochspannungs-Laboratorien und -Netzen mit vernünftigem Aufwand durchgeführt werden kann, muss der Messvorgang automatisiert werden. Es liegt nahe, zu diesem Zweck auf digitale Datenerfassungssysteme zurückzugreifen [6...9], wie sie in andern Bereichen der Messtechnik seit längerer Zeit zur Anwendung gelangen. Am Laboratorium für Hochspannungstechnik der ETH Zürich wurde eine entsprechende Pilotanlage hergestellt, die den hohen Anforderungen, wie sie insbesondere bei der Messung von Blitzstoßspannungen gestellt werden, genügt [10].

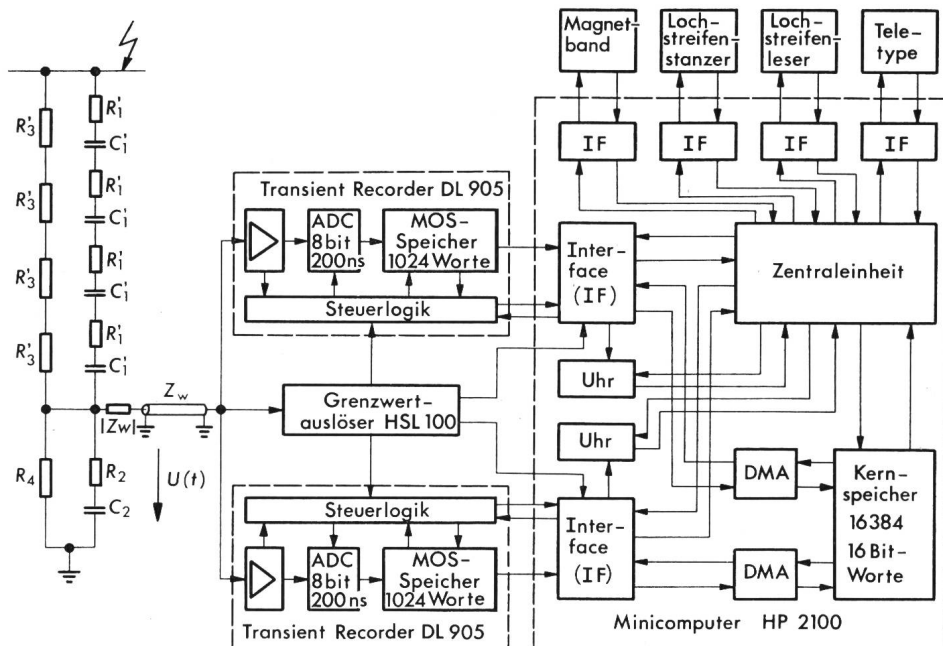
2. Systemübersicht

Das Blockschaema von Fig. 2 gibt einen Überblick über das Datenerfassungssystem. Dieses besteht im wesentlichen aus einem Spannungsteiler – in der Darstellung ist ein gedämpftkapazitiver Spannungsteiler mit hochohmigem Parallelzweig eingezeichnet –, einem Koaxialkabel zur Signalübertragung, zwei sogenannten Transient Recordern, einem Grenzwertauslöser und einem Minicomputer mit Standard-Peripheriegeräten.

Der schnelle Analog-Digital-Konverter (ADC) des Transient Recorders DL905 gestattet es, ein analoges Signal mit einer maximalen Frequenz von 5 MHz abzutasten, die einzelnen Abtastwerte in binär codierte 8-bit-Worte umzusetzen und 1024 digitalisierte Abtastwerte in einem MOS-Schieberegister abzuspeichern. Eine vorteilhafte Eigenschaft dieser Anordnung ist der sogenannte Pretrigger-Aufnahmemodus (Fig. 3). Im Pretrigger-Betrieb werden, nachdem der Transient Recorder gestartet ist, die Abtastwerte kontinuierlich in das Schieberegister eingegeben; jedesmal, wenn ein neuer Abtastwert am Anfang des Schieberegisters eingelesen wird, wird der letzte Abtastwert am Ende des Schieberegisters gelöscht. Wenn nun der Einlesevorgang im Moment des Auftretens eines Triggersignals gestoppt wird, enthält das Schieberegister die digitale Information über den Signalverlauf vor dem Triggermoment. Durch einfache Verzögerung des Triggersignals kann dann erreicht werden, dass ein wählbarer Teil der gespeicherten, digitalen Information den Signalverlauf vor dem Triggermoment und ein Teil den Signalverlauf nach dem Triggermoment wiedergibt. Dadurch entfällt ein guter Teil des klassischen Triggerproblems.

Das System ist mit zwei Transient Recordern ausgerüstet, da einerseits bei Hochspannungsexperimenten sehr oft zwei Grössen gleichzeitig zu registrieren sind und andererseits bei Überspannungsmessungen in Hochspannungsnetzen sowohl

Fig. 2
Blockschaltbild der automatischen, digitalen Datenerfassungsanlage



hoch- wie niederfrequente Signale auftreten. Im zweiten Fall kann der eine Transient Recorder mit niedriger Abtastfrequenz und langer Aufzeichnungsdauer und der zweite mit hoher Abtastfrequenz und kurzer Aufzeichnungsdauer betrieben werden.

Der Grenzwertauslöser HSL 100 überwacht die zu messende Spannung und gibt einen Triggerimpuls ab, sobald die Spannung zwei digital einstellbare Grenzwerte über- bzw. unterschreitet. Das Gerät muss hohen Anforderungen bezüglich Geschwindigkeit (Schaltverzögerungszeit < 70 ns) und Genauigkeit (Fehler $< 1\%$ bei Temperaturänderungen von $-10...60$ °C) gerecht werden.

Ein 16-bit-Minicomputer bildet das Steuer- und Auswertzentrum der Datenerfassungsanlage. Sein Magnetkernspeicher hat eine Kapazität von 16 k, d.h. von 16384 16-bit-Worten. Zwei Direct Memory Access-Kanäle (DMA) ermöglichen es, Daten mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von bis zu 10^6 Worten pro s von einem Peripheriegerät in den Kernspeicher zu transferieren. Dies ist dann von Vorteil, wenn bei der Registrierung von atmosphärischen Überspannungen Folgeblitz-Impulse in Abständen von nur wenigen ms auftreten.

Als Standard-Peripheriegeräte stehen je ein schneller Lochstreifen-Leser und -Stanzer, ein Teletype-Fernschreiber und eine IBM-kompatible Magnetbandstation (damit wird auch eine Auswertung der Daten auf dem Grossrechner möglich) zur Ver-

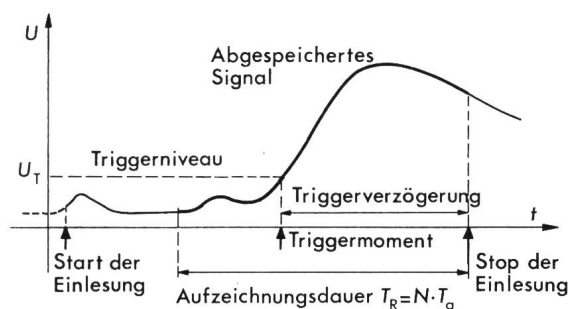


Fig. 3 Zeitverhältnisse beim Pretrigger-Betrieb eines Transient Recorders
 N Anzahl Abtastwerte, die das Schieberegister aufnehmen kann
 T_a Abtastintervall

fügung. Die beiden HP-kompatiblen, programmierbaren Echtzeituhren sind eine Eigenentwicklung. Sie laufen asynchron zum Rechner und enthalten je ein eigenes Zeitregister, in das entweder durch externen Triggerbefehl oder durch Computerbefehl die laufende Zeit übernommen werden kann. Der Inhalt des Zeitregisters kann jederzeit vom Rechner abgefragt werden.

3. Programmierung

Das Datenerfassungssystem ist in der Hochspannungsmesstechnik universell einsetzbar. Es muss aber für jede Anwendung ein entsprechendes Programm oder Programmpaket entwickelt werden. Für die Erfassung und Auswertung von Blitzstoßspannungen wurden beispielsweise drei Programme geschrieben: Das Programm «EICH2» dient der Eichung der Messapparatur; mit dem Programm «STO2» werden die Blitzstoßspannungsmessungen durchgeführt; der Zweck des Programms «WAHR» besteht darin, die Daten einer Meßserie statistisch auszuwerten.

Alle Programme sind nach dem Baukastenprinzip aufgebaut, d.h. jedes isolierbare Teilproblem wird grundsätzlich als Subroutine formuliert. Dadurch entsteht eine ganze Bibliothek von Teilprogrammen, welche die Aufstellung von neuen Programmen stark vereinfacht. Der grösste Teil der Programme ist in FORTRAN geschrieben, einige spezielle Probleme (Datentransfer, Datenmanipulation) können aber nur mit Hilfe von maschinennahen ASSEMBLER-Subroutinen gelöst werden.

Als Beispiel wird im folgenden der Ablauf des Programms «STO2» anhand des vereinfachten Flussdiagramms (Fig. 4) kurz besprochen: Als erstes werden vom Operator über den Teletype die Daten des Hochspannungsprüfkreises (Teilverhältnisse, usw.) sowie die Einstellungen des Transient Recorders eingegeben. Mit diesen Angaben und der nachfolgend eingelesenen Eich-tabelle wird später der Zusammenhang zwischen dem digitalen Ausgang des Transient Recorders und der analogen Hochspannungsamplitude berechnet. Nach dem Protokollieren einiger administrativer Versuchsan-gaben und nach der Initialisierung des Lochstreifenstanzers beginnt die eigentliche Stoßspannungsmessung.

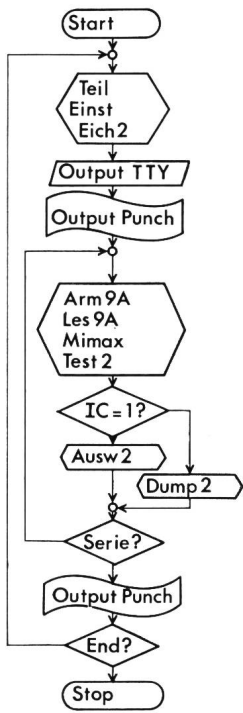


Fig. 4
Flussdiagramm des Stosserfassungsprogrammes
 Output TTY
 Kopf des Protokolls schreiben
 Output PUNCH
 Steuerung des Lochstreifens
 Übrige Bezeichnungen siehe im Text

Zunächst wird der Transient Recorder für einen Aufnahmezyklus initialisiert (Subroutine «ARM9A»). Mit der nachfolgenden Subroutine «LES9A» werden nach der Stoßspannungsaufzeichnung die Daten vom Transient Recorder in den Kernspeicher transferiert. Mit Hilfe der Subroutine «MIMAX» wird das Maximum und das Minimum der eingelesenen Daten ermittelt und zusätzlich – im Falle eines negativen Stosses – bei allen Daten das Vorzeichen invertiert.

Da im Laufe der Vorversuche festgestellt wurde, dass Fehleinstellungen und Fehlaufzeichnungen nie absolut auszuschließen sind, werden die Daten durch die Subroutine «TEST2» nach bestimmten Kriterien einem Grobtest unterzogen. Tritt eines dieser Kriterien ein, dann liefert das System eine Fehlermeldung; die Daten werden dann nicht ausgewertet und der Operator kann sie mit Hilfe der Subroutine «DUMP2» kontrollieren.

Die Subroutine «AUSW2» dient der Berechnung der Stoßspannungsparameter aus den registrierten Abtastwerten. Ausgewertet werden der Scheitelwert, die Frontdauer, die Rücken-Halbwertszeit, die Abschneidezeit und die Zeit bis zum Schei-

telwert. Diese Kennwerte werden auf dem Teletype protokolliert und auf Lochstreifen gestanzt, wo sie für spätere Auswertungen zur Verfügung stehen. Für eine nähere Beschreibung der mathematischen Methoden und Kriterien, die bei der Berechnung zur Anwendung gelangen, sei auf [10] verwiesen.

Das Programm wird durch zwei Verzweigungen abgeschlossen, die gestatten, entweder in der laufenden Serie einen weiteren Stoss aufzunehmen, oder eine neue Serie zu beginnen, oder die Versuche abzuschließen. Um eine Vorstellung vom Umfang dieses Programmes zu vermitteln, sei hier erwähnt, dass es 361 FORTRAN-Statements und 173 ASSEMBLER-Statements umfasst und – zusammen mit dem Betriebssystem – einen Speicherplatz von ca. 7 k Worten belegt.

4. Abschirmung

Beim Einsatz von elektronischen Geräten und Prozessrechnern in der Hochspannungs-Messtechnik muss dem Problem der elektromagnetischen Störbeeinflussungen besondere Beachtung geschenkt werden. Sowohl beim Durchzünden des Stoßgenerators als beim Durch- oder Überschlag des Prüfobjektes bzw. dem Durchzünden der Abschneidfunkkenstrecke treten hohe elektrische und magnetische Feldstärkeänderungen dE/dt bzw. $d\Phi/dt$ auf. Durch diese Feldstärkeänderungen entstehen folgende Störeinträge auf das Meßsystem:

- Direkte Beeinflussung der elektronischen Schaltungen des Datenerfassungssystems durch das elektromagnetische Feld.
- In der 220/380-V-Netzeinspeisung der Geräte entstehen hochfrequente Störströme, die über Schaltungskapazitäten in die Erd- und Speiseleitungen der elektronischen Schaltungen eingekoppelt werden.
- Infolge der nichtidealen Abschirmung und der Exzentrizitäten des koaxialen Messkabels entstehen Störspannungen zwischen Innen- und Aussenleiter, die sich der Meßspannung überlagern.
- Ein hochfrequenter Störstrom – durch verschiedene Effekte verursacht – fließt über den Mantel des koaxialen Messkabels. Dieser Strom I_m erzeugt über dem Kopplungswiderstand des Kabels eine Störspannung U_i , welche dem zu messenden Analogsignal überlagert wird. Da dieser Strom über das Erdsystem des angeschlossenen Messgerätes abfließt, erzeugt er über dessen Chassis-Widerständen und -Induktivitäten Potentialdifferenzen, die zu einem Fehlverhalten der analogen

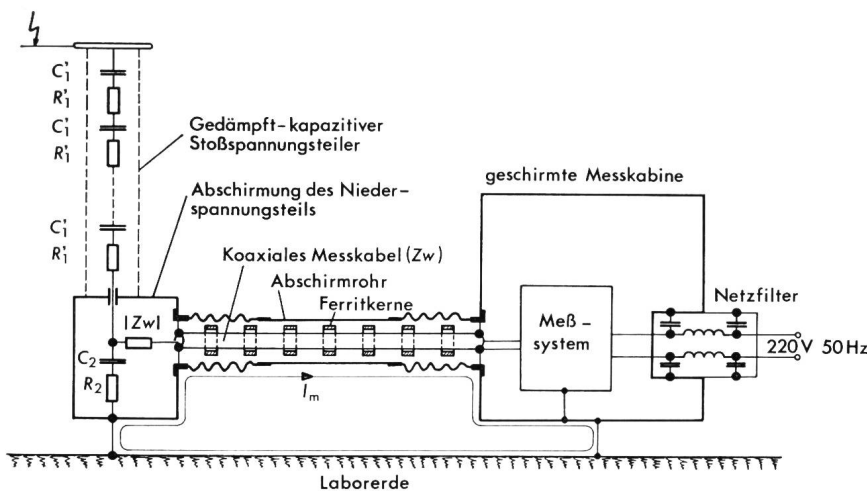


Fig. 5
Abschirmkonzeption für die elektronische Stoßspannungsmessung

und digitalen Schaltkreise oder sogar zu deren Zerstörung führen können. Aus den zahlreichen Messungen, die durchgeführt wurden, geht hervor, dass dieser Störstrom hauptsächlich durch den schwingenden Ausgleichsvorgang in der Laborerde – wie er bei jedem Durchschlagsprozess auftritt – verursacht wird. Die Messungen zeigen ferner, dass der Strom I_m mit einer Frequenz von mehreren MHz schwingt, dass die Stromamplituden bei 50 bis einigen hundert A liegen, und dass mit Stromanstiegsgeschwindigkeiten in der Größenordnung von $1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ zu rechnen ist. Dieser Strom erzeugt bereits über Chassis-Induktivitäten von ca. 1 nH Potentialdifferenzen, die höher sind als der Störspannungsabstand von TTL-Schaltkreisen.

Fig. 5 zeigt die Abschirmkonzeption, die angewendet wird, um einen störungsfreien Betrieb der Datenerfassungsanlage im Hochspannungslaboratorium zu gewährleisten. Die direkten Einstreuungen in die elektronischen Schaltungen der Geräte werden unterdrückt, indem das ganze Meßsystem in eine fahrbare, geschirmte Kabine eingebaut ist. Die hochfrequenten Störströme auf den Stromversorgungsleitungen können durch einfache Tiefpassfilter auf ungefährliche Werte herabgesetzt werden.

Die Unterdrückung des Mantelstromes I_m gestaltet sich etwas schwieriger. Tiefpassfilter kommen nicht in Frage, da die hohen Frequenzen, die im Signal vorkommen, richtig gemessen werden müssen. Ebenfalls problematisch ist die galvanische Trennung durch Lichtleiter; die Sende- und Empfangselektronik wird wegen der sehr grossen Breite des Amplitudenspektrums des Signals aufwendig und ist mit zusätzlichen Fehlerquellen verbunden, die mit Vorteil vermieden werden. Es wurde deshalb ein zusätzliches Abschirmrohr verwendet, das auf der einen Seite mit der geschirmten Messkabine und auf der andern Seite mit dem metallischen Gehäuse, in dem sich der Sekundärteil des Stoßspannungsteilers befindet, leitend verbunden ist. Infolge des Skineffektes wird der Strom I_m auf die Aussenhaut des Rohres verdrängt. An der Innenhaut wird die Stromdichte – bei genügender Wandstärke des Abschirmrohres – praktisch null. Dadurch wird die Spannungsdifferenz entlang der Innenhaut gering, so dass im Mantel des koaxialen Messkabels nur noch unbedeutende Ausgleichsströme fließen. Dieser Effekt wird durch Ferritringe, die über den Mantel des Messkabels geschoben werden, noch verstärkt. Wichtig für den Erfolg dieser Abschirmmassnahmen ist, dass die flexiblen Teile des Abschirmrohres bei hohen Frequenzen einen sehr niedrigen Kopplungswiderstand haben, und dass die Zusammenschlüsse der einzelnen Teilstücke des Abschirmrohres einen sehr niedrigen Übergangswiderstand aufweisen.

5. Genauigkeit

5.1 Einfluss der Signal-Abtastung

Der Zusammenhang zwischen dem Frequenzgehalt des zu registrierenden Signals und der notwendigen Abtastfrequenz wird durch das bekannte Abtasttheorem von Shannon beschrieben. Es besagt, dass die Abtastfrequenz mindestens den doppelten Wert der höchsten, im Amplitudenspektrum des Signals enthaltenen Frequenz betragen muss, damit das Signal aus den Abtastwerten eindeutig regeneriert werden kann. Schwierigkeiten entstehen nun dadurch, dass einerseits die Spektralfunktionen von transienten Signalen nicht begrenzt sind und andererseits ein allfälliger Vorschaltfilter (Anti-Aliasing-Filter)

keine ideale Rechteckcharakteristik aufweisen wird. Dies bewirkt, dass die Abtastfrequenz eindeutig über dem doppelten Wert der höchsten interessierenden Signalfrequenz liegen muss, wenn man Fehler vermeiden will. Empirisch hat sich gezeigt, dass dieser Fehler genügend klein wird, wenn die Abtastfrequenz mindestens den vierfachen Wert der festgelegten Signal-Grenzfrequenz beträgt. Mit den bekannten Amplitudenspektren von $1,2/50\text{-}\mu\text{s}$ -Blitzstoßspannungen ergibt sich damit, dass die Abtastfrequenz bei nicht abgeschnittenen Stößen mindestens 1 MHz , bei nach $4 \mu\text{s}$ abgeschnittenen Stößen mindestens 3 MHz und bei nach $0,5 \mu\text{s}$ abgeschnittenen Stößen mindestens 20 MHz betragen muss.

5.2 Einfluss der Quantisierung

Durch die Quantisierung wird der kontinuierliche Analogbereich in einen Satz von diskreten Intervallen umgesetzt. Alle analogen Werte, die innerhalb eines Quantisierungsintervalles q liegen, werden durch eine einzige, binäre Zahl (n bit) dargestellt. Der durch den Quantisierungsprozess erzeugte prozentuale Fehler liegt also im Bereich

$$-\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2^n} \cdot 100\% \leq \varepsilon \leq +\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2^n} \cdot 100\% \quad (2)$$

5.3 Einfluss der nichtidealen, elektronischen Schaltungen

Bei realen ADC treten zusätzliche – durch das nichtideale Verhalten der elektronischen Schaltungen bedingte – stochastische Fehler auf. Dabei sind eine statische und eine dynamische Fehlerkomponente zu unterscheiden. Während die Ermittlung und Beschreibung des statischen Verhaltens der ADC keine besonderen Probleme stellt, bestehen in bezug auf Messung und Beschreibung des dynamischen Verhaltens der ultraschnellen ADC unterschiedliche Meinungen. Aufgrund eines Betrachtungsmodells des nichtidealen ADC wurden deshalb Prüfmethode entwickelt, deren Resultate eine exakte Beschreibung der statischen und dynamischen Genauigkeit des untersuchten ADC erlauben [10].

5.4 Vergleichsmessungen

Mit Hilfe der ermittelten Verhaltensparameter des ADC lässt sich vorausberechnen, mit welcher Genauigkeit die Kennwerte einer Blitzstoßspannung aus den Abtastwerten ermittelt werden können. Durch Vergleichsmessungen mit analogen Messmethoden im Hochspannungslabor wurden diese gerechneten Werte kontrolliert und bestätigt. Im folgenden werden einige konkrete Angaben gemacht, welche Genauigkeiten mit dem eingesetzten 8-bit/5-MHz-ADC erreicht werden können.

Die Abweichungen beim Scheitelwert der Blitzstoßspannung liegen innerhalb von $\pm 1\%$, sofern die Stoßspannamplitude die halbe Aussteuerung des ADC nicht unterschreitet (Fig. 6). In bezug auf die Zeiten ist mit folgenden Fehlergrenzen zu rechnen:

Frontdauer	$T_1^* = T_1 \pm 0,06 T_1$
Rückenthalbwertszeit	$T_2^* = T_2 \pm 0,02 T_2$
Abschneidezeit	$T_c^* = T_c \pm 0,2 \mu\text{s}$

Diese Werte gelten für Abschneidezeiten grösser $1 \mu\text{s}$. Bei kürzeren Abschneidezeiten werden die Fehler grösser und es muss – sofern man die gleiche Genauigkeit erreichen will – zu höheren Abtastfrequenzen und noch schnelleren, entsprechend teureren ADC übergegangen werden.

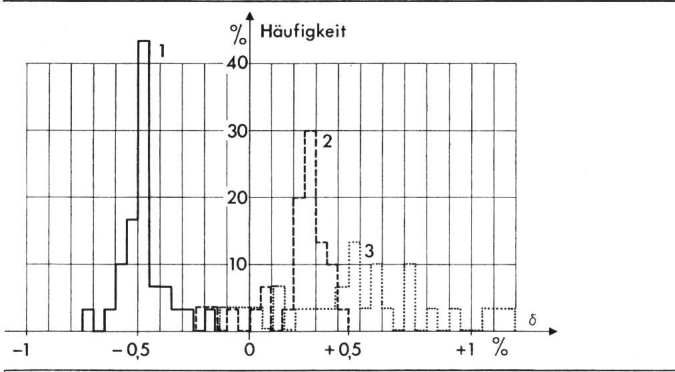


Fig. 6 Häufigkeitsdarstellung der relativen Abweichungen δ zwischen analoger und digitaler Amplitudenmessung

- 1 volle Aussteuerung des ADC
- 2 $\frac{3}{4}$ Aussteuerung des ADC
- 3 $\frac{1}{2}$ Aussteuerung des ADC

6. Ermittlung von statistischen Verteilungsfunktionen der Stossüberschlagsspannung von Kappenisolatoren

Diese Experimente wurden mit einem 500-kV/15-kJ-Stoßspannungsgenerator durchgeführt. Die erzeugte Blitzstoßspannung hatte eine Frontdauer von 1,0 μ s und eine Rückenhalbwertszeit von 47,5 μ s. Die Messanordnung entsprach der Darstellung von Fig. 5. Die Photographie von Fig. 7 zeigt eine Ansicht des Messplatzes. In der Mitte des Bildes erkennt man den Steuerschrank des Stoßgenerators und rechts daneben – in der geschirmten Messkabine – das digitale Datenerfassungssystem. Als Prüfobjekte dienen acht Porzellan-Stützisolatoren, die bereits seit längerer Zeit am Institut im Einsatz sind.

Über die statistischen Methoden, die bei der Durchführung von Experimenten dieser Art angewandt werden, besteht eine umfangreiche, stets wachsende Literatur. Eine zusammenfassende Darstellung findet sich in [11]. Im vorliegenden Fall wurde zur Schätzung der Verteilungsfunktion der Überschlagsspannung jeweils ein Prüfobjekt mit ca. $n_{tot} = 1000$ Blitzstoßspannungen beansprucht. Die gesamte Anzahl der Stöße verteilte sich auf i verschiedene Spannungsniveaus ($i = 1 \dots N$), wobei mit jeder Spannungsamplitude U_i jeweils n_i Stöße durchgeführt wurden. Bei den Spannungsniveaus mit sehr hoher bzw. sehr geringer Überschlagswahrscheinlichkeit wurde n_i etwa doppelt so gross gewählt wie bei den Spannungsniveaus mit mittlerer Überschlagswahrscheinlichkeit, um den Vertrauensbereich der Messwerte an jeder Stelle der Verteilungs-

funktion in relativ engen Grenzen zu halten. Die Messungen wurden bei konstanten atmosphärischen Bedingungen (Luftdichte, Feuchtigkeit) durchgeführt. Die Versuche ergaben folgende Resultate:

a) Der Zeitaufwand für die Ermittlung einer Verteilungsfunktion (1000 Stöße) betrug 4,5 h inklusive Registrierung, Protokollierung und Auswertung. Diese Zeit wurde zur Hauptsache nicht durch die Geschwindigkeit des Datenerfassungssystems bestimmt, sondern durch die physikalischen Gegebenheiten des Versuchsablaufes: Damit die statistische Unabhängigkeit der Einzelversuche gewährleistet war, durften sich die Blitzstossbeanspruchungen nicht schneller als in zeitlichen Abständen von 15 s folgen.

b) Der numerische χ^2 -Anpassungstest – durchgeführt mit den Prüfwerten für 95 % Wahrscheinlichkeit – ergab bei allen acht Prüfobjekten, dass die Annahme von normal verteilten Stossüberschlagsspannungen zulässig ist.

c) Die Verteilungsfunktionen der Stossüberschlagsspannungen der acht untersuchten Isolatoren sind nicht genau identisch. Die 50-%-Stossüberschlagsspannungen streuten um den Mittelwert von 179,7 kV; die Standardabweichung der Schwankungen betrug 1,9 kV, was 1,06 % des Mittelwertes entspricht.

d) In den theoretischen Betrachtungen wird angenommen, dass sich die Verteilungsfunktion $P(U)$ der Stossüberschlagsspannung von parallel geschalteten Isolatoren aus den Verteilungsfunktionen $P_i(U)$ der einzelnen Isolatoren gewinnen lässt, indem man das statistische Vergrößerungsgesetz anwendet:

$$P(U) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(U)] \quad (3)$$

Dies wurde experimentell überprüft, indem die Verteilungsfunktion der Stossüberschlagsspannung von 5 parallel geschalteten Isolatoren (Nr. 4 bis 8) ermittelt wurde. Fig. 8 zeigt das Resultat dieser Versuche, wobei für die Darstellung das sog. Wahrscheinlichkeitsnetz verwendet wurde, in dem Verteilungsfunktionen, die auf Normalverteilungen beruhen, zu Geraden werden. Die gestrichelten Geraden 4 bis 8 bedeuten die Verteilungsfunktionen der Überschlagsspannungen der einzelnen Isolatoren (Regressionsgeraden); die ausgezogene Kurve gibt den Verlauf der Verteilungsfunktion der Überschlagsspannungen der parallelgeschalteten Isolatoren wieder, welche mit Hilfe des Vergrößerungsgesetzes aus den Kurven 4 bis 8 berechnet wurde. Denselben Verlauf zeigt die gemessene Verteilungs-

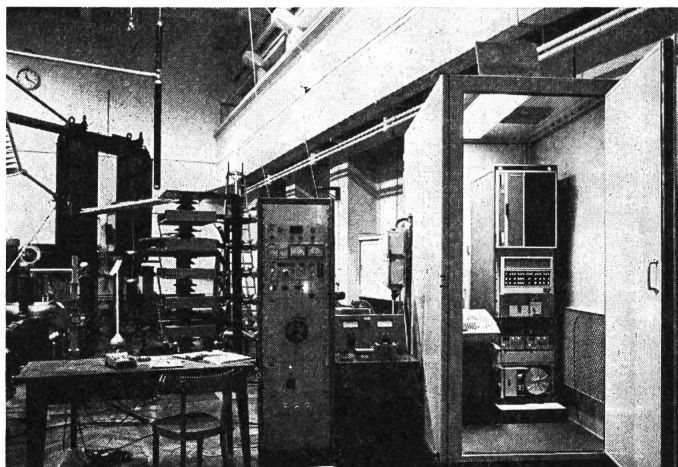


Fig. 7 Anordnung des digitalen Datenerfassungssystems im Hochspannungslabor

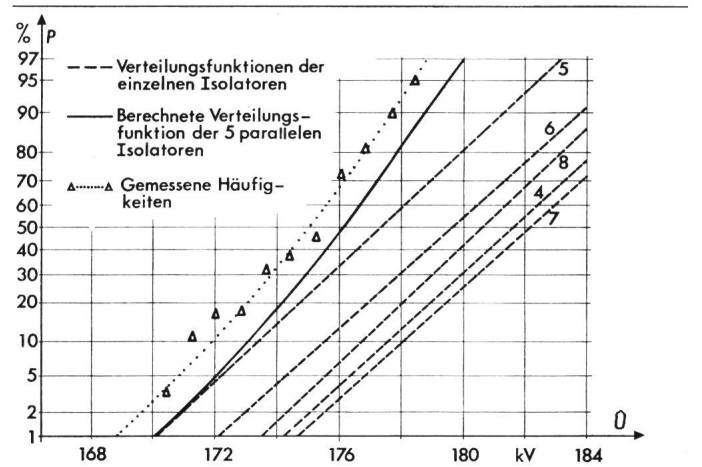


Fig. 8 Verteilungsfunktion der Überschlagsspannung von 5 parallelen Isolatoren

funktion, wobei sie aber gegenüber der theoretisch ermittelten Kurve um 1,1 kV gegen tiefere Spannungen hin verschoben ist. Dies bedeutet nur eine Verschiebung um 0,6%, wobei zu berücksichtigen ist, dass eine leichte gegenseitige Feldbeeinflussung der parallelgeschalteten Isolatoren bei der Prüfanordnung im Laboratorium nicht gänzlich vermieden werden konnte. Die Darstellung zeigt auch, dass im besonders interessanten Teil niedriger Überschlagnwahrscheinlichkeit die Verteilungsfunktion der parallelgeschalteten Funkenstrecken weitgehend durch die Verteilungsfunktion derjenigen Funkenstrecke bestimmt wird, welche in bezug auf die Überschlagnspannung am tiefsten liegt. Es müssen also für die statistische Isolationsbetrachtung eines ganzen Hochspannungs-Übertragungssystems nicht nur die Verteilungsfunktionen der Überschlagnspannungen von fabrikationsmässig identischen Isolationen bekannt sein, sondern auch deren Streuung.

Adresse des Autors

Dr. sc. techn. et lic. oec. publ. *Peter Wiesendanger*, Laboratorium für Hochspannungstechnik der ETHZ, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.

Literatur

- [1] *G. Carrara* e. a.: Contribution à l'étude probabiliste de la coordination de l'isolement. Rapport CIGRE N° 421, 1966.
- [2] *A. J. McElroy*: Probabilistic aspects of transmission system switching surge reliability. IEEE Trans. PAS 86(1967)8, p. 1012...1024.
- [3] *G. Carrara* et *L. Marzio*: Probabilité de décharge sous contrainte diélectrique. Rapport CIGRE N° 33-01, Annexe V, 1968.
- [4] *L. Paris*: Terminologie concernant l'étude de la coordination de l'isolement du point de vue probabiliste. Electra -(1973)26, p. 43...70.
- [5] *C. Dubanton* and *G. Le Roy*: Research into a practical method to determine the probability of failure of an E.H.V. transmission line. IEEE Trans. PAS 94(1975)6, p. 1954...1961.
- [6] *P. Wiesendanger*: Entwicklungstendenzen der Laborautomatisierung in der Hochspannungsversuchstechnik. Bull. SEV/VSE 65(1974)1, S. 30...33.
- [7] *P. Wiesendanger*: Automatic data acquisition in high voltage laboratories, problems of electromagnetic interference. IEEE International Electromagnetic Compatibility Symposium Record, Montreux, 1975; Report N7, p. 150...155.
- [8] *P. Wiesendanger*: On-line-Erfassung und -Auswertung von Stoßspannungen mittels schnellem Analog-Digital-Converter und Minicomputer. Internationales Symposium Hochspannungstechnik, 9...13. September 1975, Zürich; Bericht 3.3-09, Bd. 1, S. 321...325.
- [9] *P. Wiesendanger*: Automatische, digitale Aufzeichnung von Blitzströmen. Referat Nr. R-1.1 der 13. Internationalen Blitzschutzkonferenz, Venedig 1976.
- [10] *P. Wiesendanger*: Automatische, digitale Aufzeichnung und Auswertung von transienten Signalen in der Hochspannungstechnik. Dissertation Nr. 5863 der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich, 1977.
- [11] *W. Hauschild*: Über die Schwierigkeiten bei der Schätzung von Verteilungsfunktionen der Durchschlagsspannung. Zeitschrift für Elektrische Informationstechnik und Energietechnik 5(1975)3, S. 198...216.

Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

Sitzungen des SC14D, Petits Transformateurs de puissance spéciaux, vom 22. bis 25. März 1977 in Paris

Unter dem Vorsitz von B. I. Folcker (S) nahmen an der Sitzung 24 Delegierte aus 10 Ländern teil. Wie der Vorsitzende ausführte, muss die Sitzung in Paris als Fortsetzung der Sitzungen von Nizza und Brüssel betrachtet werden. Der Teil I des 1. Entwurfes 14D(*Secretariat*)1, Isolating transformers and safety isolating transformers, wurde unter Berücksichtigung der Stellungnahmen der einzelnen Nationalkomitees fertig bearbeitet, mit Ausnahme der Ziffern 17.4, Table of test voltages, und 25, Creepage and clearance distances.

Der französische Vorschlag, im Geltungsbereich zu erwähnen, dass die Primär-Nennspannung 1000 V nicht überschreiten soll, wurde angenommen. Die Diskussion der Ziffer 26, Resis-

tance to heat, fire and tracking, nahm sehr viel Zeit in Anspruch. Neu eingeführt wurde ein sogenannter Zerstörungstest, mit welchem man feststellen will, ob eine abnormale Überlastung des Transformators bis zum Defekt desselben eine Brandgefahr zur Folge hat. In einem Anhang sollen bestimmte Werkprüfungen beschrieben werden.

Bis zur nächsten Generalversammlung der CEI sollen nationale Vorschläge betreffend Symbole für Sicherheitstransformatoren eingereicht werden.

Die nächste Sitzung des SC 14D wird voraussichtlich vom 19. bis 21. September 1977 in Helsinki stattfinden. *Kro*

Tagung des SC 23B, Prises de courant et interrupteurs, vom 18. bis 20. April 1977 in Brüssel

Das SC 23B tagte unter der interimistischen Leitung von J. J. de Wijs (NL) vom 18. bis 20. April 1977 in Brüssel, zur Behandlung von Revisionsentwürfen der Publikationen 309/309 A über Industriesteckvorrichtungen. Die Schweiz war an dieser Tagung, an welcher 24 Fachleute aus 10 Ländern teilgenommen haben, durch drei Delegierte vertreten.

Das Protokoll der Teile VII und VIII der Tagung in Nizza vom 24. bis 26. Mai 1976, PV 1877/SC 23B wurde ohne Wortbegehren genehmigt.

Dann nahm die Versammlung Kenntnis vom Dokument 23B(*Secretariat*)37, Modification aux publications 309 et 309A, Rapport der Arbeitsgruppe 7 über die Sitzung vom 21. bis 23. September 1976.

Anhand der Zusammenfassung 23B(*Secretariat/Bruxelles*)2 wurden die zahlreichen zum Dokument 23B(*Secretariat*)35, Amendments to Publication 309A (1969): Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes. Supplement to Publication 309, eingegangenen Kommentare behandelt.

Die wichtigsten Beschlüsse sind die folgenden:

Änderungen und Ergänzungen bezüglich der fakultativen Farbkennzeichnung der Industriesteckvorrichtung: 380-480 V rot, 500-660 V schwarz. Neue Note: «In countries where accessories of Series II current ratings are used, the colour 'orange' is reserved for 125/250 V A.C. and the colour 'grey' is reserved for 277 V A.C. plugs, socket-outlets and couplers.»

Ein französischer Vorschlag, Befestigungsschrauben für Bauteile auch für interne Erdverbindungen zuzulassen, sofern diese den Bedingungen für Erdverbindungen entsprechen, führte zur folgenden neuen Anforderung: «These fixings and those which

fix the enclosure shall not serve any other purpose except in the case an internal earthing connection is established automatically and in reliable way by such a fixing.»

Bezüglich der Prüflöhren wurden verschiedene Änderungen beschlossen. Für die Mitarbeit in der Arbeitsgruppe, welche die Normalblätter für die Lehren überarbeitet, haben sich folgende Länder verpflichtet: DK, F, I, S (UK ev.).

Anschließend diskutierte die Versammlung anhand der Zusammenfassung 23B(*Secretariat/Bruxelles*)3 die zum Dokument 23B(*Secretariat*)36, Amendments to Publication 309: Plugs, Socket-outlets and couplers for industrial purposes, eingegangenen Kommentare.

Dem schweizerischen Vorschlag, für Dimensions- und Toleranzänderungen einiger wegen Falschsteckungen kritischer Abmessungen wurde grundsätzlich zugestimmt.

Man einigte sich, das Gebiet zulässiger Aussparungen in der Frontfläche von Steckern durch gestrichelte Linien in den Normblättern festzulegen.

Ein Redaktionskomitee wird nun so rasch wie möglich ein Dokument für die 6-Monate-Regel vorbereiten, das die allgemeinen Anforderungen für Industriesteckvorrichtungen enthält und dann als Publ. 309-1 herausgegeben wird.

Die weiteren Arbeiten an Normen für Industriesteckvorrichtungen werden dem SC 23H übertragen. Am Ende der Tagung wurden folgende Aufgaben für dieses neue Sous-Comité genannt:

Steckvorrichtungen für die Verwendung in explosionsgefährdeten Räumen - Stecker für Klasse II, Apparate und Einrichtungen - Steckvorrichtungen für 250 A - Revision der Abschnitte über die Hitzebeständigkeit. *WH*