Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 65 (1974)

Heft: 1

Artikel: Entwicklungstendenzen der Laborautomatisierung in der Hochspannungs-Versuchstechnik

Autor: Wiesendanger, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915337

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Entwicklungstendenzen der Laborautomatisierung in der Hochspannungs-Versuchstechnik

Von P. Wiesendanger

621.317.2.027.3 : 62-52

Wie in andern Wissenschaftsgebieten, die sich mit statistisch streuenden Vorgängen befassen, wird auch in der Hochspannungstechnik versucht, die Versuchsabläufe stärker zu automatisieren. Im folgenden Artikel wird eine Übersicht über die Möglichkeiten und Grenzen von solchen Automatisierungen gegeben sowie die zu erwartende künftige Entwicklung skizziert.

Comme dans d'autres domaines de la science qui concernent des processus présentant des dispersions statistiques, on tente également en technique de la haute tension d'automatiser plus complètement les déroulements des essais. Cet article donne un aperçu des possibilités et des limites de ces automatisations, ainsi que de l'évolution probable dans ce domaine.

1. Einleitung

Die meisten physikalischen Vorgänge, mit denen sich die Hochspannungstechnik befasst, sind statistischer Natur. Bei mehrmaligen Wiederholungen eines Versuches unter Konstanthaltung der von aussen vorgegebenen, exogenen Variablen werden die gesuchten endogenen Variablen nicht jedesmal die gleichen Werte annehmen, sondern mehr oder weniger stark stochastisch um einen gewissen Mittelwert streuen. Es müssen dann auf die Auswertung der Messergebnisse die bekannten mathematischen Methoden der Statistik angewandt werden, was aber nur zu sicheren Resultaten führt, wenn die Messreihen genügend umfangreich angelegt werden. Das Modell von Fig. 1 gibt eine Darstellung der Abhängigkeit der aufzuwendenden menschlichen Arbeitsleistung vom Versuchsumfang und von den Gerätekosten einer Automatisierung des Mess- und Auswerteablaufes.

Folgende drei Gründe können für den in den letzten Jahren zu beobachtenden Trend zur Automatisierung verantwortlich gemacht werden:

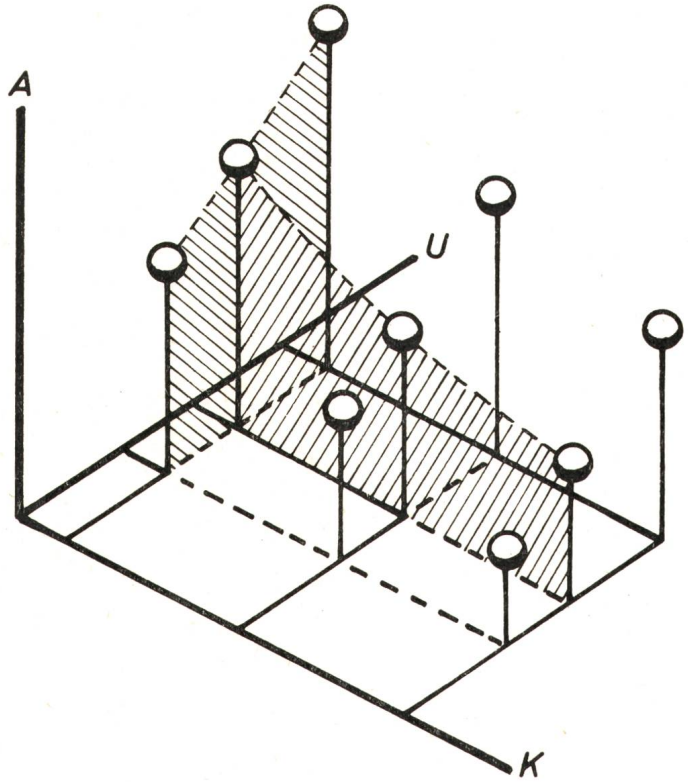

Fig. 1 Modelldarstellung der Zusammenhanges zwischen Versuchsumfang, Automatisierungskosten und Arbeitsaufwand

U Umfang der Versuche
K Kosten der Automatisierung
A Aufwand an menschlicher Arbeit

a) *Kosten:* Die Kosten des Produktionsfaktors Arbeit nehmen relativ zu den Kosten des Produktionsfaktors Kapital ständig zu. Die Minimalkostenkombination verschiebt sich in Richtung des grösseren Kapitaleinsatzes bei kleinerem Arbeitseinsatz [1][1], was mit grösserer Automatisierung gleichzusetzen ist.

b) *Zeit:* Um auf der Höhe der technischen Entwicklung zu bleiben, müssen umfangreiche Versuche in kürzester Zeit durchgeführt und ausgewertet werden, was bei gegebenem Personalbestand nur durch Einsatz der Automatisierungstechnik zu erreichen ist.

c) *Personal:* Der mit der Versuchsdurchführung betraute Wissenschaftler soll von primitiver Fleissarbeit entlastet werden.

In jenen Wissenschaftszweigen, die ähnliche Randbedingungen der Versuchsdurchführung aufweisen wie die Hochspannungstechnik, haben sich aus diesen Gründen die programmierbaren digitalen Prozessrechner weitgehend durchgesetzt und ganz neue Möglichkeiten eröffnet [2; 3]. Der Einsatz von solchen Kleincomputern als universelle Laborgeräte wird noch dadurch gefördert, dass deren Preise im Laufe der letzten 10 Jahre bis in die Grössenordnung von anderen komplizierteren Laborgeräten gefallen sind [4].

2. Der allgemeine Ablauf eines Hochspannungsversuches

Um eine Übersicht über die Automatisierungsmöglichkeiten in einem Hochspannungsversuch gewinnen zu können, ist in Fig. 2 der Funktionsablauf allgemein dargestellt [5].

Die Strom- oder Spannungserzeugung obliegt dabei je nachdem einem Prüftransformator, einem Kurzschlussgenerator, einem Stoßspannungs- oder Stoßstromgenerator, welcher jeweils vom Bedienungspult aus ferngesteuert werden kann. Die am Untersuchungsobjekt abgegriffene Messgrösse kann in den seltensten Fällen direkt übertragen, sondern muss zuerst umgesetzt werden, sei es durch eine Hinuntertransformation mit Hilfe von Spannungsteiler oder Shunt mit anschliessender Übertragung über Koaxialkabel, sei es durch Umsetzung in ein optisches Signal, mit anschliessender Übertragung über Lichtleiter, oder durch die Umsetzung in ein drahtlos zu übermittelndes Signal. Eine grosse Vielfalt von Möglichkeiten bietet sich hier an, wobei die zuerst erwähnte heute am häufigsten anzutreffen ist. Noch mehr Varianten sind im Bedienungsbereich denkbar für die Registrierung, Speicherung und Auswertung der Messgrössen mit einer entsprechenden Steuerung des Versuchsablaufes. Hier vor allem setzen die Automatisierungsbestrebungen an, auf die nun im nächsten Abschnitt eingegangen werden soll.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

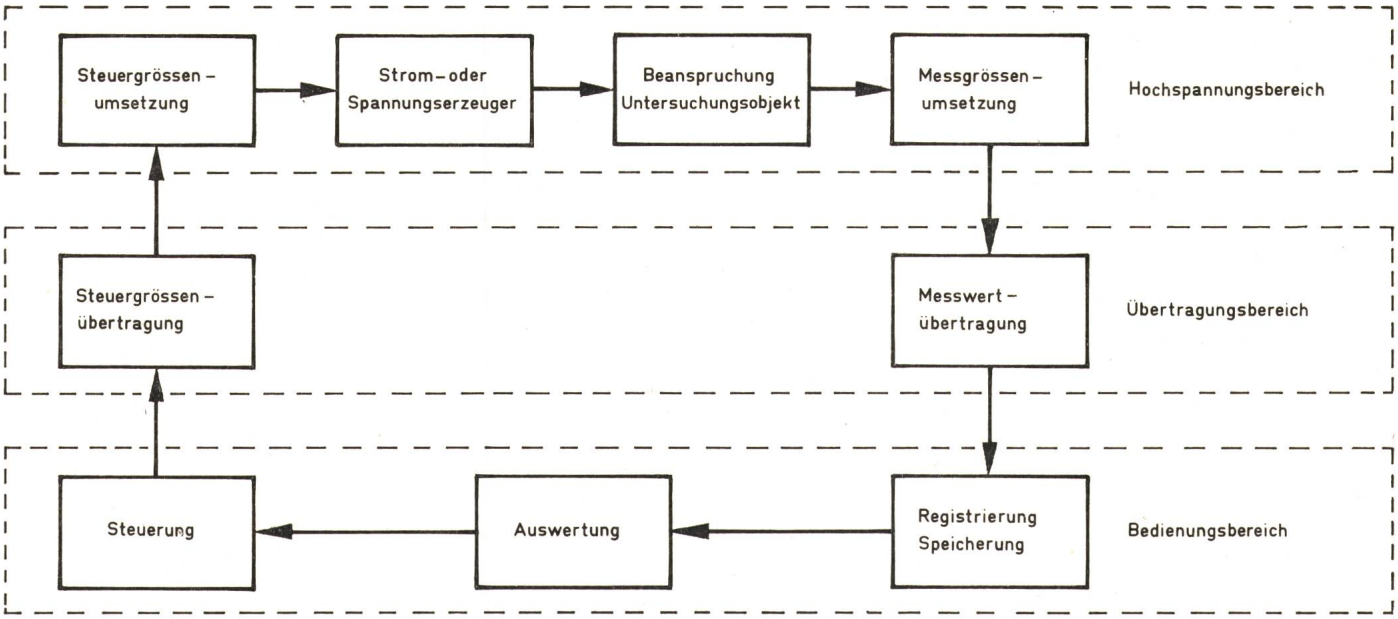

Fig. 2 Funktionsbereiche eines Hochspannungs-Experimentes

3. Möglichkeiten und Grenzen der Automatisierung

Die grössten Schwierigkeiten für die Automatisierung treten im Hochspannungsbereich auf. Zwar lassen sich die Strom- und Spannungserzeuger [6; 7] wie auch die Messgrössenumsetzer ohne weiteres elektronisch fernsteuern, hingegen erfordert eine Automatisierung des Austausches der Untersuchungsobjekte – z. B. bei Durchschlagmessungen an festen Isolierstoffen – einen in den meisten Fällen kaum vertretbaren Aufwand. Einfacher liegen die Verhältnisse bei Untersuchungen von Isolieranordnungen in Gasen, wo sich der Ausgangszustand einige Zeit nach dem Durchschlag von selbst wiederherstellt.

Das klassische System für die Registrierung, Speicherung und Auswertung besteht je nach Geschwindigkeit des aufzunehmenden Vorganges in einem Kathodenstrahloszillographen mit Photoapparat, einem Lichtstrahloszillographen oder einem Registrierschreiber. Die Oszillogramme bzw. Registrierstreifen können dann von Hand ausgemessen und ausgewertet werden.

An diesem sehr zeitraubenden System sind in den letzten Jahren grosse Verbesserungen angebracht worden. Für die Auswertung auf Datenverarbeitungsanlagen können die Oszillogramme durch automatische oder halbautomatische sog. «Digitizer» (Diagrammabtaster) in digitale Form umgesetzt und auf Lochstreifen ausgestanzt werden. Damit sind schon grössere Auswertungen in relativ kurzer Zeit zu bewältigen. Falls von einer Spannung oder von einem Strom nur der Spitzenwert interessiert, ergibt sich eine weitere Vereinfachung durch den Einsatz von Spitzenwertmessgeräten [8; 9], die den Extremwert erfassen und ihn analog oder digital anzeigen oder auch gerade zur leichten Weiterverarbeitung auf Lochstreifen ausgeben. Auf dieser Stufe zeigt sich eine weitere Schwierigkeit der Automatiserung in Hochspannungsfeldern, indem es grosser Sorgfalt bedarf, die elektronischen Systeme vor den bei Durchschlagvorgängen notwendig auftretenden hohen elektromagnetischen Feldänderungen und transienten Spannungen auf den Erdverbindungen zu schützen. Auf diese Frage wird im nächsten Abschnitt näher eingegangen.

In den meisten Fällen wird man sich nicht mit der Erfassung des Spitzenwertes zufrieden geben, sondern mehr Information über den Kurvenverlauf wünschen. Es bietet sich dann die Möglichkeit an, das zu erfassende Analogsignal mittels AD-Wandler direkt in digitale Form umzusetzen und diese Werte in Lochstreifenform für die Weiterverarbeitung zu speichern [10]. Andere Systeme sind bekannt, bei denen der AD-Wandler über eine Anpassungselektronik mit einem Kleincomputer verbunden ist, so dass die Auswertung der Messresultate sofort erfolgen kann [11; 12; 13]. Keines dieser Systeme eignet sich allerdings für Vorgänge mit sehr schnellen Strom- und Spannungsänderungen. Der Grund ist neben den schon beschriebenen Schwierigkeiten darin zu suchen, dass genügend schnelle AD-Wandler nicht leicht zu bauen sind. Dies kann dadurch umgangen werden, indem vom Schirm eines Speicheroszillographen der Kurvenverlauf

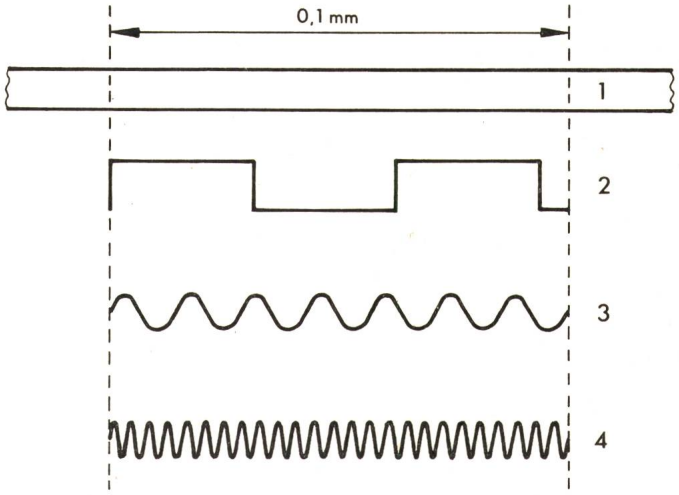

Fig. 3 Vergleich der Informationsdichten bei verschiedenen Verfahren der Aufzeichnung auf Magnetband

1 Magnetband
2 Informatinonsdichte bei digitaler Aufzeichnung
3 Informationsdichte bei frequenzmodulierter analoger Aufzeichnung
4 Informationsdichte bei direkter analoger Aufzeichnung

mit Hilfe einer Fernsehübertragungsanlage in digitale Form umgesetzt und auf Lochstreifen übertragen wird [14; 15].

Die Methode der direkten Umsetzung mit Hilfe von sehr schnellen AD-Wandlern, wie sie im nächsten Abschnitt beschrieben ist, scheint aber erfolgversprechender zu sein. Vorteilhaft kann der Einsatz von Analog-Magnetbändern [16; 17] und -Magnetplatten sein, besonders dann, wenn hochfrequente Vorgänge über längere Zeit aufgenommen und gespeichert werden sollen und dadurch die digitale Speicherung – welche in genügender Geschwindigkeit nur durch Halbleiter-MOS-Speicher bewältigt werden kann – zu umfangreich und damit zu aufwendig würde (Fig. 3).

Einen weiteren Schritt stellt der Einbezug der Steuerung in die Versuchsautomatisierung dar. Es werden dann nach Ablauf eines Experimentes und Auswertung der Messgrössen automatisch die Steuerungsbefehle für den nächsten Versuch abgegeben. Für Fälle, in denen die bisher beschriebenen besonderen Schwierigkeiten nicht auftraten, wurden solche Vollautomatisierungen auch schon durchgeführt, wobei speziell angefertigte digitale Steuer- und Auswertegeräte [18; 19] oder auch Computer als programmierbare Erfassungs-, Auswerte- und Steuergeräte [20] zur Anwendung kamen.

4. Der vollautomatisierte Hochspannungsversuch

Dass bis jetzt kein allgemein verwendbares automatisches Meßsystem für Hochspannungsversuche entwickelt werden konnte, liegt vor allem an den drei beschriebenen besonderen Schwierigkeiten:

a) Sehr aufwendige Automatisierung der Auswechslung der Versuchsobjekte;

b) Sehr schnelle Änderungen der Messgrössen bei Durchschlägen und Stossvorgängen;

c) Beeinflussung der Messelektronik durch hohe elektromagnetische Feldänderungen und Spannungssprünge an der Erdelektrode.

Während Punkt a) nach wie vor der Automatisierung im Hochspannungslabor ihre Grenzen setzt, sind die Punkte b) und c) auf der Basis der neuesten Entwicklungen weitgehend zu überwinden. Die transienten Spannungen auf der Hochspannungs-Erdelektrode lassen sich durch eine galvanische Trennung von Hochspannungs-Bereich und Bedienungs-Bereich mit einer optoelektronischen Übertragung von Mess- und Steuergrössen [21] oder durch eine Verdrosselung, welche als Sperre für hochfrequente Spannungen in der Speisezuleitung wirkt [22], beherrschen. Den elektromagnetischen Feldänderungen lässt sich durch Einbau der gesamten Elektronik in geschirmte Kabinen sowie durch schaltungstechnische Massnahmen begegnen [23; 24]. Eine breite Entwicklung auf dem Gebiet der sehr schnellen Analog-Digital-Wandler [25...28] ermöglicht es heute, impulsförmige Vorgänge von einigen hundert ns Dauer zu erfassen und direkt zu digitalisieren. Dies wurde in der Folge denn auch zur Versuchsautomatisierung auf den Gebieten der physikalischen Chemie [29], der Nuklearforschung [30] und neuestens auch der elektrischen Energietechnik [31] benützt.

Es kann nun ein Zukunftsbild des vollautomatisierten Hochspannungsversuches entworfen werden, wie es in Fig. 4

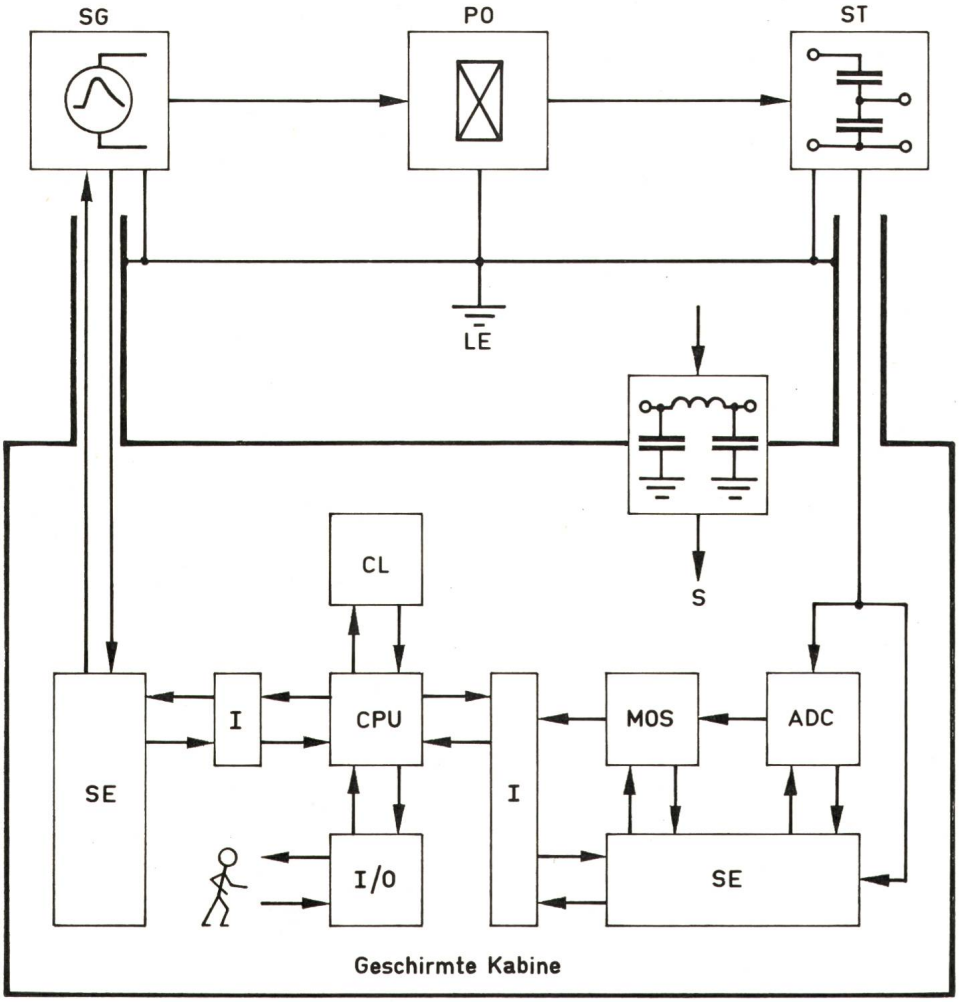

Fig. 4
Blockschema eines vollautomatischen Stoßspannungskreises

ADC AD-Wandler
CL Echtzeit-Uhr
CPU Zentraleinheit des Prozessrechners mit Magnetkernspeicher
I Interface (Anpassungselektronik)
I/O Ein-/Ausgabe
LE Laborerde
MOS MOS-Schieberegister
PO Prüfobjekt
S 220/380-V-Netzspeisung
SE Steuerungselektronik
SG Stoßspannungsgenerator
ST Stoßspannungsteiler

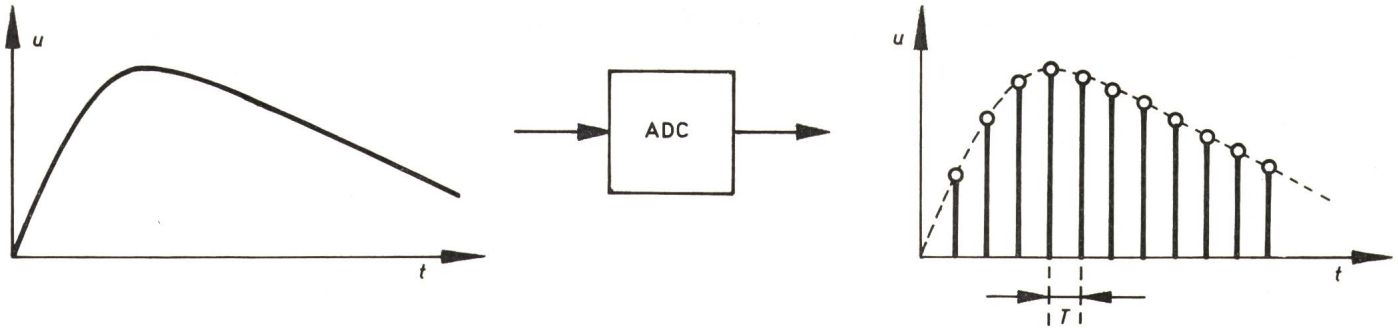

Fig. 5 Digitalisierung einer Stoßspannung

u Spannung *T* Abtastintervall
t Zeit *ADC* AD-Wandler mit getastetem Ausgang

dargestellt ist. Dass die Entwicklungen in dieser Richtung gehen, wurde auch schon an anderer Stelle erwähnt [32].

Die dargestellte Vollautomatisierung eines Stoßspannungskreises soll im folgenden kurz beschrieben werden.

Der festgelegte Versuchsablauf wird auf dem Prozessrechner programmiert. Dieser gibt dann die entsprechenden Befehle über das Interface und die Steuerelektronik an den Stoßspannungsgenerator. Die ausgelöste Stoßspannung beansprucht das Prüfobjekt und wird durch den Spannungsteiler auf das Verarbeitungsniveau heruntertransformiert. Der AD-Wandler tastet das Meßsignal mit einer bestimmten Frequenz ab und setzt die einzelnen Abtastwerte in digitale Form um (Fig. 5), so dass diese in einem MOS-Schieberegister gespeichert werden können. Von dort werden die einzelnen Werte vom Prozessrechner abgerufen, ausgewertet und die Ergebnisse protokolliert.

Die zurzeit leistungsfähigsten Geräte arbeiten mit einem Abtastintervall von 10 ns oder mehr, bei einer Amplitudenauflösung von 8 bit, entsprechend 256 Teilen, und einem MOS-Schieberegister mit einer Kapazität von 2000 8-bit-Wörtern. Durch Abtastfrequenz und Speicherplatz ist die Grenzfrequenz bzw. die Dauer des zu verarbeitenden Signals entsprechend dem Abtasttheorem gegeben, was gleichzeitig die Grenze des beschriebenen Verfahrens darstellt.

5. Zusammenfassende Schlussbemerkungen

Es wurde ein Überblick gegeben über Möglichkeiten der Rationalisierung und Automatisierung in der Hochspannungs-Versuchstechnik mit einem Ausblick auf die Entwicklungsrichtung der nächsten Jahre. Es konnte gezeigt werden, dass trotz einiger besonderer Schwierigkeiten die Bemühungen vor allem dahin gehen werden, die rasante Entwicklung auf dem Gebiet der Klein-Computer und der sehr schnellen AD-Wandler für die Automatisierung von Hochspannungs-Anlagen zur Bewältigung von ausgedehnten Versuchsreihen nutzbringend anzuwenden.

Literatur

[1] *E. Gutenberg:* Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Bd. I: Die Produktion. 16. Auflage. Berlin/Heidelberg/New York, 1969.

[2] *M. Syrbe:* Die Beeinflussung der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik durch die Fortschritte der Datenverarbeitungstechnik. ETZ-A 89(1968)19/20, S. 530...534.

[3] *V. G. Gundelach:* Umfang und Grad der Automatisierung im analytischen Laboratorium. Neue Technik 13(1971)11, S. 493...505.

[4] *H. Remund:* Einsatz von Kleincomputern aus der Sicht des Herstellers. Neue Technik 13(1971)11, S. 464...468.

[5] *R. Hartwig:* Vom Messgerät zum Prozessrechner. ETZ-B 22(1970)23, S. 543...545.

[6] *N. Bardahl:* Transistor-Primärregler für die Stromversorgung von Hochspannungsgeräten. Siemens Z. 46(1972)11, S. 888...890.

[7] *A. Rodewald:* Zur präzisen Auslösung von Stossgeneratoren bei einer vorgewählten Ladespannung. Bull. SEV 59(1968)20, S. 947...952.

[8] *R. Baixas, F. Leclère* et *G. Rivet:* Un voltmètre de grande précision pour la mesure des tensions de choc. Bulletin de la Direction et des Etudes et Recherches de l'Electricité de France, Serie B -(1969)2, p. 107...114.

[9] *F. Arndt:* Stoßspannungsmessgeräte. ETZ-B 23(1971)13, S. 305...306.

[10] *E. Rawlinson, P. H. King* and *P. K. Richardson:* Automatic corona-loss measuring equipment. Proc. IEE 113(1966)4, p. 705...709.

[11] *P. Vrkljan:* Automatische Messung und Auswertung der Stosskurzschlußströme bei Turbogeneratoren. Bull. SEV 62(1971)13, S. 637...641.

[12] *R. M. Morris, A. Staniforth* and *A. R. Morse:* A data system for high-voltage DC test lines. Trans. IEEE IM 20(1971)4, p. 285...291.

[13] *E. Woschnagg:* Automatische Datenerfassung bei der Prüfung von Tansformatoren und Kompensationsdrosselspulen. Brown Boveri Mitt. 59(1972)2/3, S. 104...108.

[14] *A. Johannsen* und *E. Bunge:* Aufzeichnung schnell ablaufender, einmaliger Vorgänge. ETZ-A 92(1971)11, S. 649...651.

[15] *G. S. Mills* and *R. K. Treece:* Digital system transfixes nanosecond transients. Electronics 44(1971)25, p. 80...85.

[16] Supplement to application and evaluation of automatic fault recording devices. IEEE Committee Report. Trans. IEEE PAS 90(1971)2, p. 751...755.

[17] *C. L. Kary:* Use of tape recorder for high power testing. IEEE Conference Record of the International Symposium on High Power Testing, Portland/Oregon, 21...23 July 1971; p. 189...192.

[18] *L. Rezzonico:* Automatische Messeinrichtung für Magnetfelder. Bull. Oerlikon -(1969)385/386, S. 55...61.

[19] *D. Ernst:* Durchschlagsmessungen in der Hochspannungstechnik. Eine automatische Mess- und Registriereinrichtung für genaue Messungen. ETZ-B 22(1970)24, S. 590.

[20] *F. S. Young* a. o.: Computer controls and measurements: Waltz Mill 1100 kV underground transmission test facility. Trans. IEEE PAS 90(1971)3, p. 975...983.

[21] *G. W. York* a. o.: System for data acquisition from high-voltage terminals. Rev. Scient. Instruments 43(1972)2, p. 230...232.

[22] *K. Kowalkowski:* Fortschritte der Abschirmtechnik. Siemens Bauteile Information. 8(1970) Sonderheft Funk-Entstörung S. 20...25.

[23] *G. Karady* and *N. Hyltén-Cavallius:* Electromagnetic shielding of high-voltage laboratories. Trans. IEEE PAS 90(1971)3, p. 1400...1406.

[24] *P. Charransol:* Protection des équipements électroniques contre les perturbations électromagnétiques. Commutation et Electronique -(1972)38, p. 83...91.

[25] *B. Gimmel:* AD- und DA-Wandler – Verfahren und ihre Anwendung. Neue Technik 14(1972)3, S. 80...84 + Nr. 4, S. 103...111.

[26] *R. E. Best:* Eine Systemtheorie der DA- und AD-Converter und ihre Anwendung auf die Konstruktion schneller AD-Converter. Dissertation der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich, Nr. 4785, 1971.

[27] *J. Robra:* Ein ultraschneller Analog-Digital-Wandler für Abtastsysteme. Messtechnik 80(1972)8, S. 235...237.

[28] *J. Robra:* Registrierung von nicht wiederkehrenden Vorgängen im Mikrosekunden-Bereich. ETZ-A 91(1970)2, S. 123.

[29] *G. M. Meaburn* and *B. M. Isaacs:* Digital recording of fast nonrecurrent phenomena in pulse radiolysis studies. Report AFRRI-TN 72-2. Bethesda/Maryland, Armed Forces Radiobiology Research Institute, 1972.

[30] *T. Kasai* a. o.: Computer-aided pulse height analysis system. Fujitsu scientific and technical Journal 7(1971)1, p. 37...51.

[31] *D. Funke:* Ein digitales Verfahren zur Messung der elektrischen Energie von impulsförmigen Vorgängen. Dissertation der Technischen Universität Hannover, 1972.

[32] *G. Leroy, G. Gallet* and *M. F. Simon:* «Les Renardières» UHV Laboratory. Original aspects in its design and operation. ETZ-A 93(1972)7, p. 410...414.

Adresse des Autors:

Lic. oec. dipl. El.-Ing. ETHZ *Peter Wiesendanger,* Laboratorium für Hochspannungstechnik der ETHZ, Gloriastrasse 35, 8006 Zürich.