

# Digitale Meßsysteme für Gleich- und Wechselspannungsmessungen

W. Köhler, Universität Stuttgart

Die rasante Entwicklung auf dem Gebiet der Mikroelektronik und speziell bei der digitalen Meßwerterfassung eröffnet der Hochspannungsprüftechnik ein weites Feld neuer Meß- und Auswertemethoden. Die Genauigkeit der Messungen und der Aufwand für ihre Durchführung kann wesentlich verbessert werden. Die Automatisierung von kompletten Prüfabläufen wird durch den Einsatz der Rechnersteuerung ermöglicht. Dadurch können Personalkosten eingespart und der Durchsatz der Prüfanlagen gesteigert werden.

## 1 Einleitung

Digitale Meßsysteme haben gegenüber konventionellen Meßgeräten folgende entscheidende Vorteile:

- Die Meßsignale liegen in digitalisierter Form vor und können durch einen Rechner weiterverarbeitet (z.B. Fourieranalyse) oder für Prüfberichte in ansprechender Form dargestellt werden (z.B. Ausschnittvergrößerung).
- Die Dokumentation der Messungen (Speicherung, Ausdrücke) wird wesentlich erleichtert und kann größtenteils auch nach den eigentlichen Messungen erfolgen. Der Ablauf spezieller Prüfverfahren wird durch aufwendige Auswertungen nicht behindert.
- Die Meßgeräte sind fernbedienbar und können in automatisierte Prüfabläufe eingebunden werden. Dies ist besonders bei Langzeitmessungen von unschätzbarem Vorteil, weil der Personaleinsatz entscheidend reduziert werden kann (z.B. Messung von Überspannungen oder Oberschwingungen im Netz).
- Die Genauigkeit digitaler Meßgeräte ist wesentlich besser als die analoger Meßgeräte (z.B. Photo vom Schirm eines analogen Speicheroszilloskops). Ablesefehler jeglicher Art sind ausgeschlossen.

- Die Reproduzierbarkeit von Messungen und Auswertungen mit digitalen Meßsystemen ist besser als die von analogen Geräten (Einfluß der Bedienperson).

Obwohl digitale Meßsysteme bei den langsamen Abtastraten, wie sie bei Messungen mit Gleich- und Wechselspannung erforderlich sind, wesentlich unproblematischer einsetzbar sind als bei hohen Abtastraten (Impulsmessungen), werden sie für Gleich- und Wechselspannungsmessungen eher selten in Hochspannungslabors verwendet.

Dies liegt wohl daran, daß sich die meisten Anwender bei der Messung von Gleichspannungen und Wechselspannungen blind auf die Anzeige ihrer analogen Zeigerinstrumente oder Digitalinstrumente verlassen, wie es schon seit Jahrzehnten üblich war. Dies ist umso erstaunlicher, wenn man sich daran erinnert, daß die einschlägigen Prüfvorschriften /1/, /2/ sehr wohl weitergehende Messungen verlangen als die Ermittlung des arithmetischen Mittelwertes bei Gleichspannung oder des Scheitelwertes/ $\sqrt{2}$  bei Wechselspannung.

## **2 Eigenschaften digitaler Meßsysteme**

### **2.1 Prinzipielle Unterschiede zwischen analogen und digitalen Meßgeräten**

Die wesentlichen Unterschiede zwischen analogen und digitalen Meßgeräten sind die Art der Signalerfassung, der Speicherung der Signalinformation und die Darstellung des Meßergebnisses.

Bei analogen Meßgeräten wird das Meßsignal stetig erfaßt und ausgewertet (z.B. Scheitelspannungsmeßeinrichtung) und somit automatisch der richtige Scheitelwert des Spannungssignales erkannt und angezeigt. Die Speicherung der Signalinformation ist in der Regel nicht gegeben, da meist nur der jeweilige Momentanwert angezeigt wird (abgesehen von analogen Speicheroszilloskopen). Die Darstellung des Meßergebnisses (Spannungswert) erfolgt mit Zeigerinstrumenten oder mit digitalen Anzeigeinstrumenten. Das Übersetzungsverhältnis der verwendeten Spannungsteiler wird fest einkalibriert, so daß das Meßgerät in der Regel nur mit einem speziellen Spannungsteiler verwendet werden kann.

Bei digitalen Meßgeräten wird das Meßsignal zu diskreten, äquidistanten Zeitpunkten abgetastet, digitalisiert und abgespeichert. Somit ist nur die Signalamplitude bei den Abtastzeitpunkten bekannt, nicht aber Werte dazwischen. Um zu gewährleisten, daß dadurch keine für die jeweilige Messung wesentliche

Information verloren geht, muß die Abtastrate der jeweiligen Meßaufgabe angepaßt werden. Dies soll am Beispiel der Messung des Scheitelwertes einer 50 Hz-Wechselspannung verdeutlicht werden (vgl. Bild 1).

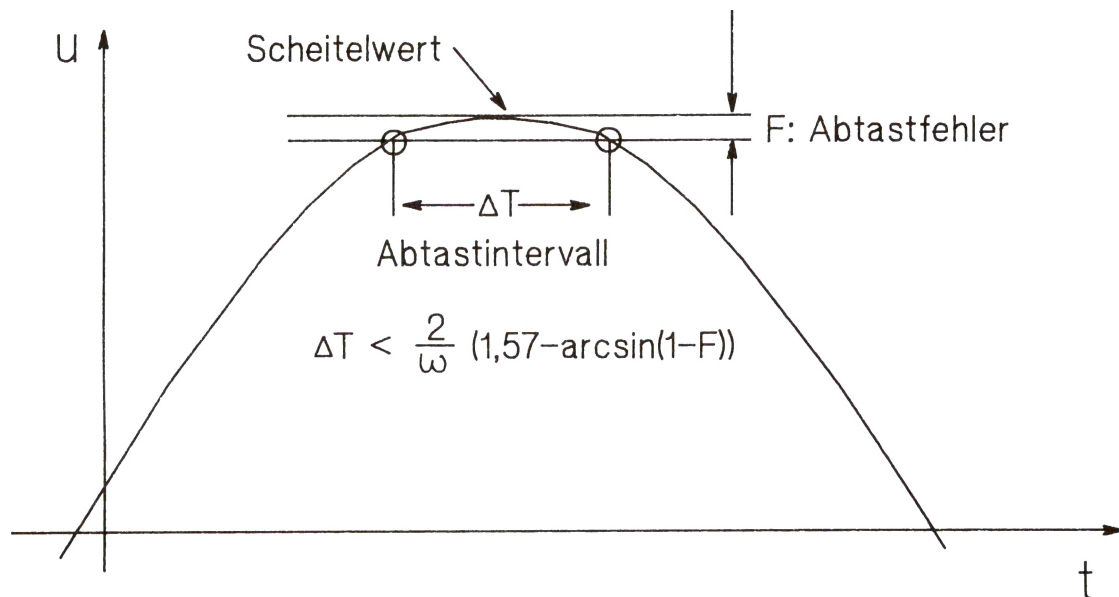


Bild 1: Messung des Scheitelwertes einer 50 Hz-Wechselspannung

Soll beispielsweise der Fehler  $F$  bei der Messung des Scheitelwertes der Wechselspannung (rein sinusförmig) einen bestimmten Wert nicht überschreiten, so darf das Abtastintervall  $\Delta T$  nicht größer sein als

$$\Delta T < \frac{2}{\omega} \cdot (1,57 - \arcsin(1-F)). \quad (1)$$

Dabei ist der sog. "worst case" angenommen, d.h. daß die Abtastpunkte symmetrisch zum Scheitelwert liegen. Für einige typische Genauigkeitsanforderungen ergeben sich die in Tabelle 1 angegebenen minimalen Abtastraten.

Abtastfehler $F$ in %	minimale Abtastrate
2	0,78 kHz
1	1,11 kHz
0,5	1,57 kHz
0,2	2,48 kHz
0,1	3,51 kHz

Tabelle 1: Minimale Abtastrate in Abhängigkeit des Abtastfehlers bei der Messung des Scheitelwertes einer 50 Hz-Wechselspannung

Der Quantisierungsfehler des Analog/Digital-Umsetzers wurde vernachlässigt. Dieser sollte gegenüber der gewünschten Genauigkeit der Spannungsmessung vernachlässigbar sein. Die Auflösung des verwendeten Umsetzers muß also passend zur angestrebten Genauigkeit des Meßgerätes gewählt werden.

In Tabelle 2 sind die Quantisierungsfehler von A/D-Umsetzern mit unterschiedlicher Auflösung angegeben. Dabei wurde jeweils nur eine 50 %-Aussteuerung des Umsetzers angenommen.

Auflösung N des A/D-Umsetzers	Quantisierungsfehler in % (+ 1/2 LSB)
8 Bit	0,78 %
10 Bit	0,20 %
12 Bit	0,0488 %
14 Bit	0,0122 %
16 Bit	0,0031 %

Tabelle 2: Quantisierungsfehler eines A/D-Umsetzers in Abhängigkeit von seiner Auflösung N (bei einer Aussteuerung von 50 %)

Die sehr kleinen Quantisierungsfehler bei Auflösungen von 12 Bit und mehr sollen nicht darüber hinwegtäuschen, daß dies selbstverständlich relative Fehler sind. Der absolute Meßfehler ist durch die verwendeten Eingangsverstärker und die Genauigkeit der Referenzspannung der A/D-Umsetzer gegeben. Allerdings sei an dieser Stelle auch darauf hingewiesen, daß für viele Messungen eine gute relative Genauigkeit ausreichend ist (Messung von bezogenen Oberschwingungsanteilen).

Die abgetastete Spannungskurve wird im Arbeitsspeicher des Meßgerätes abgelegt und steht für weitere Auswertungen zur Verfügung (Kontrolle der Sinusförmigkeit durch Fourieranalyse, echter Effektivwert, Frequenz). Das Übersetzungsverhältnis des verwendeten Spannungsteilers wird bei der Berechnung und Anzeige der Meßergebnisse berücksichtigt und ist über Tastatur oder Kodierschalter beliebig einstellbar, so daß prinzipiell verschiedene Spannungsteiler verwendet werden können.

Die Darstellung der Meßergebnisse ist praktisch beliebig wählbar. Auf diese Weise können anwenderspezifische Anforderungen berücksichtigt werden.

Ein weiterer wichtiger Unterschied zwischen analogen Meßgeräten und digitalen Meßgeräten ist die Fernbedienbarkeit. Die meisten digitalen Meßgeräte können

über Standard-Schnittstellen (RS 232, IEEE 488) von einem übergeordneten Rechner komplett fernbedient werden und dem übergeordneten Rechner ihre Meßwerte übermitteln. Auf diese Weise sind auch komplexe automatisierte Prüf-abläufe möglich.

## **2.2 Genauigkeit analoger und digitaler Meßgeräte**

Bei der Beurteilung der Meßgenauigkeit analoger und digitaler Meßgeräte muß zwischen relativer und absoluter Genauigkeit unterschieden werden.

Die relative Meßgenauigkeit ist ein Maß für das Auflösungsvermögen eines Meßgerätes, also für das Erkennen kleiner Signaldifferenzen. Sie ist bei analogen Meßgeräten hauptsächlich durch die Ablesbarkeit der Meßwertanzeige bestimmt (z.B. 2 % bei Oszilloskop, 1 % bei Zeigerinstrument). Bei digitalen Meßgeräten wird die relative Genauigkeit durch die Auflösung und die Linearität der verwendeten A/D-Umsetzer festgelegt (siehe Tabelle 2) und ist meist sehr viel besser als bei analogen Meßgeräten.

Für die Genauigkeit von Spannungsmessungen ist neben der Übersetzung des Spannungsteilers allein die absolute Genauigkeit des Meßgerätes entscheidend. Sie liegt bei analogen Meßgeräten kaum unter 1 % (Problem der Anzeigenauflösung). Bei digitalen Meßgeräten sind ohne größere Anstrengungen Genauigkeiten bis etwa 0,1 % erreichbar, wenn A/D-Umsetzer entsprechender Auflösung mit präzisen Referenzspannungselementen verwendet werden.

Ein großer Vorteil bei digitalen Meßgeräten sind automatische Kalibrier- und Abgleichprozeduren (z.B. Nullpunktabgleich), welche die absolute Genauigkeit deutlich verbessern.

Für viele Messungen ist aber schon allein die relative Genauigkeit eines Meßgerätes entscheidend. Soll beispielsweise der Oberschwingungsgehalt einer Prüfwechselspannung gemessen werden, so wird dieser üblicherweise auf die Amplitude der Grundschiwingung bezogen. Die Genauigkeit dieser relativen Messung wird nur durch die relative Genauigkeit des Meßgerätes bestimmt, nicht durch seine absolute Genauigkeit. Dasselbe trifft bei der Messung der Übersetzung eines Spannungsteilers zu, weil dort nur das Verhältnis zwischen Eingangsspannung und Ausgangsspannung bestimmt wird. Für diese Meßaufgabe sind digitale Meßgeräte besonders geeignet, da eine möglichst präzise Anzeige (Dezimalwert, z.B. 1:2542) des Übersetzungsverhältnisses gewünscht wird.

### 3 Beispiele für den Einsatz digitaler Meßsysteme im Bereich der Hochspannungsprüftechnik

#### 3.1 Messung von Gleich- und Wechselspannungen im Labor

Für die präzise Messung von Gleich- und Wechselspannungen bzw. von Gleich- und Wechselströmen wurde ein von einem Mikroprozessor gesteuertes Meßgerät mit einem 12 Bit A/D-Umsetzer aufgebaut (AC/DC Analyzer). Bild 2 zeigt das Blockschaltbild dieses Gerätes.

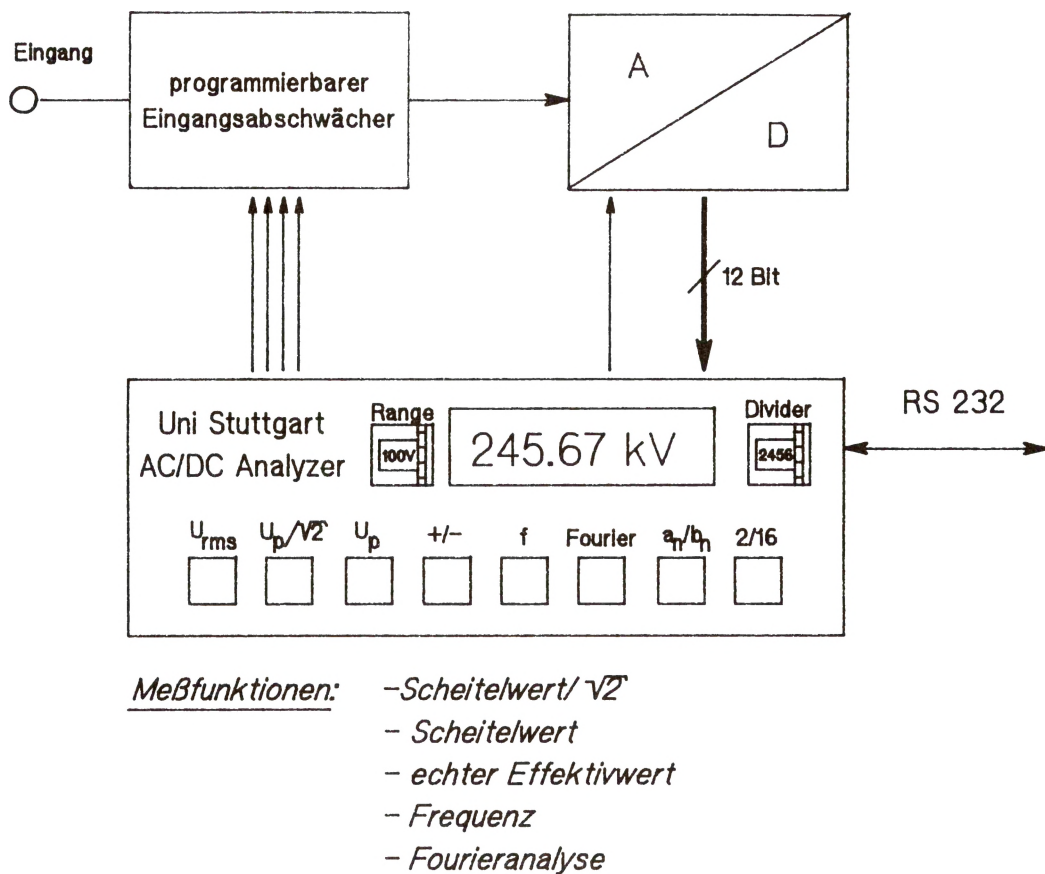


Bild 2: Blockschaltbild des AC/DC Analyzers

Das analoge Meßsignal vom Spannungsteiler wird durch einen programmierbaren Eingangsabschwächer auf einen geeigneten Signalpegel heruntergeteilt und von einem 12 Bit A/D-Umsetzer abgetastet. Das Übersetzungsverhältnis des verwendeten Spannungsteilers und der gewünschte Eingangsmeßbereich werden durch Kodierschalter auf der Frontplatte des Gerätes eingestellt. Die Frequenz, mit der das analoge Eingangssignal abgetastet wird, ist variabel und wird entsprechend der gewählten Meßaufgabe automatisch optimal eingestellt. Die Ermittlung der charakteristischen Größen der Prüfspannung erfolgt rechnerisch durch einen Prozessor. Dabei sind folgende Meßfunktionen per Tastatur wählbar:



- Scheitelwert der Wechselspannung (beide Polaritäten)
- Scheitelwert der Wechselspannung/ $\sqrt{2}$  (beide Polaritäten)
- Echter Effektivwert der Wechselspannung
- Frequenz der Wechselspannung
- Fourieranalyse (Ermittlung des Oberschwingungsgehaltes)  
der Wechselspannung

Die ersten beiden Größen werden dadurch bestimmt, daß die abgetastete Kurve nach ihren Extremwerten abgesucht wird und diese Werte unter Berücksichtigung des gewählten Meßbereiches und des eingestellten Übersetzungsverhältnisses angezeigt werden. Dabei werden wahlweise 25 Meßwerte pro Sekunde (Mittelwert aus 2 Perioden) oder ca. 3 Meßwerte pro Sekunde angezeigt (Mittelwert aus 16 Perioden).

Falls am Meßgerät eine Gleichspannung anliegt, so wird dies automatisch erkannt und mit der richtigen Polarität angezeigt.

Die Berechnung des Effektivwertes der Wechselspannung wird rechnerisch nach folgender Gleichung durchgeführt:

$$u_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_{t=0}^T u^2(t) \cdot dt} \quad (2)$$

Für die abgetastete Spannungskurve (Abtastfrequenz ca. 20 kHz) gilt mit sehr guter Näherung:

$$u_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{\Delta T}{T} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} u_k^2} \quad (3)$$

Die Frequenz der Wechselspannung wird durch die Messung der Zeit zwischen 20 aufeinanderfolgenden Nulldurchgängen der Wechselspannung (10 Perioden) mit einem Zeitraster von 50  $\mu\text{s}$  bestimmt. Die relative Auflösung beträgt 50  $\mu\text{s}$  von 200 ms, also 0,025 %.

Eine wesentlich aufwendigere Messung ist die Oberschwingungsanalyse (Fourierzerlegung). Die Wechselspannung wird so abgetastet, daß unabhängig von ihrer Frequenz stets 256 äquidistante Abtastpunkte pro Periode der Wechselspannung vorliegen. Die Berechnung der Fourierkoeffizienten erfolgt nach den folgenden mathematischen Gleichungen:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{t=0}^T u(t) \cdot \cos(n \cdot \omega \cdot t) \cdot dt \quad (4)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{t=0}^T u(t) \cdot \sin(n \cdot \omega \cdot t) \cdot dt \quad (5)$$

mit n: Ordnung der Oberschwingung  
 $\omega$ : Kreisfrequenz der Grundschiwingung  
T: Periodendauer des Meßsignals

Der Betrag der Oberschwingung wird nach folgender Gleichung ermittelt:

$$c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (6)$$

Für die punktweise abgetastete Kurve ergibt sich:

$$a_n = \frac{2}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} u_k \cdot \cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) \quad (7)$$

$$b_n = \frac{2}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} u_k \cdot \sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) \quad (8)$$

mit N: Anzahl der Abtastwerte pro Periode  
n: Ordnung der Oberschwingung  
k: Summationsindex

Die Anzeige der Ergebnisse erfolgt in per unit-Werten (bezogen auf den Scheitelwert der Spannungskurve). Es können wählweise die  $a_n$ -,  $b_n$ - oder die  $c_n$ -Koeffizienten bis zur 80. Ordnung angezeigt werden, so daß sowohl die Betragsinformation als auch die Phaseninformation vorhanden ist.

Hervorzuheben ist, daß die gesamte Fourieranalyse auf der Basis einer einzigen abgetasteten Periode der Wechselspannung durchgeführt wird, und daß die Berechnung aller Fourierkoeffizienten bis zur 80. Ordnung weniger als 1 Sekunde dauert. Auf diese Weise gibt es keine Probleme, wenn sich der Oberschwingungsgehalt der zu analysierenden Spannung rasch ändert.

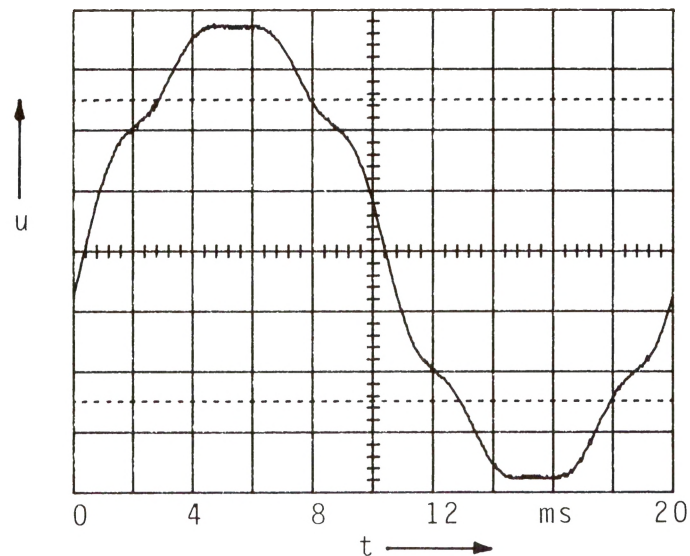
Alle beschriebenen Messungen sind ohne einen zusätzlichen Rechner möglich. Die Zeit für die teilweise aufwendigen Berechnungen ist so kurz, daß der Bediener keine merklichen Wartezeiten in Kauf nehmen muß. Dies wurde dadurch erreicht, daß alle Berechnungsprogramme in Assembler-Sprache geschrieben sind, wodurch sehr schnelle, effiziente Programmabläufe entstehen.



Durch die Rechnersteuerung und die vorhandenen Schnittstellen (RS 232) kann das Gerät fernbedient und auf diese Weise beliebig in automatische Prüfabläufe einbezogen werden (Langzeitmessungen im Netz).

Die absolute Meßgenauigkeit des Gerätes liegt bei 0,2 % vom jeweiligen Meßbereichsendwert. Die Genauigkeit bei der Messung des echten Effektivwertes und bei der Fourieranalyse liegt ebenfalls bei 0,2 %.

Bild 3 zeigt eine mit einem programmierbaren Netzstörsimulator erzeugte Wechselspannung mit genau definierten Oberschwingungsanteilen, welche mit dem beschriebenen Meßgerät analysiert wurden. Das Ergebnis der Messung ist in der in Bild 3 enthaltenen Tabelle zu sehen. Die Abweichungen zwischen den vom Meßgerät bestimmten Oberschwingungsanteilen und den tatsächlich vorhandenen Werten ist vernachlässigbar gering.



Ordnung	Oberschwingungsanteil	gemessener Wert	Abweichung
3	0,0300	0,0300	0,00 %
5	0,0500	0,0502	0,02 %
7	0,0500	0,0502	0,02 %

Bild 3: Messung des Oberschwingungsgehaltes einer 50 Hz-Wechselspannung

Mit Hilfe des beschriebenen Meßgerätes ist sehr einfach zu kontrollieren, ob die Abweichung eines Prüfspannungsverlaufes von der Sinusform innerhalb der nach VDE 0432, Teil 3 zulässigen Grenzen bleibt. Danach dürfen der Scheitelwert/  $\sqrt{2}$  und der echte Effektivwert maximal um 5 % voneinander abweichen. Diese Kontrolle ist mit einfachen analogen oder digitalen Meßgeräten nicht möglich.

Auch bei Strommessungen an Metalloxidableitern spielt die Kurvenform der Prüfspannung eine wichtige Rolle, weil der Strom durch den Ableiter sehr empfindlich auf Harmonische im Spannungsverlauf reagiert /3/. Vergleichbare Meßergebnisse sind nur dann zu erzielen, wenn die Prüfspannung nahezu sinusförmig ist.

### 3.2 Meßsystem zur Aufzeichnung von Strom-, Spannungs- und Temperaturverläufen während Verschmutzungstests an Zinkoxidableitern

Bei Verschmutzungsversuchen an mehrteiligen ZnO-Ableitern sind der äußere Fremdschichtstrom, der interne Zinkoxidstrom und die Temperaturen der einzelnen ZnO-Stapel wichtig für die Beurteilung des Zustandes des Gesamtableiters. Es ist daher wünschenswert, eine Vielzahl von unterschiedlichen Meßsignalen aufzuzeichnen. Dabei ist zu beachten, daß die meisten Signale auf Hochspannungspotential anfallen, so daß batterieversorgte Sensoren mit einer optischen Meßwertübertragung (Lichtwellenleiter) benötigt werden. Bild 5 zeigt die Versuchsanordnung mit einem 4teiligen ZnO-Ableiter und den zugehörigen Sensoren zur Strom-, Spannungs- und Temperaturmessung.

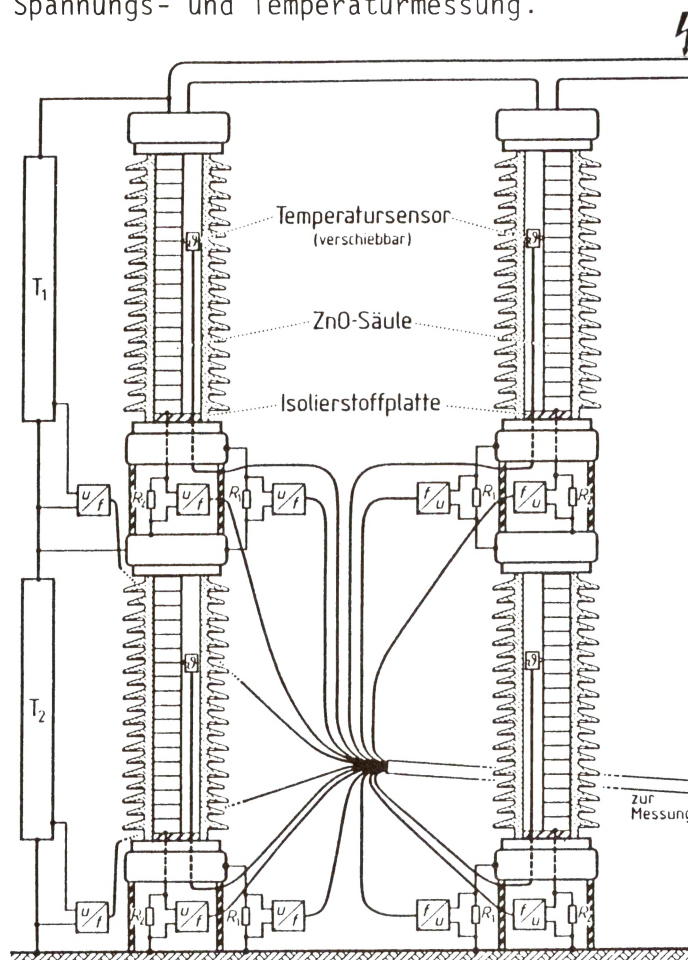


Bild 4: 4teiliger ZnO-Ableiter mit Sensoren und optischer Meßwertübertragung

Die potentialfreien Sensoren setzen das analoge Eingangssignal in ein Frequenzsignal mit einer Mittenfrequenz von 200 kHz um (binäre Übertragung), welches auf der Empfängerseite durch einen digitalen optischen Empfänger und einen nachgeschalteten Frequenz/Spannungsumsetzer wieder in analoger Form auf Erdpotential zur Verfügung steht. Bild 5 zeigt das Blockschaltbild der zugehörigen Meßwerterfassung.

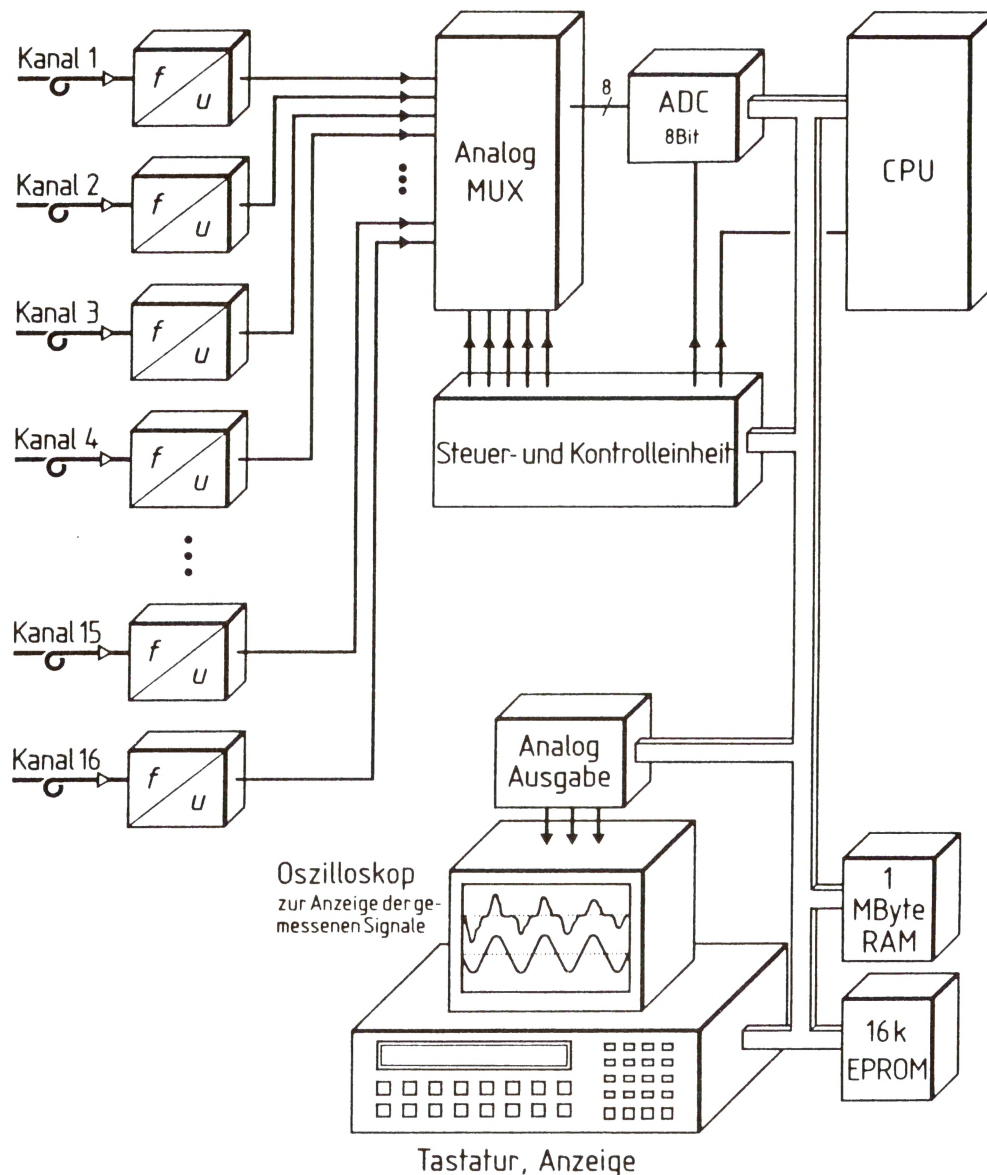


Bild 5: 16-kanalige Meßwerterfassungs- und -auswerteeinheit mit optischen Signaleingängen (Lichtwellenleiter)

Die 16 analogen Meßsignale werden von einem 8 Bit A/D-Umsetzer abgetastet und im 1 MByte Arbeitsspeicher des Steuerprozessors abgelegt. Auf diese Weise ergibt sich pro Meßkanal eine Speichertiefe von 60 kByte.

Die Darstellung der gemessenen Signale erfolgt über D/A-Umsetzer auf einem 2-kanaligen Oszilloskop. Die aufgezeichneten Signale können durch den Steuerprozessor unterschiedlich ausgewertet werden. Folgende Auswertefunktionen sind implementiert:

- Ermittlung von Effektivwerten
- Ermittlung der im Prüfling umgesetzten elektrischen Energie (wird aus einer wählbaren Anzahl von Perioden eines Strom- und eines Spannungssignales bestimmt.)
- Ermittlung der Scheitelwerte von Strom und Spannung innerhalb einer Halbperiode
- Ermittlung der Verlustleistung eines Ableiters

Dadurch, daß zwischen Meßgerät und Prüfling keine galvanische Verbindung besteht, gibt es keine Beeinflussung der aufgezeichneten Meßsignale durch Störungen auf Meßkabeln (Kabelmantelströme) oder durch 50 Hz-Brummspannungen (Erdschleifen) bei kleinen Signalamplituden.

### **3.3 Zweikanaliger Transientenrekorder mit großer Speichertiefe**

Zur Aufzeichnung von Spannungs- und Stromverläufen bei Gleich- und Wechselspannungen wurde das in Bild 6 schematisch dargestellte 2-kanalige Meßgerät entwickelt.

Beide analogen Eingangskanäle werden über einen programmierbaren Abschwächer mit 10 Stufen an die Signalamplituden angepaßt. Die Einstellung der gewünschten Eingangsempfindlichkeit erfolgt über Kodierschalter, ebenso die Übersetzungsverhältnisse von Spannungsteilern oder Strommeßwiderständen.

Die analogen Meßsignale werden von zwei 8 Bit A/D-Umsetzern abgetastet und im Arbeitsspeicher des Prozessors gespeichert. Auf diese Weise stehen pro Kanal bis zu 480 kByte Speicher zur Verfügung. Die Darstellung der gespeicherten Signalverläufe erfolgt über zwei D/A-Umsetzer auf einem Oszilloskop.

Die technischen Daten des Gerätes sind in der folgenden Aufstellung zusammengefaßt:

Eingangsempfindlichkeit:	von 3 V bis 100 V separat für jeden Kanal über Kodierschalter einstellbar.
Abtastrate:	von 20 Hz bis 20 kHz in 10 Bereichen einstellbar.
Speichertiefe:	bis zu 480 kByte pro Kanal (kann für mehrere

Meßvorgänge aufgeteilt werden).

Triggerung: wahlweise manuell, extern oder auf Signal (Kanal, Pegel und Polarität einstellbar).

Schnittstellen: Zwei RS 232-Schnittstellen sowie Parallelschnittstelle für Drucker oder Plotter.

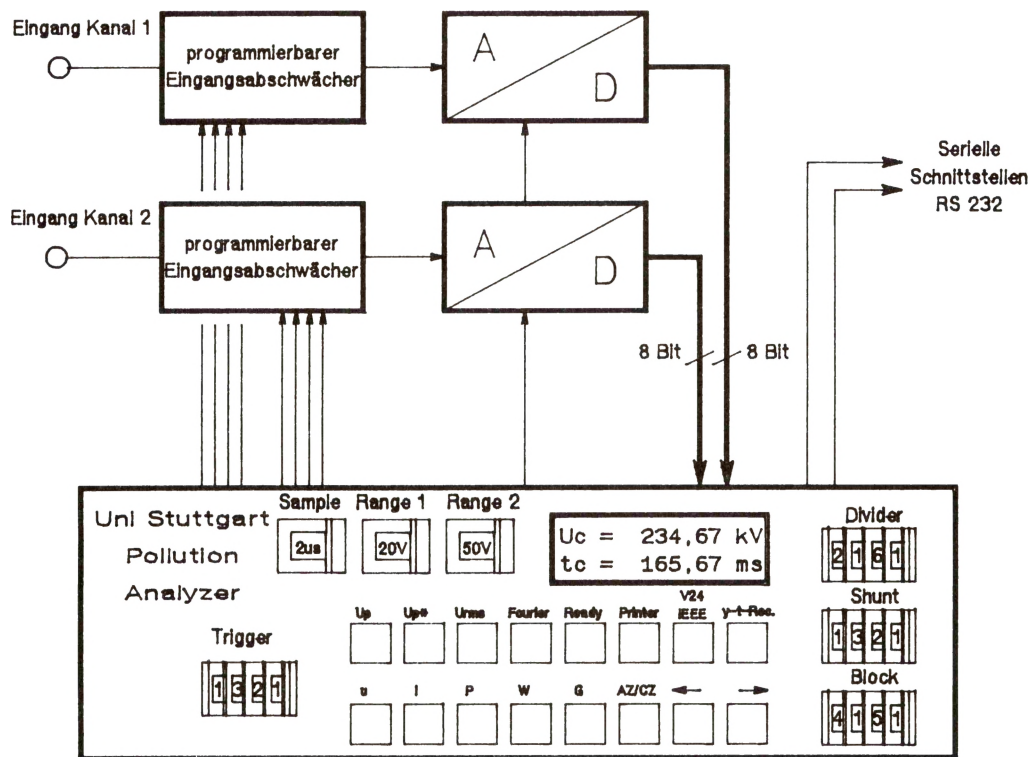


Bild 6: 2-kanaliger Transientenrekorder mit großer Speichertiefe

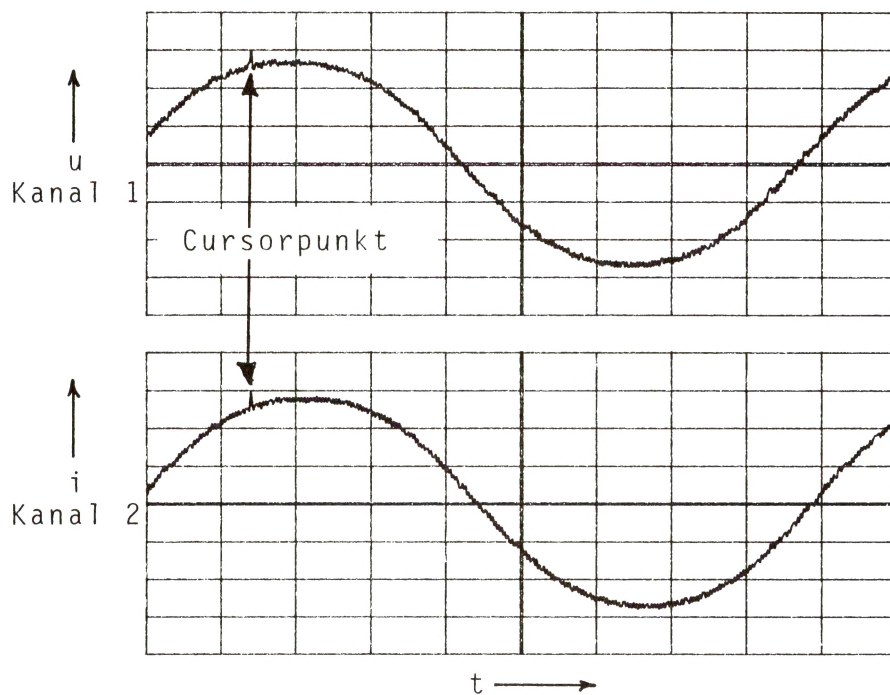
Die im Gerät implementierten Auswerteprogramme wurden speziell auf die Anforderungen bei Wechsel- und Gleichspannungsprüfungen (Strom- und Spannungsmessungen) ausgelegt und umfassen folgende Funktionen:

- Darstellung der aufgezeichneten Meßsignale auf einem Oszilloskop mit Cursorsteuerung und Anzeige der Spannungs-, Strom- und Zeitwerte am Cursorpunkt auf einer alphanumerischen LCD-Anzeige (dabei werden die eingestellten Übersetzungsverhältnisse des Spannungsteilers und des Strommeßwiderstandes berücksichtigt).
- Automatische Ermittlung der Scheitelwerte der ab dem Cursorpunkt folgenden Halbperiode.
- Berechnung echter Effektivwerte von Strom und Spannung.



- Berechnung und Anzeige der momentanen Leistung am Cursorpunkt.
- Berechnung der in einem vorgebbaren Zeitabschnitt umgesetzten Energie aus den gespeicherten Strom- und Spannungssignalen.
- Fourieranalyse von Strom- und Spannungsverläufen.
- Darstellung der aufgezeichneten Signale auf Drucker oder Plotter.

Bild 7 zeigt beispielhaft die auf ein Oszilloskop ausgegebenen gespeicherten Meßsignale mit den auf der Anzeige dargestellten Auswertungen.



Zugehöriger Text auf LCD-Anzeige:  $U_c = 124,45 \text{ kV}$   
 $T_c = 25,30 \text{ ms}$

Bild 7: Darstellung und Auswertung der aufgezeichneten Signale



#### 4 Zusammenfassung

Durch den Einsatz digitaler Meßgeräte sind neben den einfachen Meßfunktionen (Scheitelwert der Wechselspannung, Gleichspannung) auch aufwendigere Messungen möglich, wie beispielsweise die Kontrolle der Sinusförmigkeit (Fourieranalyse) oder die Berechnung echter Effektivwerte. Dies wird durch die digitale Abtastung der Meßsignale und die anschließende Weiterverarbeitung der Meßwerte durch einen Rechner ermöglicht. Dabei ist es für den Bediener des Meßgerätes von entscheidendem Vorteil, wenn diese speziellen Auswertungen im Meßgerät selbst durchgeführt werden, weil dann kein zusätzlicher Rechner benötigt wird und keine unnötig langen Wartezeiten entstehen, welche einen zügigen Prüfablauf verhindern.

Die Einsatzmöglichkeiten digitaler Meßgeräte wurden anhand von 3 Geräten erläutert, welche zugeschnitten auf die jeweils spezielle Meßaufgabe konzipiert und aufgebaut worden sind.

Ein nicht zu vernachlässigender Vorteil digitaler Meßgeräte ist die Tatsache, daß sie über Standardschnittstellen fernbedient werden können und somit auch in komplexe, automatisierte Prüfabläufe, welche von einem übergeordneten Rechner gesteuert werden, integriert werden können.

#### Literaturangaben:

- /1/        DIN VDE 0432 Teil 2/10.78:  
             "Hochspannungs-Prüftechnik: Prüfverfahren"
  
- /2/        DIN VDE 0432 Teil 3/10.78:  
             "Hochspannungs-Prüftechnik: Meßeinrichtungen"
  
- /3/        DIN VDE 0675 Teil 4:  
             "Metalloxidableiter ohne Funkenstrecken  
             für Wechselspannungsnetze"