

Vortrag Dr. K. Helbig

"Geräte II. Überlegungen zur Aufzeichnung und Speicherung von Meß-
ergebnissen"

Freitag, den 2. Febr. 1962

Während für kleinere Programme die bisherigen Aufzeichnungsmethoden sich als durchaus ausreichend erwiesen haben, dürfte es nicht möglich sein, mit ihnen ein wesentlich umfangreicheres Beobachtungsmaterial sinnvoll zu speichern. Der Umfang des Beobachtungsmaterials hängt dabei nicht nur von der Anzahl der Stationen und der Registrierzeit ab, sondern auch von dem untersuchten Frequenzband, insbesondere von der oberen Grenzfrequenz.

Die verschiedenen Aufzeichnungsverfahren werden unter folgenden Gesichtspunkten verglichen:

- a) Lassen sich die Aufzeichnungen "zurückübersetzen", d. h. wieder in Spannungen verwandeln?
- b) Wie groß ist die "Informations-Speicherkapazität" des Aufzeichnungsmediums?

Von den derzeit bekannten Aufzeichnungsmedien kommen vier für die hier diskutierten Zwecke in Frage:

Photopapier,
Transparentfilm,
Lochstreifen,
Magnetband.

Bei Verwendung von Photopapier kommt wegen des geringen nutzbaren Schwärzungsintervalls nur der übliche seitliche Kurvenschrieb in Frage. Diese Registrierung ist sehr anschaulich, eine Rückübersetzung der Kurve in Spannungswerte für Auswertungszwecke ist jedoch nur mit langsam arbeitenden Nachlaufschreibern möglich. Außerdem setzt das voraus, daß die Kurven sich nicht überschneiden. Diese Bedingung läßt sich ohne Steigerung der Papierbreite aber nur durch Verwendung von Mehrfachpunkten erreichen. Darunter leiden aber sowohl Anschaulichkeit als auch Genauigkeit.

Registrierung auf Transparentfilm kann ebenso verfahren werden

Überlegungen mit geringen Abwandlungen. Wegen des größeren Schwärzungsintervalles und der Transparenz des Mediums kann hier aber auch die Schwärzung proportional dem Meßwert gemacht werden. Eine solche "Kurve" läßt sich leicht durch Photozellen-Abtastung in Spannungen zurückverwandeln, außerdem kann der seitliche Raumbedarf, also die Papierbreite, drastisch eingeschränkt werden. Diese Aufzeichnung ist aber unanschaulich und kommt daher als alleinige Registrierung (ohne Kontrolle durch eine langsam laufende Papierregistrierung) nicht in Frage.

Lochstreifenregistrierung setzt voraus, daß der Meßwert in digitaler Form vorliegt. Das ist keine grundsätzliche Schwierigkeit, umso weniger, als einige Geräte (Protonenresonanzmagnetometer) nur über digitale Anzeige verfügen. Hinsichtlich der Anschaulichkeit ist die Lochstreifenregistrierung noch wesentlich ungeeigneter als die Dichteschrift. Obwohl eine Lochstreifenregistrierung mit einiger Erfahrung "gelesen" werden kann, ist hier die Rückübersetzung in Spannungen die Regel (etwa am Eingang einer elektronischen Rechenmaschine oder eines Vektographen).

Bei der Magnetbandregistrierung ist die Anschaulichkeit gleich Null, da man einem Band nicht einmal ansehen kann, ob es überhaupt eine Registrierung enthält. Die Rückübersetzung ist hier geradezu Voraussetzung der Registrierung.

Die eingangs erwähnte Informations-Speicherkapazität entscheidet über die Menge des benötigten Aufzeichnungsmediums (Papier, Film, Magnetband) in Abhängigkeit vom aufzuzeichnenden Frequenzband. Abgesehen von der Frage, ob es wünschenswert ist, gewisse Frequenzen zu registrieren, erhebt sich die Frage, ob es technisch sinnvoll ist. In der nachfolgenden Tabelle ist aufgeführt, welche Genauigkeitsforderungen an die Uhren zu stellen sind, wenn jede Station eine eigene Uhr hat.

Kontrolle	Kürzeste aufgezeichnete Periode			
	1 sec	10 sec	100 sec	1000 sec
monatlich	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}
täglich	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}
stündlich	10^{-4}	0,5		

Relative Genauigkeit der Zeitmarkenuhr

Die hier aufgeführten Genauigkeiten gewährleisten, daß die wahre Phasenlage einer Schwingung am Ende des Kontrollzeitraums mit einer Sicherheit von 72° aufgezeichnet wird. Die Phasendifferenzen zwischen verschiedenen Stationen können dann auf 144° genau bestimmt werden. Bei höheren Ansprüchen an die Phasentreue muß der Frequenzbereich entsprechend eingeschränkt oder die Genauigkeit der Uhr erhöht werden. Tägliche und stündliche Kontrolle des Uhrenstands ist natürlich nur über Funk möglich. Die normalen Zeitzeichen sind Sendungszeichen. Sollen sie direkt aufgezeichnet werden, so muß die Vorschubgeschwindigkeit so groß sein, daß man 1-sec-Pulsationen aufzeichnen könnte. Wenn die Vorschubgeschwindigkeit geringer ist, müssen die Sekundenmarken mit Hilfe einer mechanischen oder elektronischen Untersetzerschaltung in Minutenmarken verwandelt werden. Eine relative Genauigkeit von 10^{-4} entspricht etwa einer (Gang-)Genauigkeit von etwa einer Sekunde pro Tag. Genauigkeiten von $10^{-4} - 10^{-5}$ sind mit sehr guten mechanischen Uhren zu erreichen, darunter nur mit Quarzuhren. Eine Genauigkeit von besser als 10^{-7} erfordert eine Quarzuhr hoher Präzision.

Die Bedeutung der Informations-Speicherkapazität wird an folgendem Beispiel erläutert: Wird auf 6 cm breitem Papier registriert und sollen Pulsationen von 1 sec Periode noch einigermaßen auswertbar sein, so fallen (bei einem Vorschub von 2 mm/sec) je Tag 160 m, je Monat 5 km Film an. Das Ergebnis einer Station sind 50 kg Papier je Monat. Registrieren mehrere Stationen über längere Zeiträume, so treten bereits größere Schwierigkeiten bei der Lagerung auf. Da ein Papierfilm nur direkt bearbeitet werden kann, lassen sich hier auch Grenzen der Bearbeitbarkeit feststellen. Bei einer reinen Durchsicht (ohne eigentliche Auswertung) mit 12 m/Stunde lassen sich im Monat 2,5 km Film bearbeiten. Das bedeutet, daß für 1-sec-Pulsationen die Durchsicht etwa doppelt so lange dauert wie die Aufnahme, falls die Registrierung 24 Stunden am Tage läuft. Selbst bei 10-sec-Pulsationen könnte der Bearbeiter nur gerade mit dem Material von 5 Stationen Schritt halten. Eine wirkliche Auswertung würde entsprechend länger dauern.

Bei Transparentfilm ist die Speicherkapazität etwas höher, so daß man nicht unbedingt zu unhandlichen Mengen kommen muß. Hinsichtlich der Auswertegeschwindigkeit gilt jedoch das gleiche, wenn nicht die Dichteschrift verwendet wird. Dann kann die Durchsicht weitgehend

automatisiert werden, da der gespeicherte Vorgang wieder in eine Spannungsschwankung zurückübersetzt werden kann.

Die Speicherkapazität von Lochstreifen ist relativ gering, da sieben Löcher erst eine Zahl der Größenordnung 100 repräsentieren.

Von allen in Frage kommenden Aufzeichnungsmedien hat das Magnetband die größte Aufzeichnungskapazität. Einzelheiten hängen von der gewählten Aufzeichnungsart (s. u.) ab. Für das oben diskutierte Beispiel würden sich im Falle des Aufzeichnungsverfahrens mit der größten Kapazität 450 m Band ergeben, und selbst die ungünstigeren Verfahren würden es ermöglichen, die auf 5 km Papierfilm enthaltene Information auf nicht mehr als 1,5 km Magnetband zu speichern. Zum Vergleich wird erwähnt, daß eine 35-cm-Spule 1500 - 2200 m Band enthält. Technische Magnetbänder sind in Breiten von 6 bis 50 mm erhältlich, so daß es keine Schwierigkeiten macht, mehrere Komponenten auf einem Band zu registrieren.

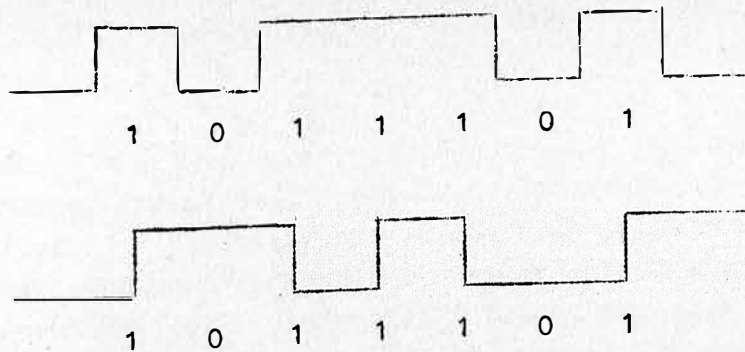
Folgende Aufzeichnungsverfahren für Magnetband kommen in Frage:

- a) direkt (wie bei akustischen Aufzeichnungen),
- b) Trägerfrequenzmodulation,
- c) Impulslängenmodulation,
- d) Digitale Registrierung.

Die Aufzeichnung nach a) ist ungeeignet, wenn sowohl Amplituden- als auch Phasentreue verlangt wird. Die zur Erreichung der Amplitudentreue im üblichen Magnetophon verwendeten Entzerrungsglieder verursachen eine starke Phasenverzerrung. Bei b) wäre an zwei Verfahren zu denken: Jede Komponente hat einen eigenen Aufzeichnungskopf und wird auf einer eigenen Spur geschrieben (Breitband-FM), oder es werden mehrere Trägerfrequenzen auf einer Magnetspur geschrieben, die nachträglich durch Filter wieder getrennt werden. Bei dieser zweiten Art (die als Multiplex-Trägerverfahren bezeichnet wird) kann jeder Träger nur ein relativ schmales Frequenzband übertragen, da sich sonst die Seitenbänder verschiedener Träger beeinflussen. Das führt zu hohen Bandgeschwindigkeiten. Das Breitband-FM-Verfahren ist das Verfahren mit der höchsten Speicherkapazität. Seine Anwendung im Dauerbetrieb setzt aber voraus, daß Bandgeschwindigkeit und Trägerfrequenz sehr stabil sind.

Der Impulslängenmodulation liegt folgendes Prinzip zugrunde: Durch einen rotierenden Schalter werden die verschiedenen Komponenten (sowie zu Kontrollzwecken außerdem eine feste Spannung) der Reihe nach abgetastet und zur Steuerung der Länge von Impulsen verwendet. Die Vorderkante der Impulse ist dabei gleichzeitig Zeitmarke (gesteuert durch die gleichförmige Rotation des Schalters, der von einer Quarzuhr oder einem Funksignal kontrolliert wird), während die Länge des Impulses proportional dem Momentanwert der Feldkomponente ist. Eine Rückübersetzung ist bei dieser Methode außerordentlich einfach: Es genügt eine einfache Mittelung, um wieder den ursprünglichen Vorgang zu gewinnen. Soll mit einer Genauigkeit von 1 - 2% registriert werden, so muß dem vollen Meßwert eine Impulslänge von etwa 0,2 mm (auf dem Magnetband) entsprechen. Eine Phasengenauigkeit von 72° wird erreicht, wenn während der kürzesten interessierenden Periode 5 Impulse (± 1 mm Magnetbandlänge) aufgezeichnet werden. Die Bandgeschwindigkeit würde 5 - 10 mal so hoch sein wie die Minimalgeschwindigkeit bei Breitband-FM und etwa vergleichbar mit der bei Photopapier-Aufzeichnung erforderlichen. Wo das zu Schwierigkeiten führt, kann aber die Impulsfolge so aufgespalten werden, daß die zu einer Komponente gehörigen Impulse auf verschiedenen Magnet Spuren liegen. Da zugleich bei der Impulslängenmodulation die Spuren dichter nebeneinander geschrieben werden können, lassen sich unhandliche Bandlängen vermeiden, ohne daß man deswegen zu breiteren Bändern übergehen müßte.

Außer der Impulslängenmodulation kommt noch eine digitale Impulsmodulation in Frage. Dabei wird das Meßergebnis - wenn es nicht schon in digitaler Form vorliegt - in eine (binäre) Zahl umgewandelt. Man kann dann zum Beispiel einer 1 einen Impuls entsprechen lassen und einer 0 die Abwesenheit eines Impulses. Ebenso kann man aber einer 1 einen Wechsel der Magnetisierungsrichtung oder des Magnetisierungsbetrages entsprechen lassen. Man benötigt zur Kennzeichnung einer Zahl der Größenordnung 100 sieben Ziffern (entsprechend sieben vorhandenen oder nicht vorhandenen Impulsen oder Magnetisierungswechseln). Da aber von den Impulsen nur das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein interessiert, genügt Übertragung mit geringerer Bandbreite (35 Impulse auf 1 mm Band). Die Speicherkapazität ist daher ebenso groß wie bei der Impulslängenmodulation.



Digital-Impuls-Darstellung

der Zahl 93 ($= 1 \cdot 64 + 0 \cdot 32 + 1 \cdot 16 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 1 \cdot 1$) in zwei verschiedenen Schreibweisen.

Eine Registrierung des gesamten Frequenzbereichs von S_q bis zu 1-sec-Pulsationen über einen Monat ist daher bei Magnetband-Registrierung technisch möglich. Vorzugsweise würde man ein Impulsverfahren verwenden. Man muß aber bedenken, daß Magnetbandapparaturen so geringer Laufgeschwindigkeit im Augenblick nicht kommerziell gefertigt werden, so daß mit beträchtlichen Aufwendungen für die Entwicklung einer solchen Anlage zu rechnen wäre.

Ein gewisses Problem bei der Magnetband-Registrierung ist das Auffinden eines bestimmten Vorganges, da ja die Registrierung nicht sichtbar ist. Das läßt sich aber mit Tagesmarkierungen, mit Meterzähler oder aber einfach mit einem Gerät, das die Gesamtzahl der Impulse bei schnellem Durchlauf zählt, erreichen. Da durch die Quarz-uhrenkontrolle eine feste Relation zwischen der Gesamtzahl der Impulse und der verstrichenen Zeit besteht, genügt das, um einen zu einer bestimmten Zeit registrierten Vorgang aufzufinden. Es ist technisch durchaus möglich, diese Zeit vorher einzustellen und das Band an der gewünschten Stelle automatisch anhalten zu lassen.