

DER NEUE MESSWAGEN

Dr. U. Burger

1. Zweck und Notwendigkeit

Das Studium von Ausgleichsvorgängen in Hochspannungsnetzen ist eines der Arbeitsgebiete der Forschungskommission für Hochspannungsfragen. Die Untersuchungen umfassen sowohl die betriebsüblichen Schaltungen als auch Netzstörungen. Neben der betriebsmässigen Prüfung von Hochspannungsapparaten besteht ausserdem, um den Untersuchungsmethoden im Labor eine reelle Grundlage zu geben, die Notwendigkeit, Netzversuche durchzuführen. Nur im Hochspannungsnetz ist das Zusammenspiel von Lichtbogen und Spannungs- bzw. Stromverlauf genau ersichtlich, und nur im Vergleich mit im Netz ausgeführten Messungen kann abgeschätzt werden, inwieweit Vernachlässigungen im Modell oder im vereinfachten Netz (Labor) noch erlaubt sind.

Die FKH hat deshalb schon im Jahre 1939 den ersten auch jetzt noch einsetzbereiten Messwagen konstruiert. Entsprechend den damals zur Verfügung stehenden Messapparaten ist dieser als Anhänger ausgeführte Messwagen mit annähernd 7 t recht schwer.

Die heute erhältlichen Oszillographen mit abgeschmolzenen Röhren benötigen keine Vakuumeinrichtung mehr und erlauben daher sowohl eine wesentlich leichtere Konstruktion als auch ein rascheres Arbeiten. Im Bestreben nach grösserer Beweglichkeit wurde daher im Winter 1966/67 mit der Verwirklichung eines neuen Messwagens begonnen. Dieser stand bereits im Herbst 1967 zum ersten Mal im Einsatz, wobei aber noch einige Teile fehlten. Diese Lücken wurden dann bis Frühling 1968 ausgefüllt.

2. Mechanischer Aufbau, Einrichtungen

Bei der Anschaffung des neuen Messwagens standen besonders 3 Punkte im Vordergrund:

- 1) Beweglichkeit
- 2) Fahrbar mit PW-Ausweis
- 3) Genügend starker Motor, um einen Anhänger von 2 t zu ziehen.

Bei ca. 5 Einsätzen pro Jahr spielten Höchstgeschwindigkeit und Fahrkosten keine Rolle. Die erste Forderung führte zu einem selbstfahrenden kleinen Lastwagen, wobei die zweite Bedingung das Gesamtgewicht auf max. 3,5 t beschränkt. Als Lösung kristallisierte sich ein Lieferungskastenwagen heraus, wobei zu einem sehr günstigen Preis eine Occasion vom Typ Hanomag erworben werden konnte. Dieser mit einem 2,8 l Dieselmotor ausgerüstete Wagen besitzt Motorbremse und hinten Doppelbereifung. Er ist ohne weiteres in der Lage, eine Anhängelast von 2 t zu ziehen, welche eine eventuell später erforderliche Materialtransportmöglichkeit oder Erweiterung umfasst.

Um das stehende Arbeiten im Wageninneren zu ermöglichen, war eine Erhöhung des Daches um 30 cm notwendig. Der Wagen erhielt dadurch das aufgestockte Aussehen, wie es Fig. 1 darstellt. Gleichzeitig wurden die Fenster eingesetzt und der Innenraum ausgekleidet. Diese Auskleidung verdeckt die Verstärkungsrippen des Kastens und dient zugleich als Isolation. Der an die Führerkabine anschließende erste Meter des Laderaums ist durch eine Schiebetüre lichtdicht abgetrennt. Dieser als Dunkelkammer ausgeführte Teil enthält in Fahrrichtung links einen Schubladenstock für Photomaterial und rechts ein Doppelabwaschbecken aus Chromstahl. Dazwischen, an die Trennwand der Führerkabine anlehnd, ist ein 35 cm breites Verbindungsbrett angeordnet. Auf ihm steht der 1,2 m lange PVC-Trog mit der Entwicklerflüssigkeit. Beim photographischen Arbeiten enthält dann das linke, anschließende Becken des Abwaschtroges das Wasser und das rechte die Fixierflüssigkeit. Sowohl die Zufuhr von Frischwasser zum Schwenkhahnen in der Mitte des Chromstahlbeckens als auch der Ablauf sind durch den Wagenboden nach aussen geführt. Kellcoplatten schützen den Arbeitsplatz und die Dunkelkammerwände vor den Einflüssen von Fixier- und Entwicklerflüssigkeit. Der ganze Wagenboden ist mit säurebeständigem Sucoflor ausgelegt. Im Dach der Dunkelkammer sorgt ein Ventilator für die besonders bei geschlossener Schiebetüre notwendige Luftzirkulation.

Im Messraum folgen in Fahrrichtung links ein grosser und zwei kleine Schubladenstöcke mit einer Deckplatte, welche Platz für den Schleifenoszillographen,

die Schaltwalze und weitere Messinstrumente bietet. Rechts steht die 10-Strahl-Registriereinrichtung. Auf der linken Seite sorgt ein quadratisches Fenster für ausreichende Beleuchtung des Arbeitsplatzes. Gegenüber sind zwei kleinere Fenster über dem KO angebracht. Zusätzlich befindet sich ein weiteres Fenster in der Wagenrückseite oberhalb der zweiflügeligen Türe.

Für die Einführung von Kabeln in den Messwagen dienen zwei seitlich in Bodenhöhe angebrachte Klappen mit einfachem Schloss. Die Koaxialkabel werden rechts hinten unmittelbar unter den KO-Anschlüssen, die SO-Messkabel und Steuerkabel links vorn vor der Dunkelkammer eingeführt. Die letzteren verlaufen neben dem Arbeitstisch in die Höhe, wo zwei Verteilbretter und der SO-Stromschutz angeordnet sind. Für eventuelle Querverbindungen innerhalb des Wagens dienen zwei an den gegenüberliegenden Seitenwänden befestigte Buchsenbrettchen, welche unter der Wagenauskleidung miteinander verbunden sind.

### 3. Stromversorgung, Erdung, Beleuchtung

Um innerhalb des Wagens keine gefährlichen Spannungsdifferenzen zu erhalten, müssen alle metallischen, berührbaren Teile miteinander verbunden werden. Am einfachsten erfolgt dies über das Wagenblech. Vor dem Anbringen der Innenverkleidung wurden daher an mehreren Stellen Eisenstücke an die Kastenverstärkungen geschweisst. Die nachträglich gebohrten Löcher mit Gewinde dienen nun zugleich als Halterungen sowie als Erdungspunkte.

Das KO-Gehäuse und somit der ganze Wagen sind über die Koaxialkabelmäntel mit der Teiler-Erdung verbunden. Um den Wagen nicht noch an einer ganz anderen Stelle zu erden, erfolgt die Energieversorgung über einen für 10 kV isolierten Trenntransformator. Dieser und die ganze Stromverteilung mit Tableau wurde unter dem Arbeitstisch über und neben dem Radkasten angeordnet. Das Versorgungskabel kommt somit dreipolig von aussen durch die linke seitliche Oeffnungsklappe auf einen Steckeranschluss. Dieser ist über einen 25-A-Schütz (dreipolig) mit dem einphasigen Isoliertransformator verbunden. Bis hier sind die Kabel und Apparate speziell isoliert. Der Trenntransformator ist für 4 kVA ausgelegt und weist primärseitig die Spannungen 400 und 230 V auf. Die vier Sekundärspannungen (210, 220, 230 und 240 V) lassen sich mittels eines Drehschalters einstellen. Ein Schalttafelvoltmeter kontrolliert den gewählten Wert. Die Stromversorgung führt über drei ein-

phasige 10-A-Schütze auf fünf Steckdosen, von denen zwei auf der linken, zwei auf der rechten Seite des Messraumes und eine in der Dunkelkammer angebracht sind. Die Verbindungsleitungen verlaufen unter der Verkleidung und sind doppelt mit PVC isoliert.

Die Beleuchtung des Arbeitsraumes erfolgt durch eine 1,3 m lange, an der Decke befestigte Doppelfluoreszenzröhre. Die Dunkelkammer weist an der Rückwand der Führerkabine eine normale und eine Rotlampe auf. Ueber dem Chromstahlbecken ist noch eine weitere Rotlampe angeordnet.

#### 4. Registriereinrichtungen

##### a) Schleifenoszillograph

Der im Jahre 1955 angeschaffte Schleifenoszillograph "Oscillomat" der Firma Siemens fand bereits im alten Messwagen Anwendung. Die acht Schleifen, angeschlossen an Strom- und Spannungswandlern, dienen zur Registrierung des generellen Verhaltens. Die oberste Messfrequenz mit dem Amplitudenfehler von 10 % liegt je nach Schleifentyp zwischen 1...4 kHz. Die maximale Ablaufgeschwindigkeit des 12 cm breiten Photopapiers beträgt 15 m/s.

Dieser Oszillograph arbeitet auch heute noch zu voller Zufriedenheit. Bei grösseren Netzversuchen genügt jedoch die zur Verfügung stehende Anzahl Messschleifen nicht. In diesen Fällen war es bisher möglich, einen weiteren SO von der ETH leihweise zu bekommen.

##### b) Kathodenstrahloszillograph

Diese für die Aufzeichnung von raschen Netzvorgängen geeignete Registrier-einrichtung wurde von der Firma Dr. Klein in Tettngang hergestellt. Sie besteht im wesentlichen aus zehn abgeschmolzenen Einstrahlröhren und einer Trommelkamera. Der Unterschied gegenüber den normalerweise in Laboratorien verwendeten Kathodenstrahloszillographen liegt darin, dass sowohl Verstärker wie auch elektrische Zeitablenkung fehlen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass gerade diese Teile besonders empfindlich gegen magnetische und elektrische Felder sind. Sowohl in Stoss- als auch in Kurzschlussversuchen treten oft Erscheinungen auf wie unregelmässige Ablenkung des Strahles in der Zeitachse und Schwingungen, die auf ungenügendes Abschirmen dieser Teile des KO zurückzuführen sind. Aufwendige Massnahmen helfen oft im Labor weiter, sind aber im

Feldversuch zu zeitraubend. Diese Probleme sind hier mit dem direkten Platteneingang ohne elektronisch gesteuerte Zeitablenkung umgangen. Zugleich lassen sich auch Vorgänge als Differenzspannung zwischen zwei erdfreien Klemmen messen.

Die Röhren mit der Beschleunigungsspannung von 6 kV erlauben eine Schreibgeschwindigkeit von 100 km/s. Eine der Röhren kann mit Hilfe eines Umschalters intern mit einem Quarzgenerator zur Zeiteichung verbunden werden.

Die Trommelkamera mit einer maximalen Umfangsgeschwindigkeit von 100 m/s bewirkt die zeitliche Auflösung des Vorganges. 100 kHz sind damit noch gut auswertbar. Zwischen der Röhre und dem Film hat jeder Strahl sein Objektiv, das das Bild im Verhältnis 3 : 2 verkleinert. Bei einer Spannung von 210 V erscheint auf dem Film ein Ausschlag von  $\sim 20$  mm (beide Werte "peak-peak" gemessen).

Für die Aufnahme des gewünschten Vorganges können die Strahlen elektronisch für eine bestimmte Zeitdauer aufgehellt werden.

Im weiteren erlaubt eine Automatik die Strahlen auch nur für einen Umgang des 1,15 m langen Photostreifens aufzuhellen. Dies ist besonders für die Aufnahme von periodischen Vorgängen gedacht.

Auch dieses Gerät ist mit einem Isoliertransformator am Eingang versehen. Solange der KO im Messwagen steht, ist dieser Trenntransformator überflüssig; bei der Verwendung des KO ausserhalb des Wagens kann er sich jedoch recht nützlich erweisen.

## 5. Programmsteuerung

### a) Elektronisches Steuergerät

Bis heute diente eine mechanische Schaltwalze Fabrikat BBC zur Steuerung des gewünschten Programmablaufes. Diese besteht aus mehreren auf einer drehbaren Achse angeordneten Scheiben, die mit Nocken versehen im Verlaufe der Umdrehung Kontakte schliessen und öffnen. Als Ersatz dieses recht schweren und zudem nicht synchronisierbaren Gerätes wurde gleichzeitig mit dem Bau des neuen Messwagens ein elektronisches Steuergerät in Auftrag gegeben. Die

Firma Dr. Klein in Tett nang (Deutschland) erklärte sich bereit, nach einem von der FKH entworfenen Blockschema das gewünschte Gerät zu bauen. Das Prinzip der Zeitsteuerung beruht auf dem Zählen von Halbwellen, bis eine bestimmte, vorher eingestellte Anzahl erreicht ist. Diese Halbwellen können umschaltbar intern vom 50-Hz-Netz oder über einen Transformator extern von einer Spannungsquelle (10...250 V, 50 Hz...1 kHz) kommen. Beim Starten des Gerätes durch Druckknopf oder externen Schliesskontakt beginnen die Zähleinheiten nach dem ersten positiv ansteigenden Nulldurchgang der Steuerspannung mit der Zählung der Halbwellen. Damit ist bereits die gewünschte Synchronisierung der Zähler mit der Steuerspannung erreicht. Bei einem Einsatz im 50-Hz-Netz beträgt somit die Zeiteinheit 10 ms, d.h. eine erste, im folgenden als Grobzeit bezeichnete Dauer ist in Hundertstelsekunden wählbar. Die Vorwahl einer gewünschten Anzahl Halbwellen erfolgt mit Hilfe von Multiswitch. Diese in der Frontplatte angeordneten Organe bestehen aus drehbaren Scheiben, die auf ihrem Umfang die Zahlen 0...9 aufweisen, in ihrem Innern aber Kontakte umschalten. Die Zähleinheiten, d.h. die Flip-Flop sind nun über Dioden mit diesem Multiswitch verbunden. Stimmt im Verlauf der Zählung der Halbwellen die Stellung der Flip-Flop mit derjenigen des Multiswitch überein, so geht ein Impuls weiter. Dieser öffnet ein Tor, das einen 100-kHz-Quarzgenerator freigibt. Dessen Frequenz wird zuerst auf 10 kHz untersetzt. Die folgenden Zähleinheiten der Feinzeitstufe zählen nun die Perioden dieser Frequenz. Auch hier geht dann ein Impuls weiter, wenn die Stellung der Flip-Flop-Zähler mit der im Multiswitch gewählten übereinstimmt. Eine angestossene Kippstufe betätigt nun das mit dem zu steuernden Objekt verbundene Quecksilber-Relais.

Die feinste einstellbare Zeiteinheit beträgt 0,1 ms mit einer Streuung von  $\pm 5\mu\text{s}$ . Mit einem Quarz von 1 MHz anstelle der 100 kHz wäre es möglich gewesen, diesen Wert um eine weitere Zehnerpotenz zu senken. Dies lohnte sich jedoch nicht, da die HG-Relais selbst eine Streuung von einigen  $\mu\text{s}$  aufweisen.

Das Steuergerät umfasst 10 Kanäle, die sowohl Ein- wie Ausbefehle erteilen können. Aus Ersparnisgründen sind die Kanäle in vier Gruppen aufgeteilt, von denen jede eine gemeinsame von 0,01...9,99 s regulierbare Grobzeit aufweist. Die Feinzeit pro Kanal hat ihrerseits eine Dauer von 0,1...100 ms. Sie kann mit Hilfe eines Umschalters um eine Dekade verschoben werden (1...1000 ms).

Die Rückstellung aller Zähleinheiten, Tore und Kippstufen in ihre Ausgangslage ist sowohl von Hand mit Drucktaste als auch automatisch nach einer einstellbaren Programmzeit möglich. Für Modelluntersuchungen wurde als weitere Variante eine wählbare Repetierzeit vorgesehen. Der KO zeigt dann ein stehendes Bild des Vorganges.

Die elektronische Schaltwalze ist nicht wie eine mechanische rasch überblick- und kontrollierbar. Sie besitzt nicht eine kleine Zahl von Scheiben, sondern ihr Eingeweide besteht aus ca. 120 Bausteinen, sog. Flip-Flop (4 pro Zähldekade), die alle richtig stehen müssen, um den gewünschten Ablauf zu garantieren. Beim Drehen des Knopfes zur Wahl der Rückstellungsart können einzelne Flip-Flop kippen. Das Programm muss probeweise einmal abgespielt werden, worauf alle Flip-Flop elektrisch fixiert sind. Eine beliebige Anzahl Wiederholungen erfolgen dann fehlerfrei. Der elektronische Aufbau erfordert nun bestimmte Vorsichtsmassnahmen. Für die Steuerungen in Hochspannungsanlagen wurde daher zusätzlich ein Hilfsgerät gebaut, das Sicherheitsfunktionen übernimmt.

#### b) Hilfsgerät zum Steuergerät

Das Hilfsgerät enthält vier Schütze mit je 6 Kontaktpaaren. Alle Befehle des Steuergerätes sind über diese Kontakte geführt, die im Ruhezustand offen sind. Das elektronische Steuergerät kann jetzt beliebig oft betätigt werden, ohne dass die Befehle nach aussen gehen. Ein Zeitrelais mit einer von 1..5 s verstellbaren Haltedauer steuert die vier Schütze. Erst nach dem Auslösen dieses Relais mit Hilfe eines Druckknopfes wird das Steuergerät mit den zu steuernden Apparaten verbunden und dies nur für die Zeit von einigen Sekunden. Dem Hilfsgerät kommt somit die Aufgabe zu, das Steuergerät und die zu steuernden Anlageteile im Ruhezustand voneinander zu trennen.

Dieses Hilfsgerät enthält zudem Leuchttasten, die das Ein- bzw. Ausschalten von vier Hochspannungsschaltern gestatten und die Schalterstellungen signalisieren. Für Funktionen wie Lampenaufhellung des SO, Verschlussöffnen des KO stehen noch freie Kontaktpaare zur Verfügung, das Hilfsgerät wird hier zum Steuergerät.

c) Steuerung eines Netzversuches

In Fig. 2 ist das prinzipielle Schaltschema der Steuerung eines Netzversuches dargestellt. Wie eine Barriere trennt das Hilfsgerät das elektronische Schaltgerät von allen übrigen Apparaten und Geräten. Solange der Weg nicht freigegeben wird, darf das Steuergerät beliebig oft gestartet und kontrolliert werden. Ebenso verhindert das Zeitrelais ein Repetieren des Programms.

Beim Anschliessen der Netz- und Steuergeräte wird von der Seite der FKH immer Wert darauf gelegt, dass soweit wie möglich dieser Eingriff in die Anlage die normalen Schutzeinrichtungen weder stört noch ausser Betrieb setzt. Die Anlage behält dadurch ihre normale Funktionsweise bei, das heisst, bei allfälligem Bedarf kann sie innerhalb kurzer Zeit dem Betrieb wieder übergeben werden.

Die beschriebene Steuerung hat sich bereits in zwei Netzversuchen bestens bewährt.

6. Einsatzmöglichkeiten

Auf Grund der Ausrüstung an Oszillographen und Schaltgeräten ist der neue Messwagen besonders zur Erfassung nicht-periodischer Vorgänge, wie sie bei Schaltungen im Netz auftreten, geeignet. Aus der Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten sind als Beispiele zu nennen:

- Schalten von induktiven Lasten (Transformatoren, Drosseln, Motoren)
- Schalten von kapazitiven Lasten (Kondensatoren, Freileitungen, Kabel)
- Schalten von Kurzschlüssen
- Schalten von induktiven und kapazitiven Wandlern; Kontrolle der Abbildungstreue
- Schalten von Gleichrichteranlagen mit Lichtbogenöfen zur Ermittlung der Netzbeeinflussung
- Erdungsmessungen unter Kurzschlussbedingungen

Der neue Messwagen hat bereits in verschiedenen Versuchsserien seine Tauglichkeit unter Beweis gestellt. Ziel der Versuche war es immer, Aufschluss über besondere Vorkommnisse im Zusammenhang mit den betriebsüblichen und betriebsmöglichen Schaltungen oder mit Netzfehlern zu erhalten.