

Die vorstehenden Ausführungen mußten sich darauf beschränken, einige allgemeine Hinweise für die Ausführung von Streustrommessungen zu geben. Bei ihrer praktischen Durchführung muß es dem Messenden selbst überlassen bleiben, unter Berücksichtigung der jeweils verschiedenartigen örtlichen Verhältnisse und der sonstigen vorhandenen Bedingungen auf Grund seiner Erfahrungen zu entscheiden, in welchem Umfang, an welchen Stellen und während welcher Zeit Messungen notwendig sind.

Ein Gerät zum Messen von Streuströmen aus dem 16²/₃-Hz-Netz der Bundesbahn

Von Dr. R. Herrmann und Dipl.-Phys. N. Helwig, Berggewerkschaftliche Versuchsstrecke, Dortmund-Derne

Bei den Untersuchungen (1) zur Frage Brückenzünder oder Spaltzünder bei der Schießarbeit wurden auch Streuströme aus dem 16²/₃-Hz-Netz der Bundesbahn gemessen. Die in der Abhandlung (2) für die Messung von Streuspannungen und -strömen empfohlenen normalen Vielfachmeßinstrumente konnten hierfür nicht verwendet werden, da Streuströme aus dem 16²/₃-Hz-Netz der Bundesbahn immer mit solchen von 50 Hz aus der allgemeinen Stromversorgung sowie von 0 und 300 Hz aus der untertägigen, mit Gleichstrom betriebenen Lokomotivförderung zusammen und überlagert auftreten können. Die Vielfachinstrumente vermögen wohl Wechsel- und Gleichströme voneinander zu trennen, nicht aber Wechselströme verschiedener Frequenzen. Handelsübliche Frequenzanalysatoren scheiden für den Einsatz unter Tage aus, da sie nicht in schlagwettergeschützter Ausführung zur Verfügung stehen und weiterhin nur mit Netzanschluß betrieben werden können, wodurch die Möglichkeit, in schneller Folge an vielen Stellen zu messen, beeinträchtigt wird. Es mußte daher ein Gerät entwickelt werden, mit dem sich sowohl 16²/₃-Hz- als auch 50-Hz-Ströme ermitteln lassen und das für eine Meßreihe unter Tage handlich, von äußeren Spannungen unab-

hängig und auf jeden Fall schlagwettergeschützt ist. Diese Forderungen an das Meßgerät ließen sich am einfachsten unter Verwendung eines geeigneten Frequenzfilters und von Transistoren als Verstärkerelemente erfüllen.

Von den bekannten Filtern scheiden solche mit Induktivität und Kapazität aus, weil sie wegen ihres hohen Verlustfaktors die beiden Frequenzen von 16²/₃ Hz und 50 Hz nicht befriedigend trennen. Außerdem ist das Gewicht der benötigten Induktivität für den genannten Zweck zu groß. Man verwendet daher besser ein Doppel-T-Filter, das nur aus Kapazitäten und Widerständen aufgebaut ist und dessen Verlustfaktor nur durch die Güte der verwendeten Kondensatoren bestimmt wird. Allerdings kann man solche Filter nicht direkt vor ein Meßinstrument als Durchlaßfilter für eine Frequenz schalten, weil sie wegen ihres hohen Widerstandes die Empfindlichkeit des Meßgerätes zu sehr herabsetzen. Man könnte diesen Mangel durch einen Transistorverstärker beheben, der aber andererseits durch seinen temperaturabhängigen Verstärkungsgrad die Meßgenauigkeit zu sehr beeinträchtigen würde. Mit der in Abbildung 1 angedeuteten Schaltung kann man diese Schwierigkeiten umgehen. Bei dieser Schaltweise

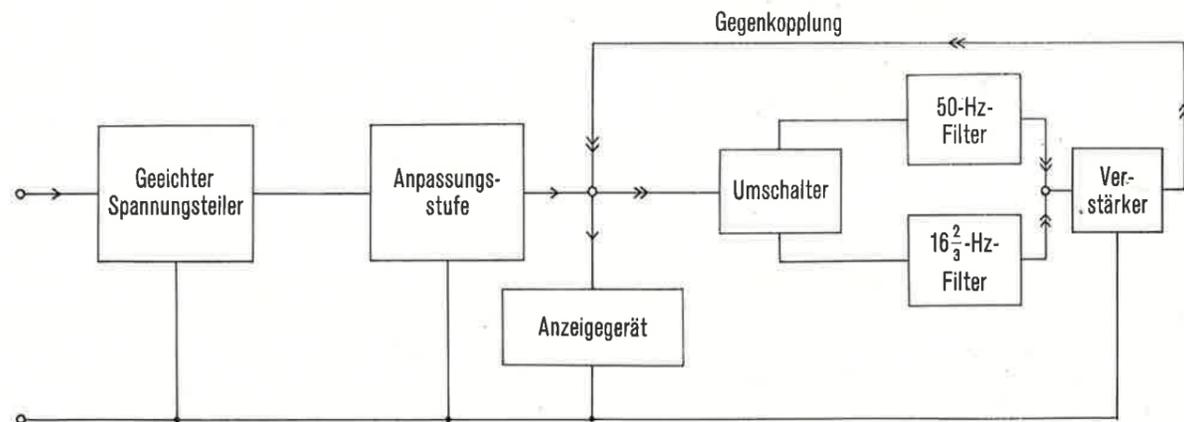


Abb. 1. Prinzipschaltbild eines Gerätes zum Messen von Streuströmen aus dem 16²/₃-Hz-Netz der Bundesbahn.

wird der Meßstrom über einen Eingangsteiler und eine Anpassungsstufe dem Anzeigergerät direkt zugeführt, wobei ein auf den Meßkreis einwirkender Gegenkoppelkreis mit dem Doppel-T-Sperrfilter und einem Transistorverstärker dafür sorgt, daß nur die gewünschte Frequenz an das Anzeigergerät gelangt. Um die Wirkungsweise des Gerätes näher zu erläutern, wird zunächst die Dimensionierung der verwandten Filter beschrieben.

Ein Doppel-T-Sperrfilter hat nach (3) den in Abbildung 2 dargestellten Aufbau.

Hierbei bedeuten: $R_1 = R = nR_2$; $R = 1/C$; R_E und R_A die jeweilige Eingangs- bzw. Ausgangsbelastung des Vierpols.

Zur Vereinfachung werden die Maßverhältnisse $R_E = eR$, ferner $R_A = (1/a)R$ eingeführt, so daß die wichtigsten Kenngrößen des Filters wie folgt geschrieben werden können:

Weitabspannungsübersetzung:

$$V_s = \frac{1}{1 + ae + (1 + 1/n)(2e \Delta na)^1}$$

Formfaktor: $p = \frac{1 + ae + (1 + 1/n)(2e \Delta na)^2}{2(1 + 1/n)(1 + na/2 + e + nae)}$

Die Güte des Sperrkreises $Q = 1/2d_C$ bestimmt sich ausschließlich aus dem Verlustfaktor d_C der verwendeten Kondensatoren und wurde experimentell aus der relativen Bandbreite ermittelt:

$$\Delta f/f_R = 1/Q; \quad Q = 33.^3)$$

Die wichtigste Größe, das Weitabverstärkungsverhältnis η^4 , ist dann der Quotient $\eta = Q/p$, womit offensichtlich neben der Auswahl verlustarmer Kondensatoren die Wahl eines möglichst kleinen Formfaktors p das Ziel sein muß.

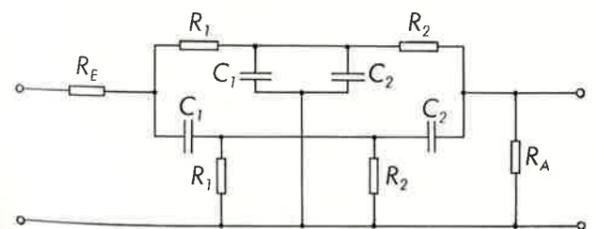


Abb. 2. Aufbau eines Doppel-T-Sperrfilters.

¹⁾ $V_s = \frac{\text{Spannung nach dem Filter}}{\text{Spannung vor dem Filter}}$ für die Frequenz $\nu = \infty$, die hier aber praktisch mit der störenden Frequenz (50 Hz) des Gemisches gleichzusetzen ist.

²⁾ Zur Erklärung der Bedeutung des Formfaktors p wird auf die Anmerkung ¹⁾ und die Fachliteratur verwiesen.

³⁾ f_R = Resonanzfrequenz; Δf = Bandbreite.

⁴⁾ $\eta = \frac{\text{Verstärkung für die Resonanzfrequenz}}{\text{Verstärkung für } \nu = \infty}$

Aus dem Prinzipschaltbild (Abb. 1) geht hervor, daß die Filter für die beiden Frequenzen 16²/₃ Hz und 50 Hz wahlweise auf einen Verstärker geschaltet werden. Dieser Verstärker erhält durch zwei Transistoren in Kollektorschaltung einen sehr hochohmigen Eingang, um die Filter wirksam zu dimensionieren. Die Rechnung zeigte, daß unter diesen Bedingungen ein symmetrischer Aufbau der Filter ($R_1 = R_2$) vorteilhaft ist.

Die genauen Daten der Filter:

50 Hz: $R = 25 \text{ K}$ $e = 0,1$ $a = 0,1$ $\eta = 106$
 $V_s = 1/1,4$ $p = 0,31$ $Q = 33$

16²/₃ Hz: $R = 75 \text{ K}$ $e = 0,03$ $a = 0,3$ $\eta = 95$
 $V_s = 1/1,6$ $p = 0,35$ $Q = 33$

Mit den näherungsweise gleichen Werten von V_s bzw. η ist eine Austauschbarkeit der Filter möglich und zugleich mit einem Weitabverstärkungsverhältnis von $\eta \approx 100$ eine ausreichende Wirksamkeit der Filter gegeben.

Sämtliche in das Gerät eintretenden Frequenzen mit Ausnahme der Sperrfrequenz des Filters werden vom Verstärker übernommen und auf den Eingang des Filters gegengekoppelt. Um dem Gerät eine ausreichende Meßempfindlichkeit zu geben, wird auf die Forderung der größten Selektivität verzichtet und eine möglichst große Differenz zwischen Meß- und Störspannung gefordert. Das heißt:

$$\left| \frac{U_{M_{50}} - U_{M_{16 \frac{2}{3}}}}{U_{M_{50}}} \right| = \left| \Delta U_M \right| = \left| \frac{U_{O_{50}}}{1 + F_1 \nu} - \frac{U_{O_{16 \frac{2}{3}}}}{1 + F_2 \nu} \right|$$

muß ein Maximum werden.

Dabei sind $U_{O_{50}}$ und $U_{O_{16 \frac{2}{3}}}$ zwei gleiche Spannungen der Frequenzen 50 Hz bzw. 16²/₃ Hz am Filtereingang, wenn die Gegenkopplung abgetrennt ist; $U_{M_{50}}$ und $U_{M_{16 \frac{2}{3}}}$ die entsprechenden Spannungswerte, wenn auf den Filtereingang die Gegenkopplung wirkt. $F_1 = V_s \frac{1}{\eta}$; $F_2 = V_s$ sind die Filterfunktionen für die Meß- und Störfrequenz und ν das jeweilige Produkt aus Verstärkungsfaktor des Verstärkers und Spannungsteileranteil der Gegenkopplung.

Die Extremwertbedingung führt auf die Beziehung $\nu = 1/\sqrt{F_1 F_2}$, die für das 50-Hz-Filter $\nu = 14$, für das 16²/₃-Hz-Filter $\nu = 15$ ergibt. Setzen wir diese Werte in die Gleichung U_{M_ν} bzw. U_{O_ν} bzw. F_ν ein, so erhalten wir für das 16²/₃-Hz-Filter die Beziehung

$$\frac{U_{M_{16 \frac{2}{3}}}}{U_{M_{50}}} = 9,5 \text{ und } U_{M_{16 \frac{2}{3}}} = U_{O_{16 \frac{2}{3}}} \cdot 0,91.$$



Abb. 3. Versuchsausführung des Gerätes.

Die entsprechenden Werte für das 50-Hz-Filter sind:

$$\frac{U_{M_{50}}}{U_{M_{16\frac{2}{3}}}} = 9,1 \text{ und } U_{M_{50}} = U_{O_{50}} \cdot 0,90.$$

Damit ist die Selektivität des Gerätes (Abb. 3) annähernd auf das Verhältnis 10:1 und die Abschwächung der Meßspannung auf 10% festgelegt. Die Eichung des Gerätes mit Meßspannungen der Frequenzen 50 Hz und 16²/₃ Hz bestätigte die obengenannten Beziehungen. Zur Durchführung praktischer Messungen wurde der Eingang des Gerätes mit einem geeichten Spannungsteiler versehen, der es erlaubt, einen Spannungsbereich von 40 mV bis 300 V und einen Strommeßbereich von 1 mA bis 10 A zu erfassen. Das Gerät ist mit zwei Skalen für Strom und Spannung, einem Umschalter zwischen Strom- und Spannungsmessung und einem Umschalter von 50 Hz auf 16²/₃ Hz ausgerüstet.

Neue Typen elektrischer Zünder*)

Von Dr. E. Wehner, Leiter des Laboratoriums der Berggewerkschaftlichen Versuchsstrecke, Dortmund-Derne

Über den Stand der elektrischen Zündung von Sprengschüssen wurde in dieser Zeitschrift letztmalig im Juli 1958 berichtet (1). Ein besonderer Abschnitt des damaligen Aufsatzes befaßte sich mit der Bewertung verschiedener Frühzündgefahren und mit den Möglichkeiten, diese einzuschränken. Bei der elektrischen Zündung besteht auf verschiedene Weise die Gefahr, daß ein Zünder nicht erst durch den bewußt zugeführten Zündstrom aus der Zündmaschine, sondern durch fremde elektrische Energie

Das Gerät wurde bei Streustrommessungen auf zwei der Bundesbahn unmittelbar benachbarten Zechen eingesetzt. Diese Messungen haben in Übereinstimmung mit Untersuchungen des Technischen Überwachungs-Vereins Essen zu dem Ergebnis geführt, daß die untertägige Schießarbeit im Ruhrgebiet durch Streuströme aus dem elektrischen Bahnbetrieb der Bundesbahn nicht gefährdet wird.

Zusammenfassung

Das beschriebene Gerät dient zur Analyse eines Wechselstromgemisches der beiden Frequenzen 16²/₃ Hz und 50 Hz. Für den Einsatz unter Tage ist es schlagwettersicher und leicht transportabel gebaut worden. Ein dem eingebauten Sperrfilter nachgeschalteter Transistorverstärker vermindert durch eine Gegenkopplungsschaltung die Werte der Störfrequenz gegenüber den Werten der zu messenden Frequenz um den Faktor 0,1. Dadurch kann mit Hilfe von vier Messungen die Zusammensetzung des angeführten Frequenzgemisches ermittelt werden. Der relative Meßfehler ist bei einer Meßempfindlichkeit des Gerätes von 40 mV bzw. 1 mA kleiner als 10%.

Schrifttum

- (1) Müller, S., und R. Herrmann: Zur Frage Brückenzünder oder Spaltzünder. Nobel Hefte 26 (1960) S. 37/42.
- (2) Spallek, W.: Messen von Streuströmen in Bergwerken unter Tage. Nobel Hefte 23 (1960) S. 42/46.
- (3) Rabbin, H. H.: RC- und LC-Resonanzfilter und ihre Anwendung in selektiven Verstärkern. Elektronische Rundschau 1957, Nr. 9.

vorzeitig ausgelöst wird und so einen schweren Unfall zur Folge haben kann. In Frage kommen hierbei Streuströme, technische Hochfrequenzenergie, elektrostatische Erscheinungen sowie Gewitterelektrizität. Selbstverständlich sind solche Vorgänge auch von der besonderen Art des verwendeten elektrischen Zünders abhängig, und es

*) Nach dem Beitrag Nr. 26 für die 10. Internationale Konferenz der Leiter grubensicherheitlicher Versuchsanstalten, Pittsburgh (USA), 1959 „Die Gefahren der vorzeitigen Schußauslösung bei der elektrischen Zündung“.

sollen daher die elektrischen Kennwerte der z. Z. im deutschen Bergbau verwendeten Zünder nochmals aufgeführt werden.

Die im deutschen Bergbau verwendeten elektrischen Zünder

Die amtliche Liste der für den Vertrieb an den deutschen Bergbau zugelassenen Sprengmittel verzeichnet folgende Gruppierung der elektrischen Zünder:

- I. Scharfe Zünder.
 1. Scharfe Momentzünder,
 2. scharfe Zeitzünder,
 - a) Halbsekundenzünder,
 - b) Millisekundenzünder.
- II. Nichtscharfe Zünder.
 1. Offene Momentzünder,
 2. Zündschnurzeitzünder.

Hinsichtlich der elektrischen Kennwerte der Zünder werden nach der Bergverordnung des Landes Nordrhein-Westfalen über den Vertrieb von Sprengmitteln an den Bergbau vom 28. 1. 1959 (GV. NW. 1959 S. 21) Zünder mit Brückenzündpille (Brückenzünder) und Zünder mit Spaltzündpille (Spaltzünder) unterschieden.

Für Brückenzünder gelten die Anforderungen:

1. Die Brückenwiderstände müssen zwischen 1,0 und 2,5 Ω liegen.
2. Der zur Zündung erforderliche Zündimpuls muß zwischen 0,8 und 3,0 mWs/ Ω liegen. (Der von einer Zündmaschine abgegebene Zündimpuls muß bei steilem Stromanstieg mindestens 4,0 mWs/ Ω betragen.)
3. Fünf Zünder müssen sich hintereinandergeschaltet mit 0,8 A Gleichstrom versagerfrei zusammen schießen lassen.
4. Die Zünder dürfen bei einer Belastung mit 0,18 A Gleichstrom während 5 min nicht losgehen; sie müssen bei einer Belastung mit 0,6 A Gleichstrom innerhalb von 10 ms losgehen.

Für Spaltzünder gelten die Anforderungen:

1. Die Zünder müssen sich durch den Entladestrom eines auf 120 V aufgeladenen Kondensators von 1 μ F zur Entzündung bringen lassen.
2. Fünf Zünder müssen sich hintereinandergeschaltet mit 220 V Gleichspannung versagerfrei zusammen schießen lassen.
3. Die Zünder dürfen beim Anlegen einer Gleichspannung von 15 V während 5 min nicht losgehen.

Die nach dem Erlaß des Ministers für Wirtschaft und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen über die Prüfung von Sprengmitteln für die Zulassung zum Vertrieb an den Bergbau vom 19. 2. 1959 für elektrische Zünder geltenden Prüfbestimmungen sind von Schultze-Rhonhof (2) in dieser Zeitschrift veröffentlicht worden (Abschnitt V zu B. Ziffer 05 der o. a. Bergverordnung).

Frühzündgefahr durch Streuströme

Die in der Abhandlung (1) bereits weitgehend in ihrer Entwicklung dargelegte Frage nach der Deutlichkeit der Frühzündgefahr durch Streuströme, die hauptsächlich durch die Schienenrückströme beim Betrieb elektrischer Fahrdrathlokomotiven gegeben sein kann, sowie die Frage nach der richtigen Auswahl des zu verwendenden Zünders, Brücken- oder Spaltzünder, ist in diesem Heft von Müller und Herrmann (3) nach Auswertung der inzwischen neu durchgeführten Streustrommessungen sowie Abschätzung aller Gefahrenmomente und Beurteilung der in Frage kommenden Abhilfemöglichkeiten ausführlich erörtert worden. Danach besteht keine Notwendigkeit, weiterhin Spaltzünder zu verwenden, und die im Vergleich hierzu in mancherlei Hinsicht vorteilhafteren Brückenzünder schließen bei Beachtung der aufgestellten Regeln die Frühzündgefahr durch Streuströme weitgehend aus.

Frühzündgefahr durch technische Hochfrequenzenergie

Wie bereits bei (1) erwähnt, besteht nach den Untersuchungen von Schwenkhagen (4) für den Ruhrbergbau durch technische Hochfrequenz keine Frühzündgefahr. Diese Feststellung trifft noch immer zu und macht vorerst keine Entwicklung neuartiger Zünder notwendig.

Frühzündgefahr durch elektrostatische Erscheinungen

Über die Auswirkungen elektrostatischer Erscheinungen im Bergbau im allgemeinen und die im besonderen möglicherweise bei der Schießarbeit erwachsenden Gefahren beim Vorhandensein elektrostatischer Ladungen ist schon früher berichtet worden (5) (1). Nach inzwischen angestellten Untersuchungen muß man von den drei s. Z. besprochenen Auslösemechanismen derjenigen Zündungsmöglichkeit die größte Wahrscheinlichkeit zuordnen, bei der der Ausgleich der statischen Ladungen über den Glühdraht der Zündpille erfolgt wie bei einem regelrechten Zündstrom. Bei einer angenommenen Kapazität des Systems von 2000 pF genügen