Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 45 (1954)
Heft: 23

Artikel: Prüfverfahren und Ausführung stossfester Messwerke
Autor: Weiss, A. von
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058844

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: 22.08.2025

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

Alors qu'une maman de deux petits enfants enclenchait le moteur monophasé d'une machine à laver, mis à la terre par le neutre, elle fut électrocutée. Dans l'interrupteur, le conducteur neutre de la ligne d'amenée de courant et le conducteur de protection, partant de la même borne vers la carcasse de la machine, n'étaient pas parfaitement serrés. Au cours des ans, il se forma à cet endroit une couche d'oxyde, de sorte que le conducteur neutre avait fini par se rompre, tandis que le conducteur de protection demeurait relié d'une façon encore conductrice à la borne de l'interrupteur. Lorsque la femme enclencha le moteur, la machine se trouvait à 220 V contre la terre, par l'intermédiaire de l'enroulement du moteur et du conducteur de protection.

L'atmosphère s'étant rafraîchie, le propriétaire d'une maisonnette de vacances, qui est monteur-électricien, mit à la disposition de ses locataires un radiateur électrique pour 220 V, avec cordon de raccordement. Ce radiateur mis à la terre était dépourvu de grille de protection à l'avant et de tôle de fermeture à l'arrière. En procédant aux nettoyages habituels, la locataire vit qu'il y avait un peu de poussière dans ce radiateur et l'enleva avec un doigt, car l'appareil était déclenché. En touchant un fil de connexion nu, elle fut toutefois électrisée. Répondant à ses appels, sa fille aveugle se dirigea vers elle en tâtonnant et fut à son tour soumise un bref instant au passage du courant. Finalement, la femme put se dégager des parties électriques, mais elle avait subi de telles brûlures, qu'elle ne peut maintenant plus mouvoir ses doigts. Du fait que l'interrupteur unipolaire du radiateur coupait par hasard le conducteur neutre, l'enroulement de chauffage et son amenée de courant demeuraient sous tension, même à la position zéro de l'interrupteur.

Peu de professions exigent autant de conscience et d'exactitude que celle de monteur électricien. Chaque électricien doit être constamment conscient de sa grande responsabilité!

Autres installations intérieures

Les 37 accidents survenus dans les autres installations intérieures auraient pu être presque tous évités, si les monteurs avaient pris soin de mettre hors tension la partie de l'installation où ils devaient travailler. Dans certains cas, ils avaient bien l'intention de le faire, mais ils déclenchèrent par suite d'une inattention une autre partie de l'installation où l'amenée de courant déconnectée avait été réenclenchée inopinément par une autre personne. La plupart du temps, on avait négligé de prendre les plus simples précautions, telles que contrôle avec le tâteur de tension, enlèvement et mise de côté des fusibles, collage d'une bande de papier sur l'interrupteur, etc.

Un cas un peu plus compliqué fut le suivant. Au troisième étage d'un immeuble urbain, une employée de maison plaçait du linge dans une baignoire. En touchant d'une main le bord de celle-ci et de l'autre la conduite d'eau, elle fut électrisée. Après de longues recherches, on découvrit que l'applique métallique d'une lampe installée au rez-de-chaussée présentait un défaut d'isolement. Par l'intermédiaire du tube de protection disposé sous crépi, qui touchait la lampe, d'autres tubes et tuyaux métalliques dans les murs et les planchers étaient mis sous une tension partielle de 220 V, notamment les tuyaux d'écoulement. C'est ainsi qu'il y avait une différence de potentiel entre la conduite d'eau mise à la terre et la baignoire reliée au tuyau d'écoulement.

Accidents dus à des circonstances particulières

Dans des abattoirs, un boucher, qui avait été autrefois soigné pour une maladie de cœur, déclara qu'il avait été électrisé en utilisant un appareil à pousser les bêtes (tension de service 70 V). Les autres bouchers ne remarquant rien, ils pensèrent que leur collègue voulait simuler un accident. On constata cependant que le transformateur à 220/70 V présentait un défaut d'isolement entre les enroulements primaire et secondaire, de sorte que le boucher en question pouvait bel et bien être soumis, dans certaines circonstances, à une tension partielle de 220 V.

En résumé, nous aimerions insister à nouveau sur le fait que les causes de la plupart des accidents ne proviennent pas de défauts techniques à des appareils ou à des conducteurs, mais bien plutôt d'inattentions, de mesures de protection insuffisantes, voire même souvent d'un manque de sentiment de responsabilité. Nous espérons que ce rapport incitera chacun à redoubler d'attention et contribuera à réduire le nombre des accidents, qui demeure trop élevé.

Prüfverfahren und Ausführung stossfester Messwerke

Von *A. von Weiss*, Richterswil

620.178 : 621.317.7

Die gebräuchlichsten Prüfverfahren stossfester elektrischer Messwerke, wie Beschleunigungsprüfung, Vibrationsprüfung und Stossprüfung werden miteinander verglichen und ihr praktischer Wert diskutiert. Am Schluss der Arbeit wird über die erzielten Erfolge bei der Konstruktion stossfester Messwerke mit Spitzenlagerung und Spannbandlagerung kurz berichtet.

L'auteur compare les différentes méthodes courantes pour l'essai des systèmes de mesure électrique antichocs (disque tournant, table vibrante et essai aux chocs) et en discute la valeur pratique. En conclusion, il indique quelques résultats obtenus récemment avec des équipages de mesure à suspension par pivots et par rubans.

1. Einleitung

Die Genauigkeit der Anzeige eines Messinstrumentes kann für die Betriebssicherheit einer Anlage, eines Maschinenaggregates oder dergleichen von entscheidender Bedeutung sein. Hierbei ist es oft unumgänglich, Messgeräte an Orten zu verwenden, wo sie selbst starken mechanischen Erschütterungen verschiedener Art ausgesetzt sind, ohne dass dadurch ihre Genauigkeit verringert werden darf. Instrumente auf dem Armaturenbrett eines Flug-

zeuges oder überhaupt in einem Fahrzeug sind hierfür typische Beispiele, aber ebenso muss auch das Prüfgerät des Elektromonteurs im Betrieb oder auf Montage gegen mechanische Stossbeanspruchungen unempfindlich sein.

Über die massgebenden Faktoren zur Beurteilung der mechanischen Güte, wie Robustheit, Einstellsicherheit, Nullpunktkonstanz usw. eines Instrumentes wurde an dieser Stelle bereits wiederholt berichtet [1, 2][1]). Die folgenden Ausführungen sollen sich daher darauf beschränken, lediglich die grundsätzlichen Ausführungsmöglichkeiten stossfester Instrumente zu erwähnen. Dagegen sollen die gebräuchlichsten Prüfverfahren angegeben und ihre praktische Bedeutung diskutiert werden. Wenn hiebei die Bezeichnung «stossfeste Instrumente» gebraucht wird, so sollen darunter ganz allgemein erschütterungsunempfindliche elektrische Messwerke verstanden werden. Zu ihrer Realisierung stehen dem Konstrukteur bekanntlich zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Entweder Beibehaltung der klassischen Spitzenlagerung des beweglichen Systems, oder Anwendung der Spannbandlagerung.

Bei der Spitzenlagerung sind die Achsenspitzen die empfindlichsten Teile. Abnützung durch die Drehbewegung, Deformation durch Stösse, sowie Abnützung durch Vibrationen sind die drei wichtigsten Einwirkungen, denen die Spitzen ausgesetzt sind. Die Anwendung der Spannbandlagerung vermeidet diese Schwierigkeiten, besitzt aber leider erhebliche andere Nachteile [1], die eine Anwendung für stossfeste Messwerke wieder problematisch machen kann. Es sind vor allem geringe Genauigkeit und Fehler infolge elastischer Nachwirkung. Bei horizontaler Lagerung tritt ausserdem ein bestimmter Durchhang auf, der eine Unsymmetrie des Systems verursacht. Beim Dreheisenmesswerk ist diese Unsymmetrie infolge der zusätzlich auf das Ankerblech wirkenden Radialkräfte auch bei vertikaler Anordnung des Systems vorhanden.

2. Prüfverfahren stossfester Instrumente

Es ist allgemein üblich, Schüttelprüfungen durch Angabe des Beschleunigungswertes zu kennzeichnen, dem der Prüfling ausgesetzt wird. Hiebei wird der auftretende Beschleunigungswert in Vielfachen der Erdbeschleunigung $g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$ angegeben. Eine Prüfung mit $10\,g$ bedeutet demnach, dass der Prüfling der zehnfachen Erdbeschleunigung ausgesetzt ist. Die Angabe eines bestimmten g-Wertes genügt aber keineswegs, wenn nicht auch gleichzeitig die Bedingungen bekannt sind, unter denen der angegebene g-Wert erreicht wird. Nun stösst aber die Festlegung einheitlicher und universeller Prüfbedingungen auf erhebliche Schwierigkeiten, so dass bis heute noch keine restlose Einigung darüber erzielt werden konnte.

Ein Prüfverfahren sollte nicht nur weitgehend den meisten praktisch vorkommenden Beanspruchungen entsprechen, es muss auch leicht realisierbar sein und ein einfaches und bequemes Einstellen der vorgeschriebenen Prüfwerte erlauben, sowie reproduzierbare und vergleichbare Resultate liefern. Die mechanischen Beanspruchungen, denen Messinstrumente ausgesetzt sein können, sind aber so mannigfaltig und verschieden, dass eine Berücksichtigung aller auftretender Fälle kaum möglich sein dürfte. Auch ist zu bedenken, dass die an ein universelles Prüfverfahren zu stellenden Anforderungen nicht zuletzt durch die ständige Weiterentwicklung der Technik und das steigende Bedürfnis nach Messmöglichkeiten beeinflusst werden.

Soweit heute bereits Prüfvorschriften in einigen Ländern bestehen, gelten diese vorwiegend für spezielle Abnehmergruppen oder Gebiete, z. B. für die Aviatik. Sie können keinesfalls als universell angesehen werden. In der Mehrzahl der Fälle, in denen sonst Prüfungen in der Industrie durchgeführt werden, handelt es sich um empirisch ermittelte Verfahren, die weder reproduzierbare Resultate liefern, noch Vergleiche zulassen. Es sind lediglich Verfahren, die auf Grund der Erfahrung ein hinreichendes Urteil über die Brauchbarkeit der Instrumente für den gerade vorliegenden Spezialfall erlauben.

Grundsätzlich ist zwischen einer Beschleunigungsprüfung, einer Vibrationsprüfung und einer Stossprüfung zu unterscheiden. Alle drei beanspruchen den Prüfling in verschiedener Weise und sollen im folgenden näher betrachtet werden.

Die

Beschleunigungsprüfung

kann z. B. in einer Zentrifuge durchgeführt werden, wobei der Radius r der Kreisbahn so gross gewählt werden sollte, dass für den ganzen Prüfling mit einer annähernd gleichen Beschleunigung gerechnet werden kann. Bei konstanter Winkelgeschwindigkeit $\omega = 2\pi n$ (n Drehzahl) erhält man für die auf den Prüfling wirkende Beschleunigung a, bezogen auf die Erdbeschleunigung g:

$$\frac{a}{g} = \frac{\omega^2 r}{g} = \frac{4\pi^2 n^2 r}{g} \tag{1}$$

oder zur schnellen Auswertung als Zahlenwertgleichung geschrieben,

$$\frac{a}{g} = 1{,}12 \cdot 10^{-3}\, n^2 r \tag{1a}$$

wobei in Gl. (1a) n in U./min und r in m einzusetzen sind. Wie in Fig. 1 erläutert, ist die Beschleunigung normal zur Kreisbahn gerichtet (Radialbeschleunigung). Die dadurch auf den Prüfling ausgeübte Beschleunigungskraft (Zentripetalkraft) zeigt ebenso wie die Beschleunigung dauernd nach dem Bahnmittelpunkt und verhindert eine geradlinige Bewegung des Prüflings in tangentialer Richtung. Für den Prüfling hat die Beschleunigung konstante

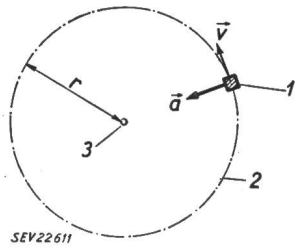

Fig. 1
Zur Beschleunigungsprüfung in einer Zentrifuge bei konstanter Winkelgeschwindigkeit
$\vec{a}$ Vektor der Beschleunigung; $\vec{v}$ Vektor der Umfangsgeschwindigkeit; r Bahnradius; *1* Prüfling; *2* Kreisbahn; *3* Drehachse

[1]) siehe Literatur am Schluss der Arbeit.

Richtung, da er der Drehachse stets die gleiche Seite zukehrt. Es ist daher zweckmässig, den Prüfling zusätzlich eine Eigenrotation um seine Mittelachse senkrecht zur Kreisbahnebene ausführen zu lassen. Die Prüfung kann in einer oder mehreren Ebenen erfolgen.

Die

Vibrationsprüfung

ist dadurch gekennzeichnet, dass der Prüfling einer periodisch ihr Vorzeichen wechselnden Beschleunigung ausgesetzt wird. Die Verhältnisse sind besonders einfach und übersichtlich, sobald die Prüfung in nur einer einzigen Ebene auf einem Schütteltisch erfolgt, dessen Schwingungen harmonisch verlaufen. Ist $\omega = 2\pi f$ die Kreisfrequenz der Schwingung und A ihr Amplitudenwert, so beträgt der zeitliche Verlauf der Beschleunigung:

$$a(t) = \omega^2 A \sin \omega t$$

Misst man den Amplitudenwert A der Schwingung und die Frequenz f, so erhält man als Höchstwert der Beschleunigung a, bezogen auf die Erdbeschleunigung g:

$$\frac{a}{g} = \frac{\omega^2 A}{g} = \frac{4\pi^2 f^2 A}{g} \qquad (2)$$

oder zur schnelleren Auswertung als Zahlenwertgleichung geschrieben:

$$\frac{a}{g} = 4{,}03 \cdot 10^{-3} f^2 A \qquad (2a)$$

wobei in Gl. (2a) A in mm und f in Hz einzusetzen sind. Die für bestimmte g-Werte erforderliche Frequenz f, abhängig von der Schwingamplitude A, kann der Fig. 2 entnommen werden. Für einen bestimmten g-Wert nimmt demnach die Schwingamplitude mit zunehmender Frequenz schnell ab. Um ein einfaches Messen der Amplitudenwerte A zu gewährleisten, kann also die Prüffrequenz nicht beliebig hoch gewählt werden. Infolge der grossen Materialbeanspruchung stösst ferner die Herstellung von Rütteltischen für hohe g-Werte und grössere Prüfgewichte auf Schwierigkeiten. Die Prüfung wird zweckmässig ebenfalls in mehreren Ebenen durchgeführt.

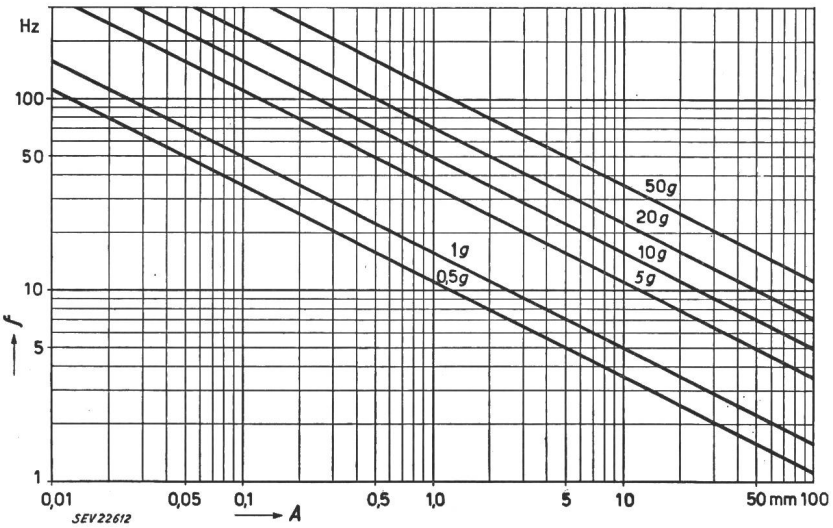

Fig. 2
Erforderliche Frequenz f als Funktion der Schwingungsamplitude A für verschiedene g-Werte bei sinusförmigen Vibrationen
g Erdbeschleunigung (= 9,81 m/s²)

Gebräuchliche Methoden der

Stossprüfung

sind der freie Fall auf eine mehr oder weniger gefederte Unterlage, das Abgleiten auf schiefer Ebene und Aufschlagen auf einen geeigneten Prellbock, sowie Prüfung mittels Pendelhammer. Die Ermittlung der Beschleunigungswerte kann im allgemeinen statisch durch Messen der Beschleunigungskraft (Bremskraft) F, z. B. durch einen Kugeleindruck erfolgen. Ist dann m die gesamte abgebremste Masse, so wird der Betrag der aufgetretenen Beschleunigung (Verzögerung) nach dem dynamischen Grundgesetz der Mechanik:

$$a = \frac{F}{m} \qquad (3)$$

Im Gegensatz zur Vibrationsprüfung ist eine genaue Ermittlung der Beschleunigung schwierig, da das dynamische Verhalten der federnden Unterlage, ihre Steifigkeit usw. eine wesentliche Rolle spielen. Die statische Ermittlung der Beschleunigungswerte mit Hilfe eines Kugeleindrucks liefert daher mehr oder weniger angenähert richtige Resultate, die im allgemeinen auch nicht mit den bei einer Vibrationsprüfung erhaltenen g-Werten verglichen werden dürfen. Praktisch wichtig ist vorerst lediglich die Verwendung einer einheitlichen Prüfvorrichtung, da die dann erhaltenen Resultate jederzeit einen Vergleich untereinander zulassen, wobei es von untergeordneter Bedeutung ist, inwieweit die ermittelten g-Werte absolut richtig sind; sie dienen lediglich als Vergleichsmass. So erklärt es sich auch, dass der sog. «bumping-test», als bisher einziges Prüfverfahren von der Commission Electrotechnique Internationale (CEI) als Stossprüfung angenommen wurde. Als Prüfvorrichtung dient hiebei ein Prüftisch, der mit dem darauf befestigten Prüfling auf eine geeignete Unterlage senkrecht aufschlägt. Die Ermittlung der g-Werte erfolgt durch Kugeleindruck unter vorgeschriebenen Bedingungen.

Gegenüber der Vibrationsprüfung unterscheidet sich die Stossprüfung vor allem dadurch, dass ein Stoss stets eine Vielzahl verschiedener Frequenzen enthält, mit denen der Prüfling beim Aufschlagen, also sehr kurzzeitig, angesprochen wird. Den Übergang von der Vibration zum Stoss liefert die Fourieranalyse. Um diese Verhältnisse besser übersehen zu können, soll ein Beschleunigungsstoss in idealisierter Form betrachtet und sein Spektrum herge-

leitet werden. Auf besonders einfache Weise gelingt das, wenn man vom Integralsinus

$$\mathrm{Si}\,(x) = \int_0^x \frac{\sin t}{t}\,\mathrm{d}t \qquad (4)$$

ausgeht. Differenzbildung zweier solcher Funktionen in hinreichend kleinem Abstand $t = 2T$ ergibt einen Verlauf nach Fig. 3. Soll der so erhaltene Im-

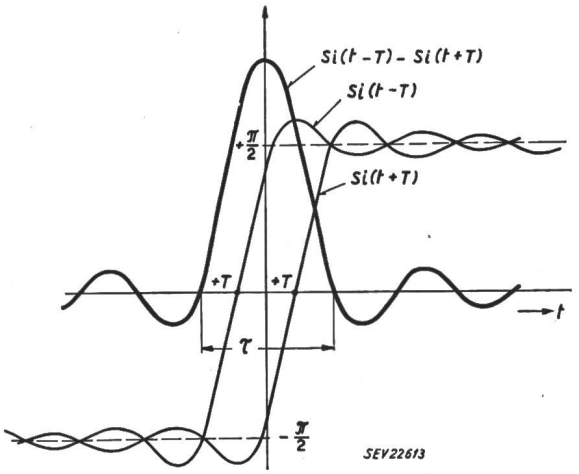

Fig. 3
Zusammensetzung eines Impulses der Dauer τ aus dem Integralsinus Si $(t \pm T)$
t Zeit; T konstanter Zeitwert; τ Impulsdauer

puls sehr kurz und steil verlaufen, so gilt für die Impulsdauer $\tau \to 2T$. Einen solchen Beschleunigungsimpuls $a\,(t)$ gewinnt man dann aus der Funktion

$$\sigma\,(t') = k \lim_{\eta \to \infty} \mathrm{Si}\,(\eta t) \equiv k \int_0^\infty \frac{\sin \omega t'}{\omega t'}\,\mathrm{d}\,(\omega t')$$

oder

$$\sigma\,(t') = k \int_0^\infty \frac{\sin \omega t'}{\omega}\,\mathrm{d}\omega \qquad (5)$$

wobei der Faktor k den Amplitudenwert bestimmt. Gleichzeitig ist damit aber auch die gesuchte Darstellung von $a\,(t)$ durch Sinusfunktionen gefunden, da

$$\frac{\mathrm{d}\omega}{\omega} \sin \omega t'$$

als Elementarschwingung der Amplitude $\mathrm{d}\omega/\omega$ gedeutet werden kann. Folglich wird

$$a\,(t) = \sigma\,(t - T) - \sigma\,(t + T) =$$

$$= k \int_0^\infty \frac{\sin \omega\,(t - T) - \sin \omega\,(t + T)}{\omega}\,\mathrm{d}\omega$$

oder umgeformt

$$a\,(t) = 2\,k \int_0^\infty \frac{\sin \omega T}{\omega} \cos \omega t\,\mathrm{d}\omega = \int_0^\infty A_\omega \cos \omega t\,\mathrm{d}\omega \qquad (6)$$

Der Faktor k kann so gewählt werden, dass der Maximalwert von $a\,(t)$ gleich eins wird. Das gesuchte Spektrum ist nun gegeben durch

$$A_\omega = \frac{2\,k}{\omega} \sin \omega T = 2\,kT\,\frac{\sin \omega T}{\omega T} \qquad (7)$$

und in Fig. 4 dargestellt. Für $\omega \to 0$ erhält man als Grenzwert

$$A_0 = 2\,k\,T = \tau\,k$$

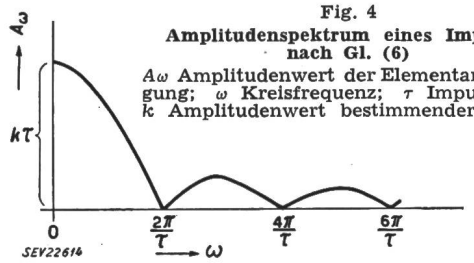

Fig. 4
Amplitudenspektrum eines Impulses nach Gl. (6)
$A\omega$ Amplitudenwert der Elementarschwingung; ω Kreisfrequenz; τ Impulsdauer; k Amplitudenwert bestimmender Faktor

Für ganze Vielfache der Kreisfrequenz $\omega = 2\pi/\tau$ liegen in Fig. 4 Nullstellen vor. Der Frequenzbereich für $f = 0$ bis $f = 1/\tau$ erfasst die stärksten Teilschwingungen. Der Prüfling wird demnach vorwiegend mit den Frequenzen zwischen $f = 0$ und $f = 1/\tau$ angesprochen, wobei zu beachten ist, dass die Resonanzfrequenzen des Prüflings in der Regel wesentlich kleiner als die Frequenz $1/\tau$ sein werden. Erfolgt die Prüfung durch eine Folge von Impulsen der betrachteten Art in nicht zu grossem Abstand, so geht das kontinuierliche Spektrum der Fig. 4 in ein Linienspektrum über. Die Hüllkurve der Amplitudenwerte ist aber die gleiche, wie in Fig. 4 beim einmaligen Impuls. Für einen relativ zur Impulsdauer τ hinreichend grossen Impulsabstand kann daher stets mit dem kontinuierlichen Spektrum gerechnet werden.

3. Praktische Bedeutung der einzelnen Prüfverfahren

Aus den Betrachtungen des Abschnittes 2 geht hervor, dass jedes der drei Prüfverfahren, selbst bei gleichen g-Werten, verschiedenartige mechanische Beanspruchungen des Prüflings zur Folge hat, daher ist auch die praktische Bedeutung der einzelnen Verfahren zur Prüfung elektrischer Messinstrumente keinesfalls gleichwertig. Die reine Beschleunigungsprüfung reproduziert z. B. die Verhältnisse, wie sie etwa in einem Flugzeug auftreten können, das eine Schleife durchfliegt. Sie liefert dabei einen Maßstab für die Güte der Fertigung, indem sie Balancefehler erkennen lässt. So wird ein Instrument bester Konstruktion eine Beschleunigungsprüfung in einer Zentrifuge nicht überstehen, wenn infolge ungenauer Fertigung Balancefehler vorhanden sind.

Vibrationen sind Messinstrumente in jedem Fahrzeug ausgesetzt. Am schwierigsten sind ihre Folgen bei Instrumenten mit Spitzenlagerung zu vermeiden. Durch Vibrationen können die Spitzen in verhältnismässig kurzer Zeit abgestumpft werden, wodurch der Reibungsfehler nicht mehr zulässige Werte erreicht. Charakteristisch ist hiebei eine deutlich sichtbare Ablagerung eines roten Pulvers, das aus Eisenoxyd, also Rost besteht, selbst bei Spitzen aus rostfreiem Stahl auftritt und auf

«Reibungsoxydation» zurückzuführen ist [3]. Man verwendet daher federnd montierte Lagersteine [1]. Dem Konstrukteur verhilft die Vibrationsprüfung zur Wahl geeigneter Werkstoffe und ermöglicht ein Urteil über die Brauchbarkeit seiner Konstruktion. Instrumente mit Spannbandlagerung sind in der Regel gegen Vibrationen weniger empfindlich, sofern die auftretenden Beschleunigungsamplituden $\omega^2 A$ in zulässigen Grenzen bleiben.

Die Vibrationsprüfung kann als Normaltest dienen, um ganz allgemein die Schüttelfestigkeit eines Instrumentes festzustellen, wobei der Frequenzbereich den hauptsächlichsten, im praktischen Betrieb zu erwartenden Frequenzen angepasst werden muss. Nach den Erfahrungen des Verfassers ist für elektrische Messinstrumente im wesentlichen der Frequenzbereich von 10 Hz bis etwa 100 Hz von Bedeutung. Ferner ist die Vibrationsprüfung besonders gut als Ermüdungstest (Dauerprüfung) geeignet, um Instrumente mit Materialfehlern auszuscheiden. Vibrationsprüfungen mit kleinen Schwingungsamplituden können auch als Resonanztest ausgeführt werden, indem durch stetiges Durchfahren eines bestimmten, interessierenden Frequenzbereiches die Resonanzfrequenzen des Prüflings ermittelt werden. Oft zeigt sich dann, dass bereits geringe Änderungen in der Konstruktion genügen können, um gefährliche Resonanzspitzen zu vermeiden oder die Resonanzfrequenzen hinreichend weit ausserhalb des praktisch zu erwartenden Frequenzbereiches zu verlagern.

Während es kaum möglich sein wird, z. B. in einem Fahrzeug dauernde Vibrationen von einem Messinstrument fernzuhalten, ist ein Schutz gegen vereinzelte mechanische Stösse in vielen Fällen möglich. Das gilt besonders für mechanische Stossbeanspruchungen beim Transport. Auch gegen periodisch auftretende Stösse, wie etwa auf Schienenfahrzeugen, kann eine federnde Montage oft gute Dienste leisten. In allen Fällen werden aber solche Massnahmen nicht anwendbar sein. Stossbeanspruchungen können dann bei spitzengelagerten Messwerken zum Verbiegen der Spitzen oder zu einer sog. «Pilzbildung» führen. Um daher harte Stösse von den empfindlichen Spitzen fernzuhalten, kann die Achse mit einer Schulter versehen werden [1].

Messwerke mit Spannbandlagerung sind im allgemeinen gegen Stossbeanspruchungen empfindlicher, als spitzengelagerte Messwerke. Das Spannband dient nämlich nicht nur als Messwerkachse, es muss auch das mechanische Gegenmoment liefern. Die mechanische Beanspruchung des Spannbandes ist also relativ gross, da schon zur Vermeidung einer unzulässig hohen Unsymmetrie, als Folge des Durchhangs, erhöhte Zugbeanspruchung notwendig ist. Eine Überbeanspruchung des Spannbandes ist daher oft leicht möglich, was sich zwangsläufig auf die Genauigkeit und Nullpunktkonstanz auswirken muss.

Wenn auch die Stossprüfung als umfassendstes Verfahren erscheint, so ist jedoch für eine einwandfreie und universelle Prüfung stossfester Messinstrumente eine Vibrations- *und* Stossprüfung notwendig. Infolge des breiten Frequenzbandes, das jeder Stoss enthält, kann die Stossprüfung bei genügender Anzahl von Stössen auch bei spitzengelagerten Messwerken Mängel aufdecken, die bei einer reinen Vibrationsprüfung nicht immer in Erscheinung zu treten brauchen.

4. Zur Ausführung stossfester Instrumente

Wie bereits erwähnt, besteht zweifellos ein grosses Bedürfnis nach stossfesten Messinstrumenten; hiebei darf aber nicht übersehen werden, dass schliesslich jedes elektrische Messwerk ein mehr oder weniger empfindliches Element ist. Vor der Forderung nach hoher Präzision bei gleichzeitiger Stoss- und Vibrationsfestigkeit muss daher gewarnt werden, da dies zwei sich widersprechende Forderungen sind. Wenn es daher sorgfältiger Konstruktionsarbeit am Brett unter Auswertung langwieriger praktischer Versuche gelang, Messwerke zu schaffen, die bei hinreichender Genauigkeit Prüfungen mit Beschleunigungswerten von 20 *g* gewachsen sind, so muss das als ein sehr beachtenswerter Erfolg bezeichnet werden.

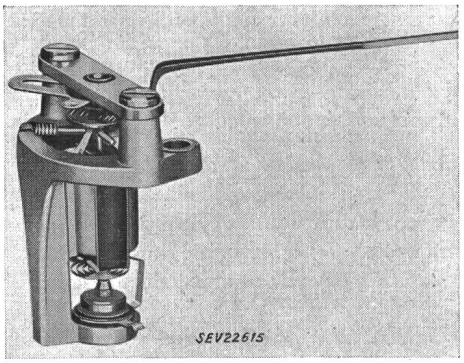

Fig. 5
Bewegliches System und Systemträger eines stossfesten spitzengelagerten Drehspulmesswerkes

Als Beispiel zeigt Fig. 5 ein solches spitzengelagertes Messwerk. Schon der äussere Aufbau des Systemträgers aus Spritzguss mit eingegossenem Kern zeigt, dass es einem rauhen Betrieb mit starken mechanischen Beanspruchungen angepasst ist, wobei ein Messbereich bis herab zu 20 μA Vollausschlag erreicht wird. Ein Mass für die Forderungen hinsichtlich Stossfestigkeit, die an ein solches Messwerk gestellt werden können, demonstrieren die Prüfungen, denen es mit Erfolg unterzogen wurde. Es waren unter anderem Vibrationsprüfungen mit einer Beschleunigung von 10 *g* bei 10...25 Hz in drei verschiedenen Ebenen von je 5 min Dauer, ferner freier Fall in einem Schutzgehäuse aus 1...1,3 m Höhe auf ein Holzbrett, sowie 10 000 Stösse mit einer Beschleunigung von je 20 *g* (bumping-test).

Auch bei der Entwicklung stossfester elektrischer Messwerke mit Spannbandlagerung konnten neue Wege beschritten werden. So war auf der letzten Industriemesse in Hannover erstmalig ein Dreheisenmesswerk mit Spannbandlagerung zu sehen. Seine mechanischen Eigenschaften demonstrierte ein Versuch, bei dem das Instrument alle 10 s aus einer Höhe von 15 cm frei fallen gelassen wurde.

Die Genauigkeit der Anzeige konnte ständig kontrolliert werden.

5. Zusammenfassung

Auswirkungen und Folgen mechanischer Erschütterungen auf elektrische Messwerke können sehr verschieden sein, wodurch auch die einzelnen Prüfverfahren gekennzeichnet sind. Diese sind die reine Beschleunigungsprüfung, die Vibrationsprüfung und die Stossprüfung. Die Diskussion dieser Prüfverfahren ergab, dass eine reine Beschleunigungsprüfung in erster Linie Balancefehler, also Mängel der Fertigung, aufdeckt, während eine Vibrationsprüfung besonders für spitzengelagerte Messwerke zweckmässig ist. Als Ermüdungstest (Dauerprüfung) kann sie allgemein zur Ausscheidung von Instrumenten mit Materialfehlern dienen, während sie als Resonanztest das Vorhandensein schädlicher Resonanzfrequenzen innerhalb des interessierenden Frequenzbereiches erkennen lässt. Aber erst zusammen mit einer Stossprüfung erhält man ein umfassendes Bild von den mechanischen Eigenschaften eines Instrumentes.

Wenn auch vor zu strengen Prüfanforderungen für empfindliche Messinstrumente gewarnt werden muss, so zeigen die am Schluss angeführten Beispiele, dass bei der Entwicklung stossfester Messwerke sehr beachtliche Erfolge erzielt werden konnten.

Literatur

[1] *A. Hug:* Drehspulinstrumente, Aussen- und Kernmagnetsysteme. Spitzenlagerung und Spannbandaufhängung. Bull. SEV Bd. 42(1951), Nr. 11, S. 385...389.

[2] *A. von Weiss:* Bauformen moderner Schalttafelinstrumente und Gesichtspunkte zu ihrer Beurteilung. Bull. SEV Bd. 45(1954), Nr. 12, S. 473...476.

[3] *G. Keinath:* Spitzenlagerung. ATM-Blatt J 013-1, (1931).

Adresse des Autors:
Dipl.-Ing. *A. von Weiss*, ELMES, Staub & Co., Richterswil (ZH).

Méthode d'essai d'identification de plusieurs câbles parallèles[1])

Par *M. Oberson*, Fribourg

621 317.19 : 621.315.2

Description d'une méthode permettant d'identifier sans équivoque un câble hors service, parmi d'autres sous tension, en utilisant une pince ampèremétrique polarisée.

Es wird ein Prüfverfahren beschrieben, durch welches ein ausgeschaltetes Kabel, unter mehreren im Betrieb befindlichen, durch polarisierten Zangenstrommesser eindeutig identifiziert werden kann.

I. Généralités

La méthode a pour but de permettre d'identifier certains câbles parmi ceux qui sont groupés en faisceau. L'appareil de mesure auquel on pense tout naturellement pour ce genre d'essai est l'ampèremètre à pince. Cet instrument, utilisable généralement pour l'alternatif seulement a été considérablement perfectionné et les derniers modèles comportent plusieurs sensibilités, dont celle de 10 A.

Dans toute ligne de distribution, qu'elle soit monophasée, triphasée 3 fils ou triphasée 4 fils (avec neutre) on sait que la somme des courants à chaque instant est nulle. Si l'on branche un ampèremètre à pince sur un câble multipolaire de distribution à courant alternatif, les indications de l'appareil seront nulles, quelle que soit la charge.

Pour obtenir une déviation, il faudrait donc faire circuler un courant homopolaire dans les conducteurs du câble à identifier et le faire retourner à la source par la terre (fig. 1).

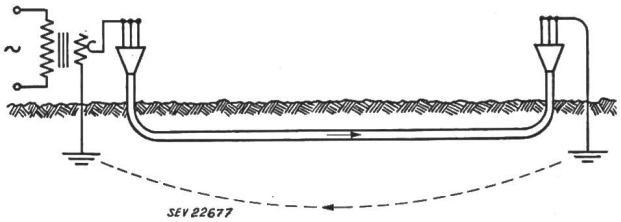

Fig. 1
Schéma d'un câble parcouru par un courant alternatif homopolaire

Ce courant pourrait être obtenu facilement au moyen d'un transformateur donnant au secondaire une tension de quelques V. Malheureusement le courant de retour par la terre empruntera les chemins de moindre résistance, tels que gaînes de câbles ou même plus volontiers le neutre des câbles basse tension mis à terre dans les stations transformatrices. On aura bien une déviation de l'ampèremètre sur le parcours du câble à identifier, mais aussi sur d'autres câbles en parallèle. La méthode est donc fortement sujette à équivoque. On ne peut donc l'utiliser.

II. Conditions nécessaires pour une identification sûre

On est donc amené à formuler les exigences suivantes pour identifier d'une manière certaine un câble en utilisant des mesures de courant:

1. On fera circuler un courant dans les conducteurs du câble à identifier et ce courant retournera à la source par la terre ou par d'autres câbles (gaînes ou neutres) ces derniers n'ayant du reste pas besoin d'être hors service.

2. Le sens du courant doit pouvoir être déterminé de manière à distinguer sans aucune équivoque le courant d'aller (par le câble à identifier) et le courant de retour (par la terre ou les voies en parallèle). Le moyen le plus simple consiste assurément à utiliser du courant continu et à imaginer un ampèremètre polarisé à pince pouvant dévier dans les deux sens.

3. Le courant d'essai devra pouvoir se distinguer de courants de fuite provenant de tramways ou autres, de courants telluriques, etc.

Le point 1 ne soulève aucune difficulté. Le câble à identifier est mis hors service (voir fig. 2). Ses conducteurs sont reliés au pôle positif d'une source de courant. Le pôle négatif de la source de courant est relié à la terre à travers une résistance de réglage

[1]) La fondation Denzler a accordé un prix à ce travail.