

Das Welligkeitsmeßgerät WMG 1

Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten

J. Schwarz; R. Sandau; G. Niemand; Berlin¹

In der Arbeit wird das Welligkeitsmeßgerät WMG 1 beschrieben, das die Messung von Mischgrößen charakterisierenden Kenngrößen, wie z. B. der Effektivwertwelligkeit und der Extremwertwelligkeit, gestattet. Es kann in vielen Gebieten der Technik Anwendung finden und stellt die Grundlage für eine einheitliche meßtechnische Erfassung von speziellen Kenngrößen in der DDR dar.

In der Technik treten oft Größen auf, denen neben der Grundgröße, die eine Gleich- oder eine Wechselgröße sein kann, mehr oder weniger erwünschte Oberwellen überlagert sind. Typische Beispiele sind Drehzahlschwankungen von Antrieben durch periodisch wechselnde Belastung (z. B. Pressenantrieb und Kolbenverdichterantrieb) und Überlagerung des Lichtstroms von mit Wechselstrom gespeisten Lichtquellen mit Oberwellen. Besondere Bedeutung haben diese Größen in der Elektrotechnik und dort besonders in der Leistungselektronik.

Zur Rationalisierung der Messungen von Oberwellen und zur Schaffung einer einheitlichen Grundlage der meßtechnischen Überprüfung der Welligkeit und anderer Kenngrößen von Mischgrößen in der DDR wurde im VEB KEAB das Welligkeitsmeßgerät WMG 1 entwickelt (Bild 1)².

1. Definition der Kenngrößen

Eine Mischgröße (Gleichgröße mit überlagertem Wechselanteil) wird durch bestimmte Kenngrößen, die unabhängig von der Amplitude der Mischgrößen sind (nur vom relativen Zeitverlauf abhängig) charakterisiert (Bild 2).

Das WMG 1 ermöglicht die Messung der Kenngrößen Effektivwertwelligkeit

$$w = \frac{G_-}{\bar{g}} = \sqrt{F^2 - 1}, \quad (1)$$

1) Dipl.-Ing. Jürgen Schwarz, Dipl.-Ing. Rainer Sandau und Dipl.-Ing. Gerd Niemand sind Mitarbeiter im VEB Kombinat Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin.

2) Nähere Auskünfte über das Welligkeitsmeßgerät WMG 1, insbesondere zu einer Nachnutzung, können über die Abt. TN des VEB KEAB, 1134 Berlin, Hirschberger Str. 4, unter Bezugnahme auf den NV 968 522 eingeholt werden.

Extremwertwelligkeit

$$w_E = \frac{\Delta g}{\hat{g} + \check{g}} = \frac{\hat{g} - \check{g}}{\hat{g} + \check{g}}, \quad (2)$$

Oberschwingungsgehalt

$$\hat{w} = \frac{\Delta g}{2\bar{g}} \quad (3)$$

und Formfaktor

$$F = \frac{G}{\bar{g}} = \sqrt{1 + w^2}. \quad (4)$$

In diesen Definitionen steht G für den Effektivwert der Größe

$$G = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} g^2(t) dt}, \quad (5)$$

\bar{g} für den Gleichwert (arithmetischen Mittelwert)

$$\bar{g} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} g(t) dt \quad (6)$$

und G_- für den Effektivwert des überlagerten Wechselanteils der Größe g

$$G_- = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} [g(t) - \bar{g}]^2 dt}. \quad (7)$$

Die Bedeutung der Größen Δg (Schwankungsbreite), \hat{g} (Größtwert) und \check{g} (Kleinstwert) geht aus Bild 2 hervor.

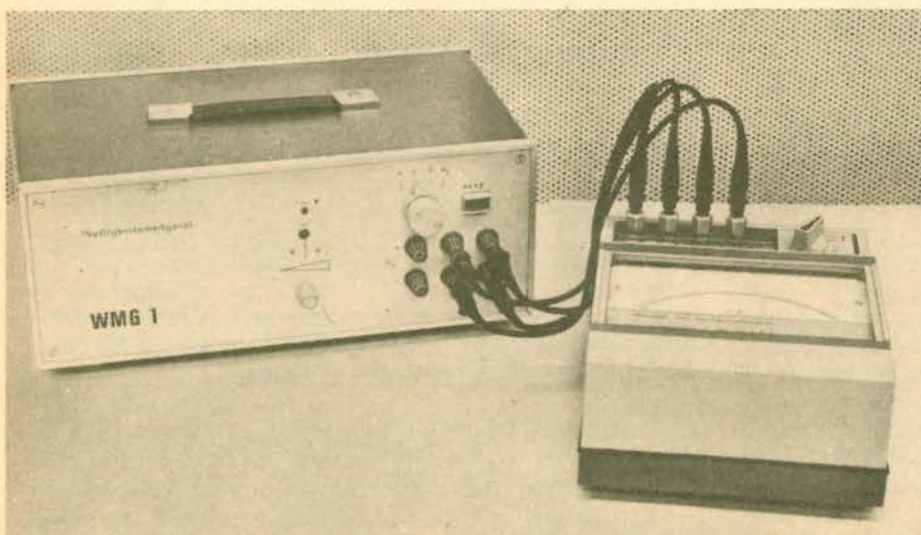
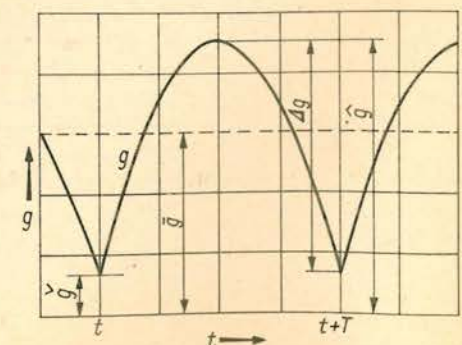


Bild 1. Welligkeitsmeßgerät WMG 1
Foto: Sandau

Bild 2. Mischgröße



2. Aufbau und Funktion

Das Welligkeitsmeßgerät WMG 1 wurde in erster Linie zur Messung der Kenngrößen des Stroms durch stromrichter-gepeiste Gleichstrommaschinen entwickelt. Um die Verwendung auch bei Speisung durch Stromrichter mit hoher Pulszahl ($p = 12$) zu sichern, muß das Gerät einen weiten Frequenzbereich verarbeiten. Darum wurde es so aufgebaut, daß eine stromproportionale Spannung unmittelbar von einem Shunt abgegriffen werden kann.

Dadurch wurden Zwischenkreise zur Potentialtrennung (magnetische, optische oder dgl.) vermieden. Diese Zwischenkreise würden, wollte man keinen allzugroßen Aufwand treiben, die Dynamik bzw. die Genauigkeit zu sehr begrenzen. Nachteilig ist, daß die gesamte Elektronik potentialbehaftet betrieben werden muß. Die Potentialtrennung erfolgt durch den Netztrafo.

Bild 3 zeigt die Prinzipschaltung des Welligkeitsmeßgeräts WMG 1. Die vom Shunt abgegriffene Spannung gelangt über den Eingangverstärker und die nachfolgende Stufe zur Betragsbildung, die die Kenngrößenmessung auch bei Umkehrbetrieb ermöglicht, an die Eingänge der Funktionsgruppen. Diese werden zur Bildung von Größen benötigt, die der der Extremwertdifferenz, der Extremwertsumme, dem Effektivwert des Stroms und dem Effektivwert des Oberschwingungsanteils des Stroms proportional sind. Die Ausgänge dieser Funktionsgruppen werden über einen Wahlschalter und über Spannungs/Strom-Wandler für die dem Zählerterm bzw. dem Nennerterm proportionalen Größen so auf ein extern anzuschließendes Quotientenmeßwerk geschaltet, daß die in den Gln. (1) bis (4) definierten Größen angezeigt werden. Das Quotientenmeßwerk ist Bestandteil eines für diesen Anwendungsfall modifizierten Widerstandsmeßgeräts vom Typ MkL 20 von Metra Blansko.

Die Effektivwertbildung ist für einen maximalen Scheitelfaktor (auf den Effektivwert bezogener Größtwert) $F_s = 2,5$ ausgelegt und erfolgt mit Hilfe eines kontinuierlichen, analog rechnenden Verfahrens [1] unter Verwendung der Parabelapproximation mit Sekantenpolygonzug mit zwölf variablen Knickpunkten.

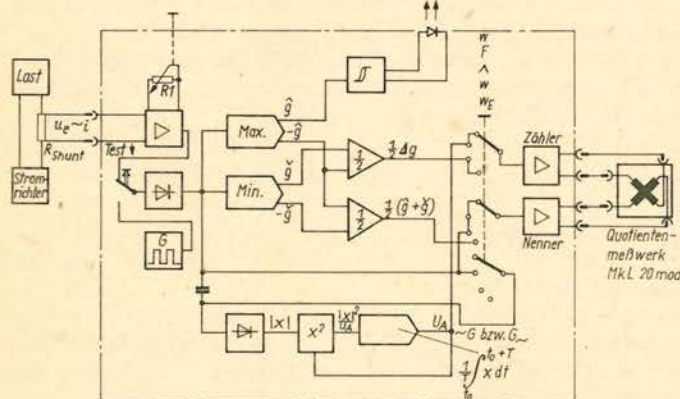


Bild 3. Prinzipschaltbild

Bei diesem Verfahren wird der echte Effektivwert (true rms) gemessen und die parabolische Kennlinie in Abhängigkeit vom Effektivwert des Eingangssignals immer optimal angesteuert.

Zur Ermittlung der den Effektivwerten G_{-} und G_{+} proportionalen Spannungen werden die gleiche Funktionsgruppe, jedoch mit oder ohne Kondensator, der den Gleichanteil abblockt, verwendet.

Während die Extremwertbildung mit zwei nichtlinearen Baugruppen erfolgt, wird der in den Gln. (1), (3) und (4) auftretende arithmetische Mittelwert unmittelbar im Meßpfad für den Nennerterm gebildet.

Zur Funktionsprüfung kann an Stelle der verstärkten Shuntspannung auch ein definiertes Rechtecksignal auf die Funktions-

gruppen geschaltet werden. In diesem Fall müssen in den verschiedenen Schalterstellungen des Wahlschalters definierte Meßwerte angezeigt werden ($w = 1$, $F = \sqrt{2}$, $\hat{w} = 1$ und $w_E = 1$).

An der Rückseite des WMG 1 stehen zusätzlich die verstärkte Shuntspannung und die den Zähler- bzw. Nennertermen der Gln. (1) bis (4) proportionalen Spannungen zur weiteren meßtechnischen Auswertung zur Verfügung.

Die maximale Signalspannung ist 10 V.

Tafel 1 enthält die technischen Hauptkennwerte des Welligkeitsmeßgeräts WMG 1. Das für den Einsatz im Labor, im Prüffeld und auf der Baustelle konzipierte WMG 1 ermöglicht bei einfacher Handhabung eine schnelle und ausreichend genaue Messung der Kenngrößen von Mischströmen.

Tafel 1. Hauptkennwerte

| | |
|--|--|
| Bereich der Eingangsspannung (Größtwert) | 10 mV bis 300 mV |
| Eingangswiderstand | $\geq 250 \text{ Ohm}$ |
| Stromversorgung | $220 \text{ V} \pm 10\% \text{ 50 Hz}$ |
| Schutzklasse | I |
| Schutzgrad | IP 20 |
| Genauigkeitsklasse (Temperaturbereich 15°C bis 30°C) ¹ | 2,5 |
| Temperaturbereich | 0°C bis 45°C |
| Maximale Einstellzeit bei Änderung der Meßwerte um 25% | 1 s |
| Obere Grenzfrequenz | 48. Harmonische der Netzfrequenz |
| Einsatzbereich | Anschluß an Stromrichtergeräte mit Netzanschluß bis $U_{LL} = 380 \text{ V}^2$ |
| Abmessungen (B x H x T) WMG 1 | $370 \times 170 \times 230 \text{ mm}^3$ |
| MkL 20 | $195 \times 120 \times 255 \text{ mm}^3$ |
| Masse WMG 1 | 7 kg |
| MkL 20 | 4 kg |

1) Bei dem Mustergerät wurde eine Genauigkeitsklasse 1 erreicht.

2) Bei Anschluß über einen Isoliertrafo und Anwendung entsprechender Schutzmaßnahmen können Messungen auch an Stromrichtern mit höheren Anschlußspannungen durchgeführt werden.

3. Anwendung des Welligkeitsmeßgeräts in der Leistungselektronik

3.1. Grundlagen

In stromrichter-gepeisten Gleichstromanlagen hat die Form des pulsierenden Stroms einen entscheidenden Einfluß auf das Betriebsverhalten und damit auf die Dimensionierung der Gleichstromanlagen. Die Effektivwertwelligkeit und der Formfaktor des Mischstroms sind Maße für die erhöhte thermische Beanspruchung der Anlagenteile (Drosseln, Sammelschienen, Kabel usw.), während der Oberschwingungsgehalt und die Extremwertwelligkeit Maße für die zusätzliche Kommutierungsbeanspruchung von stromrichter-gepeisten Gleichstrommaschinen sind [2]. Dabei liefert aber die Extremwertwelligkeit im Lückbetrieb keine Aussage (da $\hat{g} = 0$ wird $w_E = 1$).

Für ausgewählte Stromrichterschaltungen werden z. B. in [2] und [3] Methoden zur Berechnung der Kenngrößen des Stroms angegeben. Um dabei einen möglichst übersichtlichen und einfachen Berechnungsweg der Kenngröße des Mischstroms zu erhalten und die zur numerischen Auswertung benötigte Zeit in akzeptablen Grenzen zu halten, wurden jedoch zweckmäßige Vereinfachungen vorgenommen (symmetrisches Netz ohne Oberwellen, keine Kommutierungsreaktanzen vorhanden, ideal leitende und sperrende Ventile, lineare Induktivitäten, konstante Gegenspannung, Resistanzen nur im Lastkreis vorhanden u. a.). Insbesondere können Unsymmetrien im Netz und in der Ansteuervorrichtung und der Einfluß der Kommutierungsreaktanzen teilweise nicht zu vernachlässigende Abweichungen von der Theorie, vor allem bei kleinen Aussteuerungen, mit sich bringen. Einen ähnlichen Einfluß kann eine nichtlineare Glättungsdrossel, hier hauptsächlich bei Strömen, die kleiner als der Sättigungsstrom sind, hervorrufen.

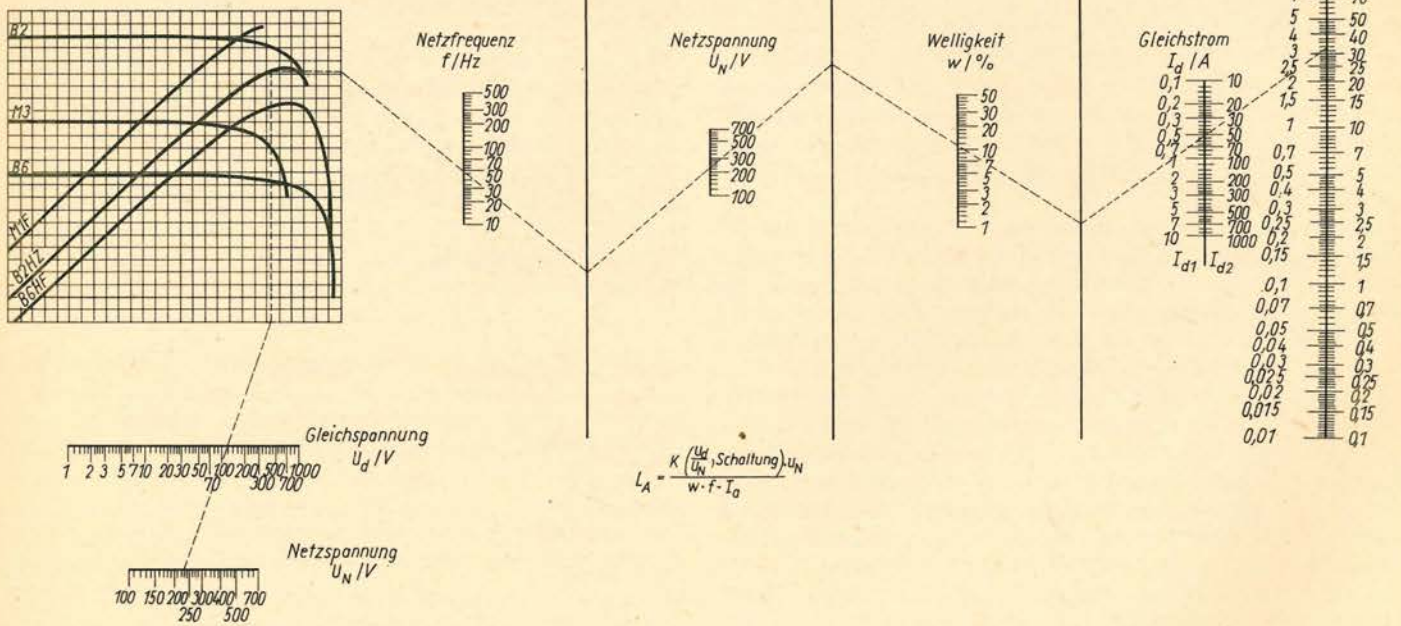


Bild 4. Nomogramm $L_A = f(\text{Schaltung}, U_N, U_d, f, w, I_d)$

(Beispiel: B 2 HZ, $U_N = 230 \text{ V}$, $U_d = 120 \text{ V}$, $f = 48 \text{ Hz}$, $w = 12\%$, $I_d = 50 \text{ A}$ ergibt $L_A = 33,5 \text{ mH}$; $I_d = 0,5 \text{ A}$ ergibt $L_A = 3,35 \text{ H}$)

Einen Ausweg, bei dem die etwa realen Verhältnisse in den Stromrichteranlagen unter Umgehung der Anwendung eines unübersichtlichen Rechenprogramms untersucht werden können, stellt die Struktursimulation der realen Stromrichteranordnung dar, die sowohl digital [4] als auch analog bzw. hybrid [5] durchgeführt werden kann. Aus Aufwandsgründen ist aber jeweils nur die Untersuchung von einzelnen Anlagen möglich. Die einfachste und sicherste Methode besteht in der meßtechnischen Überprüfung der anlagenspezifischen Kenngrößen des Mischstroms.

3.2. Applikation

Es werden zwei Applikationsbeispiele des Welligkeitsmeßgeräts WMG 1 herausgegriffen und näher erläutert.

3.2.1. Minimierung der Glättungsinduktivität in stromrichter-gespeisten Gleichstromantrieben

Bei der Ermittlung einer minimalen Glättungsinduktivität zur Einhaltung der zulässigen Stromwelligkeit im Ankerkreis sind als motorspezifische Einflußfaktoren die nichtlineare Ankerkreisinduktivität und das Kommutierungsverhalten bei Mischstromspeisung zu berücksichtigen. Zur Optimierung des Antriebssystems „Netzgelöschter Stromrichter – Glättungsdrossel – Gleichstrommaschine“ stellen in Prüffeldern durchgeführte umfangreiche Messungen mittels direktanzeigender Meßgeräte die entscheidende Voraussetzung dar. Als Ergebnis dieser Untersuchungen kann z. B. ein zwischen dem Motorenhersteller VEB Elbtalwerk Heidenau und dem Stromrichterhersteller VEB KEAB vereinbartes neues Drosseldimensionierungsverfahren (Drosselauswahl nach kritischem Arbeitspunkt) genannt werden.

3.2.2. Meßtechnische Ermittlung der Ankerinduktivität

Neben den bekannten Verfahren zur Messung der Ankerinduktivität von Gleichstrommaschinen – der Zeitkonstantenmethode, der 50-Hertz-Methode, der Spannungsvergleichsmethode mittels Luftdrossel u. a. –, die sehr ungenau bzw. sehr aufwendig sind, wird durch das WMG 1 ein unkompliziertes und hinreichend genaues Meßverfahren zur Ankerinduktivitätsbestimmung möglich, das vorteilhaft die Laststrom-, die Erregungsstrom- und die Speisespannungsabhängigkeit sowie die speisende Strom-

richterschaltung in die meßtechnische Erfassung einbezieht. Im Gegensatz zu den theoretischen Verfahren – der Formel von *Schuisky* [6] und neueren Erkenntnissen [7] –, die entweder sehr ungenau sind bzw. sehr detaillierte Kenntnisse der Maschinenparameter erfordern, kommt man hier schnell zu brauchbaren Ergebnissen.

Meßprinzip

Voraussetzung zur Messung ist die direkte Speisung der Gleichstrommaschine aus einem Stromrichter ohne Glättungsdrossel. Gemessen werden die Effektivwertwelligkeit w in einem definierten Arbeitspunkt (Ankerstrom I_d und Ankerspannung U_d) mittels WMG 1 und die Netzspannung und die Netzfrequenz zur Kontrolle. Mit den ermittelten Meßwerten erfolgt die Bestimmung der Ankerinduktivität L_A aus dem Nomogramm nach Bild 4, das aus der bekannten Beziehung [2]

$$f_w = f \left(\frac{U_{di\alpha}}{U_{di0}}, \text{Schaltung} \right) = \frac{w \cdot I_a \cdot \omega L_A}{U_{di0}} \quad (8)$$

abgeleitet ist.

Meßgenauigkeit

Unter der Voraussetzung, daß $p\omega\tau$ des Ankerkreises größer als 10 ist, ist der zusätzliche Fehler durch den Ankerwiderstand kleiner als 0,5%. Die Messung der Spannungen, des Stroms und der Frequenz erfolgt mit einer Genauigkeit von 0,5%. Damit ergibt sich für das Meßverfahren eine Genauigkeit von etwa 5%.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Das Welligkeitsmeßgerät WMG 1 stellt gegenüber den bisher praktizierten Meßverfahren eine Verbesserung bezüglich Aufwand zum Aufbau der Meßanordnung, der Meß- und Auswertzeit und der Genauigkeit dar. Da sich schon jetzt relativ viele Interessenten für die Nachnutzung des Welligkeitsmeßgeräts entschieden haben, ist damit ein Ausgangspunkt dafür gegeben, daß innerhalb der Elektroindustrie der DDR eine Einigung auf einige wenige, leicht meßbare und die unterschiedlichsten Beanspruchungen charakterisierenden Kenngrößen von Mischgrößen zustande kommt.

Literatur

- [1] Weitz, B.: Präzisions-Wechselstrom-Meßtechnik. DANA Technical Paper No. 1 000, July 1969.
- [2] Schwarz, J.: Das System „Netzgelöschter Stromrichter – Glättungsdrossel – Gleichstrommaschine“ im nichtlückenden Betrieb. ELEKTRIE 30 (1976) H. 5, S. 325–330.
- [3] Schwarz, J.: Das System „Netzgelöschter Stromrichter – Glättungsdrossel – Gleichstrommaschine“ im lückenden Betrieb. Z. elektr. Inform. u. Energietechnik 7 (1977) H. 6, S. 501–512 und 8 (1978) H. 1, S. 14–36.
- [4] Arremann, H.: Digitale Simulation von Anlagen der Leistungselektronik. Siemens Forsch. – u. Entwicklungsberichte 6 (1977) H. 5, S. 293–299 und H. 6 S. 355–363.
- [5] Grunewald, R.: Einige Ergebnisse der analogen Simulation von Störungen in netzgelöschten Stromrichterstellgliedern. Der VEM-Elektro-Anlagenbau 9 (1973) H. 1, S. 7–12.
- [6] Schuisky, W.: Berechnung elektrischer Maschinen. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1960.
- [7] Breitfeld, D.; Budig, P.-K.; Martin, E.: Berechnung der Induktivitäten von Gleichstrommaschinen. ELEKTRIE 31 (1977) H. 10, S. 514–519.

EP 2995

Mit freundlicher Genehmigung der HUSS-MEDIEN GmbH, Berlin - www.elektropraktiker.de