



② Einflussgröße Crestfaktor – Abhängigkeit der zusätzlichen Messungenauigkeit von der Form (Crestfaktor) der Messgröße und dem ausgewählten Messbereich des DMM

A Bereich der Crestfaktoren, bei denen sich in Abhängigkeit vom gewählten Messbereichsendwert höhere zusätzliche Messunsicherheiten als $\pm 1\%$ für nicht sinusförmige Größen ergeben

B Bereich der Crestfaktoren, bei denen sich in Abhängigkeit vom Endwert des gewählten Messbereichsendwerts zusätzliche Messunsicherheiten von höchstens $\pm 1\%$ ergeben

auch dessen festen Anteil kennen. Wenn für ein DMM vom Hersteller nur der %-Anteil angeführt wird, ist das zum Beurteilen der **Messunsicherheiten** (Messfehler) beim Messen der Wechselgrößen völlig unzureichend.

Die in diesem Beitrag und in den Katalogen der Hersteller angegebene Messunsicherheit gilt nur unter der Voraussetzung, dass bei der Messung die so genannten **Referenzbedingungen** für Umgebungstemperatur, Lage des DMM usw. ([4], Tafel ①) eingehalten werden.

Zusätzlich zu der mit der Klammerangabe festliegenden Messunsicherheit unter Referenzbedingungen, müssen allerdings noch zusätzliche Einflüsseffekte, z. B. Frequenz (siehe Tafel ①) oder **Crestfaktor** (Bild ②), berücksichtigt werden. Sie entstehen vor allem durch die Eigenschaften der zu messenden Wechselgrößen bzw. durch die technischen Möglichkeiten des DMM, Wechselgrößen mit diesen Eigenschaften zu verarbeiten. Als eine weitere Voraussetzung dafür, dass der jeweils angegebene Messfehler (Messunsicherheit) des MM nicht überschritten wird, müssen einige Eigenschaften des Messsignals (Wechselgröße) berücksichtigt werden. Dies sind insbesondere der **Crestfaktor** (Bild ②) und die möglichen Oberwellenanteile bzw. die nötige **Bandbreite** (Tafel ①) des Signals. Beide müssen dem Messenden bekannt sein. Das MM ist dann so auszuwählen bzw. einzusetzen, dass es die jeweils zu messende Größe mit ihren Eigenschaften verarbeiten kann, ohne dass sein angegebener Messfehler (Messunsicherheit) überschritten wird.

2.1 Crestfaktor

Der Crestfaktor (Scheitelfaktor) – bzw. als seine Ausgangsgröße der **Spitzen- oder Scheitelwert** der Wechselgröße innerhalb einer Periode – interessiert hinsichtlich

- der voraussichtlich entstehenden bzw. erforderlichen Höhe der Aussteuerung des DMM bei einer bestimmten Signalform und
- des Einflusses auf die Messunsicherheit (Messfehler), die beim Messen dieses Signals entstehen kann.

Er ist das **Verhältnis des Spitzenwerts zum angezeigten Effektivwert** und damit ein Maß für die Höhe der Verzerrung der Messgröße. Bei einer reinen Sinusgröße beträgt der

$$\text{Crestfaktor CF} = \frac{\text{Spitzenwert}}{\text{Effektivwert}} = 1,414$$

Je stärker die Wechselgröße verzerrt ist, desto höher ist – bei gleichbleibendem Effektivwert – der Spitzenwert und damit der Crestfaktor (Bild ③ aus [4]).

Problematisch ist, dass bei Wechselgrößen mit einem hohen Crestfaktor hohe Spitzenwerte auftreten und verarbeitet werden müssten. Da dies aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht unbegrenzt möglich ist, ergaben sich folgende Konsequenzen:

1. Die Messwertverarbeitung der MM wird üblicherweise auf Wechselgrößen mit einem **Crestfaktor** ≤ 3 begrenzt – bei höheren Werten muss deshalb bei Handmultimetern mit erhöhten Messfehlern gerechnet werden.
2. Am oberen Ende des Messbereichs können üblicherweise nur Messgrößen mit dem **Crestfaktor** $\leq 1,5$ – d. h. nur annähernd reine Sinusspannungen/-ströme – vom MM verarbeitet werden. Wechselgrößen mit einem höheren **Crestfaktor** (≤ 3) können nur bei Messwerten, die im mittleren oder unteren Bereich der Anzeige liegen, genau genug gemessen werden.
3. Bei einem **Crestfaktor** > 3 ergibt sich ein weiterer zusätzlicher Fehler.

Ist zu erwarten, dass die Messgröße einen höheren Crestfaktor aufweist als 1,5 (siehe Bild ②), sind die Messbereiche so zu wählen, dass die Messungen im Bereich zwischen 10 % bis 50 % des Messbereichsendwerts durchgeführt werden können. Eine weitere Möglichkeit ist, in derartigen Fällen die Messung im nächst höheren Messbereich vorzunehmen.

Für die meisten Anwendungen in der Anlagentechnik kann somit, unter Berücksichtigung der bereits dargelegten Sicherheitsmaßnahmen [1] [2], ein DMM mit $CR \leq 3$ angewandt werden. Ist der Crestfaktor eines MM nicht bekannt und auch aus den Unterlagen nicht zu ermitteln, so sollte unbedingt der Hersteller befragt werden.

2.2 Bandbreite

Eine ausreichende Bandbreite, d. h. ein entsprechend weitreichender Frequenzgang der Messbereiche, hat besonders dann Be-

Tafel 1 Beispiel für den Einflusseffekt der Frequenz – wirkt zusätzlich zur angegebenen Eigenunsicherheit, z. B. $\pm(0,2\% + 30 \text{ Digit})$ des DMM, wenn die Frequenz der Messgröße außerhalb des Referenzbereiches 45 Hz bis 65 Hz liegt

Frequenz	Messbereich, Messgröße	zusätzlicher Einflusseffekt $\pm(xx, x\% + yy \text{ Digit})$
> 15 Hz ... 45 Hz	300 mV	2 + 10 D
> 65 Hz ... 1 kHz		0,5
> 1 kHz ... 10 kHz		1
> 10 kHz...30 kHz		3
> 15 Hz ... 45 Hz	3 V	2 + 10 D
> 65 Hz ... 1 kHz		0,5
> 1 kHz ... 30 kHz		1,5
> 15 Hz ... 45 Hz	600 V	2 + 10
> 65 Hz ... 2 kHz		0,75 + 5
> 2 kHz ... 10 kHz		5 + 5



3 Multimeter Metrahit Professionell (GMC) mit einem sogenannten Tiefpassfilter, durch den die das Messergebnis verfälschenden Oberschwingungen herausgefiltert werden

deutung, wenn beim Ermitteln von Spannungs-/Stromwerten mit hohem Crestfaktor auch höherfrequente Anteile zu erfassen (Frequenzumrichter, Konverter) sind. Grundvoraussetzung dafür ist, dass ein Handmultimeter die Übertragung von Oberschwingungen bis zur etwa 40-fachen Grundfrequenz ermöglicht. Bei einer Grundschwingung von 50 Hz ist somit eine Bandbreite von etwa 2 kHz, bei einer Grundschwingung von 400 Hz mindestens eine Bandbreite von 16 kHz erforderlich.

Dieser Forderung steht entgegen, dass die meisten am Markt befindlichen DMM im 1000-V-Bereich lediglich eine Bandbreite bis 2 – 3 kHz gewährleisten. Auch für die DMM der anderen Bereiche werden je nach Hersteller und Produkt sehr unterschiedliche Angaben zur Bandbreite gemacht. Deswegen sollte bei jeder Anschaffung eines DMM kontrolliert werden, ob die angeführte Bedingung (40 x Grundfrequenz) für die vorgesehene Anwendung (Messaufgabe) erfüllt ist. Angaben zu der durch die Frequenzen zusätzlich entstehenden Messungenauigkeit enthält Tafel 1.

3 Beispiele für Fehlmessungen

Ursachen von Fehlmessungen sind insbesondere die falsche Einschätzung der in den Eingangs-/Ausgangsspannungen bzw. -strömen vorhandenen Oberschwingungen durch den Messenden. Sie betreffen vor allem Messungen an Einrichtungen mit elektronischen Convertern (NV-Beleuchtungsanlagen) oder bei Frequenzumrichtern und werden nachfolgend erläutert. Es ist erforderlich, dass sich jede Elektrofachkraft, die an diesen oder anderen ähnlichen Erzeugnissen Messungen vornimmt, über die zur Fehlmessung führenden Zusammenhänge Klarheit verschafft.

3.1 Elektronische Konverter

Bei elektronischen Convertern der Niedervoltbeleuchtung

- ist die Ausgangsspannung mit einer Frequenz zwischen 30 und 40 kHz nicht sinusförmig, sondern hat einen annähernd rechteckigen Verlauf mit einem hohen Oberwellenanteil, und
- es können die Ausgangsspannungen bzw. Ströme nur mit MM gemessen werden, die den Effektivwert unabhängig von der Kurvenform anzeigen (RMS, TRMS AC + DC oder TRMC AC).

Werden Multimeter mit Mittelwert-Gleichrichtung und/oder mit nicht genügenden Frequenzeigenschaften (Bandbreite, Crestfaktor) angewandt, wird das Messergebnis so stark verfälscht, dass keine Aussagen über die tatsächlichen Betriebswerte möglich sind. Es kommt durch unerkannte überhöhte Strombelastungen der zu den Leuchten/Lampen führenden Leitungen zur Brandgefahr.

Einzusetzen sind für diese Anwendungen höherwertige DMM, die in den geeigneten Spannungsbereichen Bandbreiten von einigen hundert kHz ausweisen und somit eine annähernd exakte Messaussage ermöglichen. Zu beachten ist, dass viele am Markt befindlicher DMM wegen ihres unzureichenden Frequenzgangs (max. einige kHz) für diesen Einsatz völlig ungeeignet sind.

3.2 Frequenzumrichter

Bei Frequenzumrichtern zur Steuerung von elektrischen Antrieben reicht der Frequenzbereich der Umrichtersignale

- vom Gleichstrom im Zwischenkreis über
- eine Ausgangsspannung mit der Grundfrequenz von einigen Hz an den ausgangsseitigen Anschlüssen bzw. den Antriebs- oder Motorklemmen und
- die 50 Hz der Stromversorgung bis
- zu einigen kHz der Schaltfrequenz und
- zu Oberschwingungen im 100-kHz-Bereich.

Während Messungen von DC und 50-Hz-Größen mit DMM keine Probleme bereiten, ist beim Messen der Ausgangsspannung Vorsicht geboten. Dem sinusförmigen Stromverlauf steht ein Spannungsverlauf gegenüber, der bedingt durch Impulse mit Schaltfrequenzen bis zu 20 kHz einen entsprechen hohen Oberschwingungsanteil aufweist. Diese Anteile sind jedoch zur Beurteilung der Wirkleistung nicht wesentlich, da für die Erzeugung eines mechanischen Drehmoments des vom Umrichter gespeisten Motors nur die Anteile von Strom und Spannung mit der jeweils gleichen Frequenz wirksam sind. Deswegen führt auch eine Spannungsmessung mit einem DMM, – egal ob RMS oder TRMS AC + DC oder TRMS AC – das lediglich das übliche Frequenzverhalten (Bandbreite > 20 kHz) aufweist, zu fehlerhaften Aussagen. Der Grund dafür ist, dass der Effektivwert der am Motor anliegenden Spannung einschließlich der sehr hohen Oberschwingungsanteile gemessen wird. Eine ordentliche Messaussage ist nur gegeben, wenn bei der Spannungsmessung ein MM verwendet wird, dass durch seine **Tiefpassfunktion** (Bild 3) nur die Anzeige bzw. Bewertung der hier interessierenden Grundschwingung vornimmt.

Literatur

- [1] Bödeker, K.; Kindermann, R.: Sicheres Messen mit Multimetern – Normgerechte Multimeter, ordnungsgemäßes Bedienen. Elektropraktiker, Berlin 59 (2005) 9, S. 702–705.
- [2] Bödeker, K.; Kindermann, R.: Sicheres Messen mit Multimetern – Vergleich der Merkmale, Messen von Strömen und Spannungen. Elektropraktiker, Berlin 59 (2005) 10, S. 782–785.
- [3] Bödeker, K.; Kindermann, R.: Sicheres Messen mit Multimetern – Sicheres und genaues Durchführen von Messungen. Elektropraktiker, Berlin 60 (2006) 1, S. 48–51.
- [4] Bödeker, K.; Kindermann, R.: Sicheres Messen mit Multimetern – Messen von Wechselgrößen, Teil 1. Elektropraktiker, Berlin 61 (2007) 2, S. 128–130. ■