

Messung der Stand-by Leistung und der Energie-Effizienz

Während es üblicherweise kein Problem ist, Leistungen größer als etwa 20 Watt mit hoher Genauigkeit zu messen, können kleine Leistungen Messprobleme hervorrufen. Für einige dieser Schwierigkeiten möchten wir hier Lösungsansätze aufzeigen.

Die Ressourcen fossiler Energieträger nehmen stetig ab, während die Energiepreise ständig steigen. Energiesparen tritt bei der Kaufentscheidung immer mehr in den Fokus der Verbraucher. Ein Bereich mit hohem Energiesparpotential ist der Stand-by Mode elektronischer Konsumgüter, da auch in diesem Betriebszustand Leistung verbraucht wird. In der Summe ist der Energieverbrauch aller Geräte erheblich, auch wenn jedes Einzelgerät nur wenige Watt verbraucht.

Seit einigen Jahren werden die Leistungsaufnahmen, sowohl im Betriebszustand, als auch im Stand-by, optimiert. Standards wie der Energy Star, Normen wie bspw. IEC 62301:2011 und EN 50564:2011 oder auch die EuP Richtlinie (Energy using Products, Richtlinie 2005/32/EG in der Verbindung mit der Verordnung 1275/2008) definieren die maximale Leistungsaufnahme sowie Messaufbauten für die Messung derselben. In Deutschland wurde diese Richtlinie durch das EBP (Energiebetriebene Produkte Gesetz) in nationales Recht umgesetzt.

Die Wahl der Messschaltung

Die Leistungsaufnahme kann prinzipiell mit zwei verschiedenen Schaltungen ermittelt werden.

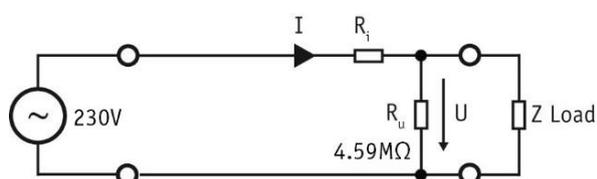


Abb. 1: Spannungsrichtige Messung

Wird empfohlen, wenn der Strom über R_u sehr klein ist im Verhältnis zum Strom durch den Verbraucher Z. Verlustleistung in R_u : 12 mW

Abb. 1 zeigt die spannungsrichtige Messung, während Abb. 2 die stromrichtige Messung darstellt. Für hohe Ströme kommt üblicherweise die Schaltung aus Abb. 1 zur Anwendung.

Auf einen Blick

- Zur Messung der Stand-by Leistung empfiehlt sich die stromrichtige Messung gemäß Abb. 2
- Manuelle Bereichswahl sollte, sofern möglich, gewählt werden
- Strommessung sollte in der Phase (L) durchgeführt werden
- Ein Messgerät mit einer Basisgenauigkeit von 0,5% oder schlechter sollte NICHT verwendet werden, da es die Anforderungen der Normen und der Richtlinie womöglich nicht einhält.

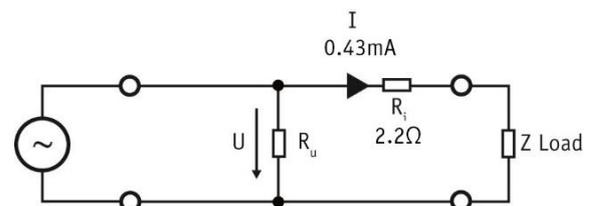


Abb. 2: Stromrichtige Messung

Bevorzugt, wenn der Spannungsabfall über R_i sehr gering ist im Verhältnis zum Spannungsabfall über dem Verbraucher Z. Verlustleistung in R_i : 0,4 μ W

Grund hierfür ist die Verlustleistung im Strommesskanal ($I^2 \cdot R_i$), die mit steigendem Strom stark ansteigt. Die Verlustleistung durch den Spannungsmesskanal berechnet sich mittels U^2/R_u . Bei Netzspannung 230V ist dieser Wert unabhängig von der gemessenen Last. Leistungsmessgeräte weisen üblicherweise einen Innenwiderstand R_u im Bereich von etwa 4,59 M Ω auf. Somit ergibt sich ein Leistungsverlust im Spannungskanal von 0,01 W. Die Verlustleistung im Stromkanal ergibt mehrere Watt (bspw. $R_i=10\text{ m}\Omega$ ergeben 1 W Verlustleistung bei 10 A). Der Messaufbau gemäß Abb. 1 ergibt also einen Messfehler in Höhe von 0,012 W, während der Fehler in der

Schaltung Abb. 2 einen Fehler von $0,4 \mu\text{W}$ ergeben würde.

Bei einer Stand-by Leistung von beispielsweise 100 mW bedeuten 12 mW im Spannungskanal einen Fehler $> 50 \%$. Im Falle eines ohmschen Verbrauchers mit einer Leistungsaufnahme 100 mW , ergäbe sich ein Strom in Höhe von $0,43 \text{ mA}$, und somit eine Verlustleistung im Stromkanal von nur $0,4 \mu\text{W}$ (bei $R_i = 2,2 \Omega$). In diesem Fall empfiehlt sich der Messaufbau wie Abb. 2. Hier reduziert sich der Fehler um einen Faktor größer $30.000!$

Dieser systematische Messfehler könnte prinzipiell korrigiert werden. Der rechnerische Lösungsansatz ist allerdings meist nicht hinreichend, da die genauen Widerstandswerte von R_j und R_U in der Regel nicht bekannt sind. Weiterhin ist es weniger fehleranfällig, wenn man verlässliche Werte ablesen kann ohne diese noch korrigieren zu müssen. Im dargestellten Beispiel entsprechen $0,4 \mu\text{W}$ Leistungsaufnahme des Stromkanals einem Anteil von nur $0,4 \text{ ppm}$ der Wirkleistung in Höhe von 100 mW . Dieser Messfehler kann somit üblicherweise vernachlässigt werden.

Messbereich

Bei einer Messung derart niedriger Ströme gibt es einige Probleme:

- der 5 mA Messbereich eines Messgerätes würde zu weniger als 10% ausgesteuert, wodurch sich ein größerer Messfehler ergäbe.
- auch der Überlastschutz kann zur Herausforderung werden. Beispielsweise kann der Anlaufstrom eines Kühltisch-Kompressors einen Wert von 10 A über mehrere Sekunden erreichen. Diese Stromstärke kann eine Beschädigung des Messgerätes zur Folge haben.

ZES ZIMMER hat für spezielle Anforderungen (kleine Bereiche als 5 mA), externe Shunts entwickelt. Strommesswiderstände der Serie SHxxx-P decken einen Bereich von $150 \mu\text{A}$ bis

500 mA ab. Der Vorteil der Shunts besteht in einer zusätzlichen internen Schutzbeschaltung. Diese ermöglicht selbst extreme Stromüberlastung. Ein $150 \mu\text{A}$ Shunt kann bspw. mit bis zu 20 A Dauerstrom belastet werden! Somit werden teure Überlastschäden am Messgerät vermieden. Aber die Messunsicherheit ist jetzt höher, weil es einen zusätzlichen Fehler gibt.

Einstellung und Wahl des Messbereiches

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Wahl des Messbereiches. Entweder lässt man das Gerät den Messbereich automatisch wählen oder man selektiert den Messbereich manuell. Beides hat sowohl Vor- als auch Nachteile, je nach dem, was das Ziel der Messung ist. Für ein besseres Verständnis soll im folgenden Abschnitt erläutert werden, wie die automatische Messbereichswahl funktioniert:

Während einer Messung steigt der Momentanwert des Stromes über den Maximalwert des eingestellten Messbereiches. Dies wird vom Messgerät erkannt und der Messzyklus wird gestoppt. Die bisher aufgenommenen Messwerte werden nicht weiter verarbeitet, da der Stopp des Messzykluses höchstens zufällig einem Periodenende zusammenfällt. Das Messgerät wechselt in den nächst größeren Messbereich und das Signal muss neu einschwingen, da sich die Verstärkung geändert hat. Dieser Vorgang dauert in der Regel etwa 50 ms . Die in diesem Zeitraum aufgenommenen Werte werden vom System verworfen, da sie ungültig sind. Das System muß sich nun neu synchronisieren und erst dann kann ein neuer Zyklus gestartet werden an dessen Ende neue gültige Werte vorliegen.

Sollten die Messbereiche häufiger umgeschaltet werden müssen, dann wiederholt sich diese Prozedur mehrmals. Es bleibt festzuhalten, dass das Umschalten des Messbereiches zu einer lückenhaften Messung führt. Dies kann sich bei einem gepulsten Strom als kritisch erweisen.

Ein Beispiel:

Wir haben einen geringen Nennstrom, auf welchem in 2-Sekunden-Perioden hohe Stromimpulse liegen. Diese entsprechen dem 1000-fachen Wert des Nennstromes und liegen jeweils für Dauer von 20ms an. Im Auto-Range Modus werden diese Werte nicht erfasst, da das System bei jedem Stromimpuls den Messbereich wechselt. Abhilfe schafft die manuelle Wahl eines entsprechenden Messbereiches, welcher alle auftretenden Stromstärken abdeckt.

Eine etwas andere Situation liegt vor, wenn das Signal für den Messbereich zu klein wird. Wir nehmen eine relativ lange Zykluszeit an. Kurz nach Beginn des Messzyklus schaltet das zu prüfende Gerät in Stand-by und braucht nun so wenig Strom, dass ein Umschalten in einen niedrigeren Messbereich gerechtfertigt ist. Am Ende des Messzyklus kann man anhand der Messwerte aber nur sehen, dass die Spitzenwerte des Signals anfänglich noch so groß waren, dass der aktuelle Messbereich noch der richtige ist. Erst am Ende des nun folgenden Zyklus kann das System erkennen, dass der Messbereich heruntergeschaltet werden darf. Dies geschieht wie bereits oben beschrieben. Es ergeben sich so zwei Zyklen, während denen das Signal mit schlechter Genauigkeit gemessen wird, gefolgt von einer Lücke in der Messwertaufnahme.

Bei einem gleichmäßigen Strom ist es egal welche Methode man verwendet, um den Messbereich einzustellen. Bei gepulsten Strömen und automatischer Messbereichswahl kann es im schlimmsten Fall zu einem völlig unbrauchbaren Messergebnis kommen. Nach Möglichkeit sollte der Messbereich von Hand eingestellt werden. In der Praxis ist eine geringfügig höhere Ungenauigkeit einer lückenden Messwerterfassung meist vorzuziehen.

Es ist zu bedenken, dass Momentanwerte quadratisch in die Effektivwerte eingehen:

$$I_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t=0}^T i(t)^2 dt}$$

Eine 100-fach höhere Amplitude beeinflusst das Ergebnis um den Faktor 10.000!

Wo ist der Strom zu messen

Bei Einphasensystemen empfiehlt es sich üblicherweise den Strom im Neutralleiter zu messen. Dabei bekommt der Stromkanal des Messgerätes kein Gleichtaktsignal, da er quasi auf Erdpotential liegt und dem zufolge auch keine Probleme mit der Gleichtaktunterdrückung haben kann. Ein Gleichtaktsignal kann, insbesondere bei kostengünstigen Messgeräten, zu Problemen führen, da diese meist eine unzureichende Gleichtaktunterdrückung von nur 60dB bis 80dB aufweisen.

Abb. 3 zeigt das übliche Ersatzschaltbild eines Prüflings. Aus EMV Gründen beinhaltet das System, neben dem Verbraucher Z auch C_X - und C_Y -Kapazitäten gegen Erdpotential (PE), wodurch sich faktisch ein 3-Leiter System ergibt. Die einzige Möglichkeit, alle Ströme im System zu erfassen, ist die Strommessung I_L in der Phase. Die Messung von I_N ist nicht ausreichend.

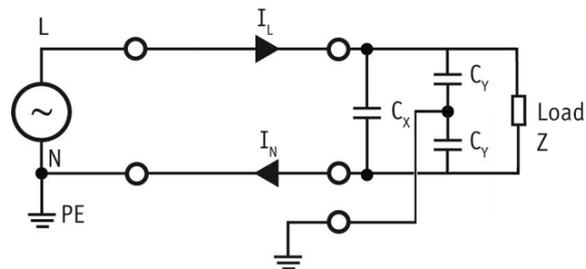


Abb. 3: Wo wird gemessen?

Mit einem Ein-Phasen Messgerät muss der Phasen-Strom I_L gemessen werden, da der Prüfling über drei Leiter angeschlossen ist.

Somit ist bei Stand-by-Messungen der übliche Messaufbau mit Messung des Stromes im Neutralleiter nicht zu empfehlen und man benötigt ein Messgerät mit einer sehr guten Gleichtaktunterdrückung.

Gleichwohl ist es natürlich nicht hinreichend, nur den Strom zu messen und unter Zuhilfenahme des Nominalwertes der Spannung die Leistung zu errechnen. Durch reaktive und nicht-lineare Lasten ist es nicht möglich, die

Leistung nur auf Basis einer Strommessung zu bestimmen, eine echte (Wirk-) Leistungsmessung ist nötig.

Lückenlos

Wie bereits im Abschnitt „Einstellung und Wahl des Messbereiches“ erwähnt, kann eine Messung, welcher kurzzeitige Lücken aufweist, zu unbrauchbaren Ergebnissen führen, speziell wenn der Strom nicht konstant ist. Diese Art von Lücken entsteht Prinzip bedingt bei jedem Messgerät.

Es gibt aber auch Lücken, die man relativ leicht vermeiden kann. Bei vielen preiswerten Messgeräten werden einfache Prozessoren mit geringer Rechenleistung eingesetzt. Diese Messgeräte sammeln die Messwerte über einige Zyklen und speichern diese, um dann die Messergebnisse zu berechnen. Während dieser Kalkulationszeit können keine neuen Werte aufgenommen werden, es kommt zu einer lückenhaften Messwerterfassung.

Dieses Vorgehen entspricht der Arbeitsweise digitaler Oszilloskope.

Häufig wird dieses Verfahren auch noch als „nichtlückende Mittelwerte“ beworben. Die Messung über mehrere Perioden (darüber wird der Mittelwert berechnet) ist zwar lückenlos, dies bedeutet aber nicht, dass keine Lücken zwischen den Mittelwerten auftreten.

Ein weiterer Grund für lückenhafte Messung kann die Kompensation von DC-Fehlern im Stromkanal sein. Jeder Operationsverstärker verursacht einen DC-Offset, welcher als Teil des Messwertes interpretiert wird. Das Messgerät muss diesen DC-Offset kompensieren. Hierfür gibt es zwei Möglichkeiten:

Man erzeugt künstlich Lücken in der Messung, während denen das Messsignal intern von der Signalaufbereitung getrennt und der DC-Offset neu bestimmt wird. Mit diesem werden dann die Messwerte intern korrigiert. Dieses Verfahren kommt häufig bei einfachen Geräten zur Anwendung.

Die bessere Möglichkeit ist, den DC-Offset dauerhaft durch Justierung des Gerätes zu kompensieren. Dies erfordert die Verwendung hochwertiger Komponenten mit geringer Drift. Nur so können Justierungsintervalle gewährleistet werden, die mindestens so lang sind wie die vom Hersteller empfohlenen Kalibrierintervalle. Dieses Feature bieten jedoch nur Geräte im High-End-Bereich.

Einfache Messgeräte müssen Lücken einfügen, um die Effekte der kostengünstigen Bauteile wieder kompensieren zu können.

LMG600



ZES ZIMMER Leistungsmessgeräte der Serien LMG600 arbeiten ohne die eben beschriebenen Lücken:

- die Geräte sind mit hochwertiger und extrem schneller digitaler Signalverarbeitung ausgestattet, die eine Echtzeit-Auswertung der Messwerte erlauben.
- die Geräte verfügen über High End Präzisions-Operations-Verstärker bei denen eine jährliche Justierung ausreichend ist.

Weitere Einstellungen

Obwohl die oben genannten Maßnahmen bereits einen Großteil der potentiellen Fehler eliminieren, bleiben noch immer geringe DC-Anteile sowohl in Strom als auch in Spannung übrig. Diese Anteile resultieren in einer Wirkleistung, welche in normalen Messanwendungen vernachlässigt werden können, bei der Bestimmung der Stand-by Leistung aber einen prozentual hohen Fehler darstellen.

Abhilfe schafft eine reine AC-Kopplung des Messgerätes. Hierdurch werden DC-Anteile als

Fehlerquelle eliminiert und die Genauigkeit der Messergebnisse signifikant erhöht.

Bandbreite

Die Frage, welche Bandbreite für diese Art von Messungen notwendig ist, lässt sich nicht mit einem einfachen Satz beantworten.

Es seien an dieser Stelle daher ein paar Punkte erwähnt, welche zum Erhalt eines aussagekräftigen Messergebnisses beachtet werden sollten: Wirkleistung kann nur von Spannungs- und Stromkomponenten gleicher Frequenz erzeugt werden. Hat man also eine ideale 50Hz Spannungsquelle und möchte nur die Wirkleistung messen, die der Prüfling von dieser aufnimmt, so ist eine Bandbreite von 45...55Hz mehr als ausreichend.

In einem real existierenden Spannungsversorgungssystem wird die Spannung jedoch immer Harmonische aufweisen. Diese können zusammen mit den entsprechenden /*-Stromharmonischen Wirkleistung erzeugen. In der Praxis sollte für solche Anwendungen eine Bandbreite von ca. 2 kHz ausreichen, um die besagte Wirkleistung hinreichend genau zu messen.

Es gibt aber mindestens noch zwei weitere Einflussfaktoren: Einige Geräte haben getaktete Eingangs-Schaltkreise, die zwischen 2 kHz und 50 kHz oder mit noch höheren Frequenzen arbeiten. Deren Ströme können auf den Zuleitungen Spannungsabfälle an den ohmschen und, viel wichtiger noch, induktiven Impedanzen hervorrufen. Hierdurch entstehen wieder gleichfrequente Strom/Spannungs-Paare, die Wirkleistung transportieren könnten.

Der zweite wichtige Einflussfaktor kann die Spannungsquelle selbst sein. Getaktete Leistungsquellen haben oft eine Restwelligkeit auf der Spannung. 1 V bei Frequenzen im Bereich von 40 kHz sind nicht ungewöhnlich. Diese Spannung kann merkliche Ströme treiben, speziell durch Kapazitäten (C_x , C_Y , siehe Abb. 3),

aber auch in einem gewöhnlichen Schalt- netzteil, wenn die Dioden leitend sind. Auch in diesem Fall kann Wirkleistung transportiert werden.

Misst man die Wirkleistung mit der Absicht, Energie von Verbrauchern am Netz einzusparen, dann sollte eine Bandbreite von 2 kHz ausreichend sein. Möchte man jedoch Berechnungen zu thermischen Effekten in Geräten anstellen und misst nennenswerte Leistung im Bereich über 2 kHz (die aber physikalisch vom Gerät aufgenommen wird!) nicht mit, so werden die Berechnungen sinnlos sein.

Es ist in jedem Fall sinnvoll, sofern das Messgerät über eine größere Anzahl von zuschaltbaren Filtern verfügt, festzustellen in welchem Frequenzbereich welche Wirkleistung aufgenommen wird. Zusätzlich ist eine harmonische Analyse sinnvoll, welche die Wirkleistung für jede einzelne Frequenz berechnet.

Genauigkeit

In der Norm EN 50564:2011, Kapitel 4.4.1 findet sich folgende Anforderungen:

$$\text{Maximum Current Ratio (MCR)} = \frac{\text{Crest Factor (CF)}}{\text{Power Factor (PF)}}$$

Zulässige Messunsicherheit für Werte von $\text{MCR} \leq 10$:

- Bei gemessenen Leistungswerten größer oder gleich 1,0 W, muss die maximal zulässige relative Messunsicherheit, die durch das Messinstrument eingeführt wird, kleiner oder gleich 2% des gemessenen Leistungswertes bei einem Vertrauensbereich von 95% sein.
- Bei gemessenen Leistungswerten kleiner als 1,0 W, muss die maximal zulässige absolute Messunsicherheit, die durch das Messinstrument eingeführt wird, kleiner oder gleich 0,02 W bei einem Vertrauensbereich von 95% sein.

Zulässige Messunsicherheit für Werte von $MCR > 10$:

Zuerst muss der Wert von U_{pc} mit der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$U_{pc} = 0,02 * [1 + (0,08 * \{MCR - 10\})]$$

- Bei gemessenen Leistungswerten größer oder gleich 1,0 W, muss die maximal zulässige relative Messunsicherheit, die durch das Messinstrument eingeführt wird, kleiner oder gleich U_{pc} bei einem Vertrauensbereich von 95% sein.
- Bei gemessenen Leistungswerten kleiner als 1,0 W, muss die maximal zulässige absolute Messunsicherheit kleiner oder gleich dem größeren Wert von 0,02 W oder $U_{pc} \times$ gemessener Wert bei einem Vertrauensbereich von 95%.

Die Norm EN 50564:2011 limitiert nur die Unsicherheit des Messgerätes.

Die Richtlinie 2005/32/EG limitiert die komplette Unsicherheit des Messaufbaus. Bei Leistungsmessungen im Bereich ab 0,50 W darf die Messunsicherheit bei einem Vertrauensbereich von 95% höchstens 2% betragen. Bei Leistungsmessungen im Bereich unter 0,50 W darf die Messunsicherheit bei einem Vertrauensbereich von 95% höchstens 0,01 W betragen.

Hier bei ZES ZIMMER produzieren wir das nachfolgende Leistungsmessgerät auf dem Markt, das LMG600, und geben Messunsicherheiten für üblicherweise auftretende Gerätekonfigurationen an.

Das LMG600 bietet drei verschiedene Kanaltypen an (A1, B1 und C1 Kanal), um dem Anwender die Auswahl des richtigen Werkzeuges für die jeweilige Aufgabe zu ermöglichen.

Die Standard-Unsicherheit für Leistungsmessungen bei 50 Hz ist spezifiziert mit:

A1 Channel:

$$\Delta P = \pm (0,015\% \text{ des Messwertes} + 0,01\% \text{ des Messbereichsendwertes})$$

B1 Channel:

$$\Delta P = \pm (0,05\% \text{ des Messwertes} + 0,02\% \text{ des Messbereichsendwertes})$$

C1 Channel:

$$\Delta P = \pm (0,03\% \text{ des Messwertes} + 0,01\% \text{ des Messbereichsendwertes}) +$$

$$30 \frac{\mu A}{A^2} * U_{trms} * I_{trms}^2$$

Beispiel 1a

Messobjekt sei ein Verbraucher mit einer Leistungsaufnahme von 10 W bei einem Leistungsfaktor von 1,0 (also rein ohmsch) und einem Crestfaktor von 1,414. Der Strom beträgt 43,48 mA mit einem Spitzenwert von 61,49 mA. Wir verwenden einen Bereich von 40 mA Nominalwert und einem Spitzenwert von 112 mA.

$$\Delta P_{A1} = \pm 0,006 \text{ W}$$

$$\Delta P_{B1} = \pm 0,014 \text{ W}$$

$$\Delta P_{C1} = \pm 0,008 \text{ W}$$

Es ergibt sich ein relativer Fehler von 0,06% (A1-Kanal), 0,14% (B1-Kanal) und 0,08% (C1-Kanal).

- ✓ MCR ist 1,414 und der gemessene Leistungswert ist größer 1 W. Der Fehler ist weit unterhalb der von der Norm geforderten 2%.
- ✓ Die Anforderungen der Richtlinien werden ebenfalls erfüllt, da das Messgerät maximal nur 7% (beim B1-Kanal) der erlaubten Messunsicherheit ausnutzt.

Beispiel 1b

Messobjekt sei nun ein Verbraucher mit einer Leistungsaufnahme von 10 W bei einem Leistungsfaktor von 0,3 und einem Crestfaktor von 3, was einem typischen Schaltnetzteil dieser Leistungsklasse entspricht. Der Strom beträgt 144,9 mA mit einem Spitzenwert von 434,7 mA. Wir wählen den Messbereich mit 150 mA Nominalwert und einem Spitzenwert von 469 mA.

$$\Delta P_{A1} = \pm 0,020 \text{ W}$$

$$\Delta P_{B1} = \pm 0,043 \text{ W}$$

$$\Delta P_{C1} = \pm 0,022 \text{ W}$$

Es ergibt sich ein relativer Fehler von 0,2% (A1-Kanal), 0,43% (B1-Kanal) und 0,22% (C1-Kanal).

- ✓ MCR ist 10 und der gemessene Leistungswert ist größer 1 W. Der Fehler ist weit unterhalb der von der Norm geforderten 2%.
- ✓ Die Anforderungen der Richtlinien werden ebenfalls erfüllt, da das Messgerät maximal 21,5% (beim B1-Kanal) der erlaubten Messunsicherheit ausnutzt.

Diese beiden Beispiele verwenden relativ hohe Leistungswerte (10 W) und werden somit auch noch von preiswerten Messgeräten mit einer Grundgenauigkeit von 0,5 % erfüllt. Nun setzen wir die Leistung auf den Grenzwert von 0,5 W herab:

Beispiel 2

Vermessen wird nun ein Verbraucher mit einer Leistungsaufnahme von 0,5 W, Leistungsfaktor von 0,1 und einem Crestfaktor von 6. Diese Werte entsprechen denen eines typischen Schaltnetzteils dieser Leistungsklasse. Der Strom beträgt 21,74 mA mit einem Spitzenwert von 130,44 mA. Wir wählen den Messbereich mit 80 mA Nominalwert und einem Spitzenwert von 224 mA.

$$\Delta P_{A1} = \pm 9,035 \text{ mW}$$

$$\Delta P_{B1} = \pm 18,170 \text{ mW}$$

$$\Delta P_{C1} = \pm 9,113 \text{ mW}$$

Es ergibt sich ein relativer Fehler von 1,807% (beim A1-Kanal), 3,634% (beim B1-Kanal) und 1,822% (beim C1-Kanal).

- ✓ MCR ist 60, U_{pc} ist 0,1 und $U_{pc} \cdot 0,5 \text{ W}$ ist 0,05 W. Die absolute Messunsicherheit muss kleiner oder gleich 0,05 W. Der Fehler ist unterhalb der von der Norm geforderten 0,05 W.
- ✓ Die Messunsicherheit der A1 und C1 Kanäle ist kleiner als 2% (Die Anforderungen der Richtlinien). Aber, die Anforderungen der Richtlinien werden nicht beim B1-Kanal erfüllt. Das ist der Grund, warum wir den B1-Kanal für kritischen Bedingungen und Anwendungen nicht empfehlen.

Es ist offensichtlich, dass kostengünstigere Messgeräte diese Anforderung nicht mehr erfüllen können!

Zu dem ist zu bedenken, dass die Richtlinie 2005/32/EG nicht die Unsicherheit des Messgerätes limitiert, sondern die komplette Unsicherheit des Messaufbaus.

Wir kommen damit zu einer provokanten These:

Kein Messgerät kann die Norm immer erfüllen!

In den bisher gezeigten Beispielen wurde von durchaus marktüblichen Werten ausgegangen: Leistungsfaktor 0,1 und Crestfaktor 6. Aktuelle „0 W PCs“ erreichen aber bereits heute durchaus Crestfaktoren von 14! Was technisch machbar ist oder möglicherweise sogar schon irgendwo praktisch existiert, ist nur schwer abzuschätzen. Klar ist aber, dass ein Prüfling mit Leistungsfaktor 0,01 und Crestfaktor 100 von keinem heute auf dem Markt befindlichen Gerät mit den geforderten 2% Messunsicherheit gemessen werden könnte.

Es ist also unseriös, wenn Hersteller mit einer „Eignung“ oder „Zertifizierung“ ihrer Geräte zur Erfüllung der EN 50564:2011 werben, da dazu,

wie eben gezeigt, eine pauschale Aussage nicht möglich ist!

Beispiele:

- **Hersteller „Y“** kommt in einer eigenen Fehlerrechnung unter nahezu idealen Bedingungen (Messbereich voll ausgeregt, Crestfaktor < 3 , ..) bereits auf eine Ausnutzung der Unsicherheit von 70%, alleine durch das Messgerät. Dieses Messgerät ist in der Praxis also kaum einsetzbar, da man die angenommenen Bedingungen selten vorfinden wird. Dieses Produkt wird immerhin damit beworben, dass die Eignung zur Standby-Leistungsmessung zertifiziert sei.
- Auch **„Hersteller V“** kommt in einer eigenen Fehlerrechnung unter unrealistische Bedingungen (Leistungsfaktor 1, idealer externer Shunt,...) bereits auf eine Ausnutzung der Unsicherheit von 85%, alleine durch das Messgerät. Somit lässt sich auch dieses Messgerät in der Praxis kaum einsetzen. Trotzdem garantiert der Hersteller für dieses Produkt die Einhaltung der Forderungen der EN 50564:2011, wenn das Handbuch und einige technische Hinweise beachtet werden.

Solche - unter unrealistischen Bedingungen erteilten - Zertifikate und Garantien können nur bis zur ersten Fehlerrechnung an einem echten Prüfling über die Thematik hinwegtäuschen. Spätestens dann bezahlt man Lehrgeld, wenn sich das Messgerät als ungeeignet herausstellt!

Um es hier nochmals ganz klar zu sagen: Auch wir bei ZES ZIMMER sind nicht in der Lage sein, alle denkbaren Prüflinge hinreichend genau zu vermessen!

Aber wir verstecken uns nicht hinter wertlosen Garantien und Zertifikaten. Seriöse Zertifikate und Garantien müssen ganz klar die Grenzen der Geräte aufzeigen, da allgemeine Aussagen nicht möglich sind, wie eben gezeigt wurde. Das hat aber zur Folge, dass sich ein Anwender nicht

mehr auf eine Zertifizierung eines Gerätes verlassen kann, sondern sich mit den darin enthaltenen Einschränkungen beschäftigen muss. Daher nehmen wir die obigen Beispiele zum Anlass dafür, auch unsere Unsicherheiten anzugeben, damit wir vergleichbar sind:

- ✓ Beim **„Y-Beispiel“** (230 V, 20 mA, $CF < 3$, 0,46 W) benutzen wir einen Messbereich mit Nennwert 20 mA und Spitzenwert 56 mA. Es ergibt sich eine Unsicherheit von 0,0023 W oder 0,502% (beim A1-Kanal) was einer Ausnutzung der Normvorgaben von nur 11,5% entspricht! Das Gerät ist also grob gerechnet siebenmal so genau wie der Mitbewerber „Y“.
- ✓ Beim **„V-Beispiel“** (230 V, 4,3 mA, $CF < 3$, $PF = 1$, 1 W) verwenden wir einen Messbereich mit Nennwert 5 mA und Spitzenwert 14 mA. Es ergibt sich eine Unsicherheit von 0,071% (beim A1-Kanal) was einer Ausnutzung der Normvorgaben von NUR 3,55% entspricht! Grob gerechnet ist unser Gerät viele Male genauer wie der Mitbewerber „V“. Und ganz ohne Zertifikate und Garantien.

Kann man testen, ob ein Messgerät für diese Art von Messung geeignet ist?

Ja und Nein!

Ja, man kann natürlich testen, ob ein Gerät zum Zeitpunkt der Überprüfung einen hinreichenden Messfehler hatte. Das ist eine übliche Kalibrierung. Diese ist aber nicht wirklich relevant, da auch ein Messgerät mit 10% spezifizierter Messunsicherheit bei der Kalibrierung zufällig mit 0% abschneiden kann!

Nein, man kann es prinzipiell nicht testen, da man die Spezifikationen des Herstellers genau beachten sollte. Jeder Hersteller ist bemüht, seine Geräte so genau wie möglich zu spezifizieren. Andererseits muss er dafür sorgen, dass in der spezifizierten Zeit, typisch 12 Monate, die Spezifikation auch eingehalten wird, um Gewährleistungsfällen vorzubeugen. In

dieser Zeit kann viel passieren, was die Genauigkeit beeinflusst, aber nicht bei einer einmaligen Kalibrierung bemerkt wird: Drift, Alterung, chemische Veränderungen.... Dies ist aber alles schon in den Herstellerspezifikationen berücksichtigt. Wenn man also ein 10% Messgerät mit 0% Fehler von der Kalibrierung zurückbekommen hat, kann man darauf wetten, dass dieses Gerät nach einem Jahr mehr als 2% hat. Wäre es für eine bessere Spezifikation gebaut worden, dann wäre es auch besser spezifiziert!

Es ist also ebenso wichtig auf eine gute Spezifikation zu achten, wie auf eine gültige Kalibrierung. Eine Kalibrierung mit gutem Ergebnis ist aber niemals ein Ersatz für eine schlechte Spezifikation.

Wie soll man dann überhaupt ein volles Prüfsystem aufbauen?

Die provokative These im letzten Abschnitt, dass kein Messgerät die Norm immer erfüllen kann, ist leider eine Tatsache, trotzdem gibt es natürlich Möglichkeiten, entsprechende Tests sinn-voll durchzuführen:

- Man sollte ein möglichst präzises Messgerät verwenden. Ein 0,025% Messgerät wird mehr „exotische“ Prüflinge vermessen können, als ein 0,2% Messgerät!
- Man sollte zu jedem Messwert die (Messgeräte-)Unsicherheit berechnen und somit die Aussagekraft der gewonnen Ergebnisse prüfen. Nur so kann man die tatsächlichen Grenzen eines Messgerätes ausloten.

Beachtet man diese beiden Punkte, so ist immer eine sichere Aussage über die Messung möglich. Dies ist extrem wichtig, da man seine Messergebnisse unter Umständen gegenüber einer Marktaufsicht vertreten muss und bei Verletzung von Grenzwerten empfindliche Strafen drohen können.

Weitere Einflussfaktoren

Die EU-Direktive fordern ganz klar, dass die Messergebnisse eine Unsicherheit von 2% bei einem Vertrauensniveau von 95% einhalten müssen. In dieser Unsicherheit ist also nicht nur die Geräte-Messunsicherheit enthalten, sondern alle weiteren Einflussfaktoren. Es ist auch extrem wichtig, das so zu fordern, damit die Reproduzierbarkeit der Messungen gewährleistet ist.

Insbesondere sollten die eigenen Messergebnisse durch eine Marktaufsicht reproduziert werden können, um Strafen zu vermeiden. In diesem Zusammenhang ist auch zu bedenken, dass die einzelnen Geräte einer Serie in der Produktion streuen werden.

Neben den üblichen Einflüssen Temperatur, Wind, Luftfeuchtigkeit... sind folgende Punkte besonders zu beachten:

Die unter dem Punkt Bandbreite beschriebenen Strom- und Spannungs-harmonischen können beispielsweise durchaus einen signifikanten Einfluss haben. Eine einfache Messung am Netz hat gezeigt, dass die Summe der Wirkleistungen, welche speziell durch die 3., 5. und 7. Harmonischen auftreten, etwa 2% der Grundschwingungswirkleistung bei diesem Prüfling ausgemacht hat.

Die total harmonic Distortion THD war dabei mit 3% zwar größer als in der EN 50564:2011erlaubt (2%), aber auch bei kleinerer THD sind solche Fehler denkbar, da es natürlich sehr stark auf die Größe einer einzelnen Spannungsharmonischen ankommt, ebenso wie auf deren Phasenverschiebung zur jeweiligen Stromharmonischen. Diese 2% könnten somit auch problemlos überschritten werden - alleine die Spannungsquelle kann das Messergebnis schon um 2% unsicher machen, wobei das Messgerät noch überhaupt nicht berücksichtigt wurde.

Aus diesem Grunde ist zur Einhaltung der vorgeschriebenen Unsicherheit eine Quelle mit möglichst kleiner THD auszuwählen, um diesen Fehler zu minimieren. Man kann die Verteilung

der Wirkleistung auf die verschiedenen Harmonischen auch messtechnisch einfach erfassen, indem man z.B. ein Messgerät wie das LMG600 benutzt, welches die Leistungsverteilung erfasst. Somit wird aus der Schätzung dieser Messunsicherheit Gewissheit.

Auch die Spannung kann, je nach technischem Aufbau des Prüflings, einen nennenswerten Einfluss haben: Die Werte bei +1% Abweichung zur Nennspannung könnten sich so weit von den Werten bei -1% Abweichung unterscheiden, dass im Extremfall die 2% Messunsicherheit voll ausgeschöpft sind.

Resümee

Eine ordnungsgemäß durchgeführte Stand-by Messung ist weniger trivial als sie auf den ersten Blick vermuten lässt. Neben dem richtigen Messaufbau und der Wahl der richtigen Einstellungen durch den Anwender stellt die Messung durchaus hohe Anforderungen an das Messgerät. Einige Stolpersteine können beim Durchführen einer Stand-by Messung auftreten, weitere bei der Messung der Energie-Effizienz. Viele lassen sich durch Anwendung von

Grundwissen der Elektrotechnik lösen, auch wenn dies selten gebraucht wird und dadurch leicht in Vergessenheit gerät.

Zur Lösung anderer Probleme ist ein recht tiefes Verständnis für die Arbeitsweise der Messgeräte notwendig.

Dieser Applikationsbericht sollte die notwendigen Informationen geliefert haben.

Mit einem sorgfältig ausgewählten und richtig ausgestatteten Messplatz können die Messungen verlässlich durchgeführt werden.

Notwendige Ausstattung

Es folgt eine Auflistung der notwendigen Mess-Ausstattung, um die genannten Messungen durchführen zu können. Weitere Geräteoptionen können, in Abhängigkeit der individuellen Anforderungen, notwendig sein.

- Messgeräte: LMG600 Präzisions-Leistungsmessgeräte
- Spannungsquelle: ZES ZIMMER 801RP (einphasig, 0,8 kVA)