

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 Probleme 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. EN 62301 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.

Die Wahl der Messschaltung

Die Leistungsaufnahme kann prinzipiell mittels zweier verschiedener Schaltungen ermittelt werden. Abb. 1 zeigt die spannungsrichtige Messung, während Abb. 2 die stromrichtige Messung darstellt.

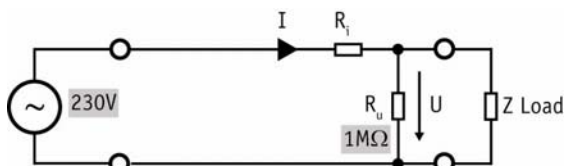


Abb. 1: Spannungsrichtige Messung.
Bevorzugt, wenn der Strom über R_u sehr klein ist im Verhältnis zum Strom durch den Verbraucher Z.
Verlustleistung in R_u : **53mW**

Für hohe Ströme kommt üblicherweise die Schaltung aus Abb. 1 zur Anwendung. 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 etwas $1M\Omega$ auf. Somit ergibt sich ein Leistungsverlust im Spannungskanal von 0,053W. Die Verlustleistung im Stromkanal ergibt mehrere Watt (bspw. $R_i=10m\Omega$ ergeben 1W Verlustleistung bei 10A). Der Messaufbau gemäß Abb. 1 ergibt also einen Messfehler in Höhe von 0,053W während der Fehler in der Schaltung gem. Abb. 2 einen Fehler von 1W ergeben würde.

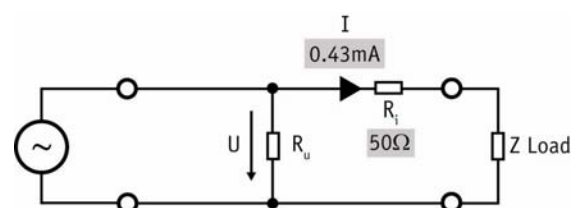


Abb. 2: Stromrichtige Messung.
Bevorzugt, wenn der Spannungsabfall über R_i sehr gering ist im Verhältnis zum Spannungsabfall über dem Verbraucher Z.
Verlustleistung in R_i : **9.2μW**

Bei einer Stand-by Leistung von bspw. 100mW würden 0,053W im Spannungskanal einen Fehler >50% bedeuten. Im Falle eines ohmschen Verbrauchers mit einer Leistungsaufnahme 100mW, ergäbe sich ein Strom in Höhe von 0,43mA, und somit eine Verlustleistung im Stromkanal von nur 9,2µW (bei $R_i=50\Omega$). In diesem Fall empfiehlt sich der Messaufbau gem. Abb. 2. Hier reduziert sich der Fehler um einen Faktor größer 5.000!

Dieser systematische Messfehler kann prinzipiell korrigiert werden. Der rechnerische Lösungsansatz ist allerdings meist nicht hinreichend, da die genauen Widerstandswerte von R_i 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 9,2µW Leistungsaufnahme des Stromkanals einem Anteil von nur 92ppm der Wirkleistung in Höhe von 100mW. Dieser Messfehler kann somit üblicherweise vernachlässigt werden.

Messbereich

Bei einer Messung derart niedriger Ströme (0,43mA) ist es üblicherweise nicht sinnvoll, die im Messgerät eingebauten direkten Messbereiche zu verwenden. Der 5mA Messbereich eines Messgerätes würde zu weniger als 10% ausgesteuert, wodurch sich ein größerer Messfehler ergeben würde.

Auch der Überlastschutz kann zur Herausforderung werden. Beispielsweise kann der Anlaufstrom eines Kältschrank-Kompressors einen Wert von 10A über mehrere Sekunden erreichen. Diese Stromstärke kann eine Beschädigung des Messgerätes zur Folge haben.

ZES ZIMMER® hat für diese Anforderungen spezielle, externe Shunts entwickelt. Strommesswiderstände der Serie SHxxx-P decken einen Bereich von 150µA bis 500mA ab. Der Vorteil der Shunts besteht in einer internen Schutzbeschaltung. Diese ermöglicht selbst extreme Stromüberlastung. Ein 150µA Shunt kann bspw. mit bis zu 20A Dauerstrom belastet werden! Somit werden teure Überlastschäden am Messgerät vermieden.

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 Messzyklusses i.d.R. nicht mit 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 50ms. 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 über eine 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 Zykluszeit von 500ms an. Nach 40ms im laufenden Zyklus fällt das Signal auf einen Wert, welcher ein Umschalten in einen niedrigeren Messbereich rechtfertigen würde. Am Ende des Messzyklus kann man anhand der Messwerte aber nur sehen, dass die Spitzenwerte des Signals so groß waren, dass der aktuelle Messbereich 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 bis zu 2 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 Messwertaufnahme meist vorzuziehen.

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

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

Eine 100 fach höhere Amplitude beeinflusst das Ergebnis um dem 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.

Somit ist bei Stand-by Messungen der übliche Messaufbau mit Messung des Stromes im Neutralleiter nicht zu empfehlen und man benötigt ein Mess-

gerät mit einer sehr guten Gleich-
taktunterdrückung.

Gleichwohl ist es natürlich nicht
hinreichend, nur den Strom zu messen
und unter Zuhilfenahme des Nominal-
wertes der Spannung die Leistung zu
errechnen. Durch reaktive und nicht-
lineare Lasten ist es nicht möglich, die
Leistung nur auf Basis einer Strom-
messung zu bestimmen, eine echte
(Wirk-)Leistungsmessung ist nötig.

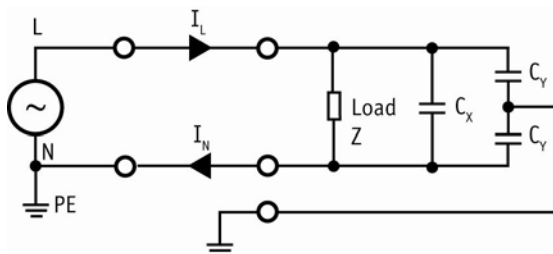


Abb. 3: Wo wird gemessen?

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

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
entstehen prinzipbedingt 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 Mess-
ergebnisse zu berechnen. Während dieser
Kalkulationszeit können keine neuen
Werte aufgenommen werden, es kommt zu
einer lückenhaften Messwerterfassung.

Dieses Vorgehen entspricht der Arbeits-
weise 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 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 Ver-
wendung hochwertiger Komponenten mit
geringer Drift. Nur so können Justierungs-
intervalle 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 kosten-
günstigen Bauteile wieder kompensieren
zu können.

ZES ZIMMER® Leistungsmessgeräte der Serien LMG95, LMG450 und LMG500 arbeiten ohne die eben beschriebenen Lücken:

- Die Geräte sind mit hochwertigen und extrem schnellen DSP's ausgestattet, die eine Echtzeit-Auswertung der Messwerte erlauben
- Die Geräte verfügen über High End Präzisions-Operations-Verstärker bei denen eine jährliche Justierung ausreichend ist



LMG95



LMG450



LMG500

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 einzelnen Satz beantworten, den sie hängt einerseits davon ab, was man messen möchte andererseits von der Intention die einen zu dieser Messung veranlasst.

Da es keine allumfassende Antwort gibt seien an dieser Stelle ein paar Punkte erwähnt, die zum Erhalt eines aussagekräftigen Messergebnisses betrachtet 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 Spannungsversorgungs-System wird die Spannung immer Harmonische aufweisen. Diese können zusammen mit den entsprechenden Stromharmonischen Wirkleistung erzeugen. In der Praxis sollte für solche Anwendungen eine Bandbreite von ca. 2kHz 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 2kHz und 50kHz oder sogar darüber operieren. 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 selber sein. Gerade getaktete Leistungsquellen können eine Restwelligkeit auf der Spannung aufweisen. Spannungen von 1V bei Frequenzen im Bereich von 40kHz sind nicht ungewöhnlich. Diese Spannung kann merkliche Ströme treiben, speziell durch Kapazitäten (C_x , C_v , siehe Abb. 3), aber auch in einem gewöhnlichen Schaltenteil, 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 2kHz ausreichend sein. Möchte man jedoch Berechnungen zu thermischen Effekten in Geräten anstellen und misst nennenswerte Leistung im Bereich über 2kHz (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. Eine weitere nützliche Analysemöglichkeit ist eine harmonische Analyse, welche zusätzlich die Wirkleistung für jede einzelne Frequenz berechnet.

Genauigkeit

In der Norm EN 62301, Annex B.5 findet sich folgender Satz:

“Generally, a digital power analyser with a fundamental power accuracy of 0,5 % or better will comfortably meet the instrument specification and measurement uncertainty required in this standard.”

Vordergründig erscheint dies von Vorteil zu sein, da viele kostengünstige Messgeräte diesen Anforderungen entsprechen.

Allerdings handelt es sich hierbei nur um einen informativen Anhang der Norm. Die tatsächlichen Anforderungen definiert Kapitel 4.5:

“Measurements of power of 0,5 W or greater shall be made with an uncertainty of less than or equal to 2 % at the 95 % confidence level. Measurements of power of less than 0,5 W shall be made with an

uncertainty of less than or equal to 0,01 W at the 95 % confidence level.”

Zunächst scheinen diese beiden Auszüge kein Widerspruch darzustellen, aber der Teufel steckt im Detail.

Wir verwenden das wohl genaueste 1-Phasen-Leistungsmessgerät auf dem Markt, das LMG95 von ZES ZIMMER®, und berechnen die Fehler für üblicherweise auftretende Gerätekonfigurationen.

Die Standardessunsicherheit für Leistungsmessungen bei 50Hz ist spezifiziert mit:

$$\Delta P = \pm(0,015\% \text{ vom Messwert} + 0,01\% \text{ vom Messbereichsendwert})$$

Unter Berücksichtigung der Messunsicherheit des Shunts SHxxx-P ergibt sich eine Gesamtunsicherheit von

$$\Delta P = \pm(0,165\% \text{ vom Messwert} + 0,01\% \text{ vom Messbereichsendwert})$$

was etwa 1/3 der Empfehlungen der Norm entspricht.

Beispiel 1a

Messobjekt sei ein Verbraucher mit einer Leistungsaufnahme von 10W bei einem Leistungsfaktor von 1,0 (also rein ohmisch). Der Strom beträgt 43,48mA. Wir verwenden einen Bereich von 50mA Nominalwert und einem Spitzenwert von 156,3mA.

$$\Delta P = \pm 0,023W$$

Es ergibt sich ein relativer Fehler von 0,23%, also weit unterhalb der von der Norm geforderten 2%.

Beispiel 1b

Messobjekt sei nun ein Verbraucher mit einer Leistungsaufnahme von 10W bei einem Leistungsfaktor von 0,3 und einem Crestfaktor von 3, was einem typischen Schaltnetzteil dieser Leistungsklasse entspricht. Der Strom beträgt 144,9mA mit einem Spitzenwert von 435mA. Wir wählen den Messbereich mit 250mA Nominalwert und einem Spitzenwert von 781,5mA.

$$\Delta P = \pm 0,048W$$

Es ergibt sich ein relativer Fehler von 0,48%, also weit unterhalb der von der Norm geforderten 2%.

Diese beiden Beispiele basieren auf einem relativ hohen Leistungswert (10W) und sollten somit auch noch von preiswerten Messgeräten mit einer Grundgenauigkeit von 0,5% erfüllt werden.

Nun setzen wir die Leistung auf den Grenzwert von 0,5W:

Beispiel 2

Vermessen wird nun ein Verbraucher mit einer Leistungsaufnahme von 0,5W, Leistungsfaktor von 0,1 und einem Crestfaktor von 6. Diese Werte entsprechen denen eines typischen Schaltnetzteils dieser Leistungsklasse. Der Strom beträgt 21,74mA mit einem Spitzenwert von 130,43mA. Wir wählen den Messbereich mit 50mA Nominalwert und einem Spitzenwert von 156,3mA.

$$\Delta P = \pm 7,077mW$$

Es ergibt sich ein relativer Fehler von 1,42%, also unterhalb der von der Norm geforderten 2%. Ferner ist der absolute Fehler unterhalb 10mW.

Beispiel 2 zeigt, dass das Präzisions-Leistungsmessgerät der Serie LMG95 bereits rund 70% des absoluten Fehlers nutzt. Es ist offensichtlich, dass kostengünstigere Messgeräte diese Anforderung nicht mehr „komfortabel“ erfüllen können! Zu dem ist zu bedenken, dass die Norm EN 62301 nicht die Unsicherheit des Messgerätes limitiert, sondern die komplette Unsicherheit des Messaufbaus.

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 „0W PCs“ erreichen aber bereits heute durchaus Crestfaktoren von 14! Was technisch machbar ist oder sogar 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 62301 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 ausgereicht, 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 62301, 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 der Hersteller Z wird nicht in der Lage sein, alle denkbaren Prüflingen 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 (230V, 20mA, $CF < 3$, 0.46W) benutzen wir einen Messbereich mit Nennwert 24mA und Spitzenwert 78.12mA. Es ergibt sich eine Unsicherheit von 0.84% was einer Ausnutzung der Normvorgaben von nur 42% entspricht!

Das Gerät ist also grob gerechnet doppelt so genau wie der Mitbewerber bzw. die Anforderungen der Norm.

Beim V Beispiel (230V, 4.3mA, $CF < 3$, 1W) verwenden wir einen Messbereich mit Nennwert 5mA und Spitzenwert 15.63mA. Im „Worst-Case“ kommt man auf eine Unsicherheit von 0.23% was 12% der Normvorgaben entspricht. Grob gerechnet ist unser Gerät also siebenmal genauer wie die Normanforderungen bzw. der Mitbewerber. Und ganz ohne Zertifikate und Garantien.

Wie soll man dann ein überhaupt ein sinnvolles Prüfsystem aufbauen?

Die provokative Aussage im letzten Abschnitt, dass kein Messgerät die Norm immer erfüllen kann, ist leider eine Tatsache, trotzdem gibt es natürlich Möglichkeiten, entsprechende Tests sinnvoll 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 gewonnenen 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

Sowohl die EU-Direktive als auch die EN 62301 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. Immerhin sollten die eigenen Messergebnisse durch eine Marktaufsicht ebenfalls erzielt werden, 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 Spannungsharmonischen 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 Grundschriftleistung bei diesem Prüfling ausgemacht hat. Der THD war dabei mit 3% zwar größer als in der EN 62301 erlaubt (2%), aber auch bei kleinerem 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 kleinem 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. einen Harmonischen Messmodus benutzt, in dem die Leistungsverteilung erfasst wird. 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.

Resumée

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 Messequipment 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

- LMG95 mit LMG-SHxxx-P **oder**
- LMG95 mit modifizierten Stromeingängen **oder**
- LMG500 mit LMG-SHxxx-P

Verfasser

Dipl.-Ing. Thomas Jäckle
Entwicklung und Applikation

Auf einen Blick

- **Zur Messung der Stand-by Leistung empfiehlt sich die stromrichtige Messung gemäß Abb. 2**
- **Ein externer Shunt sollte eingesetzt werden, um bessere Skalierung und Geräteschutz zu erreichen**
- **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 womöglich nicht einhält.**