

Ungewöhnliche und unerwartete Messfehler (1)

Stefan Fassbinder

Die Messgeräte werden zusehends komplizierter, was auch dazu führen kann, dass man sich mit ihnen »vermisst«. Welche Fehlmessungen vorkommen können und wie man sie vermeidet, erläutert dieser Beitrag.

Der Einsatz von Echt-Effektivwert-Messgeräten erweist sich heute als sehr wichtig. Doch diese sind nicht mit Effektivwert-Messgeräten gleichbedeutend. Das »Effektivwert-Messgerät« erfasst den Betrags-Mittelwert eines Stroms oder einer Spannung, versieht diesen mit einem Aufschlag von 11 % und bietet diesen Wert als Effektivwert an. Für sinusförmig verlaufende Spannungen und Ströme stimmt diese Vorgehensweise; nur verlaufen heute vor allem die Ströme meist bei Weitem nicht mehr sinusförmig.

Um unabhängig von der Kurvenform stets zum Effektivwert zu gelangen, muss man ein Echt-Effektivwert-Messgerät nutzen, das keinen fixen Faktor einfügt, sondern die Kurve in möglichst viele Einzelwerte aufteilt, diese quadriert, die Quadrate addiert und aus der Summe wieder die Wurzel zieht. Nur so gelangt man bei jeder Kurvenform wirklich zum Effektivwert – im Rahmen der Rechengenauigkeit, die von der Anzahl Einzelwerte pro Periode abhängt.

Der Unterschied könne bis zu 40 % ausmachen, haben Fachleute festgestellt [1]. Allerdings können die Werte noch wesentlich weiter voneinander abweichen (siehe unten). Vermutlich war die Sinuskurve der Netzspannung bei der Messung bereits durch die vielen Gleichrichterlasten verflacht. Dies mindert den Effekt sehr stark, senkt also den Effektivstrom jeder einzelnen Gleichrichterlast, während der Betragsmittelwert gleich bleibt.

Spannung zwischen Außenleitern

Nun kann man den umgekehrten Effekt erreichen, indem man die Spannung zwi-

Dipl.-Ing. Stefan Fassbinder,
Deutsches Kupferinstitut, Düsseldorf



Bild 1: Eingangsstrom eines Laptop-Netzteils, gemessen mit verschiedenen Messgeräten, einmal ohne ...

schen zwei Außenleitern von 400 V auf 230 V herunter transformiert. Man erhält eine Kurvenform, die um ungefähr so viel zu »spitz« ist, wie die Original-Strangspannung zwischen einem Außen- und dem Neutralleiter zu »flach« ist (Erläuterungen hierzu: siehe [2]). Der Bildschirm des PC auf Bild 1 und 2 jeweils rechts zeigt eine solche Messung: Oben die Netzspannung mit der heute normalen, verflachenden Verzerrung, und unten der umgekehrte, überspitzende Verlauf.

Nun wollen wir einmal sehen, wie der Unterschied zwischen Effektivwert und »Effektivwert« des Stroms an dieser unteren Spannung aussieht. In Bild 1 wurde der Eingangsstrom eines typischen Laptop-Netzteils mit einem Echt-Effektivwert-Messgerät (knappe 75 €) und mit einem solchen gemessen, das nur bei Sinusstrom den Effektivwert anzeigt (gute 40 €). Im Verhältnis 2:9 stehen hier die Anzeigewerte ein- und des selben Stroms, also 78 % zu wenig statt »nur« 40 %. Ein heute doch eher billig vermeidbarer Messfehler im Vergleich zu den möglichen Folgekosten.

Dennoch bleibt die Frage offen, ob hier das Mittelwert-Messgerät zu wenig oder das Echt-Effektivwert-Messgerät zu viel anzeigt. Die Lösung: Der Transformator war für diese Aufgabe stark überdimensioniert ausgewählt worden, damit der Laststrom möglichst wenig Einfluss auf die Ausgangsspannung hat. Die Wahl fiel auf einen Ringkern-Transformator von 2 kVA. Wenn man versucht, den ohne Vorkehrungen ans Netz zu schalten, löst er in zwei von drei Fäl-

len die beiden Sicherungs-Automaten B 16 A aus. So wird provisorisch ein Widerstand von etwa 160 Ω vor die Primärwicklung geschaltet (der in Bild 2 sichtbare Widerstand hat einen Wert von nur 13 Ω , liegt hinter dem vorgeschalteten Transformator und dient nur dokumentarischen Zwecken, weil der tatsächlich wirksame Vorwiderstand des Transformators sich nicht auf dem Bild darstellen ließ).

Wenn man vergisst, den Vorwiderstand vor Aufnahme der Messwerte wieder zu brücken, fällt der Effektivwert von 384 mA auf \approx 300 mA. Das ist normal. Ungewöhnlicherweise steigt aber auf einmal der vermeintliche Betrags-Mittelwert von 82,5 mA auf 147 mA.

Vorsicht bei Effektivwert-Messgeräten

Während das Echt-Effektivwert-Messgerät den korrekten Effektivwert anzeigt, misst das Mittelwert-Messgerät nicht einmal den wesentlich kleineren Betrags-Mittelwert, sondern einen noch viel niedrigeren Wert. Die Begründung: Die Gleichstromlast, der PC, nimmt in beiden Fällen gleich viel Gleichstrom auf, also auch gleich viel Wirkleistung. Dies bestätigt auch die in Bild 1 und Bild 2 jeweils links mit einem Netzanalysator ermittelte, beide Male gleiche Wirkleistung von 46 W. Teilt man diesen Messwert durch die anliegende Spannung von 230 V, so ergibt sich, dass auch ohne jede Blindleistung und jede Verzerrung der Strom nicht wirklich kleiner als 200 mA sein kann. Man kann davon ausgehen, dass der hochwertige Netzanalysator (2000 €) die Wirkleistung richtig misst. Dennoch zeigt das 40-€-Messgerät bei der Messung in Bild 1, ja selbst noch bei der durch den Vorwiderstand entschärften Strom-Kurvenform in Bild 2, weit weniger als nur den Betrags-Mittelwert an.

Fazit: Man kann also aus dem Anzeigewert eines solchen »Effektivwert«-

Messgeräts, das den Effektivwert nicht in der beschriebenen rechnerischen Weise ermittelt, bei ungewisser Kurvenform im Grunde überhaupt nichts schließen.

Das Echt-Effektiv-Messgerät zeigt hingegen einen Wert von $\approx 0,3$ A an. Dies ergibt, mit 230 V multipliziert, eine Scheinleistung von 69 VA, was sich also mit dem Anzeigewert des Netzanalysators praktisch deckt. Fazit: Nur die Echt-Effektiv-Messung liefert verlässliche Ergebnisse [1].

Grenzen der Echt-Effektivwert-Messung

Eine wesentliche Einschränkung gilt auch für Echt-Effektivwert-Messgeräte: Der Echt-Effektivwert gibt das Maß für die Wärmewirkung des elektrischen Stroms an. Chemische und magnetische Wirkungen des elektrischen Stroms verhalten sich aber proportional zum Betragsmittelwert. Dieser ist proportional zum Ladungstransport, also zur Anzahl bewegter Elektronen. 1 A bedeutet hier immer, dass an jeder Stelle des Leiters jede $s \cdot 6,25 \cdot 10^{18}$ Elektronen vorbei (bei Wechselstrom hin und her) fließen.

Nicht so beim Effektivwert. Wenn man einen stark verzerrten Strom wie oben oder ähnlich mit einem Effektivwert von 1 A gleichrichtet und 1 h lang einen Akkumulator damit lädt, entspricht dies nicht einer Ladung mit 1 Ah. Hier kann auch das Echt-Effektivwert-Messgerät keine korrekten Werte liefern. Richtige Werte misst ein Betragsmittelwert-Instrument ohne den einkalibrierten Formfaktor 1,1107 für die Sinusform. Am besten setzt man gleich ein Gleichstrom-Instrument ein und misst hinter dem Gleichrichter.

Beim Elektromotor gilt Entsprechendes: Sein Prinzip beruht auf magnetischen Kräften; seine abgegebene mechanische Leistung ist also, ganz grob gesagt, proportional zum Betragsmittelwert des Stroms (und je nach Bauform noch ein paar Parametern, wie etwa einem zweiten Strom, dem Erregerstrom). Die abgegebene thermische Verlustleistung hängt aber vom Effektivstrom ab.

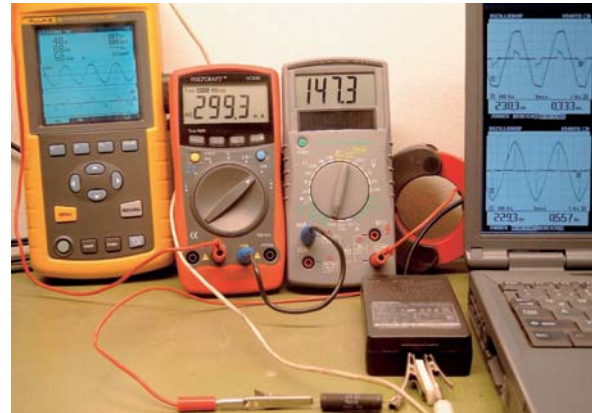


Bild 2: ... und einmal mit Vorwiderstand

Daher wird der Motor bei verzerrten Spannungen und Strömen heißer – um wie viel, das lässt sich nur mit einem Echt-Effektivwert-Messgerät messen.

Literatur

[1] Ken West: »Echt effektiv – die einzig wahre Messung«, Leonardo Druck 3.2.2, deutsch vom Deutschen Kupferinstitut, Düsseldorf, auch erhältlich unter www.lpqi.org

[2] Stefan Fassbinder: »Netzstörungen durch passive und aktive Bauelemente«, VDE Verlag, Berlin / Offenbach 2002

(Fortsetzung folgt)