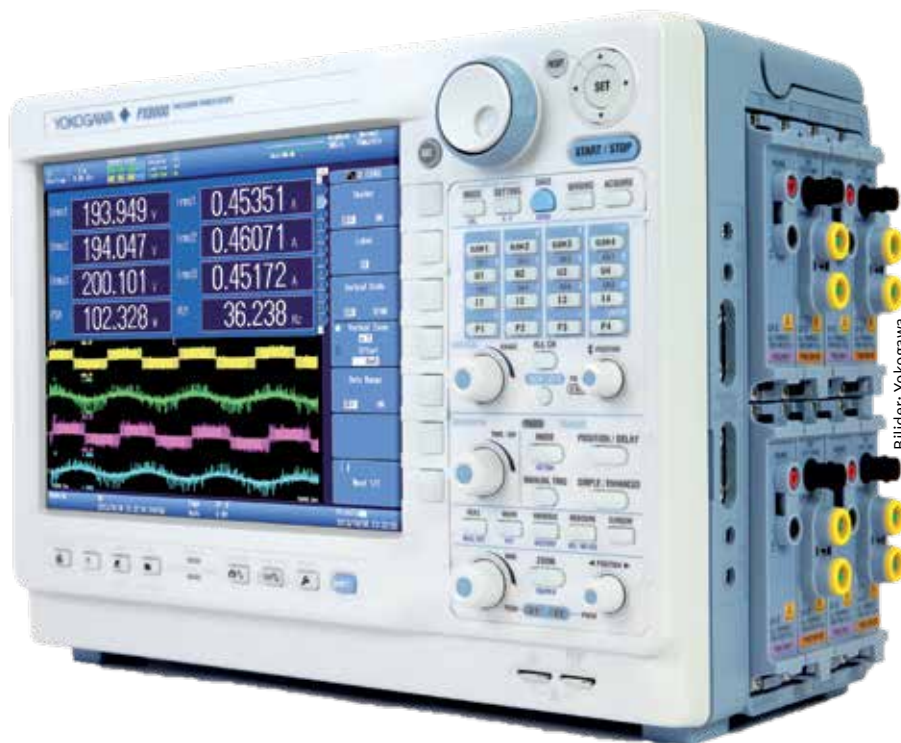


# Einfach gemessen – Oszilloskop und Leistungsanalyse vereint

*Das PX8000 verbindet die Vorteile eines Oszilloskops mit denen eines Leistungsanalysators. Was muss beim Messen beachtet werden? Unser Beitrag stellt einige Funktionen des Gerätes vor.*

MATTHIAS PRESS \*



Spannungen gemessen, was einen Tastkopf erforderlich macht. Wegen der direkten Masseverbindung der Eingänge müssen Differenzastköpfe verwendet werden, die Fehler in der Größenordnung 1% einbringen.

Sollen beispielsweise Leistungsaufnahmen an Kleinspannungen innerhalb von PCs gemessen werden, herrschen dort niedrige Spannungen wie 5 oder 12 V vor. Allerdings führt der geerdete Eingang des Oszilloskops zu Kurzschlüssen oder Gleichtaktproblemen. Deshalb muss auch hier ein Differenzastkopf eingesetzt werden. Zwar isolieren Stromzangen, bringen aber wieder Fehler in der Größenordnung von 2 bis 3% ein. Außerdem brauchen sie eine eigene, sehr gut isolierte und sehr gut entkoppelte Stromversorgung, weshalb hierbei oft Batterien eingesetzt werden. Das führt zu bekannten Nachteilen wie einer kurzen Lebensdauer, hohen Kosten oder regelmäßigem Wechsel. Die präzise Strommessung mit einem Shunt scheidet aus, da es an ausreichender Isolation mangelt. Auch ist der geringe Spannungsabfall mit einem Differenzastkopf von 10:1 nicht mehr messbar.

Das PX8000 bietet hier Abhilfe: Isolierte Eingänge können Spannungen bis 1000 V<sub>eff</sub> und Ströme bis 5 A<sub>eff</sub> direkt aufnehmen. Funktionsfehler einer Schaltung lassen sich durch Kurzschlüsse oder Massekapazitäten sowie Gleichtaktstörungen ausschließen. Isolationsspannungen bis 1000 V<sub>eff</sub> für präzise Messungen können mit der ISOpro-Technik erreicht werden. Zusätzliche Fehler von Tastköpfen und Stromzangen entfallen. Das PX8000 misst Spannungen und Ströme mit kalibrierten und garantierten Genauigkeiten. Sogar die Leistungswerte sind kalibriert und garantiert.

Zunächst ist die Leistungsmessung simpel: Strom und Spannung messen und miteinander multiplizieren. Doch bei näherer Betrachtung tun sich einige Fragen auf. Unter welchen Rahmenbedingungen ist die genannte Definition gültig? So einfach ist es im Gleich-

**Das Precision Power Scope PX8000:** Es vereint Oszilloskop und Leistungsmessung und verfügt über modular aufgebaute Messeinschübe für Spannungen und Ströme sowie Universalmodule für mechanische Größen wie Drehzahl und Drehmoment. Alle Eingänge sind voll isoliert ausgeführt. Buchsen für Spannungen und Stecker für Ströme verhindern Schäden durch versehentliches Vertauschen der Kabel.

Sowohl in der Elektronikentwicklung als auch der -fertigung ist das Oszilloskop das tägliche Arbeitsmittel der Entwickler. Inzwischen ist unsere elektronische Umwelt in alle Bereiche des Lebens vorgedrungen und erfordert es, dass die Energieaufnahme sinkt. Sei es, um bei batteriebetriebenen Geräten die Laufzeiten zu erhöhen, um Bedingungen für Energielabel zu erfüllen oder um einfach der Konkurrenz voraus zu sein. Bei der Entwicklung der Hardware ist

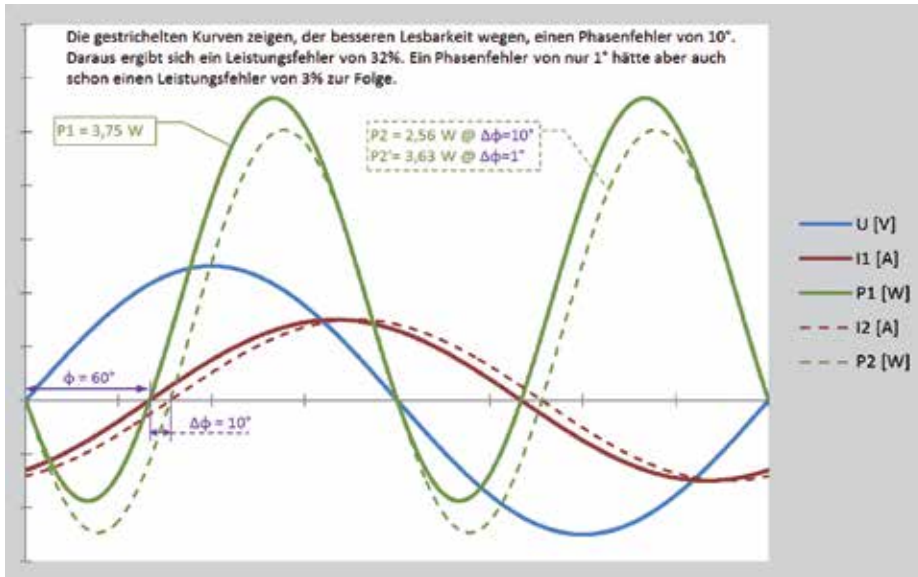
es notwendig, präzise alle Parameter zu messen. Dazu gehören die elektrische und auch die mechanische Leistung. Zwar ist das Oszilloskop ein universelles Werkzeug, aber für die Leistungsmessung ist ein Leistungsanalysator wesentlich besser geeignet. Wir zeigen im folgenden Text, welche Vorteile das Precision Power Scope PX8000 bietet.

## Die Besonderheit der Leistungsmessung

Bei einer Leistungsmessung müssen zunächst Spannung und Strom ermittelt werden. Das Oszilloskop verfügt über Spannungseingänge, die nur für wenige Volt ausgelegt und in der Regel geerdet sind. Elektrische Leistungen werden oft an hohen



\* Matthias Preß  
... ist für das Produktmarketing  
Leistungsanalysatoren bei Yokogawa  
in Herrsching bei München ver-  
antwortlich.



**Bild 1:** Zwischen Strom (rot) und Spannung (blau) liegt eine Phasenverschiebung von 60°. Die resultierende Leistungskurve ist grün dargestellt. In solchen Einsatzfällen kann man gut mit Effektivwerten und dem  $\cos \varphi$  rechnen.

stromkreis und im Wechselstromkreis, solange wir Sinusschwingungen haben und die Phasenverschiebung  $\cos \varphi$  kennen. Allerdings meinen wir die Effektivwerte von Spannung und Strom:

$$P = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi$$

Viele elektrische Verbraucher ziehen ihren Strom im Scheitelpunkt der Spannung. Das hat zur Folge, dass die Kurve abgeflacht wird und ihre Sinusform verlässt. Das ist in unserem Stromversorgungsnetz zu sehen und wir behandeln es noch wie einen Sinus. Mit dem Einsatz von Frequenzumrichter wird die Sinuswelt vollständig verlassen. Sie ermöglichen eine präzise Steuerung und Regelung von Antrieben und verringern dadurch den erforderlichen Energieeinsatz. Dass dies nicht nur in der Industrie, sondern auch in Haushaltsgeräten geschieht, beweisen moderne Waschmaschinen, Geschirrspüler oder Kühlschränke. Der Frequenzumrichter simuliert zwar immer noch ein Sinussignal, erzeugt jedoch nur Rechteckpulse. Damit lässt sich in der oben genannten Formel nicht mehr anwenden.

Eine andere Definition der Leistung lässt sich in den Produkten der Momentanwerte von  $u$  und  $i$  und deren Integration über ganze Perioden finden.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt$$

Schaut man sich den Vorgang an, wird deutlich, dass ein Phasenfehler, wie er gestrichelt in Bild 1 dargestellt ist, zwangsläufig zu einem Fehler der Leistung führt. Deshalb

ist es sehr wichtig, dass die Elektronik in den Messeingängen eines Leistungsanalysators zum einen selber keine Phasenfehler erzeugt und zum anderen alle A/D-Wandler absolut synchron arbeiten. Und hier ist wirklich jeder Strom, jeder Spannungs- und jeder mechanische Kanal gemeint. Dazu ist spezielle Hardware notwendig. Hierbei ist von Vorteil, dass Spannungen und Ströme ohne Tastköpfe direkt angeschlossen werden. Es entfallen Laufzeit- und Phasendifferenzen zwischen Tastköpfen und Stromzangen. Für hohe Ströme sind externe Stromwandler erforderlich, in einigen Anwendungen müssen auch Stromzangen eingesetzt werden, weil die Leiter nicht unterbrochen werden können. Dazu wurde die De-Skew-Funktion in das Precision Power Scope integriert, damit die Fehler für jeden Kanal individuell korrigiert werden.

### Von Spannungen, Strömen und der Leistungsanalyse

Das Oszilloskop zeigt die zeitlichen Kurvenverläufe aller Mess-Signale. Zusätzlich zeigt das PX8000 die Leistungskurven. Damit lässt sich direkt eine Aussage über den Leistungsverlauf treffen. Für die Berechnung der Leistung nach der zweiten Formel muss das  $t$  in  $u(t)$  mit dem  $t$  in  $i(t)$  identisch sein. Jetzt kommt eine weitere Bedingung hinzu: die Integrationszeit von Null bis  $T$ . Damit muss die Integration über eine ganze Periode oder auch mehrere ganze Perioden  $n \cdot T$  gerechnet werden. Eine exakte Bestimmung der Periodendauer ist erforderlich. Ein Standard-Oszilloskop analysiert die Perioden-

# Messtechnik-Grundlagen

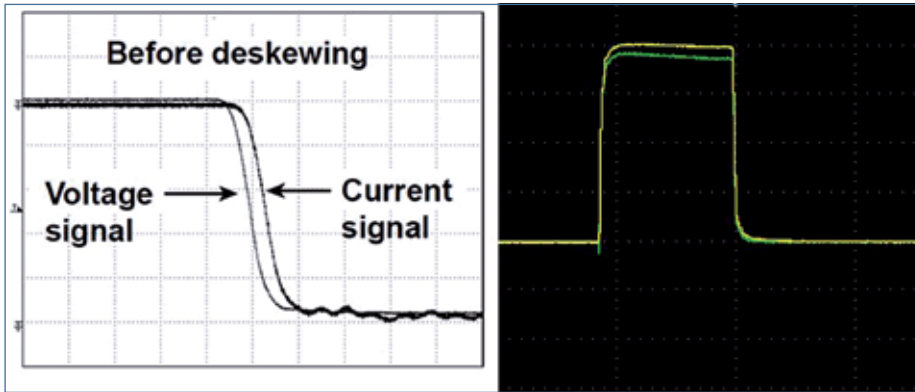


- Grundlagenbeiträge
- Fachartikel
- Applikationsbeispiele
- Referenzdesigns
- Design-Tipps
- weiterführende Informationen als Online-Verlinkung

Lesen Sie das gesammelte ELEKTRONIKPRAXIS-Wissen auf Ihrem PC, Laptop oder iPad und sichern Sie sich kostenlos Ihr gedrucktes Kompendium\* unter

--> [www.elektronikpraxis.de/messtechnik-kompendium](http://www.elektronikpraxis.de/messtechnik-kompendium)

ELEKTRONIK PRAXIS



**Bild 2:** Der Skew entspricht der Phasenverschiebung zwischen zwei Signalen und wird hier zwischen Spannung und Strom gezeigt. Der De-Skew kompensiert diese. Nach dem De-Skew verlaufen beide Flanken deckungsgleich (Spannung gelb, Strom grün).

dauer im Post-Processing nach der Datenerfassung. Im PX8000 erledigt eine vom normalen Signalpfad unabhängige Hardware die Signalaufbereitung. Im Ergebnis zeigt das Gerät gleichzeitig die Signalverläufe eines Oszilloskops und zusätzlich alle Leistungsparameter.

Damit liegen die Vorteile auf der Hand: Kalibrierte Messwerte für Spannungen und Ströme und kalibrierte Ergebnisse der Leistungsanalyse. Bei einem Oszilloskop werden die Eingänge nur für Spannungen kalibriert bei einer Auflösung von 8 Bit. Das PX8000 bietet die 16-fache Amplitudenauflösung bei 12 Bit. Fehler aus externen Sensoren müssen dem Scope hinzu gerechnet werden. Die Unsicherheit beim Messen der Leistung ergibt sich aus dem Produkt der Unsicherheiten von Spannung und Strom, sowie aus Phasenfehlern, während bei einem Leistungsanalysator auch das Ergebnis der Leistungsberechnung kalibriert wird.

### Unabhängiger Pfad für Signalaufbereitung und Filterung

Um eine gute Abbildung steiler Schaltflanken zu erreichen, werden alle Signale mit einer Geschwindigkeit von 100 MS/s abgetastet. Damit lassen sich kurze Schaltvorgänge genau analysieren. Passend dazu wurde die Bandbreite mit 20 MHz gewählt. Vielfältige Filter können diese den tatsächlichen Gegebenheiten anpassen. Andere Anwendungen verlangen nach einem langen Erfassungintervall, um Anlauf- und Schaltvorgänge oder Lastwechsel aufzunehmen, denen der extra große Speicher für bis zu 20 Minuten Rechnung trägt. In modernen Anwendungen mit Frequenzumrichtern werden hochfrequente Taktimpulse erzeugt, mit denen niederfrequente Schwingungen mit beispielsweise 50 Hz simuliert werden. Unterschiedliche Frequenzen müssen getrennt analysiert werden.

Das PX8000 enthält einen von allen Messkanälen unabhängigen Pfad der Signalaufbereitung und Filterung. Weil das Messsignal zwei unterschiedliche Frequenzen hat, spiegeln die Ergebnisse die beiden Eben wider: Schnelle Abtastung zur Erfassung der hochfrequenten Anteile. Die Ausgabe der Ergebnisparameter ist relativ langsam, nämlich im Rhythmus der Periodendauer der Grundfrequenz.

### Die Analyse der Rohdaten und anschließende Auswertung

Mit dem PX8000 lassen sich in kurzen Zeiten große Mengen an Rohdaten erzeugen und die Leistungsanalyse berechnet Intervalle. Je nach Messaufgabe lassen sich die Rohdaten der Kurvenformen, Leistungsparameter, Grafiken als Image und Ergebnisse mathematischer Berechnungen mit individueller Formeleingabe zur Verfügung stellen. Mit Cursors und Messfunktionen ist es dann möglich, die Rohdaten zu analysieren.

Mit Hilfe von Cycle-by-Cycle lassen sich dynamische Vorgänge wie Anlauf, Abbremsen oder Lastwechsel untersuchen. Dabei wird geprüft, wie sich Frequenz und Amplitude in jeder Periode ändern. Für unregelmäßige oder stochastische Ereignisse bietet das Gerät verschiedene Triggermöglichkeiten, die bei Wartung und Fehlersuche hilfreich sind. Es lässt sich nicht nur auf Flanken, sondern auf Kombinationen aus Pegeln und Flanken oder Pulsbreiten oder sequentiellen Ereignissen triggern. Der Wave-Window-Trigger reagiert auf Abweichungen von einer Kurvenform wie Ausfall einer Halbwelle oder Peaks auf dem Sinus. Und der Time-Out-Trigger erkennt den Ausfall eines periodischen Signals. Ist der Trigger ausgelöst worden, lässt sich mit verschiedene Aktionen darauf reagieren. Daten können automatisch auf Speichermedien abgelegt oder per FTP

versendet werden. Für Dokumentationszwecke werden oft Bildschirminhalte als Grafikdatei gespeichert. Häufig müssen die Messungen nicht nur vom Oszilloskop und Leistungsanalysator, sondern von anderen Geräten synchronisiert werden, um die verschiedenen Messdaten gemeinsam auswerten zu können. Das Power Scope gibt seinen Triggerimpuls nach außen und an andere Geräte weiter. Die History-Funktion unterstützt während der Fehlersuche oder wenn auf besondere Ereignisse gewartet wird. Hierbei werden bis zu 1000 Erfassungen in einem Ringspeicher abgelegt und stehen im Nachhinein für sämtliche Analysen zur Verfügung.

Implementiert sind Funktionen wie Tiefpassfilter, der Rauschen und hochfrequente Störungen entfernt. Der Hochpass bringt die kurzen Pulse oder schnellen Änderungen hervor und ein Bandpass entfernt Mittenfrequenzen. Wird ein Signal gefiltert, lässt sich der Kurvenverlauf beobachten, weil sofort das Ergebnis sichtbar wird. Ergebnisse der Parameterberechnung sind zum Beispiel die Welligkeit oder Rippelspannung, Formfaktor, Scheitelfaktor, Verlustleistung oder Synchronfrequenz.

In Anwendungen am Netz sind oft die Oberschwingungen von einem besonderen Interesse, weil sie nicht zur gewollten Wirkleistung beitragen, aber Leitungen und Bauelemente belasten. Deshalb analysiert das PX8000 Harmonische mit einer Grundfrequenz bis 6,4 kHz an ein, zwei oder drei Signalen parallel. Der im Gerät eingebauten PLL, einem zweiten Oszillator, der in einer schnellen Regelschleife der Grundschwingung des gemessenen Signals nachgeführt wird, werden die Amplituden der Oberschwingungen exakt ermittelt. Die FFT ist ein reiner Rechenalgorithmus ohne den PLL. Trotzdem lassen sich zusätzlich die Inter-Harmonischen anzeigen.

Die XY-Darstellung ist für weitere Analysen sehr hilfreich. Mit den Lissajous-Figuren lässt sich die Symmetrie in mehrphasigen Netzen beobachten. Vor allem für die Entwickler von Motoren, Getriebe und Stellantrieben nutzen die XY-Anzeige für Kraft-Weg-Diagramme, Drehmoment-Drehzahl-Analysen oder der Strom- bzw. Leistungsaufnahme über dem Drehwinkel. Und bei der Vektordarstellung schließlich werden Beziehungen der Messgrößen untereinander aufgezeigt, um die Phasenlage zu prüfen. So lassen sich zwei vertauschte Leiter mit Hilfe des Vektordiagramms aufdecken. // HEH

**Yokogawa**

+49(0)8152 93100