

Die Summe aus Messunsicherheit und Messfehler



Bei statischen Messungen (DC) für isolierte und nicht isolierte Messgeräte kann es zu Ungenauigkeiten bei der Messung kommen. Wir zeigen, was dafür die Gründe sein können.

Index

| | |
|--|---|
| 1. Messgenauigkeit, Messunsicherheit und Messfehler..... | 2 |
| 2. Wie Messfehler im statischen Messfall entstehen..... | 3 |
| 3. Messunsicherheit und Messbereiche..... | 5 |
| 4. Wie sich unterschiedliche Messbereiche auswirken..... | 7 |

Die Summe aus Messunsicherheit und Messfehler

Bei statischen Messungen (DC) für isolierte und nicht isolierte Messgeräte kann es zu Ungenauigkeiten bei der Messung kommen. Wir zeigen, was dafür die Gründe sein können.

In der Elektronikpraxis Ausgabe 22 wurden die Unterschiede zwischen Digitalem Multi Meter (DMM), Digitizer und Oszilloskop sowie die Eigenschaften eines Multi Measurement Devices (MMD) von VX Instruments eingegangen. Wichtige technische Daten wurden im Überblick vorgestellt und auf Vorteile der isolierten Messtechnik wurde eingegangen.

In diesem Artikel wird weiterführend auf Gründe der Messungenauigkeit bei statischen Messungen (DC) für nicht isolierte und isolierte Messgeräte, sowie die Auswirkungen einer unterschiedlichen Aufteilung von Messbereichen eines Messgerätes eingegangen.

1. MESSGENAUIGKEIT, MESSUNSICHERHEIT UND MESSFEHLER

Die Messgenauigkeit beschreibt einen Wert, welcher die zu erwartende Abweichung des gemessenen vom physikalisch wahren Wert beschreibt. Ihre genaue Definition kann von Veröffentlichung zu Veröffentlichung variieren und es werden u.a. Begriffe wie „Standardfehler“, „Messungenauigkeit“, „Messgenauigkeit“ oder „Messfehler“ verwendet. Wir verwenden im Folgenden die Bezeichnung „Messgenauigkeit“ für die Toleranz, mit der ein Wert erfasst werden kann. Diese besteht zum einen aus der Messunsicherheit des Messgerätes selbst. Sie wird typischerweise in den Datenblättern oder Gerätespezifikationen durch die Genauigkeit angegeben, welche wiederum aus der Summe der Genauigkeit des Messwertes selbst (Gain Error, Einheit % of value) und der Genauigkeit des Messbereiches (Offset Error, Einheit % of range) besteht. Beispiele für eine solche Spezifikation sind in Tabelle 1 angegeben.

Zum anderen beeinflusst das Messgerät selbst das zu messende Signal. Dies geschieht in erster Linie durch die Eingangsimpedanz, welche aus einem Widerstand und einer parallelen Kapazität besteht. Ein typischer Wert hierfür sind $1\text{ M}\Omega \parallel 20\text{ pf}$ für Oszilloskope, $10\text{ M}\Omega \parallel 150\text{ pf}$ für Multimeter. Bei langsamen DC-Messungen ist dabei der Ohmsche Widerstand bestimmend für den Messfehler. Die Parallelkapazität wird also in erster Instanz der Betrachtung vernachlässigt. Ihre Auswirkungen wird im Laufe der Artikelserie bei der Behandlung von Messfehlern bei dynamischen AC-Messungen beschrieben. Die durch die Eingangsimpedanz des Messgerätes hervorgerufene Verfälschung des Messwerts erzeugt damit den so genannten Messfehler.

Man kann also definieren, dass die Messgenauigkeit die Summe aus Messunsicherheit und Messfehler darstellt.

2. WIE MESSFEHLER IM STATISCHEN MESSFALL ENTSTEHEN

In diesem Artikel gehen wir auf die Messgenauigkeit im statischen Messfall ein. Hierbei sind die Eingangskapazität und die parasitären Kapazitäten des Messgerätes nicht relevant. Bei länger andauernden Messungen wirken diese meist sogar vorteilhaft, da sie Störungen und Rauschen minimieren.

Als erstes betrachten wir die Auswirkungen der Messung mit einem nicht isolierten Messgerät (siehe Abbildung 1 - nicht isolierte Messung) bei einer low-side Messung, also der Messung einer Spannung gegenüber Erdbezug. Dabei ist das zu messende Bauteil sowie das Messgerät mit einem Anschluss direkt mit Messmasse, bzw. Erde verbunden.

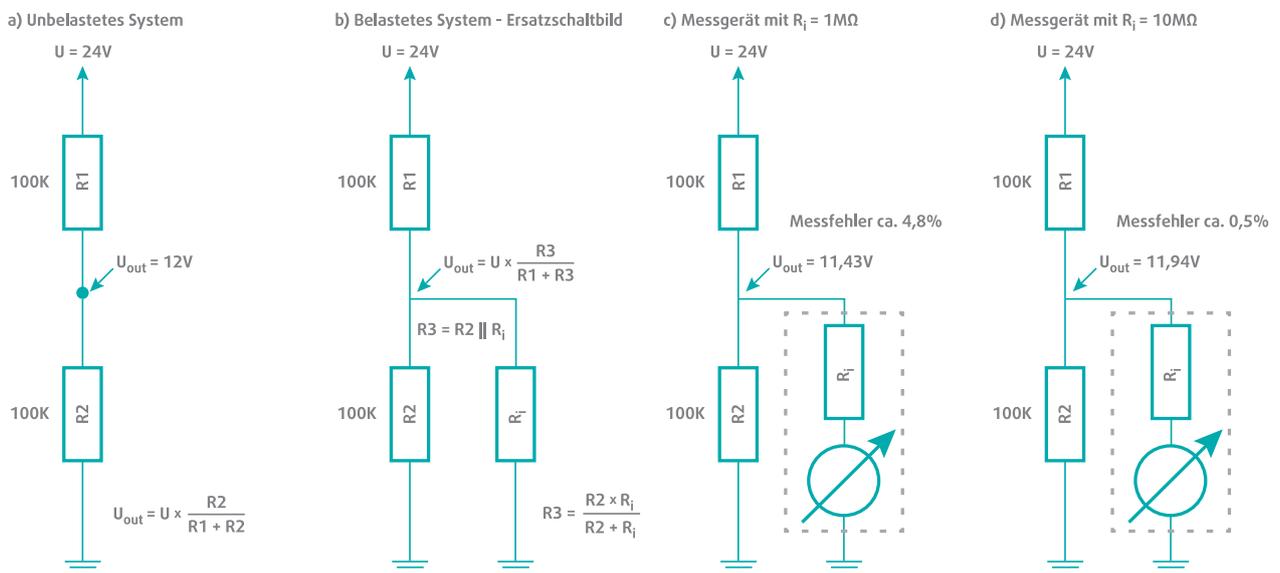


Abbildung 1: Auswirkungen auf eine Messung mit einem nicht-isolierten Messgerät.

Bild a) zeigt das unbelastete System mit der idealen Ausgangsspannung von 12V. Wird ein Messgerät angeschlossen um die Spannung über R2 zu messen, wirkt dies in unserem statischen Messfall wie ein parallel geschalteter Widerstand. Dies wird in Bild b) im Ersatzschaltbild gezeigt. Für zwei exemplarisch angenommene Geräte wird als Innenwiderstand 1 M Ω und 10 M Ω angenommen. Wie Bild c) und d) zeigen, wird durch das Messgerät ein sichtbarer Messfehler erzeugt. Man sieht ebenfalls, wie deutlich der Messfehler vom Innenwiderstand des Messgerätes abhängig ist.

In Abbildung 2 – isolierte Messung ist die Messung mit einem isolierten Messgerät dargestellt.

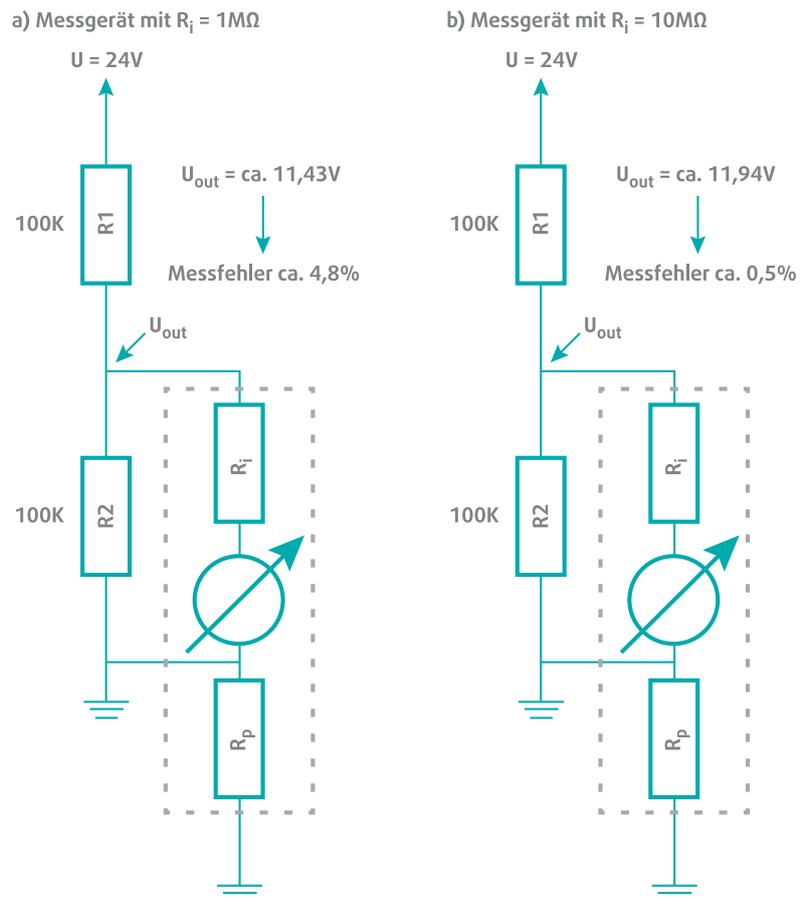


Abbildung 2: Das Bild zeigt eine isolierte Messung mit einem isolierten Messgerät.

Wie man sieht, hat hier der Innenwiderstand die gleichen Auswirkungen. Der in der Realität natürlich vorhandene, in der Regel sehr hohe, Isolationswiderstand R_p kann hier vernachlässigt werden. Durch den Anschluss an den zu messenden Widerstand wird ein Eingang des Messgerätes direkt mit der Messmasse verbunden und damit der Isolationswiderstand R_p kurzgeschlossen. Im konkreten Fall der low-side-Messung hat der Widerstand R_p unabhängig von seiner Größe also keinerlei Auswirkung. Isolierte und nicht isolierte Messgeräte sind für diesen Messfall gleichermaßen geeignet.

Die umgangssprachliche Formulierung „wer misst, misst Mist“ ist also durchaus korrekt. Wie groß der Messfehler jedoch ausfällt, hängt vom Verhältnis des Innenwiderstandes des Gerätes zum Widerstand des zu messenden Objektes ab. Ein Gerät mit hohem Eingangswiderstand verfälscht unabhängig von der Impedanz des zu messenden Signals eine Messung weniger und ist daher für präzise Messungen immer vorteilhaft.

In der Fortsetzung dieser Artikelreihe wird u. a. auf die Messgenauigkeit bei „high-side“ Messungen die Messgenauigkeit bei dynamischen Messvorgängen von AC-Signalen eingegangen.

3. MESSUNSICHERHEIT UND MESSBEREICHE

Die Messunsicherheit ist, wie bereits aufgeführt, die Summe aus Gain Error und Offset Error. Dabei ist der Gain Error abhängig vom Messwert und der Offset Error ist innerhalb eines Messbereiches konstant. Das bedeutet, dass die Messunsicherheit innerhalb eines Messbereiches linear ansteigt.

Für die weiteren Betrachtungen gehen wir von 2 Messgeräten mit einer unterschiedlichen Aufteilung von Messbereichen aus:

Die beiden Fehler sind nicht in allen Messbereichen gleich groß. Typischerweise steigen die Fehler hin zu den kleinsten, bzw. zu den größten Messbereichen etwas an. Da dies auf die Darstellungen der Auswirkung einer unterschiedlichen Anzahl von Messbereichen kaum Einfluss hat, werden zur einfacheren Darstellung in allen Messbereichen die gleichen Fehler angenommen.

| Gerät | Messbereich [V] | Gain Error [%] | Offset-Error [%] |
|-------------|--------------------------------|----------------|------------------|
| Messgerät 1 | 1, 10 und 100 | 0,08 | 0,01 |
| Messgerät 2 | 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 und 128 | 0,08 | 0,01 |

Tabelle1: Vergleich der beiden Messgeräte.

Als erstes betrachten wir den absoluten Fehler bei Messgerät 1:

Messunsicherheit Messgerät 1

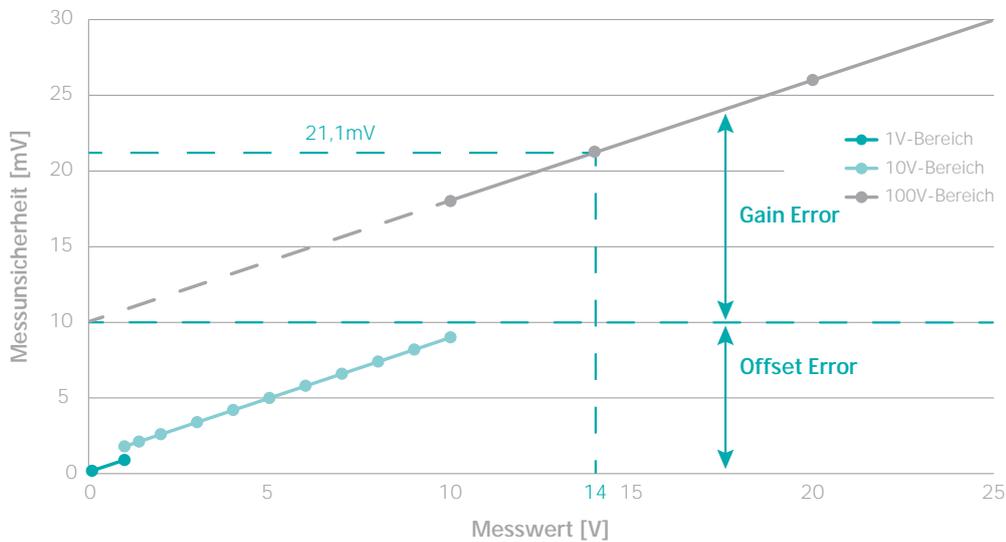


Abbildung 3: Der absolute Fehler gemessen am Messgerät 1.

Man sieht hier deutlich die jeweils konstanten Offset Fehler der Messbereiche und die variablen Gain Fehler, abhängig vom Messwert. Weiterhin kann man erkennen, dass die Auswahl des passenden Messbereiches wichtig ist. Man kann natürlich auch eine Spannung von z. B. 8V mit dem 100V Messbereich messen, tut dies dann aber in unserem Beispiel mit einer ungefähr doppelt so großen Messunsicherheit wie im 10V Messbereich.

Das Messgerät 2 verfügt über eine größere Anzahl von Messbereichen und damit stellt sich die absolute Messunsicherheit folgendermaßen dar:

Die Diagramme in Bild 3 und 4 zeigen, dass die Unterschiede zwi-

Messunsicherheit Messgerät 2

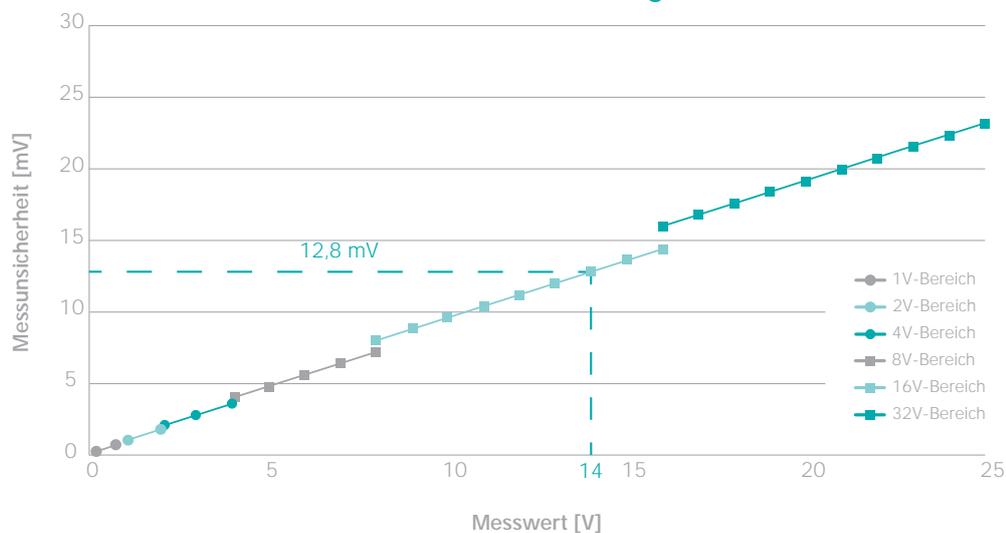


Abbildung 4: Das Messgerät 2 verfügt über eine größere Anzahl von Messbereichen.

schen den beiden Geräten mit steigender Spannung immer größer werden. Ursache ist hierbei die Tatsache, dass der Offset-Fehler immer für einen Messbereich gilt. Je größer der Messbereich, desto größer die Auswirkung im unteren Teil des Messbereiches im Bezug auf den Gain-Fehler.

Man sieht, dass durch eine größere Anzahl von Messbereichen eine Reduzierung der absoluten Messunsicherheit in weiten Teilen des gesamten Messbereiches möglich ist. Hintergrund ist die unterschiedliche, notwendige Ausnutzung der Messbereiche.

4. WIE SICH UNTERSCHIEDLICHE MESSBEREICHE AUSWIRKEN

Bei einer 10er Teilung der Messbereiche reicht der 100V-Messbereich von 10V bis 100V. Es müssen also immer 90% des Messbereiches ausgenutzt werden. Bei einer 2er Teilung reicht der 128V-Messbereich von 64V bis 128V, was lediglich 50% des Messbereiches darstellen.

Für den Anwender ist oft wichtig, wie genau ein Wert selbst gemessen werden kann. Um z. B. zu Verifizieren, dass die ausgegebene Spannung eines Prüflings von $14\text{V} \pm 0.1\%$ korrekt ist, muss die Genauigkeit des Messgerätes normiert auf den Messwert 14V bekannt sein. Dazu berechnet man den absoluten Fehler bei 14V und teilt diesen wieder durch 14V. In Bild 5 und 6 ist die normierte Darstellung der Messunsicherheit für beide Messgeräte dargestellt.

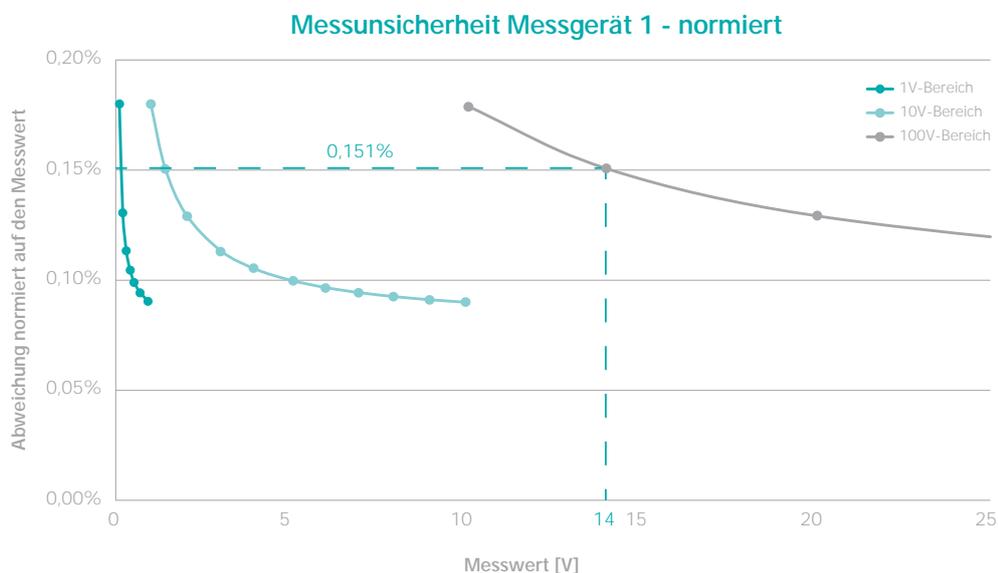


Abbildung 5: Normierte Darstellung der Messunsicherheit für die Messgeräte 1.

Messunsicherheit Messgerät 2 - normiert

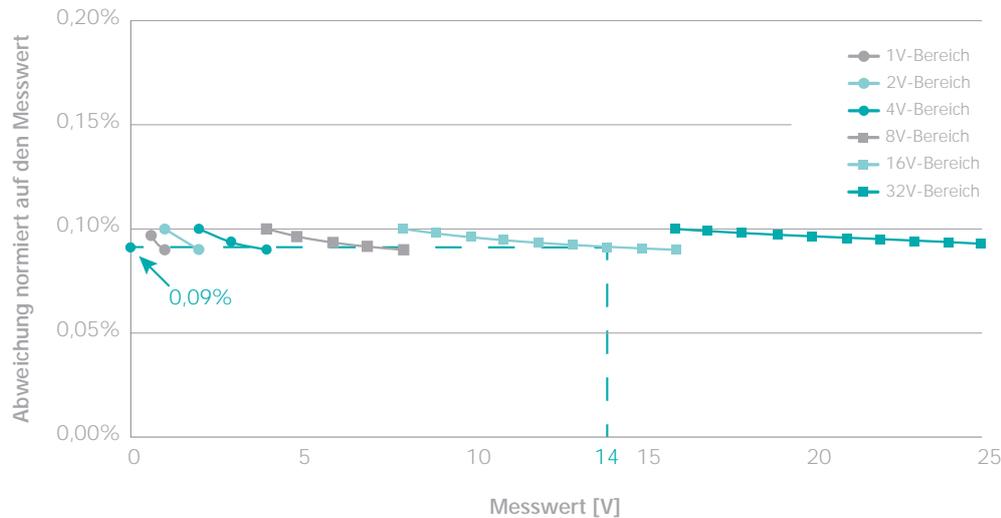


Abbildung 6: Normierte Darstellung der Messunsicherheit für Messgerät 2.

Der Vorteil der 2er Teilung wird hierbei ganz besonders deutlich. Der normierte Fehler kann damit über den gesamten zur Verfügung stehenden Messbereich gering gehalten werden.

In unseren Beispielen haben wir Geräte mit einem Offset Fehler von 0,01% und einem Gain Fehler von 0,08% gewählt. Man ist verleitet anzunehmen, dass damit immer mit einer Unsicherheit von 0,09% gemessen werden kann. In der normierten Darstellung kann man erkennen, dass diese Annahme nur für jeweils den maximalen Messwert innerhalb eines Bereiches gilt. Je niedriger der Messwert innerhalb eines Bereiches ist, desto größer die Messunsicherheit bezogen auf den Messwert selbst. Eine Spannung von 14 V wird mit Messgerät 1 mit einer Unsicherheit von 21,2 mV gemessen. Das entspricht einem normierten Fehler von ca. 0,15%. Messgerät 2 misst diese Spannung mit einer Unsicherheit von 12,8 mV, was einem normierten Fehler von 0,091% entspricht. Damit ist bei diesem Messwert die Messunsicherheit des Messgerätes 1 um ca. 65% schlechter, als bei Messgerät 2.

Wichtig für den Anwender ist, sich immer wieder bewusst zu machen, dass eine Messung stets einen Messfehler erzeugt. Dieser kann durch Geräte mit hohen Eingangsimpedanzen minimiert werden. Bei Applikationen mit hohen Anforderungen an die Messgenauigkeit ist es zudem vorteilhaft, ein Gerät mit einer größeren Anzahl an Messbereichen zu nutzen, um die Messunsicherheit gering zu halten.

In der nächsten Ausgabe wird die Messgenauigkeit bei „high-side“ Messungen, die differentielle Messung mit Gleichtaktanteil und die Auswirkungen auf die Messgenauigkeit bei dynamischen Messvorgängen von AC-Signalen eingegangen.

VX Instruments GmbH
Bernsteinstraße 41 a
84032 Altdorf
Germany

Telefon: +49 871 - 931555 - 0
Fax: +49 871 - 931555 - 55
E-Mail: info@vxinstruments.com
Web: www.vxinstruments.com



PXI System Alliance

VX Instruments ist einer von neun Executive Members (insgesamt über 60 Mitglieder) in der PXI System Alliance, dem Konsortium, das den PXI-Standard definiert und weiterentwickelt. Hier sind wir stimmberechtigt und haben außerdem Zugang zum technischen Komitee.



LXI Consortium

Das LXI Consortium beschäftigt sich mit der Entwicklung und Verbreitung des LXI-Standards. Dies ist ein offener, leicht zugänglicher Standard für die funktionelle Mess- Test- und Datengewinnungsindustrie.



PCI-SIG

Die PCI-SIG ist eine Vereinigung, die sich der Spezifizierung des PCI-Standards widmet.



ISO 9001:2015

Die VX Instruments GmbH wurde im Februar 2003 erstmals von der INTERNATIONAL CERT GmbH zertifiziert.

Veröffentlicht: 21. November 2019 auf <http://www.vxinstruments.com>
© 2019 VX Instruments. Alle Rechte vorbehalten.