FLUKE®

# Optimale Bandbreite und Abtastrate bei Oszilloskopen

Je mehr Sie sehen, desto besser können Sie Fehler beheben!

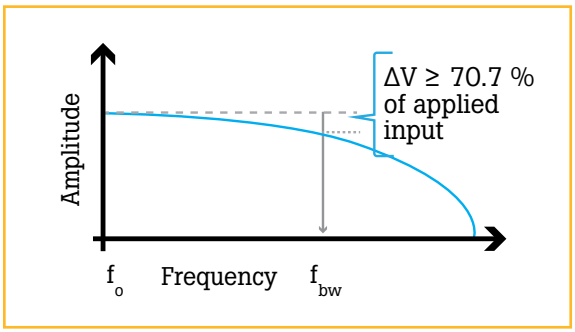
**Anwendungsbericht**

In diesem Anwendungsbericht werden die Signalfrequenz und die Anstiegszeiten von Impulsflanken betrachtet, um zu verstehen, welchen Einfluss sie bei digitalen Speicheroszilloskopen auf das angezeigte Signal haben.

## Was ist Bandbreite?

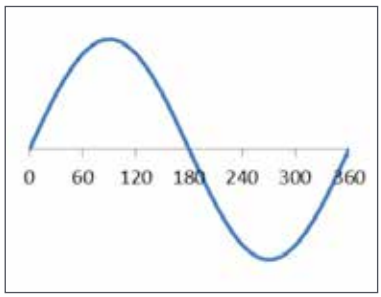
Um einen Zusammenhang herzustellen, erklären wir zunächst, wie ein Oszilloskop arbeitet. Ein Oszilloskop ist ein Messgerät, das die Änderung eines elektrischen Signals im Zeitverlauf erfasst und in seiner tatsächlichen Form grafisch abbildet. Die Anzeige ist so kalibriert, dass sie eine Spannung (vertikale Achse) im zeitlichen Verlauf (horizontale Achse) darstellt. Die Spannung ändert sich mit der Zeit, sodass die Anzahl der Änderungen (Zyklen) pro Zeiteinheit als Frequenz gemäß der Formel f = 1 / Zeit (angegeben in Hertz) angezeigt werden kann. Ähnlich wie beim menschlichen Gehör verringert sich bei steigender Frequenz die Fähigkeit des Oszilloskops, die Signalspannung präzise im Zeitverlauf darzustellen. Daraus ergibt sich die wichtige Frage, wie viele Zyklen (sich wiederholende Ereignisse) ein Oszilloskop in ihrer tatsächlichen Form grafisch darstellen kann. Die Bandbreitenspezifikation eines Oszilloskops beantwortet diese wesentliche Frage.

Während die Frequenz steigt, sinkt die Fähigkeit des Oszilloskops, die tatsächliche Signalamplitude präzise abzubilden. Hersteller definieren Bandbreite als die höchstmögliche Frequenz, bei der ein auf dem Bildschirm angezeigtes Sinussignal auf maximal 70,7 % der tatsächlichen Signalamplitude abgedämpft wird. Dies ist auch als 3 dB-Punkt bekannt. Anders ausgedrückt, ist Bandbreite die höchstmögliche Frequenz, bei der das angezeigte Signal gerade noch größer als 70,7 % der tatsächlichen Amplitude des anliegenden Signals ist (oder 0,707-mal).

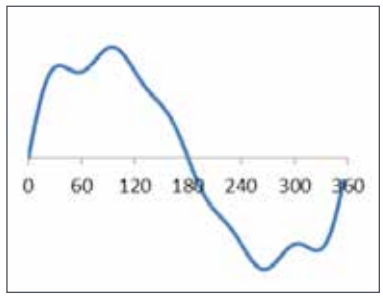



## Erfassen eines Sinussignals

Zum Erfassen eines Sinussignals in seiner reinsten Form ohne Verzerrung wäre lediglich ein Oszilloskop erforderlich, bei dem die Frequenz der Eingangsbandbreite um einiges größer ist als die Frequenz des zu messenden Sinussignals. Obwohl die heutigen Geräte hoch leistungsfähige digitale Komponenten enthalten, müssen sich Ingenieure und Techniker noch immer mit der Signalform sowie deren Amplitude und Zeitverlauf sowie dem Vorhandensein von Störungen beschäftigen. Die Auswahl des richtigen Oszilloskops kann von entscheidender Bedeutung sein, wenn es darum geht, alle notwendigen Informationen zur Hand zu haben, statt wichtige Einzelheiten zu übersehen. Während Sie also annehmen, dass das geprüfte Signal in Ordnung ist, könnte es tatsächlich so sein, dass Sie nicht alle Informationen über die Signalform sehen.

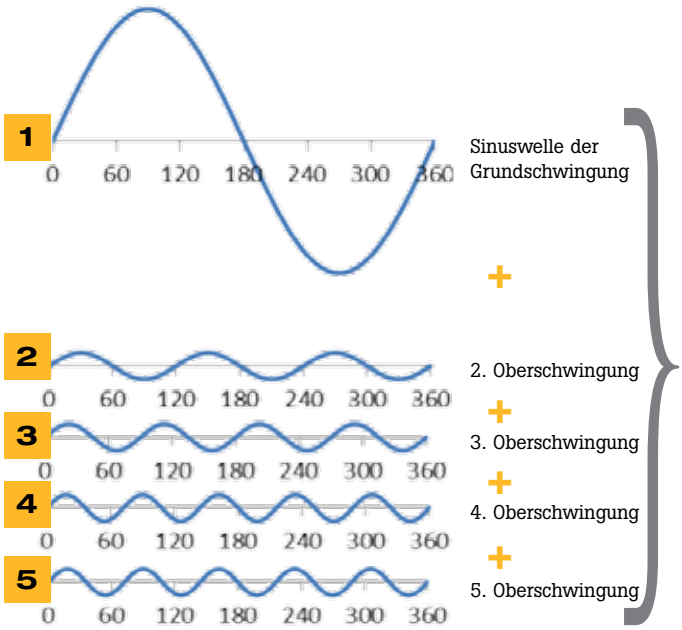


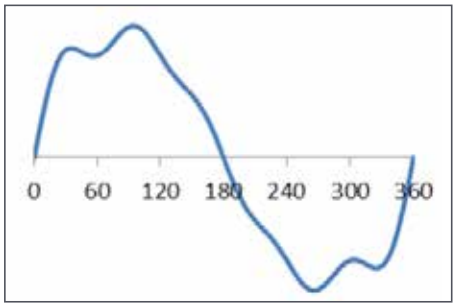

Eine Sinuswelle in ihrer reinsten Form, mathematisch ausgedrückt durch $y(t) = A \cdot \sin(\omega t + \theta)$



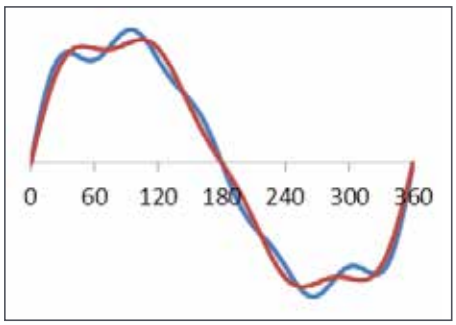

Verzerrte Sinuswelle, die einige Oberschwingungskomponenten enthält

Im Fall einer sich wiederholenden komplexen Signalform oder verzerrten Sinuswelle kann die Signalform mathematisch durch die Summe der einzelnen Oberschwingungen oder Frequenzkomponenten dargestellt werden. Mithilfe einer Tabelle können wir jede Komponente [$y(t) = A \cdot \sin(\omega t + \theta)$] zusammen mit der kombinierten Summe individueller Komponenten aufzeichnen, sodass wir den Einfluss der Oszilloskop-Bandbreite anhand einfacher visueller Vergleiche feststellen können.




Resultierende komplexe Wellenform, die die Grundschwingung sowie Komponenten der zweiten bis fünften Oberschwingung zeigt

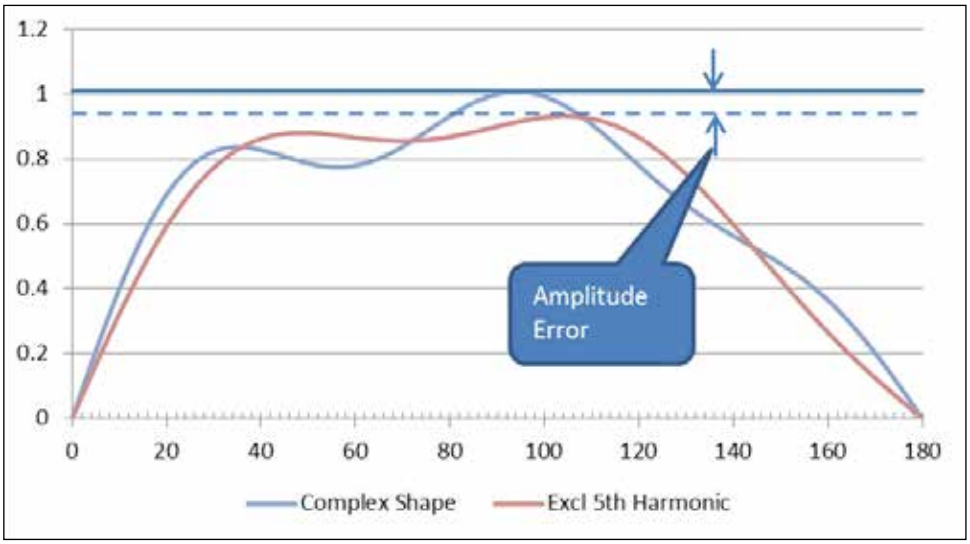



Der Vergleich der komplexen Wellenform mit und ohne 5. Oberschwingung zeigt einen signifikanten Unterschied in der angezeigten Signalform

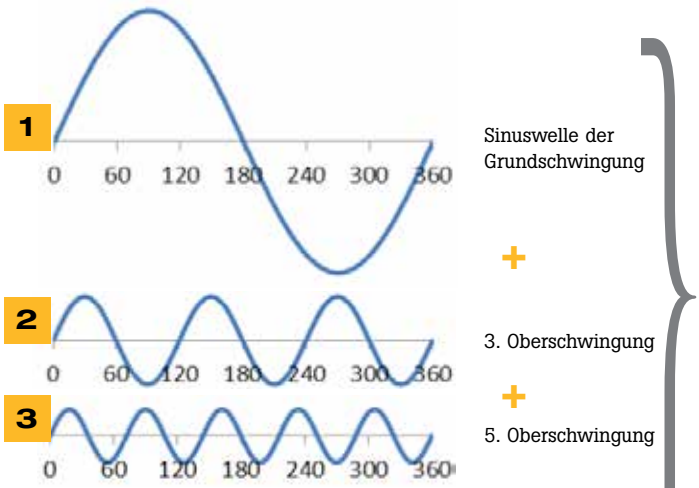
Der Vergleich der resultierenden komplexen Wellenform mit und ohne 5. Oberschwingung offenbart einen signifikanten Unterschied in der angezeigten Signalform. Folglich gilt als Faustregel, ein Oszilloskop auszuwählen, dessen Bandbreite über das Fünffache der Frequenz der gemessenen Sinuswelle verfügt.

**Oszilloskop-Bandbreite ≥ höchste Frequenzkomponente des Signals x 5**

Neben der abweichenden Signalform insgesamt kann eine unzureichende Oszilloskop-Bandbreite auch zu fehlerhaften Darstellungen der Amplitude führen. Der Vergleich eines Oszilloskops mit mindestens dem Fünffachen der Bandbreite der Grundfrequenz mit einem Oszilloskop mit lediglich dem Vierfachen der Grundfrequenz zeigt die unterschiedlichen Spitzenamplituden. In diesem Fall errechneten wir eine Abweichung um 7 %.




Sehen wir uns als Nächstes die Auswirkungen der Abtastrate auf der horizontalen Zeitachse an. In digitalen oder analogen Impulsschaltungen sind die gebräuchlichsten Messungen, die die Qualität eines Rechtecksignals oder von Impulsen definieren, die Impulsbreite, die Anstiegszeit und die Spannungsänderung im Zeitverlauf (dV/dt). Ein Rechtecksignal mit einer schnellen Flanke lässt sich durch die Summe einer unendlichen Zahl ungeradzahliger harmonischer Sinuswellen darstellen.



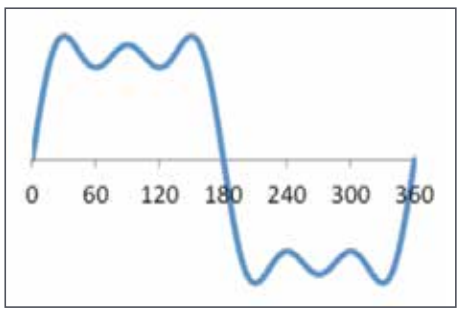

Sinuswelle der Grundschwingung

+

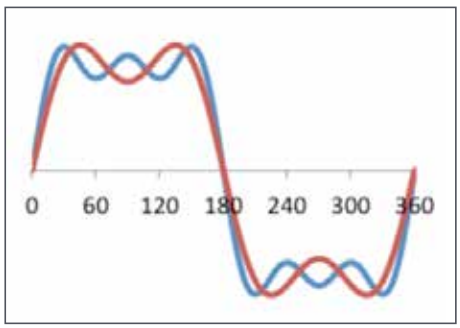
3. Oberschwingung

+

5. Oberschwingung




Ein Rechtecksignal als Ergebnis der Addition von 5 ungeradzahligen Oberschwingungskomponenten

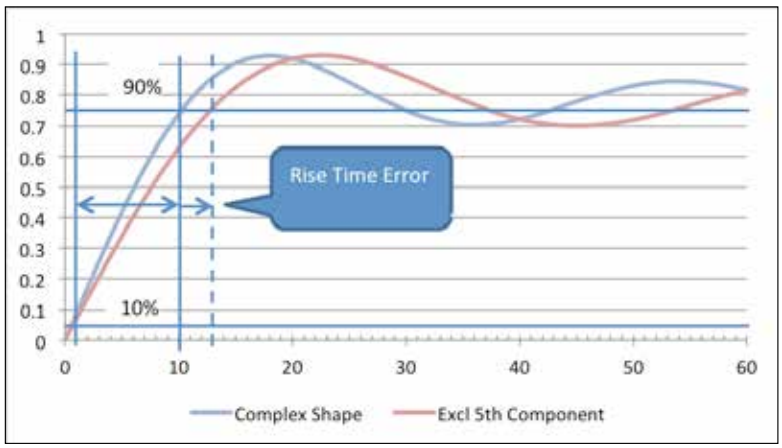



Der Vergleich von Impulsen mit und ohne 5. Oberschwingung zeigt einen signifikanten Unterschied in der angezeigten Signalform und -zeit

Ein Oszilloskop muss über eine ausreichend schnelle Ansprechzeit für Anstieg und Abfall verfügen, um die ansteigenden oder abfallenden Flanken sowie mögliche Reflexionen, Transienten oder andere übliche Abweichungen präzise erfassen und darstellen zu können. Der Vergleich mit einer Signalform, die ausschließlich Oberschwingungskomponenten enthält, zeigt, wie unterschiedlich ein Oszilloskop die Form und Flanken darstellen kann. Dieser Unterschied kann beachtliche Abweichungen in der dargestellten Signalform verursachen. Die Leistungsfähigkeit digitaler Speicheroszilloskope bei der Erfassung der Anstiegszeit hängt von der analogen Eingangsstufe und der Abtastrate des Analog-/Digitalwandlers ab. Eine gebräuchliche Faustregel der Messtechnik empfiehlt, ein Oszilloskop mit einer Anstiegszeit von einem Fünftel der Anstiegszeit der zu messenden Sinuswelle auszuwählen.

**Oszilloskop-Anstiegszeit ≤ schnellste Anstiegszeit des Signals x 1/5**

Untersucht man die Signalflanken bei Einsatz eines Oszilloskops mit einer Anstiegszeit von weniger als einem Fünftel der Anstiegszeit des zu prüfenden Signals, sind bei der Anzeige der Anstiegszeit Abweichungen um bis zu 33 % möglich.




Der Zusammenhang zwischen Anstiegszeit und Bandbreite kann auch mithilfe einer anderen allgemeinen Gleichung berechnet werden: Anstiegszeit = 0,35 / Bandbreite. Diese bewährte Gleichung berücksichtigt den Frequenzgang typischer Oszilloskope mit Bandbreiten von 1 GHz oder weniger. Außerdem sollten weitere Fehler in der gesamten Messkette, die durch Tastköpfe, das zu prüfende Signal und das verwendete Oszilloskop auftreten, in die Analyse eingeschlossen werden.

In modernen handelsüblichen und industriellen Geräten wie medizinischen Bildgebungs-, Radar- und digitalen Kommunikationssystemen sowie Wechselrichtern kommen Mikroprozessoren und Halbleiter-Schaltelemente zum Einsatz, deren Taktfrequenzen bei mehreren Hundert MHz liegen und die digitale Impulse mit Flankenanstiegs- und -abfallzeiten im Bereich von Zehntel-Nanosekunden erzeugen. Zusätzlich zu den schnellen Arbeitsgeschwindigkeiten unterliegen diese Geräte dem Einfluss von elektromagnetischen Störungen und Umweltbedingungen, die Impedanzänderungen, Unsymmetrien und Verzerrungen verursachen können und zu einer nicht korrekten Arbeitsweise des Geräts führen können. Durch den Einsatz eines Oszilloskops mit ausreichend großer Bandbreite und passender Anstiegszeit kommt es nicht zu falschen Vermutungen, sondern die Ursache kann schnell gefunden werden. Beachten Sie stets, dass ein Oszilloskop mit einer schnelleren Anstiegszeit und größeren Bandbreite die tatsächliche Signalform und wichtige Einzelheiten wie Signalrauschen, Verzerrung, Spitzenwerte von Transienten und Reflexionen präziser erfassen und anzeigen kann.

**Fazit**

Bei Messungen an modernen elektronischen Geräten mit hohen Taktfrequenzen und Arbeitsgeschwindigkeiten sowie industriellen Stromversorgungssystemen stehen Ingenieure und Techniker jeden Tag vor Herausforderungen. Manche dieser Messungen erfordern den Umgang mit hohen Spannungen und Stromstärken mit wiederum hohen Frequenzen und schnellen Flanken, die Oberschwingungen oder andere schnelle Signalanomalien enthalten. Laboroszilloskope verfügen zwar über die erforderliche Bandbreite und Abtastgeschwindigkeit, sind jedoch nicht portabel, bieten geringere Sicherheit und haben keine Potenzialtrennung zwischen den Eingangskanälen und dem Gehäuse. Das neue portable Fluke ScopeMeter 190-504 bietet das Beste beider Welten: Es ist ein tragbares, 4-Kanal-Messgerät mit potenzialgetrennten Eingängen, einer Bandbreite von 500 MHz und einer Abtastrate von 5 GS/s, das bequem in eine Hand passt und mit dem Ingenieure und Techniker schnell, präzise und sicher Messungen an Instrumenten mit hoher Geschwindigkeit vornehmen können.

**Fluke.** *Damit Ihre Welt intakt bleibt.®*

**Fluke Corporation**
PO Box 9090, Everett, WA 98206 USA

**Fluke Europe B.V.**
PO Box 1186, 5602 BD
Eindhoven, Niederlande

**Weitere Informationen erhalten Sie telefonisch unter den folgenden Nummern:**
In den USA (800) 443-5853 oder

Fax (425) 446-5116
In Europa/Naher Osten/Afrika
+31 (0) 40 2675 200 oder

Fax +31 (0) 40 2675 222
In Kanada (800)-36-FLUKE oder

Fax (905) 890-6866
Aus anderen Ländern +1 (425) 446-5500 oder

Fax +1 (425) 446-5116
Internet: http://www.fluke.com

©2013-2014 Fluke Corporation.
Die Angaben können jederzeit ohne Vorankündigung geändert werden.
Gedruckt in den USA. 4/2014 4252284b-de

**Dieses Dokument darf nicht ohne die schriftliche Genehmigung der Fluke Corporation geändert werden.**