HAMEG Instruments

Fachartikel

Analog, digital oder beides?

Analog, digital oder beides?

Analog- oder Digital-Oszilloskop. Welches zeigt die Wahrheit?

Seit kurzer Zeit ist immer wieder zu lesen, dass Analog-Oszilloskope durch Digital-Oszilloskope abgelöst worden seien. Diese Aus sage ist mit Vorsicht zu geniessen. In den Statistiken werden hohe Wachstumsraten von digitalen Speicheroszilloskopen genannt, ohne dabei zu erwähnen, dass darin zum Beispiel auch sämtliche verkauften »Combiscopes» (das heisst, Geräte, die analog und digital arbeiten) enthalten sind.

Der vorliegende Artikel richtet sich an Anwender und Newcomer gleichermassen. Besonders, wer das Oszilloskop nicht ständig im Einsatz hat, erhält eine wertvolle Orientierungshilfe. Ob Analog- oder Digital Oszilloskop, beide haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Ziel der nachfolgenden Ausführungen ist es, ein realistisches Bild vom momentanen Stand der Technik aufzuzeigen. Nach der Lektüre soll es dem Leser möglich sein, das für seine Anwendungen am besten geeignete Oszilloskop auszuwählen.

Vielseitiges Messgerät

Das Oszilloskop ist das vielseitigste Messgerät! Mit ihm lassen sich Spannungen, Zeiten, Frequenzen und Tastverhältnisse «auf einen Blick» bestimmen. Das Messraster und der Cursor ermöglichen Messungen an ausgewählten Signalabschnitten (Überschwingen, Frequenzen von Einschwingvorgängen, Anstiegszeiten von Impulsen, Jittern usw.). Zudem ermöglicht die Visualisierung die Beurteilung von Störabständen durch Rauschen, Überlagerungen oder Netzfrequenzeinstreuungen.



Analog/Digital-Oszilloskop mit 2 x 150 MHz und 200 MSample/s. Oft ist ein gemischtes analog/digitales Oszilloskop die beste Wahl!

Digital-Multimeter und -Zähler bieten zwar eine höhere Messgenauigkeit, aber keine optische Real-Time-Darstellung des Messsignals. Bei der Messung von Signalen mit Frequenzgemischen sind daher Fehlmessungen leicht die Folge, da der Anwender quasi «blind» messen muss.

Die Darstellung des zu messenden Signals ist der entscheidende Vorteil eines Oszilloskops. Dieser Vorteil ist um so grösser, je originalgetreuer das gemessene Signal angezeigt wird!

Kriterium Auflösung

Das Analogoszilloskop ermöglicht eine unterbrechungsfreie Darstellung des Messsignals, gleichgültig, ob der Elektronenstrahl in vertikaler, horizontaler oder gleichzeitig in beide Richtungen abgelenkt wird. Beim Digital Oszilloskop ist dies nicht der Fall. Hier werden nur einzelne Punkte erfasst. In vertikaler Richtung können beispielsweise mit 8 Bit auflösenden AD-Wandlern nur 25 Punkte pro Rasterteilung (Division) dargestellt werden.

Die Horizontalauflösung wird bei Digitaloszilloskopen durch die physikalischen Eigenschaften der Anzeige bestimmt. Digitaloszilloskope mit LCD-Anzeige stellen nur 25 Abtastpunkte pro Division in X-Richtung dar. Wird statt einer LCD-Anzeige eine im VGA-Modus betriebene Monitorröhre einge-

Anzeige-Kriterien	Digitaloszilloskop mit LCD-Anzeige	Analogoszilloskop mit Strahlröhre
Auflösung	in X-Richtung: 250 Punkte in Y-Richtung: 250 Punkte	quasi unendlich
Aktualisierungsgeschwindigkeit	gering–mittel	Echtzeit
Helligkeitsmodulation	nicht vorhanden	vorhanden
Blickwinkel/Ablesbarkeit	eingeschränkt	kleiner 180°

Tabelle 1 Vergleich LCD-Anzeige mit Strahlröhre

setzt, erhöht sich die X-Auflösung auf 50 Punkte/Division. Im Falle der LCD-Anzeige können somit nur 250 Abtastpunkte über das gesamte Raster dargestellt werden. Im Gegensatz zur LCD-Anzeige bietet die Elektronenstrahlröhre die höchste Auflösung; hier ist die Auflösung quasi unendlich.

Speicherkapazität

Aufgrund der begrenzten Speicherkapazität bei Digitaloszilloskopen ergibt sich ein weiteres Problem. Um den interessierenden Signalabschnitt vollständig erfassen zu können, muss in vielen Fällen die Zeitbasis verlangsamt und damit die Abtastrate verringert werden. Dadurch werden höherfrequente Signalanteile (z. B. Störimpulse) entweder gar nicht oder mit zu wenig Abtastpunkten erfasst. Auch der Versuch, diesen Nachteil durch eine Min-/Max-Funktion zu beseitigen, ist nicht hilfreich, da dadurch das schlechte Signal-/Rausch Verhältnis des AD-Wandlers sichtbar wird. In der Tabelle 1 sind die wichtigsten Kriterien der Anzeigen gegenübergestellt.

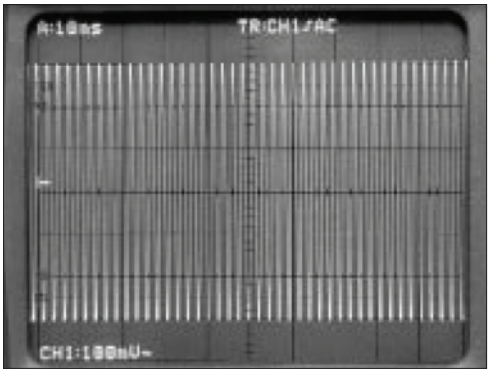


Bild 1A
Darstellung auf Analogoszilloskop mit CRT-Schirm. Signal: 430 Hz Sinus, Oszilloskop-Einstellung: Y-Ablenkung 100 mV/cm, X-Ablenkung: 10ms/cm. Einwandfreies Sinussignal.

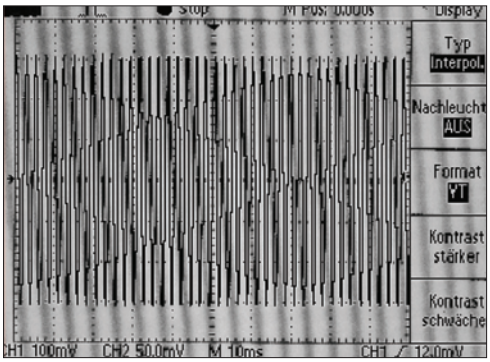


Bild 1B
Digitaloszilloskop mit LC-Anzeige, gleiches Signal und Oszilloskopeinstellungen wie 1A. Stufige Darstellung täuscht übergelagerte Signale vor (= perzeptorisches Aliasing).

Vergleich 1

Problem der stufigen Darstellung und des Jitters

Die beschränkte Auflösungsmöglichkeit des LC-Displays bei Digitaloszilloskopen führt zu einer stufigen Darstellung des Signals. Dabei

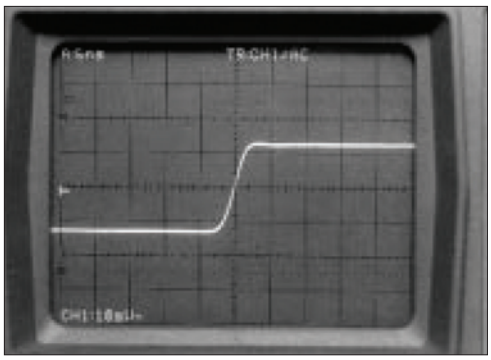


Bild 1C
Darstellung Analogoszilloskop mit CRT-Schirm. Signal: 1z Rechteck, Oszilloskop-Einstellung: Y-Ablenkung 10 mV/cm, X-Ablenkung 5 ns/cm.
Einwandfreies Rechtecksignal.

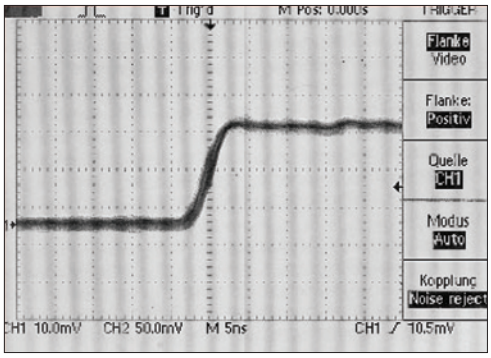


Bild 1D
Digitaloszilloskop mit LC-Anzeige, Signal und Einstellungen entsprechend 1C. Rechtecksignal (jitternd).

kann der Eindruck entstehen, dass dem ursprünglichen Signal ein oder mehrere Signale überlagert werden. Dieser Effekt ist in Bild 1B festgehalten (siehe auch Vergleich 4 «Aliasing»). Bedingt durch die geringe Auflösung mit der punktweisen Aufnahme kann z.B. auch der Eindruck erweckt werden, als würde eine Kurve stark jittern (= wackeln). Dieser Sachverhalt ist in den Bildern 1C und 1D festgehalten.

Vergleich 2

Problem der Interpolation und Amplitudenschwankungen

Mit einem 1-GS/s-Wandler wird zum Beispiel im Abstand von 1 ns gewandelt. In der Zeitbasisstellung 5 ns/div. werden also 5 Analogwerte pro Division erfasst und digitalisiert. Die zu 25 Punkten pro Division fehlenden 20 Werte werden interpoliert. Das Ergebnis der Interpolation hängt davon ab, an welcher Stelle das Signal abgetastet wurde.

Durch die rechnerische Aufbereitung wird die Kurve verzerrt. Das Signal sieht so stark deformiert aus oder weist nicht vorhandene Amplitudenschwankungen auf (Bild 2B).
Eine lineare Interpolation liefert gute Ergebnisse, wenn die Zahl der Abtastpunkte etwa zehn pro Periode beträgt oder mehr als drei

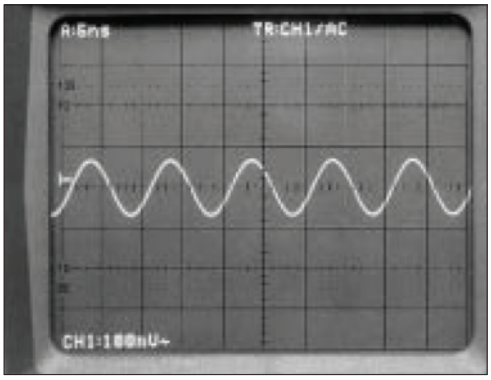


Bild 2A
Darstellung Analogoszilloskop mit CRT-Schirm. Signal: 100 MHz Sinus, Oszilloskop-Einstellung: Y- Ablenkung: 100 mV/cm, X-Ablenkung: 5 ns/cm. Einwandfreies Sinussignal.

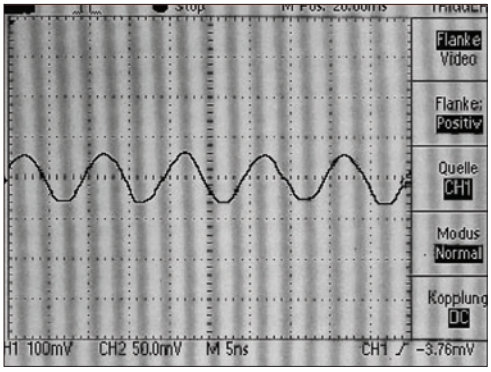


Bild 2B
Digitaloszilloskop mit LCD, Parameter wie bei 2A. Durch Interpolation verfälschtes Signal.

Abtastpunkte in einer Flanke zur Verfügung stehen. Polynome höherer Ordnung führen bei den Voraussetzungen des Abtasttheorems meist zu Überschwingen bei Rechtecksignalen.

Vergleich 3

Problem des Rauschens bei reinen Digitaloszilloskopen

Aus den Bildern 3A und 3B lässt sich ein wesentliches Problem von Digitaloszilloskopen erkennen. Der Pegel des Rauschens ist bei den Digitaloszilloskopen mit Analog-

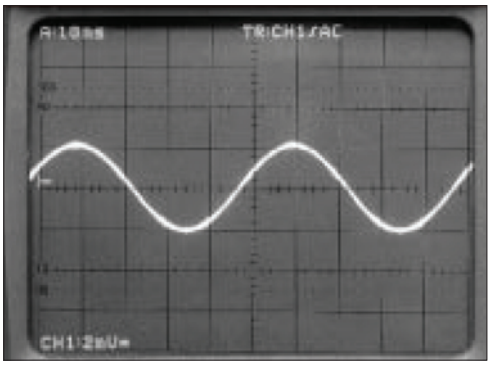


Bild 3A
Analogoszilloskop mit CRT-Schirm. Signal: 20 Hz Sinus, Oszilloskop-Einstellung: Y-Ablenkung: 2 mV/cm, X-Ablenkung: 10 ms/cm. Rauschfreies Signal.

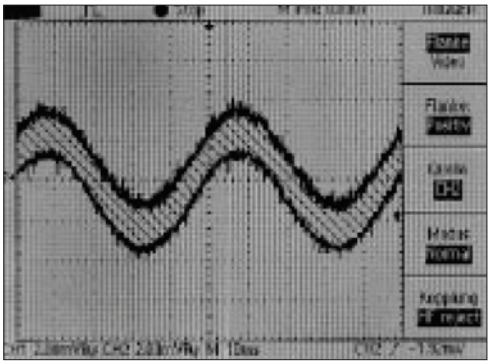


Bild 3B
Digitaloszilloskop mit LC-Anzeige, gleiche Voraussetzungen wie bei 3A. Verrauschtes Signal (Min/Max-Darstellung).

zwischenspeicher (Abtastrate grösser 500 MS/s) sehr hoch. Bei Analogoszilloskopen kann das Eigenrauschen praktisch vernachlässigt werden.
Das Eigenrauschen beim Digitaloszilloskop wird nicht nur vom Messverstärkereingang bestimmt, sondern zusätzlich von dem für die Digitalisierung verwendeten Prinzip. Der eingebaute AD-Wandler ist bei der Beurteilung ein sehr wichtiger Punkt, da er das

Signal durch Rauschen und Nichtlinearitäten stark verfälschen kann. Man kann zwei grundsätzliche Prinzipien unterscheiden:
Die Digitalisierung erfolgt direkt mit einem schnellen Flash-AD-Wandler, oder das Messsignal wird zuerst analog zwischengespeichert und anschliessend mit einem relativ langsamen AD-Wandler digitalisiert. Vor allem die analoge Zwischenspeicherung in CCD-Zeilen oder -Arrays erzeugt zusätzliche Störpegel, die sich zum ohnehin vorhandenen Quantisierungsrauschen des AD-Wandlers addieren.

Kleine Signale messen

Besonders problematisch wird es bei Digitaloszilloskopen, wenn man Signale mit kleiner Amplitude messen will. Das starke Rauschen bedingt hier eine weitere Verschlechterung des Signal-/Rausch-Verhältnisses. Um Kosten zu sparen, werden bei Digitaloszilloskopen hohe Y-Eingangsempfindlichkeiten oftmals nur durch eine

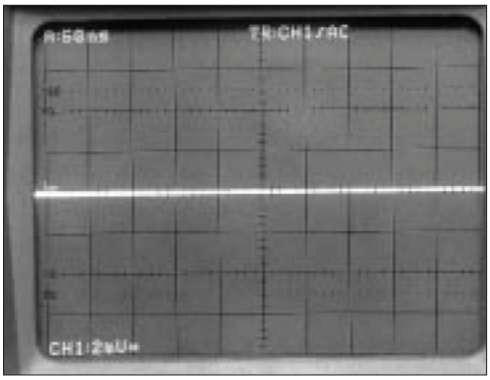


Bild 3C
Darstellung auf Analogoszilloskop mit CRT Schirm. Kein Signal, Oszilloskop-Einstellung: Y Ablenkung: 2 mV/cm, X-Ablenkung: 50 ms/cm. Rauschfreie Nullinie.

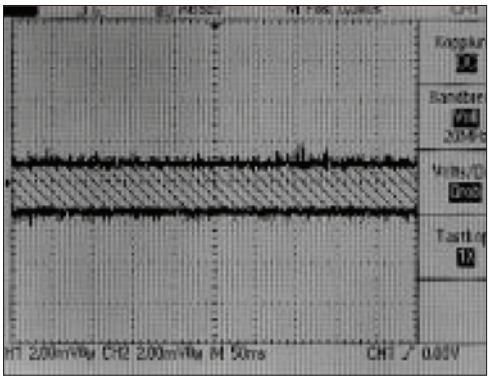


Bild 3D
Bedingungen siehe 3C. Nulllinie auf Digitaloszilloskop (Min/Max-Darstellung).

Softwaredehnung realisiert. In diesem Fall werden die Signaldaten rechnerisch mit einem festen Faktor multipliziert. Dabei wird das Rauschen ebenfalls multipliziert und das Problem zusätzlich verschärft.
Um dies zu kaschieren, zeigt man bei auf Ground geschaltetem Eingang eine rauschfreie, rechnerisch erzeugte Linie. Sie entspricht der Y-Positionseinstellung.
Bei offenen, aber abgeschirmten Eingängen wird das starke Rauschen besonders gut sichtbar. Dieser Sachverhalt wird durch die Bilder 3C und 3D dargestellt.

Man wird sich wahrscheinlich irgendeinmal fragen: «Woher weiss ich, was rauscht? Meine Schaltung? Mein Oszilloskop? Oder beides zusammen?» Hier wird oftmals als Lösung der «Average»-(Mittelwert-)Modus angeboten. Durch ihn wird die Signaldarstellung rauschärmer, je grösser die Zahl der Messungen ist, aus denen der Mittelwert gebildet wird. Allerdings wird ein aus der Signalquelle stammendes Rauschen ebenfalls mitgeglättet, und so kann es passieren, dass eine stark verrauschte Quelle den Eindruck erweckt, rauschfrei zu sein!

Vergleich 4

Problem des Aliasing

Der Begriff «Aliasing» kommt aus dem Englischen und bedeutet soviel wie «Informationsverfremdung». Dadurch kann eine Signaldarstellung erfolgen, bei der die Form, Frequenz und/oder Amplitude falsch dargestellt werden (Bild 4B).
Man unterscheidet zwischen zwei verschiedenen Aliasing-Arten: Dem tatsächlichen Aliasing und dem perzeptorischen Aliasing (siehe Bild 1B). Das tatsächliche Aliasing tritt bei Unterabtastung auf, das heisst, wenn ein Signal weniger häufig abgetastet wird, als es nötig wäre.

Das Abtasttheorem setzt ein bandbegrenztes Signal voraus und besagt nur, dass ein reines Sinussignal mit mindestens 2 Abtastungen pro Periode erfasst werden muss, um es fehlerfrei rekonstruieren zu können. Mit weniger als 2 Abtastungen pro Periode (Unterabtastung) erfasste Signale werden in bezug auf ihre Frequenz falsch darg stellt. Tatsächlich wird für die unverfälschte Darstellung mit einem Oszilloskop eine wesentlich höhere Zahl von Abtastungen pro Periode benötigt.

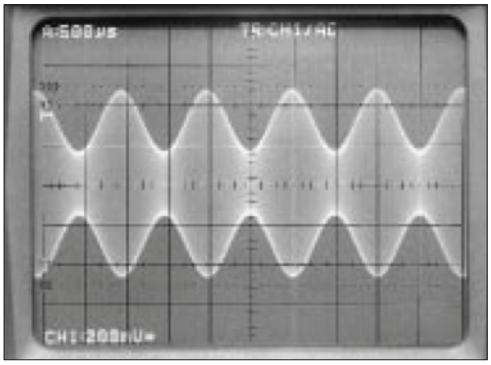


Bild 4A
Darstellung Analogoszilloskop mit CRT-Schirm. Signal: 1 MHz Sinus, 1 kHz AM 50 %, Oszilloskop Einstellung: Y-Ablenkung: 200 mV/cm, X-Ablenkung: 500 µs/cm. Resultat: 1-kHz-AM-Signal.

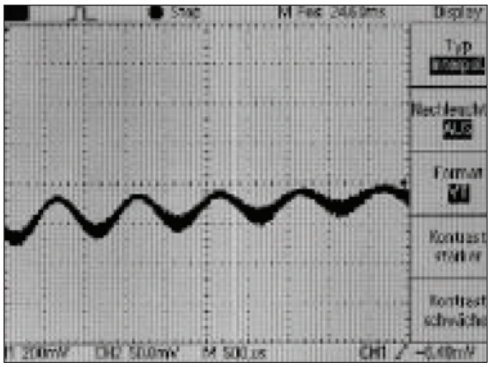


Bild 4B
Digitaloszilloskop mit LC-Anzeige. 1-kHz-AM Signal (vgl. 4A) durch Aliasing verfälscht.

Die besondere Gefahr des tatsächlichen Aliasing besteht darin, dass man sein Auftreten oft nicht bemerkt und sich beim Messen auf der richtigen Seite wähnt.

Perzeptorisches Aliasing

Das perzeptorische Aliasing ist eine Art optische Täuschung. Vergleiche hierzu «Vergleich1» und Bild 1B.
Aliasing ist beim Analogoszilloskopen grundsätzlich nicht möglich.

Vergleich 5

Komplexe Signale

Um den interessierenden Signalabschnitt vollständig erfassen zu können, muss in vielen Fällen die Zeitbasis verlangsamt und damit die Abtastrate verringert werden. Dadurch werden höherfrequente Signalanteile (z. B. Störimpulse) entweder gar nicht oder mit zu wenig Abtastpunkten erfasst (Bild 5A, 5B).
Komplexe Signale sind zum Beispiel Trägersignale, Videosignale usw. Hier können die Phase, Frequenz oder Amplitude moduliert sein. In den Bildern 5C und 5D wird ein Videosignal gezeigt, das aus mehreren Anteilen mit unterschiedlicher Amplitude und Frequenz besteht.
Helligkeitsunterschiede, die zur Schreibgeschwindigkeit umgekehrt proportional

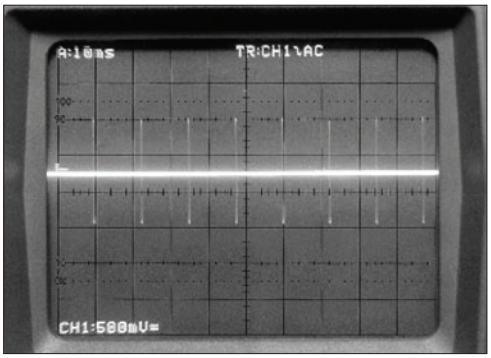


Bild 5A
Darstellung mit Analogoszilloskop mit CRT Schirm. Signal: Burst-Signal, Oszilloskop-Einstellung: Y Ablenkung: 500 mV/cm, X-Ablenkung: 10 ms/cm. Gut beurteilbares Burst-Signal.

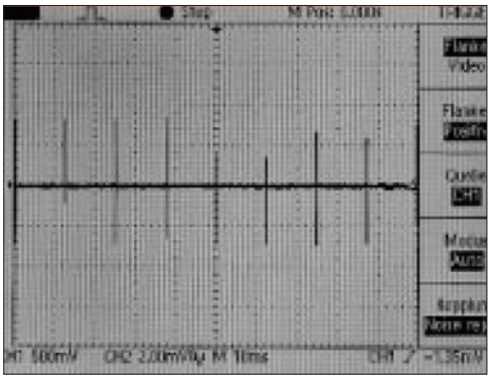


Bild 5B
Digitaloszilloskop mit LCD, Signalparameter siehe 5A. Burst-Signal wird verfälscht dargestellt.

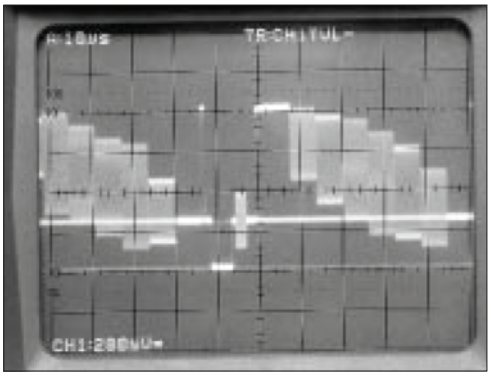


Bild 5C
Darstellung Analogoszilloskop mit CRT-Schirm. Signal: FBAS (Videosignal), Oszilloskop-Einstellung: Y-Ablenkung: 200 mV/cm, X-Ablenkung: 10 µs/cm. Resultat: unverfälschtes FBAS-Signal.

sind (und eine unendliche Auflösung), liefern beim Analogoszilloskop ein einwandfreies Bild. Hier kann das Signal (Farbinformation usw.) richtig interpretiert werden. Beim Digitaloszilloskop (Bild 5D) wird ein grosser Teil der Informationen nicht angezeigt. (rb)

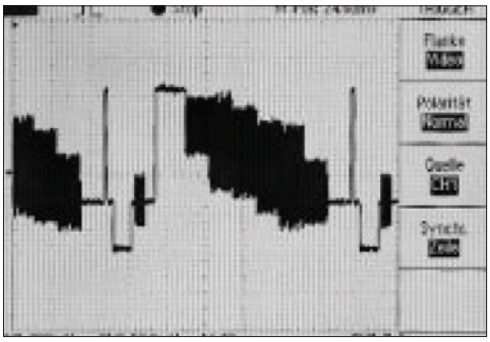


Bild 5D
Digitaloszilloskop mit LC-Anzeige, Signal wie 5C. FBAS-Signal mit Informationsverlust.

Pro und Kontra

Wie im vorliegenden Artikel gezeigt wird, sind für viele Anwendungen Analogoszilloskope nach wie vor unersetzlich. Das Digitaloszilloskop hat seine Vorteile bei der Messung von Signalen mit geringer Repetierrate bzw. bei einmalig auftretenden Signalen. Ein weiteres Plus sind die vielfältigen Triggermöglichkeiten und die Darstellung der Vorgeschichte von Signalen mit dem Pre-Trigger. Höherwertige Geräte erlauben mit einem Post-Trigger auch die Aufzeichnung der nachfolgenden Ergebnisse. Die Dokumentation via PC gestaltet sich bei einem Digitaloszilloskop wesentlich einfacher als bei einem reinen Analogoszilloskop (Polaroid-Kamera). Für gewisse Anwendungen sind jedoch Analogoszilloskope nach wie vor unentbehrlich. Diese Geräte zeigen die beste Signaldarstellung in bezug auf die Amplitudenauflösung und Signaltreue. Aufgrund der sehr guten Aktualisierungsgeschwindigkeit wird eine Änderung sofort angezeigt. Um dieses Ergebnis bei Digitaloszilloskopen zu erreichen, helfen bisher auch die raffiniertesten, mathematischen Kniffe und Hardwaretricks – die in der Signalrekonstruktion unternommen werden – nicht aus. Daher wird ein kombiniertes Analog/Digital-Oszilloskop hinsichtlich seiner universellen Anwendbarkeit oftmals die optimale Lösung sein.