

Moderne Oszilloskop- Meßtechnik Teil 2

Im zweiten Teil dieser Artikelserie wird außer der grundsätzlichen Funktionsweise von Digital(Speicher)-Oszilloskopen auch beschrieben, wo die wesentlichen Anwendungsfälle dieser Oszilloskopkategorie liegen.

3.5 Digital-Oszilloskope

Wie aus Abbildung 5 ersichtlich, gelangt das Meßsignal über den Tastkopf auf das Vertikalsystem, das, wie in Analog-Oszilloskopen üblich, aus Abschwächer und nachfolgendem Verstärker besteht. Im Gegensatz zu Analog-Oszilloskopen gelangt das Meßsignal nach der Verstärkung aber nicht auf die Y-Ablenkplatten der Strahlröhre, sondern auf den Eingang eines Analog/Digital-Wandlers.

Bei interner Triggerung wird das Meßsignal auch dem Triggersystem zugeführt. Dieses löst beim Analog-Oszilloskop den Sägezähngenerator (Zeitbasis) und damit einen X-Ablenkvorgang aus, während beim Digital(Speicher)-Oszilloskop das im Horizontalsystem erzeugte Zeitbasis-Taktsignal nun auf den Ausgang dieser Stufe gelangt. Damit hat das Triggersystem die Datenerfassung ausgelöst.

Vereinfacht beschrieben: Die Datenerfassung erfolgt, indem die Rechteck-Taktsignale des Horizontalsystems mit der an-

steigenden (oder fallenden) Flanke den AD-Wandler zur Wandlung (Abtastung) veranlassen. Der in diesem Augenblick am Eingang befindliche Spannungswert wird in ein 8-Bit-Datenwort umgewandelt. Dieses gelangt über den Datenbus auf Datenanschlüsse eines statischen RAM-Bausteins und wird mit einem Schreibimpuls unter Adresse 0 geschrieben.

Anschließend wird die Adresse des RAMs um 1 erhöht. Mit der nächsten Signalabtastung wird ein neues Datenwort erzeugt und im RAM unter Adresse 1

(ein)geschrieben. Diese Prozedur wiederholt sich so lange, bis alle Speicherzellen des RAMs beschrieben, d. h. die höchstmögliche Adresse des RAMs erreicht ist. Danach wird bei Einzelereigniserfassung (Single) die Aufzeichnung beendet oder im Refresh-Betrieb auf das nächste Triggerereignis gewartet, das einen erneuten Aufzeichnungsvorgang auslöst, bei dem die zuvor erfaßten Daten von den neuen Daten überschrieben werden.

Die Aufzeichnungsdauer ist abhängig von der gewählten Taktfrequenz und der Speicherkapazität (Speichertiefe) des RAMs. Folglich ist die Taktfrequenz die (digitale) Zeitbasis.

Grundsätzlich werden spätestens nach jeder vollständigen Aufzeichnung die erfaßten Daten mit Adresse 0 beginnend ausgelesen und mit einem Digital/Analog-Wandler gewandelt.

Die Spannung am DA-Wanderausgang steuert nach entsprechender Verstärkung dann die Y-Ablenkplatten der Strahlröhre, bestimmt also die vertikale Strahlposition.

Aus der jeweiligen Ausleseadresse wird ebenfalls eine Spannung erzeugt, die mit höheren Adressen ansteigt und treppenförmig ist. Diese Spannung steuert letztlich die X-Ablenkplatten der Strahlröhre während des Auslesens und hat damit auch die Funktion des Sägezahn (Zeitbasis)-Generators beim Analog-Oszilloskop. Adresse 0 entspricht dem Strahlstart (links) und die höchste Adresse dem Strahlende (rechts).

Um auch die Vorgeschichte eines Signals vor der Triggerung erfassen zu können,

kann eine Aufnahme auch ohne Triggersignal gestartet werden. Das Triggersignal dient im einfachsten Falle dann dazu, die Aufnahme sofort zu beenden. Dies ist beim Pre-Trigger-Wert = 100 % der Fall, bei dem das Triggerereignis am Strahlende (rechts) dargestellt wird. Während der Aufnahme werden dann ständig Daten in das RAM geschrieben, bis dessen höchste Adresse erreicht ist. Mit dem nächsten Takt wird dann auf Adresse 0 umgeschaltet, und die zuvor erfaßten Daten werden mit den neuesten Daten überschrieben (beim Pre-Trigger-Wert = 100 %), bis ein Triggerereignis die Aufnahme beendet.

Da das Triggerereignis zufallsabhängig bei jeder Einleseadresse (z. B. bei Adresse 700) auftreten kann, muß vor der Ausgabe zunächst eine Adreßmanipulation vorgenommen werden. Dies erfolgt in der Weise, daß die erfaßten Daten in ein weiteres als Auslesespeicher dienendes RAM kopiert werden. Dabei wird ein Adreßversatz vorgenommen, der bewirkt, daß die Daten von Adresse 701 („älteste“ Daten) unter Adresse 0 abgelegt werden und Adresse 700 unter der höchsten Adresse dieses RAMs gespeichert wird. Beim darauffolgenden Auslesen der Daten erfolgt dann die Darstellung des Triggerereignisses am rechten Bildrand und links davon die Vorgeschichte.

Diejenigen Daten, die sich im Auslesteil befinden, können weiterverarbeitet werden, mit der Einschränkung, daß dieses Verfahren nicht in der Lage ist, Signaländerungen zu reproduzieren, die in der Pau-

se (Abtastlücke) zwischen 2 Abtastungen auftraten.

Ein weiterer Nachteil ist der für Datenverarbeitung benötigte Zeitaufwand, der die Zahl der Erfassungsvorgänge bzw. deren Ausgabe verringert, so daß zwischen den Aufnahmen größere Pausen entstehen und dadurch Signaländerungen „verlorengehen“ können.

Im Roll-Betrieb erfolgt eine kontinuierliche ungetriggerte Aufzeichnung des Meßsignals, um Informationslücken zu vermeiden. Das Meßsignal wird in dieser Betriebsart von rechts nach links durchlaufend dargestellt, wobei am rechten Bildrand immer die neueste Information zu sehen ist.

Der Vorteil dieser Methode besteht darin, daß es kein Aufnahmeende und Warten auf das nächste Triggerereignis wie im Refresh-Betrieb gibt. Eine Signaländerung kann somit nicht unbemerkt erfolgen.

Damit die Darstellung während der gleichzeitig erfolgenden Abtastung zu sehen ist, findet das Kopieren in den Auslesespeicher zwischen 2 Abtastungen statt. Wegen der benötigten Kopierzeit ist der Roll-Betrieb nur in relativ langsamen Zeitbasisstellungen möglich.

Die zuvor gemachten Erläuterungen geben Hinweise auf den sinnvollen Einsatz von Digital(Speicher)-Oszilloskopen. Im Vordergrund steht die Einzelereigniserfassung, die mit Analog-Oszilloskopen mittels Fotografie zwar auch möglich ist (wobei der Preis wesentlich niedriger und die Auflösung sehr viel besser ist), die dann

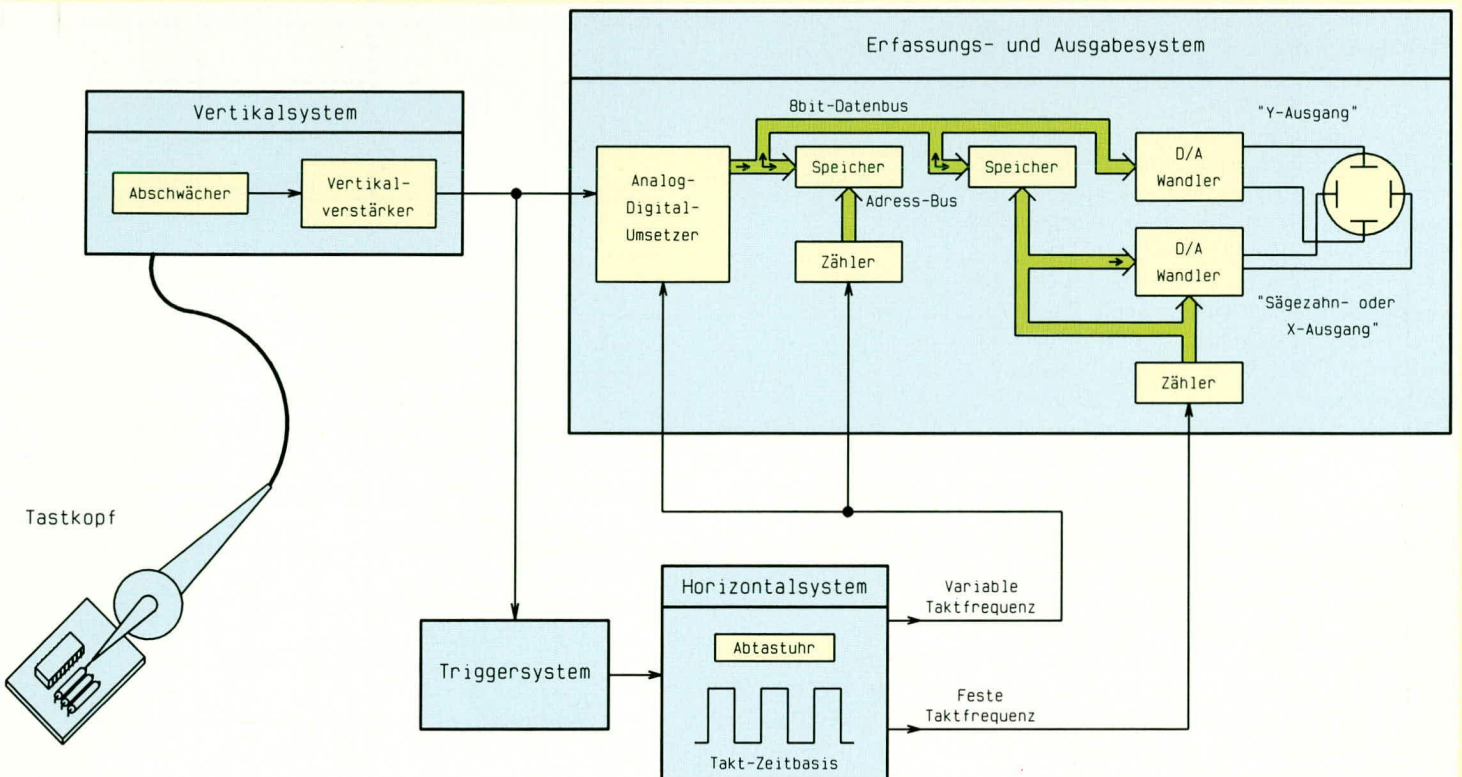


Bild 5: Prinzipielle Darstellung des Signalweges im Digital-Oszilloskop

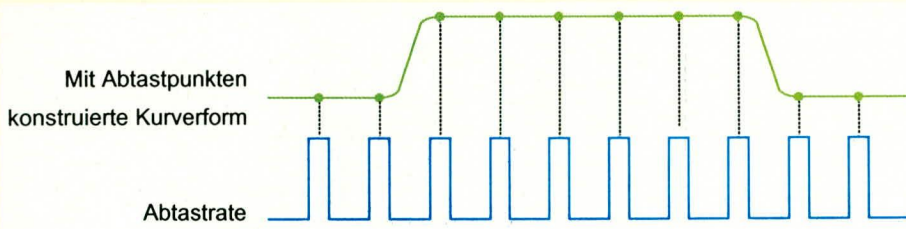


Bild 6: Echtzeit-Abtastmodus

aber keine Pre-Triggerung bieten kann. Bei der Darstellung sehr niederfrequenter Signale ($< 5 \text{ Hz}$) ist das Digital(Speicher)-Oszilloskop immer im Vorteil, weil es das Signal vollständig und nicht als wandernden Punkt darstellt. Außerdem ist zu erwähnen, daß die Dokumentation von in Datenform umgewandelten Signalen leicht realisierbar ist. Nachteilig ist die X- und Y-Auflösung beim Digital-Oszilloskop. Mit einem 8-Bit-DA-Wandler ist nur eine Auflösung von ca. 25 möglichen Strahlpositionen je Zentimeter in Y-Richtung erreichbar. In X-Richtung sind es im allgemeinen 2000 Punkte je 10 cm (200 Punkte/cm) bei einem Gerät mit 2 k Speichertiefe pro Kanal. Ist die Speichertiefe geringer (z. B. 500 Byte), sind Signale mit relativ langer Periodendauer, die gleichzeitig höherfrequente Signalanteile beinhalten, mit einem Digital-Oszilloskop nur noch in unzureichender Qualität darstellbar (z. B. Videosignale mit einer Periodendauer von $64 \mu\text{s}$ und $4,43 \text{ MHz}$ Sinussignalen). Ein Analog-Oszilloskop bietet dagegen eine unendliche X- und Y-Auflösung und bei der Darstellung periodischer Signale die höhere Bildwiederholrate, denn es müssen keine Daten verändert, kopiert oder anders verarbeitet werden.

3.6 Abtastmethoden

Die Abtastmethode sagt dem Digital-Oszilloskop, wie die Abtastpunkte zu sammeln sind. Für sich nur langsam ändernde Signale sammelt ein Digital-Oszilloskop leicht mehr als genug Abtastpunkte, um ein genaues Bild zu erstellen. Bei schnelleren Signalen jedoch (wie schnell, hängt dabei von der maximalen Abtastrate des Oszilloskops ab), kann das Oszilloskop nicht genügend Abtastungen durchführen. Für sinusförmige Signale beträgt die Minimumforderung 10 Abtastpunkte pro Signalperiode, d. h. ein Oszilloskop mit einer Abtastrate von 40 Mega-Samples kann maximal ein Signal mit einer Frequenz von 4 MHz darstellen. In diesem Fall sind 2 Vorgehensweisen möglich:

- Es können in einem einzigen Durchgang

einige wenige Abtastpunkte des Signals erfaßt (im Echtzeit-Abtastmodus) und dann eine Interpolation vorgenommen werden. Eine Interpolation ist eine Verarbeitungstechnik, bei der unter Berücksichtigung einiger weniger Punkte nachvollzogen wird, wie das Signal aussieht (bzw. aussehen könnte).

- Das Signalabbild kann über längere Zeit hinweg, und zwar solange, wie sich das Signal wiederholt, aufgebaut werden (Äquivalenzzeit-Abtastmodus). Im Folgenden wollen wir beide Methoden näher betrachten.

3.6.1 Echtzeit-Abtastung mit Interpolation

Digital-Oszilloskope verwenden die Echtzeit-Abtastung als Standard-Abtastmethode. Hierbei sammelt das Oszilloskop im Anschluß an den Start (Trigge-

rung) so viele Abtastungen des Meßsignals, wie es kann (Abbildung 6). Für ein Einzelschußsignal oder ein transientes Signal muß der Echtzeitmodus verwendet werden.

Ist die Signalfrequenz, bezogen auf die Abtastrate des AD-Wandlers, so hoch, daß nur wenige Abtastpunkte pro Periode gesammelt werden können, wird beim Digital-Oszilloskop zur Verbindung der einzelnen Punkte die Interpolation eingesetzt.

Bei der linearen Interpolation werden die Abtastpunkte ganz einfach durch gerade Linien verbunden. Bei der Sinus-Interpolation (oder „Sinx-über-x-Interpolation“) werden die Abtastpunkte durch Kurvenzüge verbunden (Abbildung 7). Die Sinus-Interpolation ist ein mathematischer Vorgang, der dem in CD-Spielern angewandten „oversampling“ ähnelt. Hierbei werden Punkte zu dem Zweck kalkuliert, um die Zeit zwischen den eigentlichen Abtastungen auszufüllen. Mit Hilfe dieses Vorgangs kann ein Signal, das in jedem Zyklus nur einige Male abgetastet wurde, im Falle von CD-Spielern in für das Ohr guter Qualität wiedergegeben werden, wobei zu beachten ist, daß das menschliche Auge höhere Anforderungen an die optische Signalqualität setzt als das Ohr an die akustische Qualität.

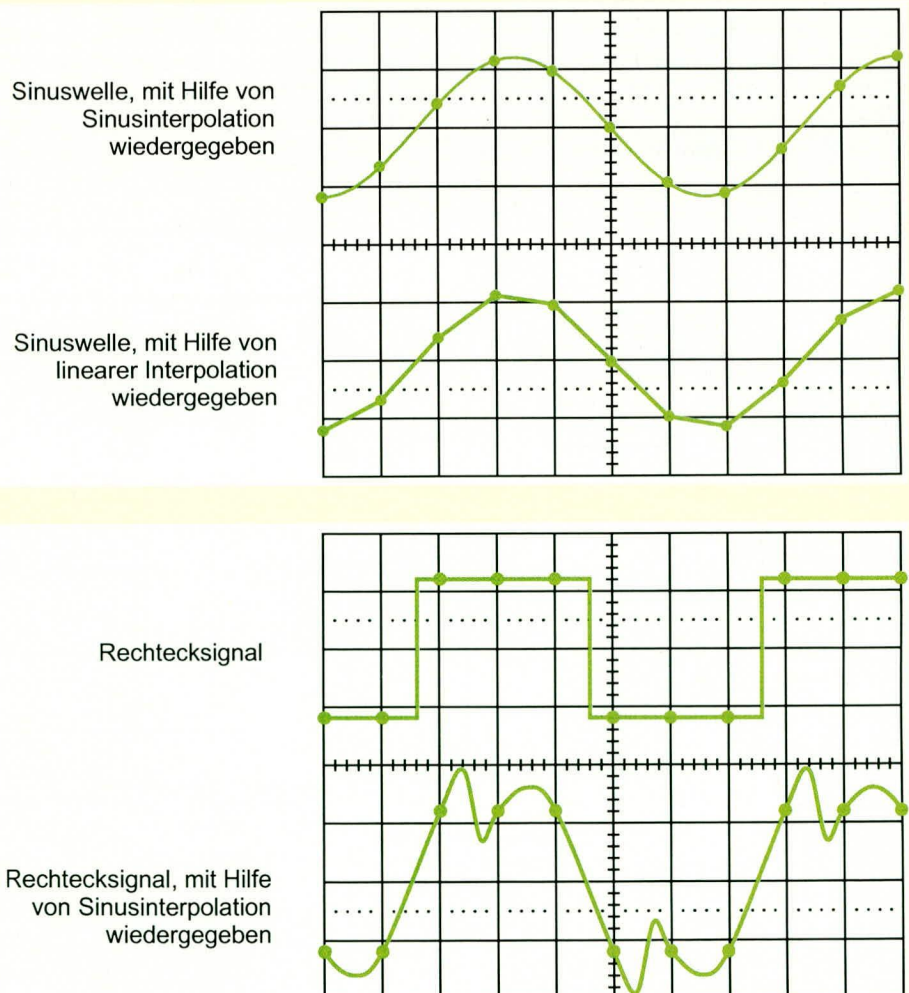
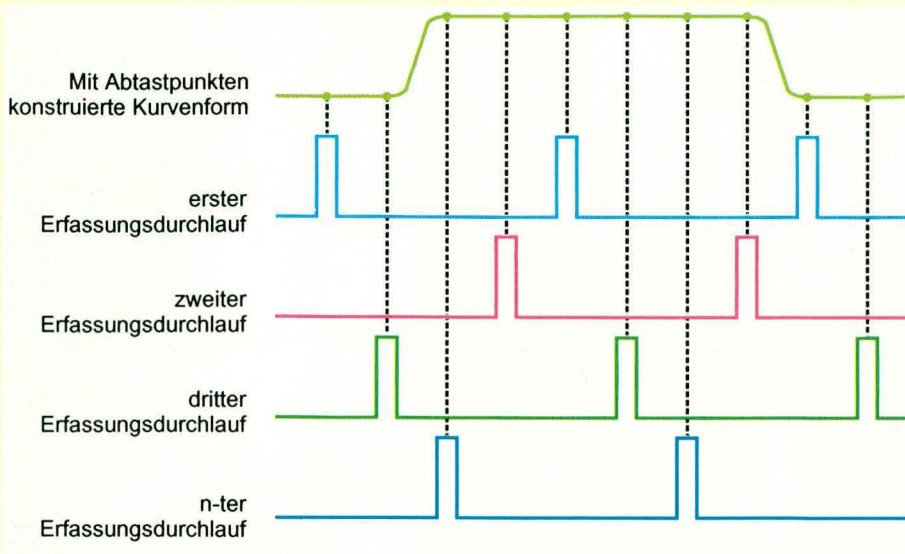


Bild 7: Linear- und Sinusinterpolation



einsetzen kann. Außerdem führen schon geringe Amplituden oder Frequenzänderungen des Meßsignals während der Aufnahme zu Signalverformungen und damit zur Verschlechterung der Aufnahmequalität.

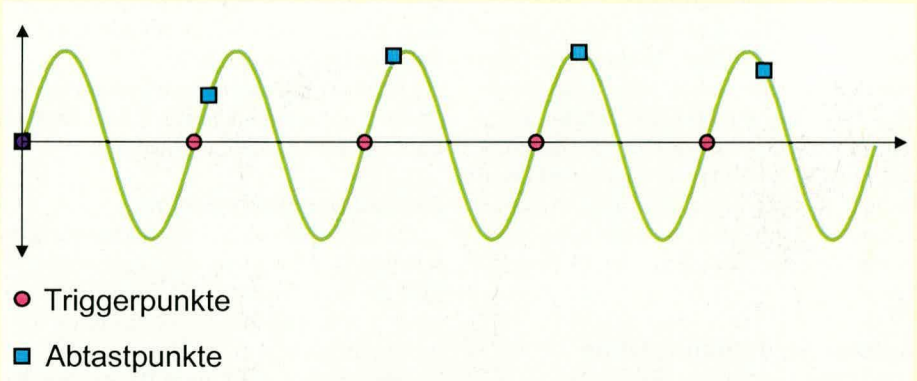
Bild 8:
Zufallsabtastung

Bild 9:
Äquivalenzzeit-Abtastung

3.6.2 Äquivalenzzeit-Abtastung

Manche Digital-Oszilloskope können mit Hilfe von Äquivalenzzeit-Abtastung auch Signale erfassen, die sich sehr schnell wiederholen. Die Äquivalenzzeit-Abtastung konstruiert ein Bild eines periodischen Signals dadurch, daß sie von jeder Wiederholung kleine Informationsteile einfaßt (Abbildung 9). Dabei setzt sich die Kurvenform langsam zusammen, ähnlich einer Lichterkette, bei der ein Licht nach dem anderen angeht. Bezogen auf das Triggersignal, das bei jeder Periode neu auftritt, wird das Signal mit zunehmendem Abstand abgetastet, so daß immer neue Werte hinzukommen und die Darstellung „verdichten“.

Auch die Zufallsabtastung (Abbildung 8) bezieht sich auf das Triggersignal. Die



Abtastung erfolgt jedoch in willkürlicher Reihenfolge entlang des Meßsignals.

Beide Abtastverfahren, sowohl die Zufallsabtastung als auch das Äquivalenzzeit-Abtastverfahren, haben den Nachteil, daß man sie für eine Einzelerfassung nicht

Im dritten Teil dieser Artikelserie werden wir uns der Beschreibung der Oszilloskop-Terminologie zu. Es werden wesentliche Begriffe der Oszilloskop-Meßtechnik und die dahinterstehenden Möglichkeiten erläutert.

ELV