

# HAMEG Zubehör

## Messfehlerminimierung durch richtigen Einsatz von passenden Tastköpfen



Beim Einsatz des meist genutzten Messgerätes in der Elektronikentwicklung, dem Oszilloskop, wird häufig die Bedeutung der Signalanbindung unterschätzt. Dass es im Bereich der Hochgeschwindigkeitselektronik wie zum Beispiel USB 3.0 mit einer Datenrate von 5Gbit/s spezieller Tastköpfe und Techniken des Anschlusses bedarf steht außer Frage. Die große Mehrheit der Entwickler hat es in Ihren Designs aber mit deutlich moderateren Signalfrequenzen zu tun. Warum sollte man sich bei einem Prozessortakt von 30MHz Gedanken über Signalintegritätsprobleme, Tastkopfkontaktiertechniken oder spezielle Tastköpfe machen?

Gemessen an der reinen Taktrate sind gute passive Tastköpfe mit einer Grenzfrequenz von 350MHz sicher ausreichend. Wenn man einen Tastkopf an ein Signal anschließt, so wird die Schaltung belastet und dadurch das zu messende Signal in seinem Verlauf verändert. Damit ist es auch ein Fakt, dass das Signal was man auf dem Oszilloskop sieht, nie genau dem entspricht, welches wirklich in der Schaltung existiert. Es geht also darum, die Rückwirkung des Tastkopfes auf die zu messende Schaltung so zu minimieren, dass die Anzeige so originalgetreu wie möglich erfolgt. Dazu müssen die Einflüsse auf die Schaltung durch Masseanschlüsse, induktive und kapazitive Lasten von passiven und aktiven Tastköpfen betrachtet werden.

Die überaus meisten Signalverzerrungen durch Tastköpfe sind auf nicht optimale Masseanbindungen zurückzuführen. Die Grundregel lautet hier:

**Nutzen Sie die kürzestmögliche Masseverbindung!**

Aber was ist der Hintergrund dieser allgemeingültigen und oft zitierten Regel?

Der Tastkopf stellt einen Schwingkreis dar, der aus einer Eingangskapazität und -induktivität besteht. Die Eingangskapazität liegt bei passiven Standardtastköpfen bei ca. 10-13pF und ist praktisch nicht veränderbar. Die Induktivität wird hauptsächlich durch die Masseleitung bestimmt, das heißt je kürzer die Masseleitung, desto kleiner die Induktivität. Die Verringerung der Induktivität führt zur Erhöhung der Resonanzfrequenz mit dem Ziel, diese in den Bereich außerhalb des interessierenden Signalfrequenzbandes zu verlegen.



Abb. 1: typisches Signal mit kleiner Anstiegszeit

Im vorliegenden Beispiel wird ein reales Signal am Ausgang eines FPGAs untersucht. Das folgende Bild zeigt zum einen das Gesamtsignal im oberen Fenster, als auch eine Flanke - stark gezoomt. Das Signal selbst hat lediglich eine Frequenz von 2,23kHz, davon ausgehend wird man kaum eine Beeinflussung der Signalintegrität durch den Tastkopf erwarten. Das Signal kommt allerdings aus einem modernen FPGA und dank der großen Speichertiefe und Bandbreite des verwendeten Oszilloskopes kann man nun auch diese Flanke vermessen und stellt eine Anstiegszeit von 3,2ns fest (siehe Bild 1).

In dem Bild 2 ist ein Diagramm aufgeführt, aus dem man die resultierende Signalfrequenz aus der gemessenen Anstiegszeit ermitteln kann, unter der in bestimmten Grenzen gültigen Voraussetzung, dass die Frequenz gleich 0,35 dividiert durch die Anstiegszeit ist.

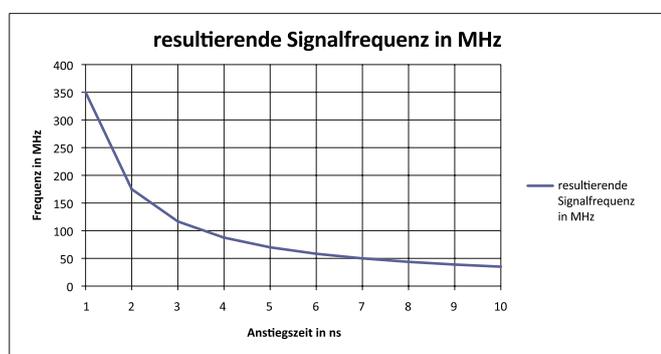


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Anstiegszeit und Signalfrequenz

Das Beispielsignal mit einer Anstiegszeit von 3,2ns hat also Frequenzanteile bis etwa 120MHz. Wenn man dieses Signal nun mit einem passiven Tastkopf aufnimmt und dabei die Masseanschlüsse variiert, so bekommt man unterschiedliche Messergebnisse. Zur besseren Vergleichbarkeit sind im folgenden Bild 3 alle nacheinander ausgeführten Messungen mit unterschiedlichen Masseverbindungen zusammengefasst.

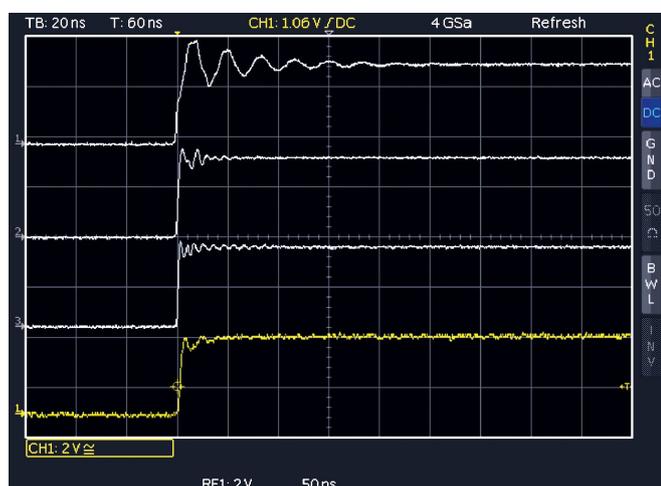


Abb. 3: Signal mit verschiedenen Masseanschlüssen

Der oberste Kurvenzug wurde ohne Anschluss eines Massekabels an den Tastkopf aufgenommen. (Das Messobjekt und Oszilloskop war nur über die Gerätemasse auf demselben Potenzial). Die zweite Kurve zeigt dasselbe Signal mit einem 20cm Massekabel, die dritte mit einem 10cm Massekabel und bei der untersten Aufnahme wurde ein 2cm langer Draht zum nächstmöglichen Massepunkt genutzt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die kürzeren Masseleitungen zu geringerem Eigenschwingen und damit zu realistischeren Messergebnissen führen.

Neben den Effekten durch die Masseverbindung sind auch Einflüsse durch eine Bandbreitengrenze des Tastkopfes und der Einfluss auf die zu messende Schaltung durch seine kapazitive Last zu berücksichtigen. Wenn zum Beispiel in der zu messenden Schaltung Schaltkreise in stromsparender CMOS Technologie enthalten sind, muss insbesondere die kapazitive Last betrachtet werden, die ein passiver Tastkopf darstellt. Eine solche Kapazität von ca. 13pF ist für diese Technologie mit vergleichsweise kleinen Ausgangstreiberleistungen eine erhebliche Belastung, führt zu einer deutlich höheren Signallaufzeit und zu vergrößerten Signalanstiegszeiten. Dieses Verhalten wurde in den letzten Jahren mit den modernen Halbleitertechnologien weiter verstärkt. Wird die Beeinflussung durch die Kapazität des passiven Tastkopfes zu groß, empfiehlt sich die Verwendung eines aktiven Tastkopfes. Im folgenden Bild sind drei Kurven zu sehen. Die weiße Referenzkurve wurde mit einem aktiven Tastkopf mit einer Eingangskapazität von 0,9pF und kürzestmöglicher Masseverbindung zum Signal aufgenommen. Die gelbe Kurve (Kanal1) wurde danach mit demselben aktiven Tastkopf aufgenommen, jedoch wurde der Messpunkt mit einem zusätzlichen passiven Tastkopf belastet. Dieser ist an Kanal 2 angeschlossen (blaue Kurve).

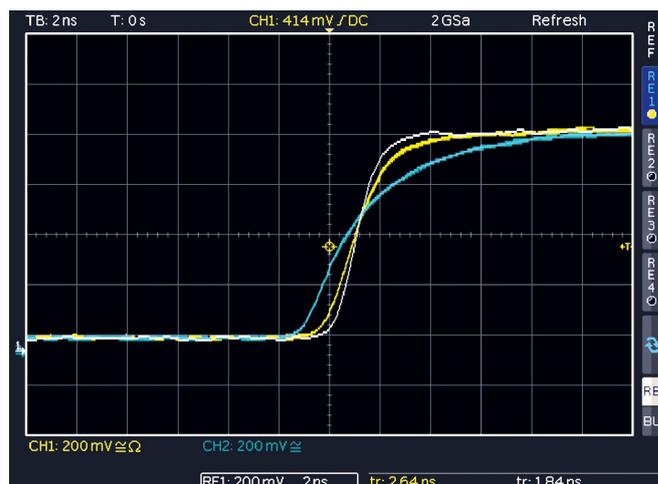


Abb. 4: Beeinflussung des Signales durch Tastköpfe

Die weiße Kurve zeigt die beste Repräsentation des wirklichen Signales mit der geringsten Anstiegszeit. Deutlich zu erkennen ist die Beeinflussung des Signales durch den Anschluss eines passiven Tastkopfes im Unterschied zwischen der weißen und gelben Kurve. Die damit verbundene Änderung der Signalanstiegszeit von 1,84ns auf 2,64ns

(was 43% entspricht) ist erheblich und kann bei manchen Schaltungen zu Funktionsfehlern führen. Betrachtet man nun noch die blaue Kurve, so ist ganz klar, dass nicht nur das Signal in der Schaltung verändert wird, sondern auch die Darstellung am Oszilloskop durch die Eigenschaften des passiven Tastkopfes nicht der Realität entspricht. Zusammenfassend lässt sich bezogen auf die Effekte des Tastkopfes auf das Signal die folgende Grundregel aufstellen:

**Ein aktiver Tastkopf liefert Ergebnisse, die dem unbelasteten Ausgang am nächsten kommen (kaum Signalverfälschungen). Dies gilt um so mehr, je schneller das Signal ist und je empfindlicher die Halbleitertechnologie auf kapazitive Lasten reagiert.**

Wie in diesem Artikel aufgezeigt, stellen passive Tastköpfe den Anwender beim korrekten Messen vor verschiedene

Probleme. Eine kürzestmögliche Masseanbindung ist die Voraussetzung für gute Messergebnisse. Dazu werden bei vielen Tastköpfen wie zum Beispiel dem HZ355 spezielle Massefedern mitgeliefert, die die physikalische Anbindung des Signales mit kurzen Massekontakten ermöglichen. Oftmals kann man sich auch mit einem einfachen kurzen Draht helfen. Es wurde außerdem gezeigt, dass heutige Standardschaltkreise Signale mit Anstiegszeiten von 1-2ns generieren. Diese Signale werden stark verfälscht, wenn man einen passiven Tastkopf verwendet und daher sollte hier ein aktiver Tastkopf mit einer Eingangskapazität kleiner 1pF und entsprechender Bandbreite (größer als die vom verwendeten Oszilloskop) verwendet werden. Es gibt heute aktive Tastköpfe mit solchen Eigenschaften (zum Beispiel den HZ030) die mit 0,9pF, 1M $\Omega$  Eingangswiderstand sehr gute Ergebnisse liefern. Diese sind mit normalem BNC Anschluss und externem Netzteil für jedes Oszilloskop für unter 700€ erhältlich.