

► **Application Note**

Tastköpfe und Sensoren im Einsatz bei Digitizern

Einführung

Tastköpfe wandeln Signalpegel um, passen Impedanzwerte an oder bieten praktische Verbindungsmethoden. Sensoren oder Transducer verwandeln physikalische Phänomene in elektrische Signale. Beispiele sind Stromtastköpfe, Beschleunigungssensoren und Photomultiplier. Digitizer von Spectrum unterstützen beide Arten von Eingangssignalen. Dieser Beitrag erläutert den Einsatz von Tastköpfen und Sensoren mit modularen Digitizern von Spectrum.

Tastköpfe

Die meisten passiven Oszilloskop-Tastköpfe sind mit den Eingängen des Digitizers kompatibel. Dennoch muss man die Auswirkungen der Tastköpfe auf den getesteten Stromkreis kennen und wissen, wie die Daten zur Berücksichtigung des Tastkopfs zu skalieren sind. Die erste Teil dieses Beitrags beschreibt die Funktionsweise und die Auswirkung von Tastköpfen auf die Messung.

Direkte Verbindung

Zunächst wird betrachtet, was passiert, wenn der Messpunkt über ein Koaxialkabel mit dem 1 M Ω Eingang des Digitizers verbunden wird (Bild 1).

Ein Digitizer hat eine Eingangskapazität von vielleicht 35 pF. Ein Koaxialkabel hat eine Kapazität von etwa 10 bis 30 pF pro Fuß. Folglich liegt die Gesamtkapazität bei etwa 95 pF.

Wenn man nun den kapazitiven Blindwiderstand (X_C) für eine Kapazität von 95 pF bei 10 MHz errechnet:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

ergibt dies eine Impedanz von 168 Ω , die die zu messende Spannung deutlich abschwächen kann. Die Verwendung eines geschirmten Kabels zur Verbindung des Digitizers mit dem zu messenden Gerät belastet den Stromkreis also mit dieser Kapazität.

Hochohmige passive Tastköpfe

Bei einem hochohmigen passiven Tastkopf kommt ein kapazitiv kompensierter Spannungsteiler zum Einsatz, der die Amplitude für gewöhnlich in einem Verhältnis von zehn zu eins (10:1) teilt. Ein solcher kompensierter Spannungsteiler würde eine Eingangskapazität von mindestens 10 pF mit zehnfacher Dämpfung ergeben, wodurch der Belastungswiderstand des Tastkopfs etwa um den Faktor 10 ansteigen würde (Bild 2).

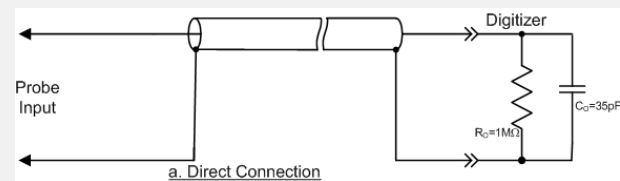


Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung einer direkten Verbindung mit einem Koaxialkabel

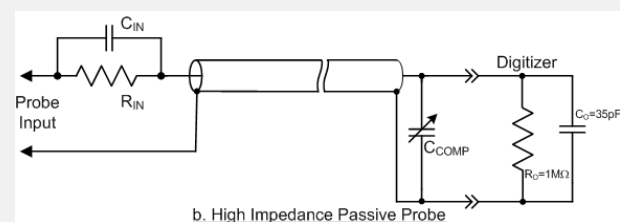


Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung eines hochohmigen passiven 10:1-Tastkopfs

► Application Note

Die Eingangskapazität kann durch eine höhere Abschwächung des Tastkopfs weiter verringert werden, doch dies würde das beim Digitizer eingehende Signal abschwächen und die Messung von kleinen Signalen erschweren. In der Praxis ist eine Abschwächung von 10:1 in der Regel ein guter Kompromiss zwischen Signalamplitude und Belastungswiderstand.

Diese Art von Tastkopf kann über eine Bandbreite von bis zu 500 MHz verfügen. Doch kann bei höheren Frequenzen selbst diese niedrigere Tastkopf-Kapazität zu groß sein. Bei 500 MHz würde eine Tastkopf-Kapazität von 10 pF eine Impedanz von etwa 32 Ω ergeben, was die Spannung von allen Stromkreisen mit Ausnahme derer mit der niedrigsten Impedanz belasten würde. Bei niedrigeren Frequenzen ist dies weniger problematisch.

Der Tastkopf schwächt die Eingangsspannung außerdem um den Faktor 10 ab. Dies muss beim Digitizer Eingang berücksichtigt werden. Darauf wird weiter unten in diesem Artikel eingegangen.

Kapazitätsarme Tastköpfe

Hochfrequenzmessungen erfordern Tastköpfe mit einer sehr geringen Eingangskapazität. Die Eingangskapazität kann stark reduziert werden, wenn man das Koaxialkabel als Übertragungsleitung betrachtet. Wenn der Digitizer-Eingang mit 50 Ω terminiert ist, beträgt die Impedanz auf der Tastkopfseite des Kabels unabhängig von der Frequenz konstant 50 Ω . Dieser sehr geringe Belastungswiderstand kann durch den Einsatz eines Spannungsteilers vergrößert werden. Ein Reihenwiderstand von 450 Ω teilt die Amplitude im Verhältnis 10:1 und ermöglicht einen relativ konstanten Belastungswiderstand von 500 Ω . Bei einem kapazitätsarmen Tastkopf (Bild 3) kommt eine terminierte Übertragungsleitung zum Einsatz.

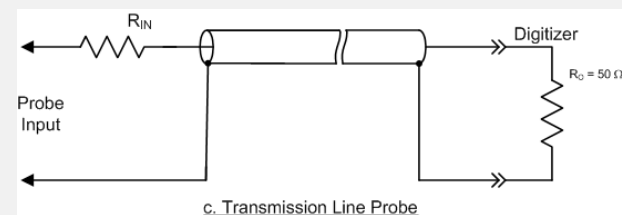
Die Eingangskapazität eines solchen kapazitätsarmen Tastkopfs ist relativ gering und beträgt für gewöhnlich einen Bruchteil eines Picofarad. Der begrenzende Faktor bei diesem Tastkopf ist der geringe Eingangswiderstand. Bei einem 10:1-Tastkopf beträgt der Eingangswiderstand nur 500 Ω und kann Stromkreise zu stark belasten. Diese Tastköpfe werden vor allem bei Hochfrequenzdesigns eingesetzt, wo die Stromkreise meist über 50 Ω Leiterbahnen laufen.

Aktive Tastköpfe

Bei einem aktiven Tastkopf kommt ein kompensierter Spannungsteiler zum Einsatz, der einen Verstärker ansteuert. Der gepufferte Ausgang des Verstärkers steuert ein Koaxialkabel an, das mit seinem Wellenwiderstand terminiert ist, genauso wie beim kapazitätsarmen Tastkopf. Hier isoliert es die Probe außerdem gegen die kapazitive Belastung des Kabels und der Eingangsbeschaltung des Digitizers. Diese Tastköpfe werden für gewöhnlich von einem Oszilloskop mit Leistung versorgt und gesteuert. Um diese Tastköpfe mit einem Digitizer einsetzen zu können, muss der Tastkopfhersteller eine selbstständige Leistungsversorgung und bei Bedarf auch eine Bedienoberfläche bereitstellen.

Auswahl passiver Tastköpfe

Hochohmige passive Tastköpfe sind mit verschiedenen Abschwächungsverhältnissen



c. Transmission Line Probe
Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung eines kapazitätsarmen 10:1-Tastkopfs, der gegen die 50 Ω Eingangsterminierung des Digitizer-Analogkanals arbeitet.

► **Application Note**

verfügbar. Abschwächungen von 10:1 und 100:1 sind gängig. Da sie gegen die 1-M Ω -Terminierung des Digitizers arbeiten, ermöglichen sie einen Eingangswiderstand von 10 oder 100 M Ω . Digitizer mit einer Auflösung von 14 bis 16 Bit eignen sich gut für den Einsatz mit 100:1-Tastköpfen, da sie über einen ausreichenden Dynamikbereich verfügen, um kleine Signale nach der Tastkopfabschwächung darzustellen.

Die Tastköpfe müssen auf die Eingangskapazität des Digitizers abgestimmt werden. Für einen Digitizerkanal mit einer Eingangskapazität von 35 pF muss man einen Tastkopf mit einem Kompensationskapazitätsbereich auswählen, der diese Kapazität abdeckt.

Die meisten hochohmigen passiven Tastköpfe verfügen über BNC-Steckverbinder. Wenn der Digitizer BNC-Eingänge hat, ist dies zwar von Vorteil, allerdings benötigen BNC-Steckverbinder auch viel Platz, und die Frontplatte eines Digitizers ist oft sehr klein. Sie benötigen gegebenenfalls einen Adapter. Wenn der Digitizer z. B. über SMA-Buchsen verfügt, ist ein SMA-zu-BNC-Adapter nötig, um den Tastkopf anschließen zu können.

Kapazitätsarme Tastköpfe arbeiten gegen die 50 Ω Eingangsterminierung des Digitizers. Da die kapazitätsarmen Tastköpfe für gewöhnlich Bandbreiten im GHz-Bereich unterstützen, verfügen sie üblicherweise über SMA-Steckverbinder.

Sensoren

Sensoren oder Transducer reagieren auf eine physikalische Eigenschaft und wandeln diese in einen Spannungspegel um, der dem Wert der gemessenen Eigenschaft entspricht. Ein geläufiges Beispiel ist ein Stromtastkopf. Er verwandelt den elektrischen Strom in eine elektrische Spannung, wobei der Spannungspegel dem gemessenen Strom entspricht. Die Tabelle 1 zeigt einige häufig verwendete Sensoren sowie die gemessene physikalische Eigenschaft und die Maßeinheit.

Sensor/Transducer Typ	Physikalischer Wert	Typische Maßeinheit
Stromsensor Stromtastkopf, Shunt, oder Transformer	Strom	Ampere
Beschleunigungssensor	Beschleunigung	g's
Kraftdosen	Kraft	Newton
Druckwandler	Druck	Pascal oder Pounds per square foot (psi)
Mikrophon	Schalldruck	Pascal
Thermometer Thermocouple, Thermistor	Temperatur	Grad Celsius oder Fahrenheit
Tachometer Optischer Aufnehmer, Widerstandsaufnehmer	Umdrehungsgeschwindigkeit	Umdrehung pro Minute
Optische Sensoren Photodioden, Photomultiplizierer, Phototransistor oder CCD's	Beleuchtungsstärke	Lux (Lumens/m ²)
Magnetfeld Hall Effekt Sensoren	Magnetische Flussdichte	Tesla
Partikeldetektoren Elektronenmultiplizierer, Strahlungsdetektoren	Strahlung und Partikel	Anzahl

Tabelle 1: Einige Beispiele für geläufige Sensoren und Transducer

► **Application Note**

Korrekturer Anschluss des Sensors

Das Abstimmen eines Sensors oder Transducers auf den Digitizer erfordert die Kenntnis des Sensorausgangsbereichs, der Ausgangsimpedanz, der Bandbreite und der Empfindlichkeit. Der Sensorausgangsbereich muss innerhalb des Spannungsbereichs des Digitizers liegen oder muss mithilfe von Dämpfern oder Verstärkern in den Bereich des Digitizers gebracht werden.

Die meisten Sensoren sind darauf ausgelegt, gegen eine feste Impedanz zu arbeiten. Wie die meisten anderen Messgeräte bieten Digitizer in der Regel Eingangsterminierungen von 1 M Ω oder 50 Ω . Die meisten Breitband-Transducer sind für einen Belastungswiderstand von 50 Ω ausgelegt. Sensoren mit einer geringeren Bandbreite erfordern möglicherweise eine Last von 1 M Ω . Einige spezialisierte Transducer sind darauf ausgelegt, gegen andere Impedanzen wie 75 oder 600 Ω zu arbeiten. In diesem Fall sind gegebenenfalls Anpassglieder und geeignete Anpassungen der Sensorempfindlichkeit erforderlich.

Die Bandbreite des Digitizers sollte deutlich größer sein als die Bandbreite des Sensors, um die Reduzierung der effektiven Bandbreite des Sensor-Digitizer-Systems zu verhindern. Ein Verhältnis von Digitizer- zu Sensorbandbreite, das größer ist als 7:1, führt zu einer Ungenauigkeit von $\leq 1\%$ bei Amplitudenmessungen.

Die Empfindlichkeit ist das Verhältnis eines gegebenen elektrischen Ausgabewerts des Sensors zur entsprechenden gemessenen Eigenschaft. Beispielsweise könnte die Empfindlichkeit eines Beschleunigungssensors mit 10 mV/g angegeben sein. Dies bedeutet, dass bei einem gemessenen physikalischen Eingangssignal von 1 g der Transducer ein 10 mV Signal ausgibt. Die Kenntnis der Empfindlichkeit ist bei der Kalibrierung des Digitizers zur Angabe der gemessenen Einheiten anstelle der elektrischen Einheiten wichtig.

Die meisten Transducer erfordern eine Leistungsquelle. Diese wird für gewöhnlich extern an den Digitizer angeschlossen. Der Hersteller des Transducers stellt die Leistungsversorgung und entsprechende Schnittstellenelektronik zur Verfügung.

Beispiele für Anwendungen von Tastköpfen und Sensoren – passiver Tastkopf mit passender Skalierung

Wenn man passive Tastköpfe verwendet, die nicht das Abschwächungsverhältnis 1:1 haben, werden die Spannungspegel am Eingang des Digitizers abgeschwächt. Man kann diese Abschwächung durch Umskalierung der Eingangspegel kompensieren. Wenn die Software SBench 6 von Spectrum zur Steuerung, Aufzeichnung und Analyse verwendet wird, ist dies ganz leicht in der Analogkanal-Einstellung möglich (Bild 4).

Zunächst doppelklickt man auf

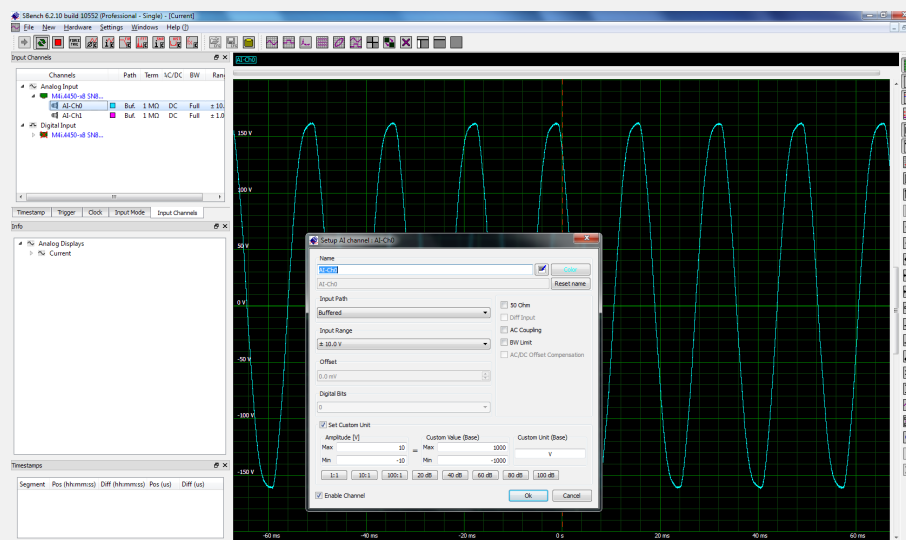


Abbildung 4: Skalierung der Daten eines Tastkopfs mithilfe der Software SBench 6. Das Häkchen wird bei „Set Custom Unit“ gesetzt und 100:1 gewählt, um die korrekte Skalierung für eine Tastkopfabschwächung von 100:1 zu aktivieren. Durch diese Einstellung wird jeder Abtastwert in der Signalform mit hundert multipliziert.

► Application Note

der linken Seite des Bildschirms in der Liste der Analogeingänge auf den Kanal, der mit dem Tastkopf verbunden ist. Wie dargestellt erscheint nun das Fenster zur Kanaleinstellung. Nun setzt man das Häkchen bei „Set Custom Unit“ (benutzerdefinierte Einheit angeben) und wählt die Tastkopfabschwächung aus (in diesem Beispiel wurde 100:1 ausgewählt). Zu beachten ist, dass der maximale Amplitudenwert von 10 V jetzt als 1.000 V angezeigt wird.

Wenn ein kundenspezifisches Softwarepaket oder ein Softwarepaket von einem Drittanbieter verwendet wird, müssen bei der vertikalen Skalierung entsprechende Anpassungen vorgenommen werden.

Verwendung eines Stromtastkopfs mit einem Digitizer

Selbstständige Stromtastköpfe verfügen über eine eigene Leistungsquelle und Steuerung für die Einstellung des Strombereichs, des Offsets und zum Entmagnetisieren der Tastkopfspitze. Die meisten arbeiten gegen eine 50 Ω Terminierung. Der in diesem Beispiel verwendete Tastkopf hatte eine Empfindlichkeit von 1 mV pro mA. Also würde der volle Skalenbereich des Digitizers von ± 200 mV einen Strombereich von ± 200 mA darstellen. Der Digitizer von Spectrum war auf eine 50 Ω Terminierung mit einem vollen Skalenbereich von ± 4 V eingestellt. Nun doppelklickt man wie beim passiven Tastkopf im vorhergehenden Beispiel auf der linken Seite des Bildschirms in der Liste der Analogeingänge auf den Kanal, der mit dem Tastkopf verbunden ist. Wie in Bild 5 dargestellt erscheint nun das Fenster zur Kanaleinstellung.

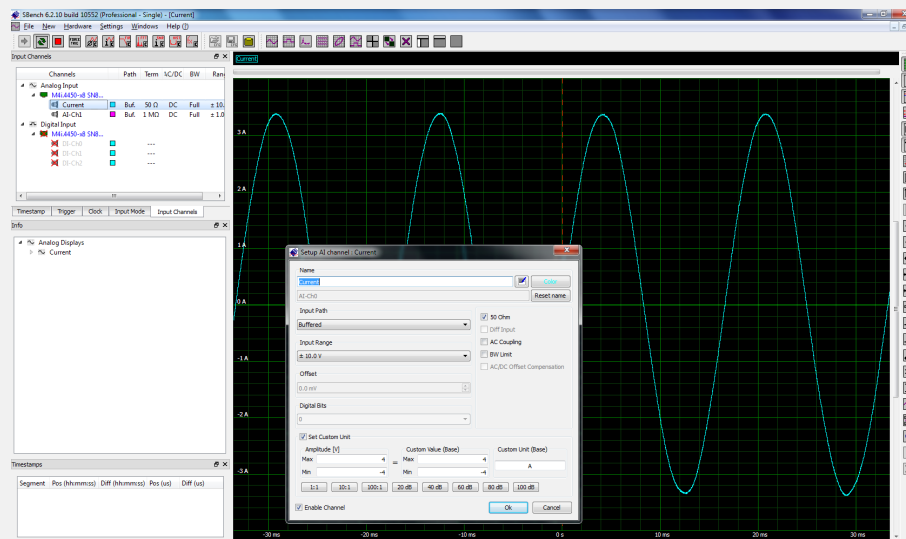


Abbildung 5: Verwendung des Fensters zur Kanaleinstellung, um die Ausgabe des Stromtastkopfs auf den vollen Skalenbereich von ± 4 A zu skalieren

Das Häkchen wird bei „Set Custom Unit“ gesetzt. Das Feld „Amplitude (mV)“ zeigt die Maximal- und Minimalwerte für den Bereich des Digitizers an, in diesem Fall +4 und -4 V. Nun gibt man den gewünschten maximalen und minimalen Strombereich im Feld „Custom Value (Base)“ ein, in diesem Fall +4 und -4. Im Feld „Custom Unit (Base)“ gibt man die Einheit (in diesem Fall A für Ampere) ein. Die Skala des Digitizers für diesen Kanal wird jetzt in Ampere angezeigt. Das Gitternetz hinter dem Setup-Feld zeigt eine vertikale Achse an, die in Stromeinheiten kalibriert ist.

► Application Note

Verwendung eines Druckwandlers mit einem Digitizer

Piezoelektrische Druckwandler sind eine Variante der Transducer, deren Funktion auf der Erzeugung von elektrischer Spannung durch Kompression eines Kristall- oder Keramikelements basiert. Bei Beschleunigungsmessern kommt eine bekannte Masse in Kontakt mit dem piezoelektrischen Element. Die auf das Element wirkende Kraft ist proportional zur Beschleunigung. Eine Lastzelle misst die Kraft, indem sie diese direkt auf das Transducer-Element aufbringt. Beim Druckwandler wird ein Diaphragma verwendet, das sich in Kontakt mit dem Element befindet, dessen passive Krafteinwirkung proportional zum Druck auf das Diaphragma ist. Alle Transducer dieser Art benötigen eine externe Leistungsversorgung, wobei die meisten gegen eine 1-M Ω -Terminierung arbeiten. Bild 6 zeigt die Skalierung des Digitizers für einen piezoelektrischen Druckwandler.

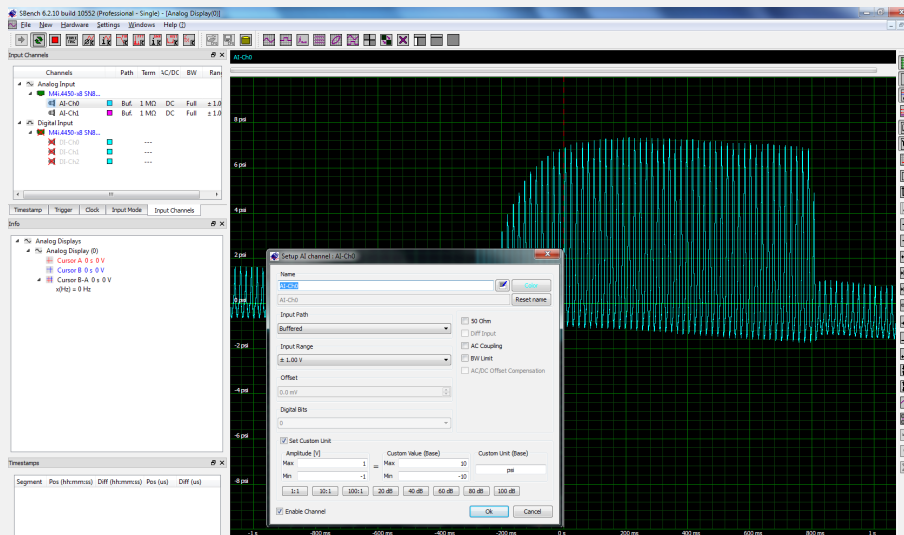


Abbildung 6: Skalierung der Software SBench 6 zur Angabe des Ausgabewerts des Druckwandlers in pounds per square inch (psi)

Die Empfindlichkeit des Druckwandlers beträgt 100 mV pro psi. Durch Doppelklick auf den Kanal in SBench 6 gelangt man zur Kanaleinstellung. Nun setzt man das Häkchen beim Feld „Set Custom Unit“ (benutzerdefinierte Einheit einstellen). Für die Anzeige der gemessenen Signalform in psi gibt man nun den maximalen Bereich von +10 und den minimalen Bereich von -10 ein, der dem vollen Skalen-Eingangsbereich von ± 1 V entspricht. Die benutzerdefinierte Einheit sollte als psi angegeben werden. Die senkrechte Achse zeigt die Werte jetzt in psi an. Wenn man auf der senkrechten Achse statt psi die Einheit Pascal wünscht, entspricht der volle Skalenbereich des Digitizers von ± 1 V einem Druckbereich von ± 68.947 Pa. Dieser Bereich kann in SBench 6 im Feld „Custom Value“ zusammen mit der benutzerdefinierten Einheit Pa eingestellt werden.

Zusammenfassung

Mit der entsprechenden Skalierung können Oszilloskop-Tastköpfe und andere Sensoren mit jedem beliebigen modularen Digitizer verwendet werden. Werte können in den gewünschten physikalischen Einheiten angegeben werden.

Autoren

Arthur Pini *unabhängiger Berater*
 Greg Tate *Asian Business Manager, Spectrum GmbH*
 Oliver Rovini *Technical Director, Spectrum GmbH*