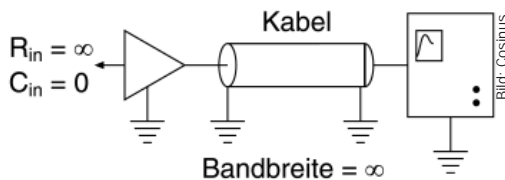


Sicher Messen mit dem Oszilloskop

Der Einsatz von Differential-Tastköpfen ist eine einfache und preisgünstige Lösung, die geforderten Sicherheitsvorschriften beim Messen von hohen Spannungen und hohen Frequenzen einzuhalten.

Von
Wolfgang Heinz-Fischer
und Leonhard Wanner

Untersuchungen an Frequenzumrichtern oder die Visualisierung von Oberwellen auf dem Netz erfordern Testgeräte mit der Möglichkeit, potentialfrei zu messen. Mit sogenannten Differential-Tastköpfen ist dies in jedem Fall, beispielsweise in Kombination mit einem Oszilloskop, möglich.



Der ideale Tastkopf besitzt neben einer unendlichen Bandbreite einen unendlich großen Eingangswiderstand und keine Eingangskapazität

Der ideale Tastkopf nimmt dabei keinen Einfluß auf das zu messende Signal. Neben einer unendlichen Bandbreite hat er einen unendlichen Eingangswiderstand, einen unendlichen Dynamik-Bereich, besitzt keine Eingangskapazität, bewirkt keine Signal-Abschwächung, keine Signal-Verzögerung und auch keine Phasenverschiebung.

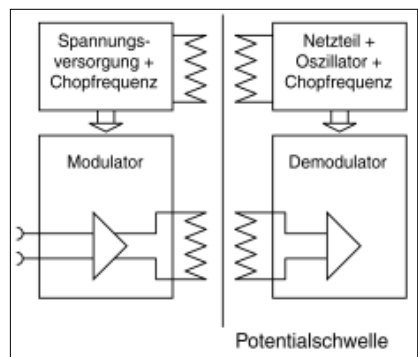
In der Praxis ist ein Differential-Tastkopf im Prinzip ein auf den Betrieb mit dem Oszilloskop speziell zugeschnittener Trennverstärker, normalerweise einkanalig, mit einer für die Messung angepaßten Bandbreite, hoher Gleichtaktunterdrückung und geringer Belastung der Signalquelle. Er ist in einem kompakten Gehäuse mit Koax-Anschluß auf der Ausgangsseite untergebracht, hat eine eigene Spannungsversorgung und kommt in der Regel mit wenigen Einstellmöglichkeiten aus.

Es gibt mehrere Grundprinzipien für die Funktionsweise von Differential-Tastköpfen:

- Modulation und Übertragung des Signals über breitbandige Transformatoren,
- die Verwendung von Optokopplern zur Potentialtrennung oder
- der Verzicht auf Potentialtrennung (paradoxiere Weise), dafür aber die Begrenzung des Fehlerstromes.

Verfahren zur Potentialtrennung

Das Prinzip der induktiven Potentialtrennung über breitbandige Transformatoren kommt aus dem Bereich der Trennverstärker. Beim Differential-Tastkopf handelt es sich im Grunde auch um einen Trennverstärker mit hoher Bandbreite und Signaltreue, dafür aber geringeren Linearitätsanforderungen. Größter Vor-

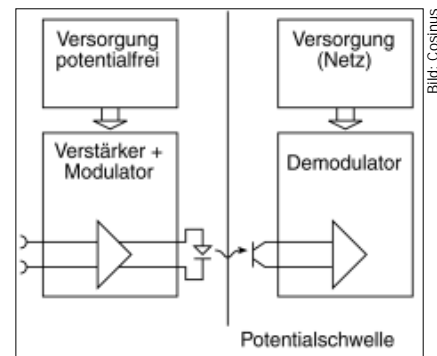


Tastköpfe mit induktiver Kopplung haben prinzipiell ein kritisches EMV-Verhalten

teil dieses Prinzips: die echte Potentialtrennung zwischen Eingang und Ausgang. Mit der Chop-Frequenz, die zum floatenden Eingangsteil der Schaltung übertragen wird, kann außerdem Energie für die Eingangsstufe mitgeliefert werden, und durch geschickte Wahl der Chop-Frequenz

und die ohnehin notwendigen Filter läßt sich die Charakteristik des Tastkopfes für bestimmte Einsätze optimieren. Der höhere Grundaufwand ist, insbesondere bei mehrkanaligen Geräten, leicht zu rechtfertigen.

Kritisch ist jedoch das Verhalten der induktiven Tastköpfe bei den aktiven und passiven EMV-Grenzwerten (Elektromagnetische Verträglichkeit), da die Übertrager in gewissem Maß als Antennen wirken. Sofern nicht gegeneinander synchronisiert, können sich mehrere Kanäle außerdem gegenseitig stören. Eine weitere Schwachstelle: Da die Kriechstrecken auch in den Übertragern eingehalten werden müssen, kann diese Komponente entsprechend groß sein, was in gewissem Gegensatz



Optokoppler sind eine elegante Variante der Potentialtrennung bei Tastköpfen

zu den geforderten Übertragungsfrequenzen steht und die Abschirmung erschwert. Aus diesen Gründen haben induktiv trennende Differential-Tastköpfe in den letzten Jahren auch an Bedeutung verloren.

Wann immer Signale eine Potentialsschwelle überwinden müssen, bietet sich als sauberste Lösung die Kopplung per Optokoppler an. Das Meßsignal wird elektrisch-optisch gewandelt, per Optokoppler übertragen und anschließend möglichst signalgetreu zurückgewonnen. Informationsträger können die Taktfrequenz einer Folge von Lichtpulsen, das Tastverhältnis oder die Amplitude des Lichtes sein. In den beiden ersten Fällen ist die Veränderung der optischen Strecke durch Alterung oder Temperatureinflüsse relativ unkritisch, dafür sind allerdings bei vertretbarem Aufwand nur beschränkte Bandbreiten erreichbar, da die Taktfrequenz wesentlich größer sein muß als



Bild: Sapphire

Differential-Tastköpfe machen das Messen sicher und helfen Meßfehler zu vermeiden

die maximale Signalfrequenz. Im letzteren Fall ist dagegen die Abhängigkeit von physikalischen Effekten so groß, daß eine Rückkopplung über gepaarte Übertrager zur Kompensation von Alterungs- und Temperaturfehlern notwendig ist.

In allen Fällen müssen getrennte Spannungsversorgungen für Eingangsstufe und Ausgangsstufe gewährleistet sein. Das sind im einfachsten Fall getrennte Batteriesätze, was jedoch wenig umweltschonend und bei Dauerbetrieb

auch teuer ist. Außerdem wird jeder Anwender diese Lösung verfluchen, der gelegentlich in seiner Schaltung verzweifelt nach einem Signal sucht und nicht bemerkt, daß die Batterien leer sind. Unbestreitbar allerdings ist der Vorsprung aller optisch trennenden Systeme in der Gleichaktunterdrückung. Mit dieser Technologie sind Werte größer 100 dB und in besonderen Fällen bis über 120 dB möglich.

► Instrumentierungsverstärker

Ideal für Anwendungen im Bereich Differential-Tastköpfe ist ein Trennprinzip, welches:

- ein passives Eingangsteil hat, also nur auf der Sekundärseite versorgt werden muß – was mit einer Batterie oder einem kleinen Netzteil erfolgen kann,
- in seiner Bandbreite nicht beschränkt ist durch Modulation/Demodulation in eine andere physikalische Größe (Verlust an Bandbreite, Linearität, Stabilität) und
- von der Sekundärseite her bedient werden kann – sofern nötig oder gewünscht.

Außerdem erfordert die elektrische Betriebssicherheit bei Spannungen von mehr als 60 VDC beziehungsweise 30 VAC, daß gegen

HINTERGRUND

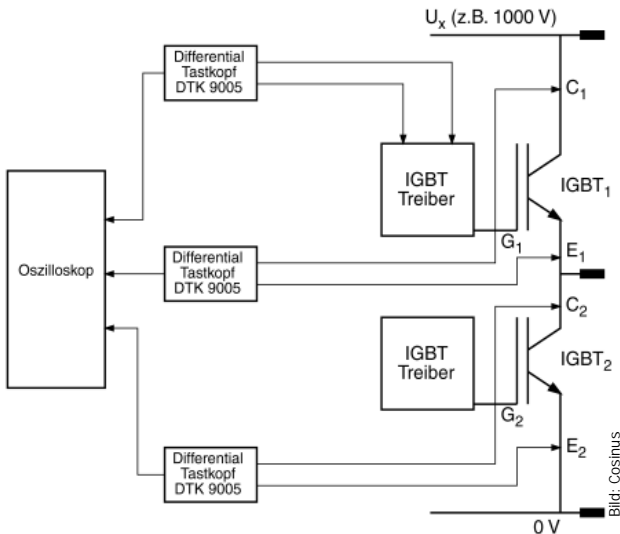
Potentialfrei messen

Oszilloskope besitzen im allgemeinen erdgebundene Eingänge. Die Eingangsverstärker der Meßkanäle haben dasselbe Ground-Potential und sind direkt oder eng an das Schutzleiter-Potential gekoppelt. Oft besteht aber die Notwendigkeit Messungen auf hochliegendem Potential durchzuführen – offenbar allzuoft, denn ein Großteil von zur Reparatur eingeschickten Geräten hat eine aufgetrennte Schutzleiterverbindung. Diese Art, die Eingänge „potentialfrei“ zu machen, ist nicht nur leichtsinnig sondern lebensgefährlich. Unfälle beweisen dies immer wieder, ob in der Profiwerkstatt oder bei der Ausbildung. Denn das Oszilloskop hebt sich sofort auf das Potential der Signalquelle, und damit ist sein Gehäuse, metallische Teile auf der Rückseite, aber auch die ganze BNC-Eingangsbuchse einschließlich Schirm eine tödliche Gefahr. Entscheidend für die elektrische Sicherheit ist eine hohe Isolationsspannung. Hier ist die Gültigkeit der IEC 1010 als Kriterium für die CE-Zertifizierung keine leichte Hürde. Immerhin verlangt die Norm bei Verschmutzungsgrad 1 (Labor), Überspannungskategorie III (Messungen an festen Installationen in Gebäuden) und

einer Arbeitsspannung von beispielsweise 1.000 V (Beispiel für die nominale maximale Spannung zwischen Signal-Spitzenspannung und Oszilloskop-Ground) eine Verträglichkeit gegenüber Stoßspannungen von 8.000 V. An den dafür mindestens erforderlichen Kriechstrecken sind vor zirka zwei Jahren, als die IEC 1010 Teil der Voraussetzung für das CE-Zertifikat wurde, einige eingeführte Produkte gescheitert.

Dabei sind eine Reihe von sogenannten Differential-Tastköpfen auf dem Markt, die nicht nur meßtechnisch und sicherheitstechnisch einwandfreie Lösungen darstellen, sondern auch individuell für jeden einzelnen Kanal einen symmetrischen Differenzeingang mit definierten Parametern bieten. Differential-Tastköpfe bieten gegenüber anderen Systemen zwei entscheidende Vorteile:

- sie sind klein, leicht und einfach zu bedienen und damit ideal für den mobilen Einsatz geeignet und
- Differential-Tastköpfe sind batteriebetrieben und daher relativ unempfindlich gegen Einstreuungen, selbst wenn hohe Ströme im kA-Bereich geschaltet werden.



Für Messungen an gefährlichen Spannungen, hier an einem Wechselrichter, ist nach IEC 1010 ein Differential-Tastkopf erforderlich

Berührung nicht geschützte Teile elektrischer Kreise so gestaltet sind, daß keine berührunggefährlichen Ströme fließen können. Berührunggefährlich ist nach IEC 1010 ein sinusförmiger Wechselstrom von mehr als 0,5 mA_{eff}.

Diese Anforderungen erfüllen praktisch alle mit einem Instrumentierungsverstärker bestückten Differential-Tastköpfe. Der Eingang besteht hier aus einem Paar sehr hochohmiger Widerstände und einer darauffolgenden hochwertigen Verstärkerschaltung mit hochohmigem Eingang und guter Gleichtaktunterdrückung. Der Strom, der – hervorgerufen durch einige hundert bis einige tausend Volt Gleichtaktspannung – in den beiden hochohmigen Eingangswiderständen fließen kann, bleibt bei entsprechender Auslegung der Widerstände unter dem zulässigen Grenzwert. Natürlich müssen ein Durchschlagen oder Abbrennen sowie Überschläge verhindert werden, was beispielsweise durch Eingießen geschieht.

An die Eingangswiderstände werden aber auch in anderem Zusammenhang beträchtliche Anforderungen gestellt. Das optimale Gleichlaufverhalten in Bezug auf Temperatur, Frequenz, Alterung und andere Effekte wie EMV sind der Schlüssel für gute Gesamtdaten des Differential-Tastkopfes. Ungleiche Geometrien wirken sich ebenso negativ auf die Gleichtakt-

unterdrückung aus wie unterschiedliche spannungsabhängige Veränderungen des Widerstandswertes.

Differential-Tastköpfe haben, so zeigt auch der Vergleich einiger am Markt erhältlicher Typen, derzeit eine technische Grenze bei etwa 80 dB bis 85 dB für DC-Signale und zirka 60 dB im Bereich 500 kHz bis 1 MHz. Je höher die zulässige Gleichtaktspannung, desto geringer ist die Gleichtaktunterdrückung.

Die Eingangswiderstände haben Werte zwischen 10 MΩ und 30 MΩ. Es handelt sich vorzugsweise um paarweise hergestellte Hybrid-Widerstände, damit die Spannungsabhängigkeit des ohmschen Widerstandes, das AC-Verhalten und die Alterung möglichst identisch sind. Paarweise selektierte Widerstände werden teilweise auch verwendet und sind sicherlich preiswerter, bringen aber schlechtere Ergebnisse. Immerhin besteht das Hybridpärchen aus derselben Paste, die im selben Ofen unter identischen Bedingungen gebrannt wurde. Und trotz der Nachbearbeitung mit dem Laser, um die ohmschen Werte genau zu trimmen, bleibt ein statischer Fehler im Bereich von zirka 100 ppm (DC) beziehungsweise ein dynamischer Fehler von etwa 0,1 Prozent (AC) bestehen. Dafür ist allerdings zu einem Teil auch der nachfolgende Verstärker mit verantwortlich. Daß die Widerstände möglichst geringes Rauschen haben sollen, was bei den großen ohmschen Werten nicht ganz so einfach ist, sei nur am Rande erwähnt.

Die gesamte aktive Elektronik auf den Sekundärteilen der Schaltung zu konzentrieren, hat eine ganze Reihe von Vorteilen. Gesteuert über einen einfachen Mikroprozessor können Komfortfunktionen wie beispielsweise Auto-Off bei Batteriebetrieb (abschaltbar), automatisches Dauer-Ein bei Betrieb über Steckernetzteil, Warnung bei Überspannung außerhalb des zulässigen Bereiches, Warnung bei Unterschreiten der für den Betrieb erforderlichen Batteriespannung und andere Hilfen bereitgestellt werden.

Der Einsatz eines Differential-Tastkopfes empfiehlt sich nach IEC 1010 bei Messungen

Die Firma Sapphire stellt eine ganze Palette von Differential-Tastköpfen her

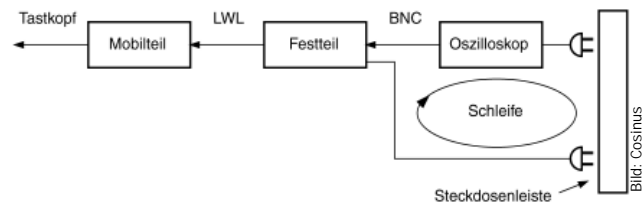


Bild: Sapphire

an gefährlichen Spannungen (ab 30 VAC bis 100 Hz). Damit sind die Hauptanwendungen für Differential-Tastköpfe alle Messungen an Versorgungsnetzen sowie an Maschinen und Motoren, die an solchen Netzen betrieben werden; beispielsweise Messungen im Zuge der CE-Kennzeichnung oder der Reparatur von Haushaltsgeräten.

Als Anwendungsbeispiel soll hier der Einsatz von Differential-Tastköpfen im Bereich der Leistungselektronik gezeigt werden. Beim Messen an einem oder beiden Schaltern einer IGBT-Halbbrücke eines Wechselrichters (siehe obere Grafik auf dieser Seite) können folgende Probleme ohne den Einsatz von Differential-Tastköpfen auftreten:

- Beide Meßpotentiale liegen auf hohem Potential (bis 1.000 V und mehr). Ohne Differential-Tastkopf kann das Oszilloskop nicht wie vorgeschrieben geerdet werden.
- Beim Takten der IGBTs springen die Meßpunkte, wenn man am Schalter messen will, der mit dem Kollektor am Pluspotential verbunden ist. Beim Takten des unteren Schalters springt der Emitter des oberen Schalters und damit der Bezugspunkt für eine Messung am oberen Schalter. Damit würde beim Fehlen des Differential-Tastkopfes die Masse



Stromschleifen in der Netzversorgung können Störungen auf das Meßsignal einstreuen

des Oszilloskops mit dem Emitter mitspringen. Dadurch wird eine Potential-Trennung des Oszilloskops vom Netz erforderlich, was prinzipiell mit einem Trenntrafo realisierbar ist. Durch die Koppelkapazität des Trenntrafos wird die Messung jedoch verfälscht und außerdem bleibt diese Art der Messung aus Sicherheitsaspekten bedenklich (gefährlich). Das Dazwischenschalten des Differential-Tastkopfes beseitigt diese beiden Meßprobleme.

- Bei der Messung von mehreren Spannungen mit unterschiedlichen Bezugspotentialen führt dies ohne den Einsatz von Differential-Tastköpfen zum Kurzschluß.

Vorsicht ist außerdem geboten, beim Einsatz von Meß-Systemen mit Lichtwellenleiterübertragung oder magnetischen Übertragern, die Netzteile für die Stromversorgung benutzen. Es entstehen Stromschleifen, in die beim Schalten hoher Ströme Störungen induziert werden können, die das Meßergebnis verfälschen. (MK)