

# Interfaceschaltung für einen simultanen Sende- und Empfangsbetrieb mit einem einzelnen Ultraschallwandler

Andreas Schröder<sup>1</sup>, Bernd Henning<sup>2</sup>

Universität Paderborn, EIM-E, Elektrische Messtechnik, Warburger Straße 100, 33098 Paderborn

<sup>1</sup>Schroeder@emt.upb.de

<sup>2</sup>Henning@emt.upb.de

## Einleitung

In der Ultraschallmesstechnik (Abstandsmessung, NDT) ist es zur Detektion naheliegender Reflektoren bzw. zur Erfassung der Medienrückwirkung (Wirkung der akustischen Last) notwendig, die Empfangssignale auszuwerten, noch während der Schallwandler mit dem Sendesignal angesteuert wird oder die Sendesignalenergie am Schallwandler noch nicht ausreichend abgeklungen ist. In diesem Beitrag wird eine Schaltung zur Kompensation des Sendesignals beschrieben, welche die unmittelbare Auswertung des Empfangssignals ermöglicht.

## Konzept

Wird ein Schallwandler über einen Vorwiderstand  $R_V$  betrieben, so setzt sich die am Schallwandler messbare Spannung  $u_T$  aus zwei Teilspannungen zusammen. Zum einen aus dem elektrischen Sendesignal  $u_S$  und zum anderen aus dem elektrischen Empfangssignal  $u_E$ . Mit Hilfe eines Kompensationssignals soll der Anteil des Sendesignals kompensiert werden (siehe Abb. 1). Da diese Kompensation im Allgemeinen fehlerbehaftet ist, wird das so ermittelte Signal als kompensiertes Empfangssignal  $u_{KE}$  bezeichnet.

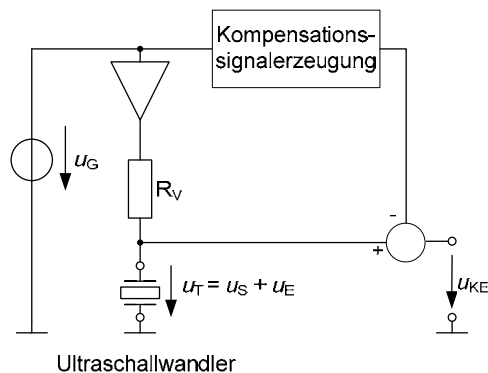


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau für den simultanen Sende- und Empfangsbetrieb eines Ultraschallwandlers

Im eingeschwungenen Zustand kann die Kompensation durch die Subtraktion des in Amplitude und Phase angepassten Generatorsignals  $u_G$  erfolgen (RC-Modell) [1]. Um den Sendesignaleinfluss auch im Ein- und Ausschwingvorgang zu unterdrücken, muss ein Modell höherer Ordnung eingesetzt werden, welches die Resonanzcharakteristik des Schallwandlers ausreichend abbildet (z.B. Butterworth van Dyke). Die Kompensation kann entweder *digital* (nach Digitalisierung des Schallwandlersignals  $u_T$  und Korrekturrechnung) oder *analog* mit einem Differenzverstärker realisiert werden. Das

kompensierte Empfangssignal  $u_{KE}$  kann unmittelbar ausgewertet werden.

In diesem Beitrag wird der Zusammenhang zwischen dem Generatorsignal  $u_G$  und dem elektrischen Sendesignal  $u_S$  für beide Varianten mittels eines Digitalfilters modelliert. Um dessen Parameter zu ermitteln, sind verschiedene Methoden der Parameterschätzung bekannt [2]. Für den hier gezeigten Fall liefert die Output-Error-Methode gute Ergebnisse [3]. Die Parameterschätzung für die Modellbildung des Schallwandlers erfolgt mit der MATLAB®-Funktion „oe“, in welche die Output-Error-Methode implementiert ist. Für die Versuche werden Modelle der Ordnung 50 eingesetzt. Zur Anregung wird, wie später bei der Messung, ein Sinusburst mit 40 Wellenzügen genutzt. Damit ist zwar keine vollständige Systemidentifikation möglich, aber für die Modellierung der durch das Sendesignal angeregten Resonanzen reicht dies aus.

## Versuchsaufbau

Die Signalerzeugung und -aufnahme erfolgt mittels eines PCs über MATLAB®. Hierzu werden eine DAU-Karte vom Type ICS-660 (14 bit bei 65 MS/s) der Firma EHS Elektronik und eine ADU-Karte vom Type MI 3132 (12 bit bei 25 MS/s) der Firma Spectrum verwendet. Das Sensorinterface besteht neben dem Vorwiderstand aus zwei Leistungsverstärkern (V1 und V2) und einem Differenzverstärker (V3), wie in Abbildung 2 skizziert. Als Schallwandler wird ein Luftultraschallwandler vom Typ 400SR160 der Firma Pro-wave Electronics Corp. eingesetzt.

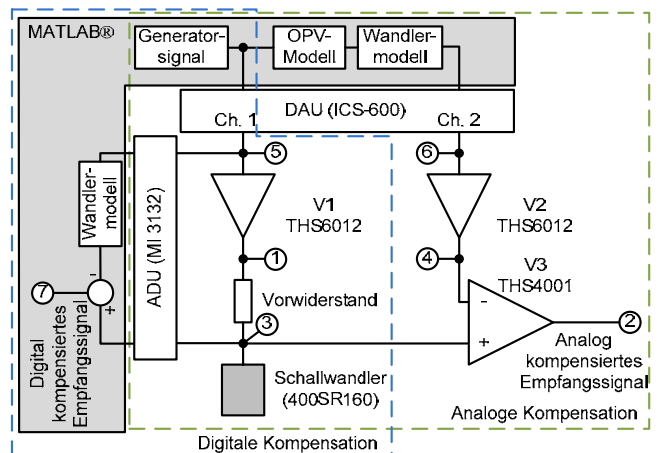


Abbildung 2: Skizze des Versuchsaufbaus

Bei der *digitalen* Kompensation werden das Generatorsignal (5), welches mit Hilfe des Kanals 1 (Ch.1, ICS-660) erzeugt wird, sowie das Schallwandlersignal (3) mittels der ADU-Karte (MI 3132) digitalisiert. Zuerst erfolgt die Modell-

parameterschätzung aus einer Messung ohne Echo. Auf Grundlage des so parametrisierten Schallwandlermodells wird bei jeder Folgemessung ein Kompensationssignal zur Berechnung des *digital* kompensierten Empfangssignals (7) erzeugt.

Für die *analoge* Kompensation erfolgt die Kompensationssignalerzeugung (4) durch einen weiteren Kanal der DAU-Karte. Dabei werden die Modellparameter ebenfalls aus einer Messung ohne Echo durch Auswertung des Schallwandlersignals (3) und des Sendesignals (1) geschätzt. Zusätzlich ist ein Abgleich der beiden Leistungsverstärker V1 und V2 notwendig. Dies erfolgt über ein zweites Digitalfilter in MATLAB®. Dessen Filterkoeffizienten werden aus dem digitalisierten Sendesignal (1) und dem digitalisierten Kompensationssignal (4) bei identischen Anregungssignalen (5) und (6) bestimmt. Als Ergänzung für den Abgleich der Operationsverstärker besteht zusätzlich die Möglichkeit die Amplitude und die Phasenlage des Kompensationssignals digital anzupassen. Die Subtraktion dieses Signals (4) vom Schallwandlersignal (3) liefert das *analog* kompensierte Empfangssignal (2).

Die kompensierten Empfangssignale werden in MATLAB® mit einem digitalen Bandpassfilter nachverarbeitet, um den Einfluss von Rauschen und nichtlinearen Verzerrungen zu minimieren.

## Ergebnisse

In Abbildung 3 ist das Sendesignal, das Schallwandlersignal sowie das *analog* kompensierte und bandpassgefilterte Empfangssignal für eine Burst-Echo-Messung mit einem Reflektor im Abstand von 5 cm abgebildet. Das lange Ein- und Ausschwingen des Schallwandlers ist gut zu erkennen.

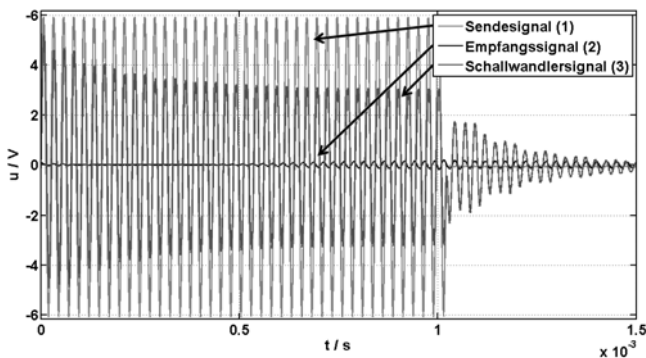


Abbildung 3: Signalverläufe bei einer Burst-Echo-Messung mit einem Reflektor in 5 cm Abstand

Abbildung 4 zeigt die ungefilterten Empfangssignale für die *digitale* und *analoge* Kompensation. Die beiden Empfangssignale unterscheiden sich nur wenig voneinander. Der einzige Unterschied liegt in der möglichen Sendesignaldämpfung, die im Folgenden als Verhältnis der Empfangssignalamplitude ohne Echo zur Sendesignal-amplitude berechnet wird. Sie beträgt bei der *digitalen* Kompensation mit Bandpassfilterung bis zu 41 dB (40 dB ohne Filterung) und bei der *analogen* Kompensation bis zu 56 dB (44 dB ohne Filterung). Das Ein- und Ausschwingen wird noch nicht optimal unterdrückt. Die Ursache hierfür ist, dass das verwendete Modell nur begrenzt die Resonanzcharakteristik des Schallwandlers repräsentiert.

Der Unterschied in der erreichbaren Sendesignaldämpfung zwischen dem digitalen und analogen Ansatz ist in der begrenzten Auflösung des ADU begründet. Dies wird auch bei dem Vergleich der ungefilterten Signale und der damit erreichbaren Dämpfung deutlich. Bei der *analogen* Kompensation muss nur ein Bereich von  $\pm 400$  mV quantisiert werden. Für die *digitale* Kompensation beträgt der zu quantisierende Spannungsbereich hingegen  $\pm 10$  V. Soll das Empfangssignal dabei genau so fein quantisiert werden wie bei der *analogen* Kompensation, wäre ein 17 bit ADU notwendig. Die *analoge* Kompensation entspricht hier also einer Verbesserung der Auflösung von 5 bit.

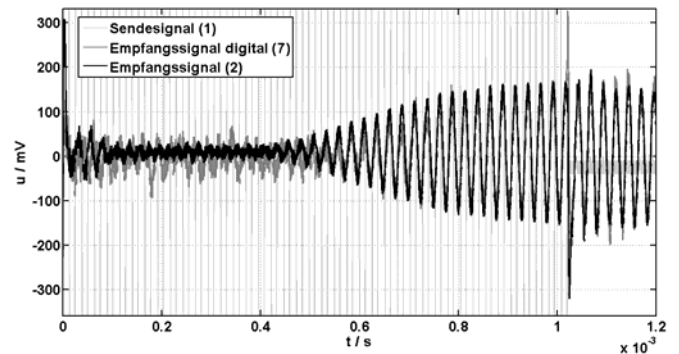


Abbildung 4: Gemessene ungefilterte elektrische Signale und digital kompensiertes Empfangssignal bei einer Burst-Echo-Messung mit einem Reflektor in 5 cm Abstand

## Zusammenfassung und Ausblick

Die hier vorgestellte Schaltung erlaubt unter Zugrundelegung eines Schallwandlermodells die Kompensation des Sendesignaleinflusses und die unmittelbare Gewinnung des Empfangssignals. Mit der *analogen* Kompensation erreicht man eine Sendesignaldämpfung von 56 dB.

Weitere Verbesserungen könnten durch Verwendung einer Vollbrücke zur Ansteuerung des Schallwandlers und Einsparung des Differenzverstärkers erzielt werden. Dies schließt Fehler durch den Differenzverstärker aus. Für die Anwendung in Applikationen bei denen keine definierte Messung ohne Echo (Freifeld) möglich ist, muss eine Modifikation der Parameterschätzung erfolgen, bevor dieses Konzept eingesetzt werden kann. Dadurch wäre ein ständiger Abgleich möglich, der auch Temperatureinflüsse kompensieren kann.

## Literatur

- [1] A. Schröder, C. Hoof, B. Henning: Ultrasonic transducer interface-circuit for simultaneous transmitting and receiving, 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments – ICEMI '2009, Beijing, China, 16.08. -18.09.2009, Proceedings Vol. 4 (ISBN: 978-1-4244-3862-4)
- [2] I. D. Landau, G. Zito: Digital Control Systems – Design, Identification and Implementation, Springer, London 2006 (ISBN: 978-1-84628-055-9)
- [3] N. Taghavi, A. Sadr: Piezoelectric Transducer Modeling with System Identification (SI) Method, World Academy of Science, Engineering and Technology 39, 2008