

Platinenintegrierte Elektret-Beschleunigungsaufnehmer

Joachim Hillenbrand, Florian Pfeil, Tilman Motz und Gerhard M. Sessler

Institut für Nachrichtentechnik, TU Darmstadt, 64283 Darmstadt, E-Mail: j.hillenbrand@nt.tu-darmstadt.de

Einleitung

Auf dem Elektretprinzip basierende Beschleunigungsaufnehmer mit Abstandshalterringen aus zellularen und damit sehr nachgiebigen Polymerfolien wurden erstmals vor einigen Jahren hergestellt und untersucht [1]. Sowohl die Messungen der Ladungsempfindlichkeit als auch die Messungen der Spannungsempfindlichkeit dieser Beschleunigungsaufnehmer wurden mit externen Verstärkern durchgeführt. Bei letzteren Messungen spielten parasitäre Kapazitäten der Aufnehmer und der Zuleitungen eine wichtige Rolle und wurden durch entsprechende Kapazitätsmessungen berücksichtigt. Die gemessenen Spannungsempfindlichkeiten der Elektret-Beschleunigungsaufnehmer sind prinzipbedingt sehr hoch und favorisieren, ähnlich wie bei Elektretmikrofonen, daher die Spannungsverstärkung gegenüber der Ladungsverstärkung. In der Praxis wird zur Minimierung der parasitären Kapazitäten die erste Stufe des hochohmigen Spannungsverstärkers möglichst nahe am Aufnehmer platziert.

Im Folgenden werden zwei unterschiedliche Elektret-Beschleunigungsaufnehmer Typen, ein konventioneller und ein platinenintegrierter, vorgestellt. Bei beiden ist in unmittelbarer Nähe der Wandler ein Sperrschicht-Feldeffekttransistor (JFET) platziert, der in Drainschaltung als Impedanzwandler oder in Sourceschaltung als hochohmige Verstärkerstufe betrieben werden kann.

Design der Elektret-Beschleunigungsaufnehmer

Konventioneller Aufnehmer

In Abbildung 1 ist der relativ konventionell aufgebaute Elektret-Beschleunigungsaufnehmer mit zweiteiligem schalldichten Gehäuse zu sehen [2]. Neben der Luftschallunterdrückung stellt das metallische Gehäuse auch die elektromagnetische Abschirmung der diesbezüglich empfindlichen hochohmigen Gate-Seite des JFET sicher.

Platinenintegrierter Aufnehmer

Schnitt und Foto des platinenintegrierten Elektret-Beschleunigungsaufnehmer sind in Abbildung 2 zu sehen. Sowohl die akustische als auch die elektromagnetische Abschirmung muss durch ein zusätzliches Gehäuse geschehen. Im Gegensatz zum konventionellen Aufnehmer mit einer vergleichsweise komplizierten ausgeführten und dicken Rückelektrode konnte die Rückelektrode der platinenintegrierten Aufnehmer mit Bohrungen versehen werden. Diese Bohrungen verringern die Luftschallempfindlichkeit des Aufnehmers, da die seismische Masse und die Platine jeweils von beiden Seiten beschallt werden und folglich nur noch Druckgradienten die Masse und Platine relativ zueinander beschleunigen, die Luftspaltdicke ändern und damit ein Störsignal erzeugen können.

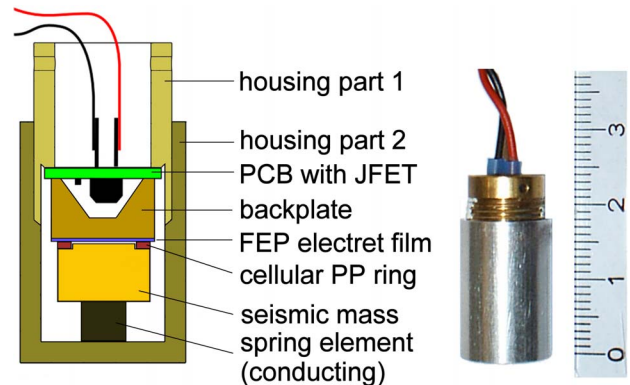


Abbildung 1: Schnittzeichnung (links) und Foto (rechts) des konventionell aufgebauten Elektret-Beschleunigungsaufnehmers mit integriertem hochohmigen Spannungsverstärker [2]. Das zweiteilige Gehäuse ermöglicht die Variation der statischen Kraft auf den zellularen Abstandhalter eine Anpassung der Resonanzfrequenz des Aufnehmers.

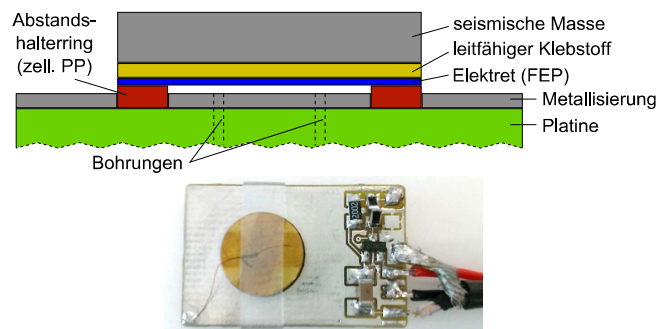


Abbildung 2: Schnittzeichnung (oben) und Foto (unten) des platinenintegrierten Elektret-Beschleunigungsaufnehmers mit integriertem Impedanzwandler. Ein nahezu durchsichtiges Silikonband (im Schnitt nicht gezeichnet) fixiert die seismische Masse auf dem zellularen Polymerring.

Messungen

Empfindlichkeitsmessungen

Für beide Aufnehmertypen wurden Luftspaltdicke, Elektretspannung und E-Modul des zellularen Abstandshalterings variiert und eine ganze Anzahl unterschiedlicher Beschleunigungsaufnehmer gebaut und untersucht. Für die Empfindlichkeitsmessungen wurden ein elektrodynamischer Schwingungserreger (B&K 4809), ein Leistungsverstärker (B&K 2706) und ein Referenz-Beschleunigungsaufnehmer (B&K 4332) verwendet.

Als typisches Beispiel für einen konventionellen Elektret-Beschleunigungsaufnehmer sind in Abbildung 3 gemessene Frequenzgänge der Spannungsempfindlichkeit gezeigt. Die drei unterschiedlichen Frequenzgänge ergaben sich dabei durch unterschiedliche statische Vorspannungen auf den zellularen Abstandshalterring, die dessen E-Modul und da-

mit die Resonanzfrequenz und die Empfindlichkeit des Aufnehmers verändern. Die seismische Masse des Aufnehmers ist 2,1 g und die Elektretspannung 400 V. Als höchste Empfindlichkeit ergaben sich 700 mV/g und eine Resonanzfrequenz von 2 kHz. Für diesen Aufnehmer wurde ein sehr kleines äquivalentes Eigenrauschen von ca. 80 μ g gemessen.

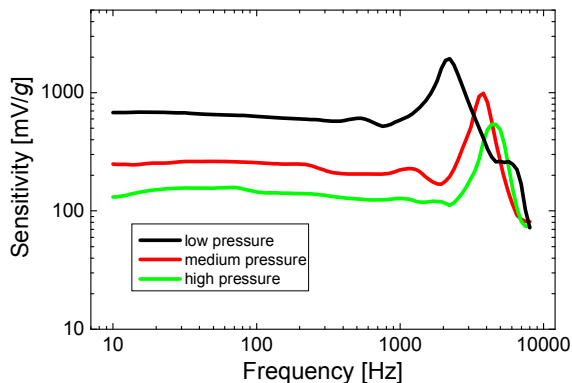


Abbildung 3: Drei Frequenzgänge der Spannungsempfindlichkeit eines konventionellen Elektret-Beschleunigungsaufnehmers gemessen für drei unterschiedliche statische Kräfte auf den zellularen Abstandshaltering [2].

In Abbildung 4 sind zwei Frequenzgänge der Ladungsempfindlichkeit für einen platinenintegrierten Aufnehmer mit einer seismischen Masse von 1 g zu sehen, wobei die erste Messung ca. einen Tag nach Aufladung und Zusammenbau des Aufnehmers erfolgte, die zweite Messung fünf Monate später. Die Abnahme der Empfindlichkeit von ca. 1,5 auf 1,2 pC/g bei gleichzeitig leicht ansteigender Resonanzfrequenz auf 6 kHz könnte dabei durch Abnahme der Elektretspannung oder durch Vergrößerung der Luftspaltdicke verursacht worden sein.

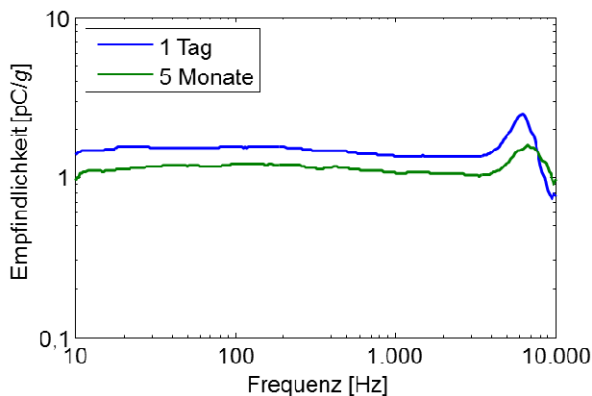


Abbildung 4: Zwei Frequenzgänge der Ladungsempfindlichkeit eines platinenintegrierten Beschleunigungsaufnehmers gemessen einen Tag bzw. fünf Monate nach dessen Zusammenbau.

Luftschallempfindlichkeit

Die Luftschallempfindlichkeit eines konventionellen Aufnehmers ist in Abbildung 5 gezeigt, Messungen für einen platinenintegrierten Beschleunigungsaufnehmer folgen in Abbildung 6. Die Messungen für den konventionellen Aufnehmer mit Gehäuse zeigen einen Anstieg zu niedrigeren Frequenzen hin, dessen Ursache in kleineren Undichtigkeiten des mehrteiligen Gehäuses zu suchen ist. Auffallend ist, dass die Orientierung des Aufnehmers kaum Einfluss auf

dessen Luftschallempfindlichkeit hat. Dagegen ist die Luftschallempfindlichkeit für den platinenintegrierten Aufnehmer bei tieferen Frequenzen flach (geschlossene Bohrungen), entsprechend einem Druckmikrofon, oder steigt an (offene Bohrungen), was wiederum typisch für ein Druckgradientenmikrofon ist. Bei der senkrechten Ausrichtung der Aufnehmer wurde ein, für großflächige Mikrofone typischer, Druckstauereffekt und ein Maximum bei 8 kHz gemessen. Durch die Bohrungen ist die unerwünschte Luftschallempfindlichkeit des platinenintegrierten Aufnehmers bei tiefen Frequenzen sogar kleiner als die des konventionellen Aufnehmers mit schalldichtem Gehäuse.

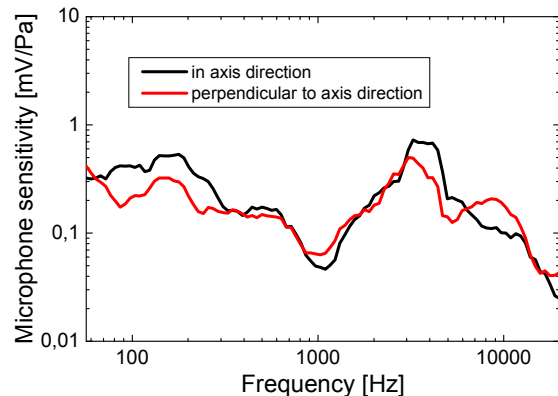


Abbildung 5: Luftschallempfindlichkeit eines konventionellen Elektret-Beschleunigungsaufnehmers gemessen für zwei verschiedene Ausrichtungen [2]. Das Maximum der Empfindlichkeit bei ca. 3 kHz liegt nahe der mechanischen Resonanzfrequenz des Aufnehmers.

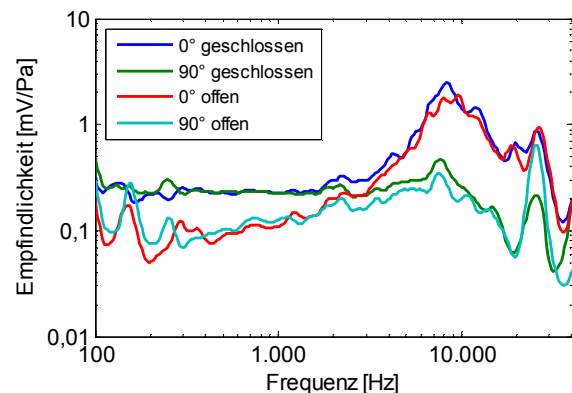


Abbildung 6: Luftschallempfindlichkeit eines platinenintegrierten Elektret-Beschleunigungsaufnehmers gemessen für zwei verschiedene Ausrichtungen und mit offenen oder geschlossenen Bohrungen durch die Rückelektrode.

Dank

Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung.

Literatur

- [1] J. Hillenbrand, S. Haberzettl, T. Motz und G. M. Sessler, "Electret accelerometers: Physics and dynamic characterization", *J. Acoust. Soc. Amer.* **129**, pp. 3682-3689 (2011).
- [2] J. Hillenbrand, T. Motz und G. M. Sessler, "High Sensitivity Electret Accelerometer With Integrated FET", *IEEE Sensors Journal* **14**, pp. 1770-1777 (2014).