

Platinen-integriertes Elektretmikrofon

Florian Pfeil, Joachim Hillenbrand und Gerhard M. Sessler

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

Einleitung

Omnidirektionale Elektretmikrofone besitzen in der Regel ein zusätzliches Rückvolumen hinter der Elektrode um die Nachgiebigkeit des Luftvolumens zu erhöhen. Der neu entwickelte Mikrofontyp basiert auf dem Back-Electret-Prinzip [1], ist auf einer gewöhnlichen Leiterplatte aufgebaut und benötigt kein zusätzliches Rückvolumen, was eine besonders flache Bauform ermöglicht. Die erforderliche Nachgiebigkeit wird durch ein seitliches Luftvolumen und Bohrungen in der Platine erreicht. Vergleichbare Konstruktionen [2] nach dem klassischen Membran-Electret-Prinzip [3] wurden in der Vergangenheit lediglich als Druckgradientenmikrofone untersucht.

Aufbau

Das Elektretmikrofon, bestehend aus dem eigentlichen Sensor und einem JFET-Impedanzwandler, ist auf einer gewöhnlichen, 1,55 mm starken Leiterplatte integriert. Als Elektrode dient eine runde metallisierte Fläche mit einem Durchmesser von 8 mm, umgeben von einer ringförmigen, 1 mm breiten Aussparung in der Metallisierung. Die Elektrodenfläche ist mit mehreren Bohrungen versehen, die auf der Rückseite der Platine verschlossen sind. Das Elektretmaterial (25 μm FEP-Folie) ist mittels leitfähigem Klebstoff auf die perforierte Elektrodenfläche aufgebracht und auf ein Oberflächenpotential von etwa 250 V aufgeladen. Die Membran besteht aus aluminiumbeschichteter PET-Folie, die unter Spannung (ca. 100 N/m) auf einen Trägerring mit einem Innendurchmesser von 10 mm aufgeklebt ist. Sie ist ebenfalls leitfähig auf die die Elektrode umgebende metallisierte Fläche (Massefläche) geklebt. Der Luftspalt zwischen Elektret und Membran ist etwa 25 μm hoch. Abbildung 1 zeigt eine Schnittzeichnung des Aufbaus.

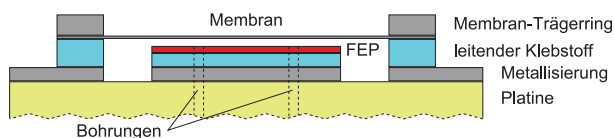


Abbildung 1: Schnittzeichnung des platinen-integrierten Elektretmikrofons

Durch die ringförmige Aussparung in der Metallisierung ergibt sich ein zusätzliches Luftvolumen, das die Nachgiebigkeit der Membran erhöht. Die Bohrungen in der Elektrode dienen sowohl dazu, das Volumen des Luftspalts weiter zu erhöhen als auch den akustischen Reibungswiderstand zu minimieren.

Als Impedanzwandler dient ein Sperrschicht-Feldeffekttransistor (JFET) in Common-Drain-Schaltung. Das Amplitudenspektrum der vom Impedanzwandler mit einer dem Sensor ähnlichen Kapazität von 10 pF am Eingang erzeugten Rauschspannung zeigt den für Feldeffekttransistoren typischen $1/f$ -Verlauf (rosa Rauschen) über den

gesamten Hörschallbereich. Erst oberhalb von 20 kHz verläuft das Spektrum zunehmend flach (weißes Rauschen). Der A-bewertete RMS-Wert der Rauschspannung beträgt 3,6 μV .

Messungen

Die Mikrofonempfindlichkeit wurde zunächst mit einem externen Ladungsverstärker (B&K 2635) in reflexionsarmer Umgebung mittels Sinusanregung relativ zu einem Freifeld-Referenzmikrofon (B&K 4135 / 4191) gemessen. Die Messung wurde jeweils bei senkrechtem (0°) und parallelem (90°) Schalleinfall im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz durchgeführt. Abbildung 2 zeigt gemessene Frequenzgänge zweier platinen-integrierter Elektretmikrofone mit und ohne Bohrungen in der Elektrode.

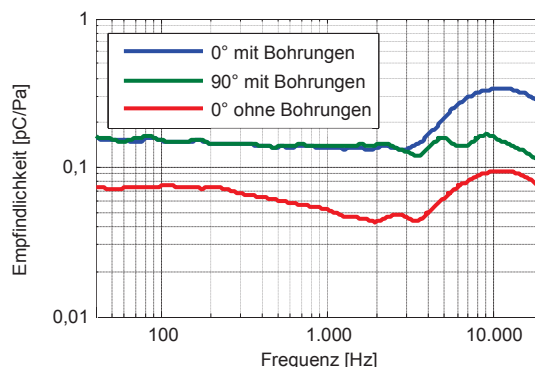


Abbildung 2: Gemessene Ladungsempfindlichkeiten zweier platinen-integrierter Elektretmikrofone

Ein Vergleich der Messungen der beiden ansonsten identischen Mikrofone zeigt anschaulich den Effekt der Bohrungen. Zum einen erhöht sich durch das zusätzliche Luftvolumen die Gesamtnachgiebigkeit und damit die Empfindlichkeit, zum anderen verringert sich der akustische Reibungswiderstand im Luftspalt, was zu einem ebenen Frequenzgang der Empfindlichkeit oberhalb 200 Hz führt. Der Anstieg der Empfindlichkeit ab 3 kHz bei Messung unter 0° ergibt sich durch Druckstau an der Platinenoberfläche.

Die Spannungsempfindlichkeit wurde analog zur Ladungsempfindlichkeit unter Freifeldbedingungen und jeweils unter 0° und 90° mit dem auf der Platine integrierten Impedanzwandler gemessen. Der Frequenzbereich wurde dabei bis 40 kHz erweitert. Abbildung 3 zeigt die gemessenen Frequenzgänge der Spannungsempfindlichkeit eines platinen-integrierten Elektretmikrofons mit Bohrungen in der Elektrode. Der Frequenzgang der unter 90° gemessenen Empfindlichkeit verläuft eben über den gesamten Hörschallbereich bei etwa 9 mV/Pa. Unter Vernachlässigung des mechanischen Mikrofonrauschens ergibt sich mit der gemessenen Rauschspannung des Impedanzwandlers ein Ersatzgeräuschpegel von 26 dB(A).

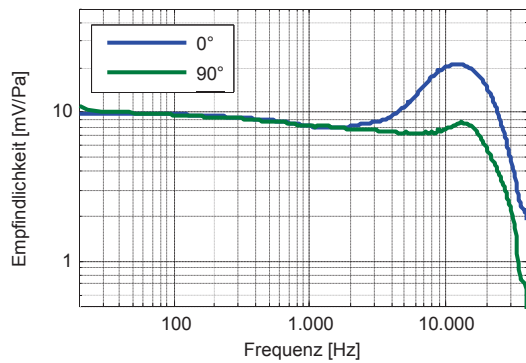


Abbildung 3: Gemessene Spannungsempfindlichkeit eines platinen-integrierten Elektretmikrofons bei senkrechtem (0°) und parallelem (90°) Schalleinfall

Modellierung

Zur theoretischen Beschreibung des Elektretmikrofons wurde ein Modell mit konzentrierten Elementen entwickelt. Es berücksichtigt sowohl die zusätzlichen Luftvolumina der Bohrungen und des ringförmigen Volumens als auch die akustische Reibung im Luftspalt [4]. Abbildung 4 zeigt das Ersatzschaltbild des Modells mit Real- und Imaginärteil der Strahlungsimpedanz R_s und X_s , der Masse M_m und Nachgiebigkeit C_m der Membran, der Nachgiebigkeit des Luftspaltvolumens C_g , sowie den Nachgiebigkeiten der Volumina des Rings C_r und der Bohrungen C_h und den verbundenen akustischen Reibungswiderständen R_g und R_h .

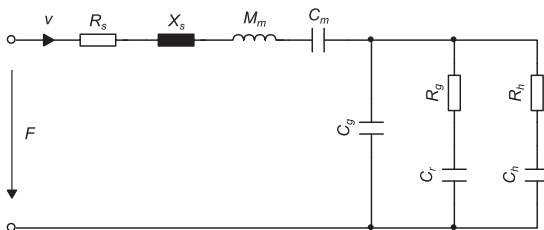


Abbildung 4: Ersatzschaltbild des Modells des platinen-integrierten Elektretmikrofons nach erster elektro-mechanischer Analogie

Die Leerlauf-Spannungsempfindlichkeit [5] lässt sich mit Hilfe der mechanischen Impedanz Z_m schreiben als

$$S = \frac{U}{p} = \frac{U_c A_m \varepsilon_r}{j\omega Z_m (d_e + \varepsilon_r d_l)} \quad (1)$$

mit der Ausgangsspannung U , dem Schalldruck p , der Elektretspannung U_c , der Membranfläche A_m , der Dielektrizitätszahl des Elektrets ε_r sowie den Dicken des Elektrets d_e und des Luftspalts d_l .

Zur Validierung des Modells wurden drei Modellparameter (Luftspalthöhe, effektive Membranfläche und Skalierung) durch Minimierung der Fehlerquadrate zu Messungen unter 90° optimiert. Die gemessenen Empfindlichkeiten zweier platinen-integrierter Elektretmikrofone sowie die mit optimierten Parametern berechneten sind in Abbildung 5 gezeigt. Die gute Übereinstimmung zwischen Modell und Messung für die gezeigten und weitere platinen-integrierte Elektretmikrofone bestätigt, dass die mechanischen Eigenschaften dieses Mikrofontyps gut durch das entwickelte Modell beschrieben werden können.

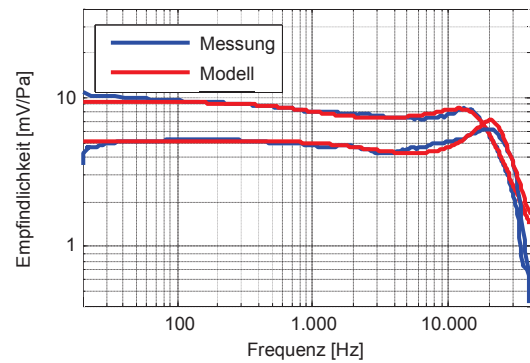


Abbildung 5: Vergleich von gemessenen und berechneten Spannungsempfindlichkeiten für zwei verschiedene platinen-integrierte Elektretmikrofone

Diskussion

Es konnte gezeigt werden, dass Elektretmikrofone mit hohen Empfindlichkeiten auf gewöhnlichen Leiterplatten integriert und in guter Übereinstimmung durch ein analytisches Modell beschrieben werden können. Auf Grund ihrer flachen Bauform eignen sich diese Mikrofone besonders für den Einsatz als Grenzflächenmikrofon und zur aktiven Luftschall-Kompensation eines platinen-integrierten Beschleunigungssensors [6].

Danksagung

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

Literatur

- [1] C. W. Reedyk, "Electret transducers applied to the telephone," *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, vol. 19, no. 1, pp. 1-5, March 1971.
- [2] J. Hietanen and N. Zacharov, "An integrated Printed Circuit Board (PCB) microphone," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 107, no. 5, Pt. 1, L25, May 2000.
- [3] G. M. Sessler and J. E. West, "Self-Biased Condenser Microphone with High Capacitance," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 34, no. 11, pp. 1787-1788, November 1962.
- [4] Z. Skvor, "On the Acoustical Resistance Due to Viscous Losses in the Air Gap of Electrostatic Transducers," *Acustica*, vol. 19, pp. 295-299, 1967/68.
- [5] G. M. Sessler and J. E. West, "Applications," in *Topics in Applied Physics*, 2. ed., vol. 33: Electrets, Springer-Verlag, 1987, pp. 347-381.
- [6] J. Hillenbrand, F. Pfeil, T. Motz und G. M. Sessler, „Platinenintegrierte Elektret-Beschleunigungsaufnehmer,“ in *Jahrestagung für Akustik DAGA*, Oldenburg, 2014.