

# Vielseitig einsetzbare piezokeramische Signalgeber aus dem KWH

Dipl.-Ing. R. HOFFMANN, Dipl.-Ing. C. SCHLEGEL  
Mitteilung aus dem Kombinat VEB Keramische Werke Hermsdorf

Dieser Beitrag beschreibt einen multivalent einsetzbaren Signalgeber auf piezokeramischer Basis, der im Zentrum für Forschung und Technologie im Kombinat VEB Keramische Werke Hermsdorf entwickelt wurde. Es sollen Funktion und Daten gezeigt werden, die dem Anwender interessante Anwendungen ermöglichen. Signalgeber dieser Art werden ab Mai 1984 im Kombinat VEB Keramische Werke Hermsdorf produziert und stehen damit industriellen Anwendern und dem Handel zur Verfügung.

## Grundlagen

Für viele Anwendungen und Bereiche, wie BMSR-Technik, Fernsprechtechnik, Quarzuhren, Meßtechnik, Mikrorechner, Kfz-Elektronik, Freizeit- und Bastlerbedarf ist eine akustische Signalisierung von Zuständen, Grenzwerten oder Havariesituationen notwendig. In der Vergangenheit wurden dazu elektromechanische Systeme oder Anordnungen aus Tongenerator und Lautsprecher verwendet. Vereinzelt dienten piezokeramische Summerelemente, angesteuert von einem Multivibrator, als Schallwandler. Elektromagnetische Wandler haben als Nachteil Funktionen, einen großen Energiebedarf, einen ungleichmäßigen Verlauf der Stromaufnahme und die Erzeugung von Fremdfeldern. Außerdem ist der Betriebsbereich eingeschränkt. Piezokeramische Summerelemente, wie sie

z.B. bei Taschenrechnern als Schallwandler eingesetzt sind, liefern verhältnismäßig geringe Lautstärken. Erst das Hinzufügen eines geeigneten Resonators mit definierter akustischer Lagerung des Summerelements bringt bedeutende Lautstärkegewinne. Diese Anordnungen, angesteuert von einem Multivibrator, entwickeln nur bei einer definierten Resonanzfrequenz die volle Lautstärke. Daraus ergibt sich ein Nachteil für den Anwender, denn Signalquelle und piezokeramisches Summerelement müssen in der Frequenz übereinstimmen. Diese Einschränkung in der Gebrauchsfähigkeit als Signalgeber läßt sich dadurch beheben, daß das piezoelektrische Summerelement als frequenzbestimmendes Bauelement herangezogen wird. Mittels einer einfachen Elektronik (ein Transistor, drei Widerstände) und einer Rückkopplungselektrode auf dem Summerelement läßt sich so ein Relaxationsoszillator aufbauen, wobei das frequenzbestimmende Summerelement gleichzeitig die Schallabstrahlung übernimmt. Der piezokeramische Signalgeber besteht aus drei Grundelementen: piezokeramisches Summerelement, Helmholtz-Resonator und Elektronik.

## Das piezokeramische Summerelement und seine Lagerung

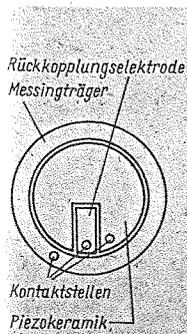
Das piezokeramische Summerelement besteht aus einer Messingträgermembran

mit aufgeklebter Piezokeramikscheibe. Die Kontaktierung erfolgt einmal an der Messingscheibe und zum anderen auf der Piezokeramik mit zwei Kontaktstellen (Bild 5). Es stellt damit elektrisch (durch die Rückkopplungselektrode) einen Dreipol dar.

Das Verhältnis der Durchmesser der Messingträgermembran zur Piezokeramik beträgt aus physikalischen Gründen 1:0,7. Die Materialdicken der Messing- bzw. Piezokeramikscheiben betragen etwa 0,25 mm.

Bei Anlegen einer elektrischen Spannung verändern sich, wie bei jeder Piezokeramik, die geometrischen Maße. Hier ist die Veränderung des Durchmessers interessant. Durch die feste Verbindung von Messingscheibe und Piezokeramikscheibe ergibt sich ein „Bimetalleffekt“, der sich in der Durchbiegung des Summerelementes äußert. Die Richtung der Durchbiegung ist von der Polarität der angelegten elektrischen Spannung abhängig (Bild 6).

Ist die angelegte Spannung eine Wechselspannung, so folgen die Biegeschwingungen der Frequenz der Wechselspannung. Die Auslenkung und damit der erzeugte Schalldruck sind bei der mechanischen Resonanzfrequenz am größten. Deshalb müssen für maximalen Schalldruck Anregungsfrequenz und Resonanzfrequenz des Summerelements übereinstimmen. Diese Bedingung ist bei selbsterregtem Betrieb automatisch erfüllt, denn durch den piezoelektrischen Effekt wird bei Auslenkung des Summerelementes durch eine Anregungsspannung auf der Rückkopplungselektrode eine Spannung erzeugt. Die eben beschriebenen Vorgänge sind unabhängig von der Art der Lagerung des Summerelementes im Gehäuse, lediglich die Lage der Resonanzfrequenz wird beeinflusst. Zusammenhänge dieser Art wurden in [1] theoretisch behandelt. Für einen Signalgeber muß man eine Lagerungsart wählen, die weitgehende Unabhängigkeit vom verwendeten Gehäuse gestattet. Die Halterung des Summerele-



Bilder 1 bis 4: s. 3. Umschlagseite  
Bild 5: Der Aufbau des Summerelements

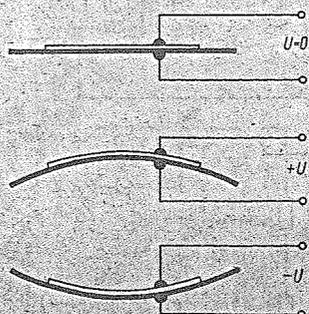


Bild 6: Die Durchbiegung des Summerelements bei Anlegen einer Spannung

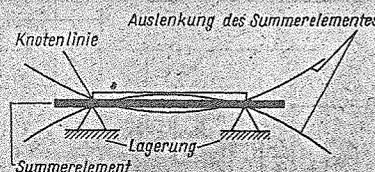


Bild 7: Die akustische Lagerung des Summerelements

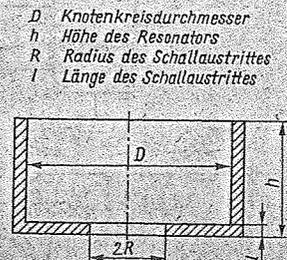


Bild 8: Die Resonatorgeometrie

### Daten des Resonators mit Summerelement

Durchmesser des Summerelements:	35 mm
Durchmesser der Knotenlinie:	23 mm
Resonanzfrequenz des Summerelements:	2,75 kHz
	± 250 Hz
Güte des Helmholtzresonators:	19
Durchmesser des Schallaustritts:	7,2 mm

menten in der Knotenlinie garantiert eine geringe Rückwirkung auf das Gehäuse und die Resonanzeigenschaften des Summerelements. Bei dem verwendeten Summerelement von 35 mm Durchmesser liegt die Knotenlinie bei 23 mm Durchmesser, d. h., beim etwa 0,66fachen des Messingträgerdurchmessers. Durch diese Halterungsart stellt sich die 1. Resonanzfrequenz einer freischwingenden Scheibe ein (Bild 7). Der Durchmesser der Knotenlinie vom 0,66fachen des Messingträgerdurchmessers ist eine Randbedingung für die Ankopplung des Summerelements an den Resonator.

### Der Helmholtz-Resonator

Das Ankoppeln des Summerelements an einen Resonator ermöglicht hohe Schalldruckwerte. Dieser Resonator hat ein Volumen  $V$ , das sich aus dem Knotenliniendurchmesser und der Höhe des Resonatorraumes ergibt und eine Schallaustrittsöffnung mit der Querschnittsfläche  $A$ . Nach [2] kann man das Volumen als akustische Feder  $N$  und die Schallaustrittsöffnung als akustische Masse  $M$  ansehen. Eine weitere Einflußgröße ist die geometrische Form der Schallaustrittsöffnung, die in der Berechnung von Helmholtz-Resonatoren als sogenannte Mündungskorrektur Berücksichtigung findet. Für die Dimensionierung gilt nach [3]

$$M = \frac{\rho}{A} \cdot (1 + 2 \Delta l)$$

$$N = \frac{V}{\rho \cdot c^2}$$

Dabei sind  $\rho$  - spezifische Luftdichte,  $A$  - Querschnitt der Schallaustrittsöffnung,  $V$  - Volumen des Resonators,  $c$  -

### Daten des Hybridschaltkreises KWH 29-84

Betriebsspannungsbereich:	1...20 V
max. Stromaufnahme:	40 mA (ohne angeschl. Summerelement)
Verstärkung bei 12 V:	≈ 30 dB bei sinusf. Ansteuerung
Temperaturbereich:	-40 bis +70 °C
Maße:	11 mm × 13 mm

Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall in Luft,  $\Delta l$  - Mündungskorrektur und  $l$  - Länge der Schallaustrittsöffnung. Bei dem für Signalgeber üblichen kreisförmigen Schallaustritt gilt bei  $R \gg 1$  nach [4] ein Mündungskorrekturfaktor von  $\pi R/2$ , wobei  $R$  der Radius des Schallaustritts ist. Die Resonanzfrequenz des Resonators ergibt sich demnach zu

$$f_0 = \frac{1}{2 \pi \sqrt{\frac{V}{A \cdot c^2} \left(1 + \frac{\pi}{2} R\right)}}$$

Mit Hilfe dieses Ausdruckes kann man aus der gewünschten Resonanzfrequenz (gleich Resonanzfrequenz des Summerelements) in erster Näherung die Maße des Resonators errechnen. Praktisch sind geometrische Korrekturen erforderlich, da in der Gleichung Randbedingungen, wie starre Resonatorwände oder die Volumenänderung durch die Summerelementscheibe nicht betrachtet werden. Weiter ist zu beachten, daß solche Resonatoren (wie auch Schwingkreise als ihre elektrische Analogie) eine Resonanzgüte besitzen, welche sich nach [3] zu

$$Q = \frac{2 \pi}{V} \cdot \left(\frac{c}{\omega_0}\right)^3$$

ergibt. Für die praktische Ausführung eines Resonators ist dabei die umgekehrte Proportionalität von Güte  $Q$  und Volumen  $V$  zu sehen. Bei konstantem Durchmesser (das ist der Knotenliniendurchmesser des Summerelements) ist eine Variation des Volumens bei zylindrischer Ausführung nur durch die Höhe möglich (Bild 8).

Für eine experimentell ermittelte Güte zwischen 15 und 20 ergibt sich eine bestimmte Höhe des Resonators. Somit

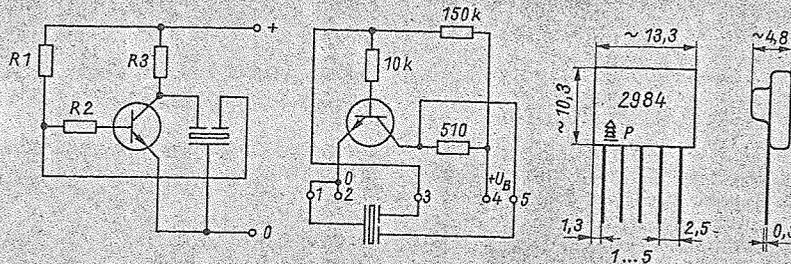


Bild 9: Stromlaufpläne einer Rückkopplungselektronik

Bild 10: Stromlaufplan, Abmessungen und Anschlußbelegung des Hybridschaltkreises 29-84 und Anschaltung des Summerelements

wird die Resonatorfrequenz des praktischen Resonators mit dem Durchmesser der Schallaustrittsöffnung eingestellt. Theoretisch geht die Länge der Schallaustrittsöffnung auf die Resonanzfrequenz ein (akustischer Leitwert des Schallaustritts), kann aber im praktischen Fall vernachlässigt werden, da die Bedingung

$$1 \ll R$$

erfüllt ist.

## Die Rückkopplungselektronik

Die von der Rückkopplungselektrode des Summerelementes erzeugte Rückkopplungsspannung dient als Mittel zur Schwingungserzeugung. Eine einfache Schaltung ergibt zusammen mit dem Summerelement einen Dreipunktoszillator (Bild 9).

Die Widerstände R1 und R2 bestimmen den Gleichstromarbeitspunkt; R2 verbessert zusätzlich die Amplitudenbilanz durch Begrenzung der von der Rückkopplungselektrode stammenden Spannung. R3 ist der Arbeitswiderstand. Die Stromverstärkung des Transistors kann sich im Bereich von 50 bis 350 bewegen. In der Signalgeber-Variante „piezo-phon“ wird diese Schaltung in hybridisierter Form (Hybridschaltkreis KWH 29-84) benutzt (Bild 10).

## Konstruktion

Durch das Fügen des Summerelementes und des Resonators mittels Silikonkautschuk in der Knotenlinie ist der funktionell notwendige Aufbau der Signalgeber unter Beachtung rückwirkungsfreier Anschlußelemente bereits umrissen. Für die praktische Anwendung sollte jedoch mit der konstruktiven Ausführung auch ein Schutz des empfindlichen Summerelementes erfolgen, wobei bei den betreffenden Varianten weiter der Schaltkreis innerhalb der Gehäusekonturen bei gleichzeitiger Minimierung der Außenabmessungen anzuordnen war. Die Gewährleistung mehrerer Arten der mechanischen Befestigung ohne Rückwirkung auf das Summerelement bei Zusammenführung der Resonator- mit den Gehäusekonturen zu einem Teil und die Verwendung von Leitungsteilen, die das Schwingen des Summerelementes nur vernachlässigbar beeinflussen, waren ebenso wie eine ansprechende Gestaltung für die Anordnung im Sichtbereich wichtige Konstruktionsmerkmale.

Die Ausführungsvarianten ergeben sich durch unterschiedliche Komplettierung. Das Gehäuse wurde zweiteilig gestaltet, wobei in einem Teil der Resonator zur Ankopplung des Summerelementes integriert ist (Resonatorgehäuse) und im an-

deren der Schaltkreis durch thermisches Stauchen befestigt wird (Kappe; s. auch Bild 4 - 3. Umschlagseite).

Um den aus der Gesamtfigur des Resonatorgehäuses herausragenden Schallaustritt sind konzentrisch Konturen angeordnet, die ein Befestigen durch Einrasten in eine entsprechende Öffnung z. B. einer Front- oder Leiterplatte von 1,5 mm Dicke erlauben (snap-in; s. Bild 3 - 3. Umschlagseite).

Die Kappe ist mit Befestigungslaschen für Schrauben mit einem Durchmesser von 2,5 mm ausgestattet (Bild 2).

Das Fügen der Gehäuseteile erfolgt ebenfalls durch Einrasten. Für die Durchführung der Anschlußelemente sind in der Kappe spezielle Aussparungen vorgese-

hen, in denen diese Elemente nach dem Fügen mit dem Resonatorgehäuse ausreichend festgelegt sind.

## Varianten

Die Bereitstellung von Varianten mit unterschiedlicher technischer Ausstattung dient hauptsächlich dem Zweck, dem Anwender die für den jeweiligen Fall ökonomischste Lösung anzubieten. Sie hängt davon ab, inwieweit eine eventuell bereits vorhandene elektronische Schaltung als Ansteuerschaltung in Frage kommt. Die Tabelle auf der 3. Umschlagseite gibt Aufschluß über die technische Ausstattung der Varianten und deren vorzugsweisen Anwendungsbereich.

## Literatur

- [1] Borchhardt, G.: Der Piezosummer - ein einfacher elektro-akustischer Signalgeber, Hermsdorfer Technische Mitteilungen 23 (1983), 63
- [2] Skudrzyk, E.: Die Grundlagen der Akustik, Springer-Verlag Wien, 1954
- [3] Lenk, A.: Elektromechanische Systeme, Bände 1 und 2, Verlag Technik, Berlin 1973
- [4] Reichardt, W.: Physikalische Grundlagen der Elektroakustik, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig 1961
- [5] Electronic Buzzers Moving Rapidly to New Application JEE, May 82
- [6] Informationsblatt: Piezoelektrische Summerele-

mente, VEB Keramische Werke Hermsdorf, DDR

- [7] Informationsblatt: Piezokeramische Signalgeber, VEB Keramische Werke Hermsdorf, DDR
- [8] Katalog: Piezo-Summerscheiben für akustische Signalgebung, Stettner u. Co. Technische Keramik, Elektronik Bauelemente 1980
- [9] Katalog: Piezo-Ceramic Buzzes, National Matsushita Electric Japan 1980
- [10] Kuwabara, J.; Yoshida, N.; Suzuki, J.: Piezoelectric Buzzers Applications Expand., Kyoto Ceramic Co. Ltd., Nov. 1979
- [11] Tani, K.; Yumazoe, T.: Piezoelectric Ceramic Buzzers Achieve High Sound Levels, Matsushita Electronics Components Co. Ltd., Feb. 1980