

SAW-Resonatoren für die fernabfragbare Funksensorik

S. Klett, W. Buff, M. Rusko, M. Binhack, J. Ehrenpfordt*, und M. Goroll*
Technische Universität Ilmenau, Institut für Festkörperelektronik, PF 100 565, D-98684 Ilmenau,
*senTec Elektronik GmbH, D-98684 Ilmenau,

Kurzfassung — Im Beitrag werden Probleme und Lösungsansätze zum Einsatz von SAW-Resonatoren in der passiven, funkabfragbaren Sensorik beschrieben. SAW-Resonatoren können in ihrem Frequenzverhalten direkt (Ausbreitung der SAW) oder indirekt (elektrische Ankopplung) durch eine Messgröße beeinflusst werden. Wegen ihrer hohen Güte eignen sie sich zur Aufnahme und zum Zwischenspeichern von HF-Energie in passiven Telemetriesystemen.

Die gegenwärtigen Arbeiten orientieren sich am lizenzfreiem ISM-Band bei 433,92 MHz und an dessen Restriktionen (Bandbreite, Sendeleistung). Im Beitrag werden Ergebnisse zur Parameterextraktion von Resonatoren und ein Identifikationsmodul, kombiniert mit einem Temperatursensor, einschließlich einer Abfrageeinheit zur Anregung sowie zum Auslesen des Sensors vorgestellt.

1. EINLEITUNG

High-Q SAW-Resonatoren eröffnen aufgrund ihres guten Energiespeichereffekts neue Perspektiven in der passiven fernabfragbaren Sensorik [1]. Die hohe Genauigkeit der Resonanzfrequenz als auch ihre Langzeitstabilität legen die Erweiterung des Einsatzbereiches über die sonst üblichen Oszillatoranwendungen hinaus nahe.

Für den Einsatz von SAW-Resonatoren in Sensorsystemen spricht die Beeinflussbarkeit ihrer Resonanzeigenschaften unter Einwirkung physikalischer Messgrößen [2, 3] durch die Verwendung spezieller Substrate, durch eine veränderte Gestaltung ihres Aufbaus oder durch die äußere Beschaltung.

Verglichen mit anderen SAW-Bausteinen finden Resonatoren im Bereich der fernabfragbaren Identifikationsmodule noch wenig Beachtung. Es existieren derzeit verschiedene Konzepte für die Identifikation auf der Basis von SAW-Verzögerungsleitungen [4, 5]. Durch eine geeignete Anordnung der Reflektoren auf den SAW-Bauelementen lässt sich hierbei eine große Anzahl von Codes realisieren [6]. Die Nachteile dieser Module bestehen jedoch einerseits in der Belegung eines breiten Frequenzbandes, was vielen ISM-Standards widerspricht und andererseits in der geringeren Energiebilanz, die unter den Möglichkeiten von Resonatoren hoher Güte liegt.

Die Abfrage von Resonatoren erfolgt durch lange, sinusförmige Schwingungspakete und verursacht dadurch keine breitbandigen Störungen im Frequenzband. Dies erlaubt den Einsatz der Module im 433,92 MHz-ISM-Band mit der relativ geringen Bandbreite von 1,74 MHz.

Angesichts der Tatsache, daß Resonatoren in großen Stückzahlen gefertigt werden und im breiten Sortiment für Frequenzen bis 2,45 GHz zur Verfügung stehen, wird sich dieser SAW-Technologie ein breiter Anwendungsbereich auch für low-cost Funk- und Sensorsysteme eröffnen.

2. PARAMETEREXTRAKTION FÜR RESONATORMODELL

Um den Einsatz von Resonatoren in passiven Sensorsystemen optimal gestalten zu können, sind ihre Eigenschaften in einem elektrischen Netzwerk-Modell hinreichend genau zu erfassen. Aufgrund der hohen Resonanzschärfe von Resonatoren ist der Genauigkeit der Messung und der Parameterbestimmung großes Gewicht zu geben. Das Modell bildet die Grundlage für die weiteren Entwurfsschritte: Ziehen der Resonanzfrequenz (Sensorfunktion, Empfindlichkeit), Breitbandanpassung, Doppelresonatoranordnung, Abfrageregime.

In Anlehnung an Quarz-Resonatoren wird folgende Ersatzanordnung aus diskreten Elementen zugrunde gelegt (Bild 1):

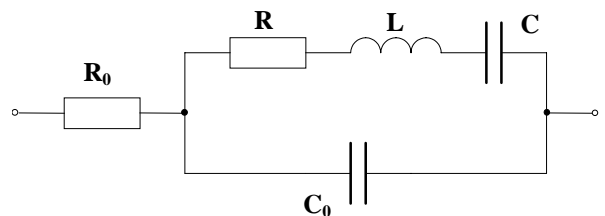


Bild 1: Resonatorersatzschaltung

Hierbei entsprechen die Elemente RLC des Reihenschwingkreises der akustischen Resonanz. Sie bestimmen die Serienresonanzfrequenz und die damit verbundene Güte Q nach:

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad Q = \frac{1}{2\pi f_s RC}$$

Nebenresonanzen können durch zusätzliche, parallelgeschaltete Reihenresonanzkreise dargestellt werden. C_0 bildet die sog. statische Kapazität der Elektrodenfinger und R_0 beinhaltet parasitäre ohmsche Anteile in den Bonddrähten, den Zuleitungen, der Messfassung u.ä. Beide Elemente reduzieren die Güte auf den direkt messbaren Wert Q_0 (3 dB-Abfall). Durch eine spätere Anpassung wird neben einer Widerstands-Transformation die Kapazität C_0 kompensiert. Es sei erwähnt, dass auch ein angepasster Resonator durch obiges Ersatzschaltbild repräsentiert wird.

Eine Übersicht über das Resonanzverhalten gibt die Polardarstellung der Admittanz Y im Bild 2. Die Ortskurve wird durch gemessene und aus dem Ersatzschaltbild deckungsgleich zurückgerechnete Werte dargestellt. Sie gibt gleichzeitig den Gültigkeitsbereich des Modells wieder. Neben der Serienresonanzfrequenz f_s existieren noch weitere typische Frequenzen, die als Schnittpunkte auf dem Kreis angedeutet sind. Hervorzuheben sind f_s mit den 45°-Eckfrequenzen für Q sowie f_m (bei Maximaladmittanz) mit den 45°-Eckfrequenzen für Q_0 . Als Beispiel diene ein Resonator RFM ro2023. Ermittelt wurden: $R = 43,8 \Omega$, $L = 141,33 \mu\text{H}$, $C = 0,952 \text{ fF}$, $C_0 = 3,30 \text{ pF}$, $R_0 = 1,37 \Omega$, $Q = 8800$, $Q_0 = 6150$.

4. ABFRAGEEINHEIT

Die Abfrageeinheit [7] erzeugt ein sinusförmiges Signalpaket und überträgt es über eine Antenne zum Sensor- modul. Die Frequenz der abgestrahlten Schwingungspakete wird über einen digitalen Synthesizer (DDS) eingestellt (siehe Bild 4). Nach passieren eines Mixers und Leistungsver- stärkers (10 dBm) wird das Signal dem Sende-/Empfangsum- schalter zugeführt. Er wurde auf schnelles Schalten (<10 ns) bei maximaler Isolation (95 dB) während des Empfangs hin optimiert. Nach der Anregung des Sensormoduls und Abschalten des Sendesignals gibt das Sensormodul die gespeicherte Energie zurück. In einer Messzeit von ca. 20 μ s wird jedem Schwingungspaket über Integration des empfangenen Signals ein Intensitätsfaktor bei bekannter Sendefrequenz zugeordnet und einer Auswertung zugeführt. Mit dem Digitalteil wird ein Wobbelvorgang über das gesamte Frequenzband gesteuert. Als Ergebnis wird eine ähnliche Darstellung wie im Bild 3 gewonnen. Damit können die Frequenzänderungen eines Sensorsignals bzw. auch dessen Identifikationscode ermittelt werden.

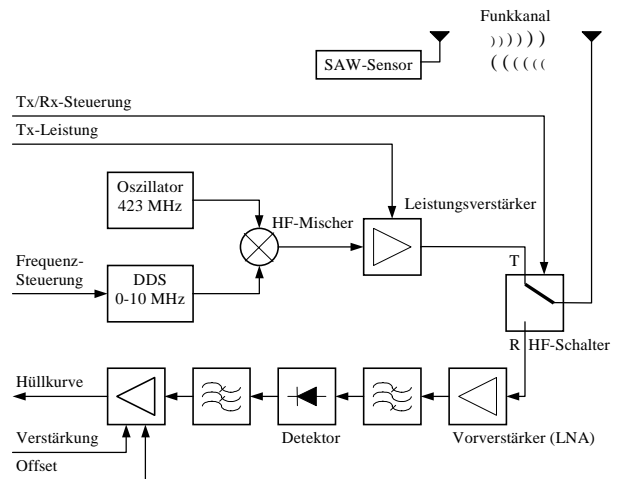


Bild 4: Blockschaltbild des Analogteils der Abfrageeinheit

5. LITERATUR

- [1] Buff, W., "SAW Sensors", *Sensors and Actuators*, (17) 1989, pp. 55-66
- [2] Buff, W. et. al., "A Difference Measurement SAW Device for Passive Remote Sensing", *Proc. IEEE Ultrasonics Symposium*, 1996, pp. 343-346
- [3] Rusko, M., et.al.: "Double SAW Resonator Sensor for Passive Remote Sensing", *Proc. of 43th International Scientific Colloquium*, TU Ilmenau, 1998
- [4] Klett, S., et.al.: "Multiple Apodized Self-Correlating Tapped Delay Line for ID-Tag and Sensor Applications", *Proc. IEEE Ultrasonics Symposium*, 1997, pp. 349-354
- [5] Schmidt, F., "Remote Sensing of Physical Parameters by Means of Passive Surface Acoustic Wave ("ID-Tag")", *Proc. IEEE Ultrasonics Symposium*, 1994, pp. 589-592
- [6] Scholl, "Identifizierungs- und/oder Sensorsystem", German Patent, DE 4413211 A1, 1995
- [7] Ehrenpfordt, J., et.al.: "An Interrogation Unit for Passive Remote Sensing with SAW-Devices", *Proc. of 43th International Scientific Colloquium*, TU Ilmenau, 1998

e-mail: stefan.klett@e-technik.tu-ilmenau.de

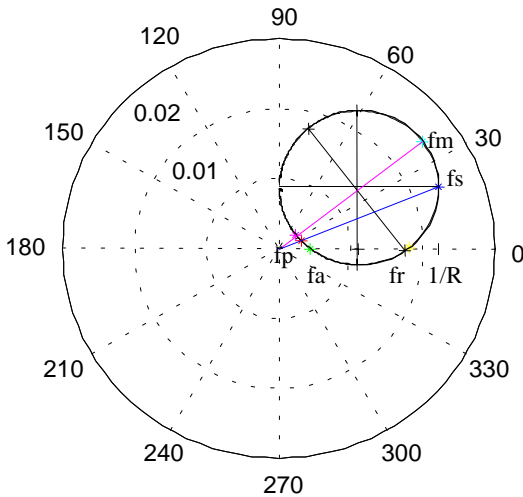


Bild 2: Polardarstellung der Resonatoradmittanz Y

Abweichend von Standards wie DIN IEC 444, 1019, 1080 wurden alle Parameter mit der vorteilhafteren S11-Messung (Kalibrierung, Messfassung) bestimmt.

3. RESTAG IDENTIFIKATIONSMODUL

Die Grundidee besteht darin, mehrere Resonatoren über ein geeignetes Anpassnetzwerk mit einer Sende/ Empfangsantenne zu verbinden. Werden diese Resonatoren abgefragt, so antwortet jeder mit seiner Resonanzfrequenz in Abhängigkeit davon, ob er durch einen Bypass aktiv oder inaktiv geschaltet ist. Durch diese Bypassschaltung ist eine Codierung möglich. Die ein- bzw. ausgeschalteten Resonatoren können durch ihre Peaks im Frequenzspektrum, Bild 3, leicht dedektiert werden.

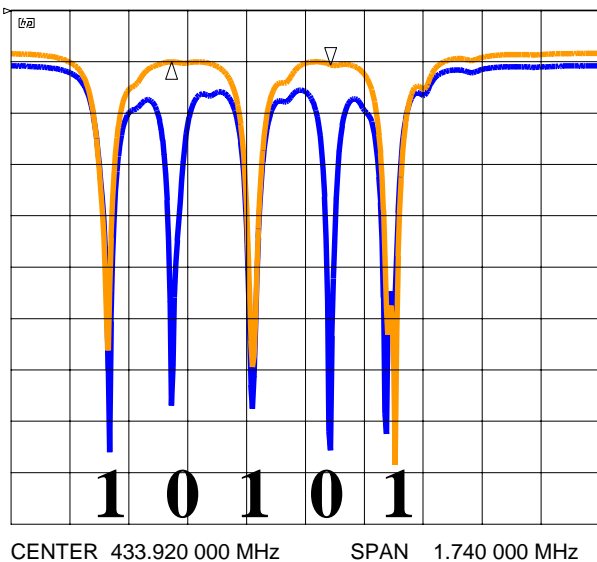


Bild 3: Frequenzspektrum eines RESTAG-Moduls mit zwei verschiedenen Codes

Bei Kombination mit einem Sensor, der zur Unterdrückung von Störungen im Funkkanal nach dem Differenzprinzip [2] arbeitet, ergibt sich die Anzahl maximal realisierbarer Codes aus der verbleibenden Bandbreite. Eine gleichmäßige Energieaufteilung auf alle Resonatoren wird über die Anpassung unter Beibehaltung einer hohen Güte realisiert.