

# Integration von Sensoren in die Leiterplatte

Von Frank Dietrich, Würth Elektronik, Werk Pforzheim, Deutschland

Der Beitrag beschäftigt sich mit der Anwendung von modifizierten Leitpolymeren auf strukturierten Leiterplatten, die es ermöglichen, Sensoren mit Auswertelektronik einfach, zuverlässig und auf kleinstem Bauraum kostengünstig zu realisieren. Die Möglichkeiten der Einbettung von siebgedruckten, passiven Komponenten in Zwischenlagen erlauben eine hohe Packungsdichte bei zuverlässigen Anbindungen an die Leiterbahnen. Die besonderen Eigenschaften der Leitpolymerschichten mit integrierter Schmierung erlauben die Realisierung von quasi verschleißfreien potentiometrischen Weg- und Winkelaufnehmern.

## 1 Einleitung

Im Vergleich zu Sensoren, die sich der Technologie von ASICs auf Silikonbasis, Hybridschaltungen auf Keramiksubstraten mit Cermetdickschicht (Verbundwerkstoffe aus keramischen Werkstoffen in einer metallischen Matrix) bedienen, sind Dickschichtschaltungen auf Leiterplatten mittels Leitpolymeren erst am Anfang. Ihnen zugrunde liegen die Erfahrungen mit millionenfach hergestellten Embedded-Widerständen bei Würth Elektronik als auch die über 30 Jahre Erfahrungen mit Leitpolymersensoren des Verfassers.

Leitpolymerschichten mit hohem Gauge-Faktor (Empfindlichkeit) sind in strukturierten Leiterplatten als Biegebalken mit aufgedruckten Dehnungsmessstreifen verfügbar. Diese erfüllen weit mehr als nur Kraftmessungen. Zuverlässige embeded-passive-Komponenten komplettieren den Polymer-Hybrid-Sensor.

Ein elektronischer Sensor ist eine Einheit, die ein physikalisches Signal in ein elektrisches Signal umwandelt. Ein Sensor besteht aus einer Kopp lungseinheit mit dem zu messenden Objekt, einer Transformationseinheit, die das Signal umwandelt und einer Auswerteeinheit, die das Signal zur Weiterverarbeitung normiert.

Die jüngsten Entwicklungen, Sensoren zuverlässiger, kostengünstiger und kleiner zu bauen, zeigten folgende Lösungen:

### a. Häufigste Lösung:

Diskreter Aufbau des Sensors als elektromechanisches Bauteil über Stecker und Kabel verbunden mit der Auswerte- und Steuerelektronik

Vorteile: – Volle konstruktive Freiheit  
– Sensor nahe am Messobjekt

Nachteile: – Viele Elektrische Verbindungsstellen  
– Hohe Systemkosten

### b. Sensor mit Hybridschaltung auf Keramikträger

Vorteile: – Hohe Zuverlässigkeit  
– Widerstände in Dickschichttechnik mit Laser-Abgleich möglich

Nachteile: – Dickschichttechnik Prozesse Zeit- und Energieaufwändig  
– Dadurch hohe Prozesskosten  
– Keramiksubstrat benötigt besonderes Handling

### c. Sensor ASIC mit Anbindungselektronik

Vorteile: – Niedere Stückpreise  
– Hohe Zuverlässigkeit  
– Geringer Platzbedarf

Nachteile: – Hohe Einmalkosten  
– Lange Entwicklungszeiten  
– Schwierig bei Änderungen und Nachbesserungen

### d. Sensor und Elektronik in die Leiterplatte integriert: Mechanisch strukturierte Leiterplatte mit Smart Conductive Polymer-Technologie

Vorteile: – Hohe konstruktive Freiheit  
– Sensor nahe an der Auswertelektronik  
– Leiterplatte übernimmt Multifunktion  
– Schnelle Entwicklungszeit  
– Hohe Zuverlässigkeit  
– Niedere Startkosten

Nachteile: – Die Auswahl der möglichen Lieferanten ist klein

Dieser Beitrag beruht auf einem Vortrag der 15. FED-Konferenz 2007.

## 2 Potentiometrische Weg- und Winkelsensoren

### 2.1 Allgemein

Potentiometrische Weg- und Winkelsensoren in Leitpolymer-Technologie sind bezogen auf Stückzahlen immer noch die am häufigsten angewendeten Lösungen für die Aufgabe der Weg- und Winkelmessung.

Bei Potentiometrischen Sensoren müssen „nur“ die Interaktion zwischen dem dynamischen Kontakt-Schleifer und der Leitpolymerschicht beherrscht werden, dann handelt es sich um einen extrem einfach aufgebauten, passiven Sensor mit folgenden unschlagbaren Eigenschaften:

- nur 2 Komponenten zur Signaltransformation nötig
  - auf Leiterplatte siebgedruckte Potentiometer- und Kollektorbahn
  - Schleifer
- Signalverstärkung 1, das bedeutet: Ausgangssignal 0 - 100 % ohne Verstärker
- Passives System ohne EMV-Probleme
- Ratiometrisches System weitgehend von Versorgungsspannung unabhängig
- Temperaturkoeffizient des Ausgangssignals (Spannungsteiler)  $< 15 \text{ ppm/K}$
- Bei entsprechendem Substratmaterial (Polyimid) sind Umgebungstemperaturen bis  $180 \text{ }^\circ\text{C}$  erlaubt
- Bei richtiger tribologischer Paarung Schleifer – Polymerschicht quasi verschleißfreie Gleitpartner

Unter der Leitung des Verfassers wurden u.a. Potentiometrische Sensoren für folgende Anwendungen gebaut, die zeigen, dass Potentiometer weit mehr können:

- Höhenstandssensor (Abstand Rad – Chassis) für *Range Rover, Cadillac* usw. (Abb. 1)
  - Anforderungen:
    - 200 Mio. Lebensdauerzyklen bei einer Genauigkeit von 0,5 %
    - Temperatur: bis  $170 \text{ }^\circ\text{C}$
    - Schwingungen und Stöße: 40 g
    - Jährliche Mengen: 1,5 Mio. Stück
    - Feldausfallrate 15 ppm/Jahr
- Abgas-Rückführventil-Positionssensor für französische Dieselfahrzeuge (Abb. 2)



Abb. 1: Höhenstandssensor



Abb. 2: Abgas-Rückführventil-Positionssensor

Anforderungen:

- 300 Mio. Lebensdauerzyklen bei einer Genauigkeit von 1 %
- Temperatur: bis  $180 \text{ }^\circ\text{C}$
- Schwingungen und Stöße: 40 g
- Jährliche Mengen: 1,8 Mio. Stück
- Feldausfallrate: 18 ppm/Jahr

### 2.2 Potentiometrische Weg- und Winkelsensoren in die Leiterplatte integriert

Insbesondere beim Mensch-Maschine-Interface werden zum Beispiel Potentiometer entweder als analoge Sollwertgeber oder auch als Encoder (Incrementalgeber) benötigt.

Hier bietet sich eine in die Leiterplatte integrierte Lösung (Abb. 3) an. Voraussetzung an die Polymerschichten sind:

- Robust gegen Reflow Lötten
- Wenn möglich robust gegen Hot Air Levelling

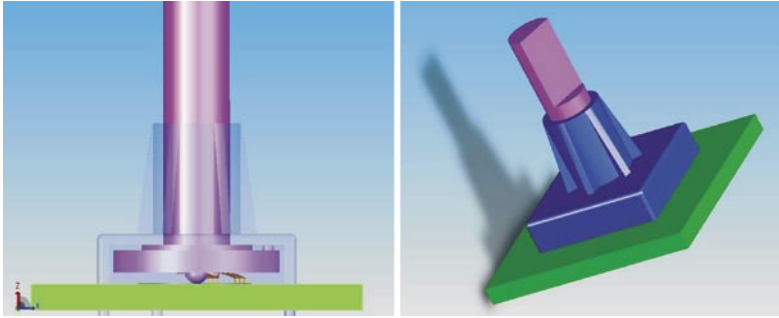


Abb. 3: Potentiometrischer Sensor: Querschnitt und Außenansicht

Werden diese Voraussetzungen erfüllt, kann der Potentiometerdruck direkt auf die Leiterplatte erfolgen.

Ein herkömmliches, auf die Leiterplatte lötlbares Potentiometer besteht im Durchschnitt aus 5 bis 7 Einzelteilen.

Benutzt man die Leiterplatte als ein Element des Potentiometers muss man nur noch 3 Teile addieren:

- Welle mit Rotor
- Heißgenieteten Schleifer
- Gehäuse mit Lagerung

Da die Leitpolymerschicht quasi verschleißfrei ist, wird sie auch als Gleitlager verwendet, um die axiale Abstützung zu erhalten. Dies hilft, robuste Toleranzen zu erlauben und Bauteile einzusparen.



### 3. Polymer-DMS-Sensor

#### 3.1 Bisherige Lösung

Dehnungsmessstreifen werden normaler Weise auf metallische Biegebalgen geklebt.

Geschaltet als Wheatstonesche Brücke erhält man ein der auf dem Biegebalken aufgebrachtene Kraft proportionales Signal. Dies wird angegeben in mV/V

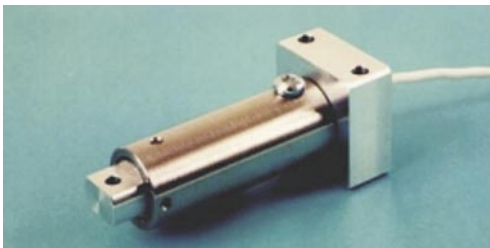
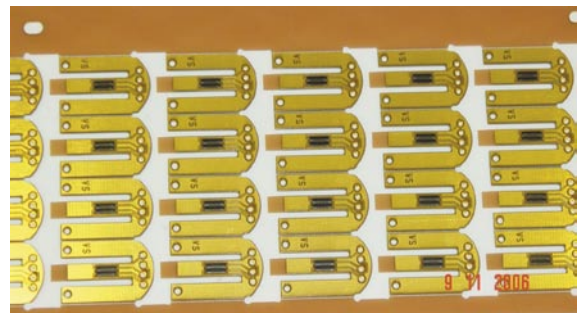


Abb. 4: Sensor aus Dehnungsmessstreifen

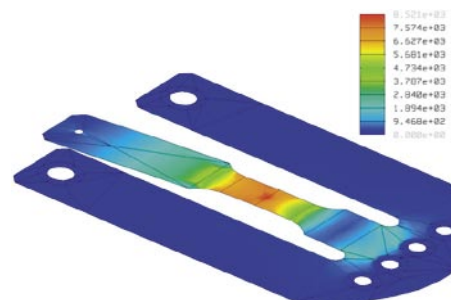


Abb. 5: Leiterplatte, Nutzen und FEM-Analyse

bei Nominalkraft. Die auf Markt befindlichen Werte liegen zwischen 1 mV/V und 4 mV/V. Das bedeutet, um ein 100 %-Signal zu erhalten, benötigt man eine Verstärkung von 250 bis 1000.

Hohe Verstärkungen verlangen mehr Aufwand (kleinste Offset-Driften, EMV-Anforderungen).

### 3.2 Strukturierte Leiterplatte

Ein Teil der Leiterplatte aus definiertem FR4 wird durch Freifräsen zum Biegebalken strukturiert. Mittels Finite Elemente-Analyse werden die Zonen der größten Belastung für den Widerstandsdruck auf der Oberseite und Unterseite – ein symmetrischer Aufbau sichert einen kleinen Temperaturkoeffizienten des Signals – bestimmt (Abb. 5).

So erreicht man Temperaturkoeffizienten für den Offset von < 100 ppm/K. Der Temperaturkoeffizient der Empfindlichkeit liegt bei <30 ppm/K.

### 3.3 Funktionsweise des Biegebalkens

(Abb. 6)

### 3.4 Andere Anwendungen für Polymerbiegebalken

Im Unterschied zu den Biegebalken mit Dehnungsmessstreifen, bei denen die Krafteinleitung üblicherweise zu Verformungen im  $\mu\text{m}$ -Bereich führt, sind die Verformungen an Biegebalken auf FR4-Basis im mm-Bereich.

Dies ermöglicht die Verwendung als Kurzwegaufnehmer:

- Der Sensor ist wie ein Potentiometer als passive Komponente bereits verwendbar.
- Das Sensorprinzip benötigt im Vergleich zum Potentiometer keinen bewegten Schleifkontakt.
- Die Strukturierung von 4 „FR4-Zungen“ erlaubt den einfachen Aufbau eines x-y-Joysticks.

Kurzwegaufnehmer mit integriertem Federelement können Tastschalter zu sensiblen Tastern machen, bei dem der Bediener über Weg und Gegenkraft im Mensch-Maschine-Regelkreis besser eingebunden wird.

## 4 Polymerhybrid

Die Möglichkeit, mittels derselben Infrastruktur – Siebdruck im Reinraum, Durchlaufofen – auch andere passive Komponenten wie Widerstände (mit Leitpolymeren optimiert für normale Pull up-/ Pull down-Widerstände), Spannungsteiler (lasergetrimmt), Impuls widerstände oder Kondensatoren (im pF-Bereich) in Zwischenlagen einzubetten, erlaubt es, auf kleinstem Bauraum polymere Sensor-Hybride herzustellen.

### Kontaktadresse

Frank Dietrich, Leiter FLATcomp Systeme, Würth Elektronik Pforzheim GmbH & Co. KG, Circuit Board Technology, Östliche-Karl-Friedrich-Str. 132, 75175 Pforzheim, Tel. 07231/132-0, Fax -200, frank.dietrich@we-online.de

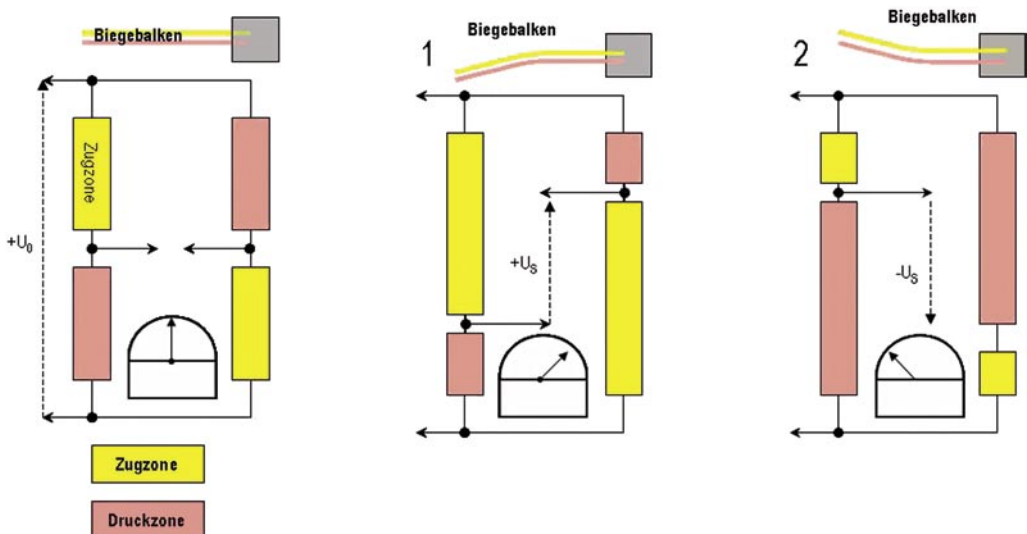


Abb. 6: Funktionsweise des Biegebalkens