



Leseprobe

Lehrbuch Mikrotechnologie

für Ausbildung, Studium und Weiterbildung

Herausgegeben von Sabine Globisch

ISBN: 978-3-446-42560-6

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42560-6>

sowie im Buchhandel.



16 Mikrosysteme

Monika Leester-Schädel



Erforderliche Vorkenntnisse

Grundlagen Elektrotechnik

16.1 Sensoren

Sensoren werden überall dort benötigt, wo eine physikalische Größe erfasst werden soll. Physikalische Größen sind z. B. Temperatur, Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung, Kraft oder Masse. Dementsprechend gibt es Temperatursensoren, Beschleunigungssensoren, Kraftsensoren etc.

Inzwischen sind überall im Alltag die verschiedensten Sensoren zu finden. Zur Verdeutlichung der Funktionsweise einiger ausgesuchter Sensoren wurden bekannte Beispiele gewählt, die im Folgenden zunächst vorgestellt werden. Im Anschluss werden der Aufbau und der physikalische Effekt der Sensoren genauer beschrieben und weitere interessante Anwendungen genannt.

16.1.1 Beispiele für den Einsatz von Sensoren

Beispiel 1

Sogenannte Smartphones, wie z. B. das iPhone von Apple (*siehe Abbildung 16.1*), haben erstaunliche Funktionen, die sie nur mithilfe von Mikrosensoren und deren Signalen ausführen können:

1. Wird das iPhone gedreht, dreht sich die Anzeige auf dem Display ebenfalls. Auch Spiele reagieren auf das Drehen und Neigen des Geräts (⇒ Beschleunigungssensor, Drehratensensor).
2. Einige Aktionen können durch ruckartiges Schütteln des iPhones ausgelöst werden (⇒ Beschleunigungssensor).
3. Die Eingabe erfolgt über die Berührung des Displays. Es reagiert auf Tippen, Streichen und Ziehen. Diese Aktionen sind auch mit mehreren Fingern gleichzeitig möglich (⇒ Berührungssensor).
4. Einige iPhones sind gleichzeitig Navigationsgeräte inklusive Kompass (⇒ Magnetfeldsensor).
5. Wird das iPhone zu heiß, fährt das System herunter (⇒ Temperatursensor).
6. Das iPhone reduziert die Beleuchtung des Displays, wenn man telefoniert (⇒ Annäherungssensor).
7. Die Beleuchtung des Displays wird auch an das Umgebungslicht angepasst (⇒ Umgebungslichtsensor).
8. Das iPhone kann fotografieren, die Kamera hat einen passiven Autofokus (⇒ CMOS-Sensoren).



Abbildung 16.1

Das iPhone 4GS von Apple mit verschiedenen Sensoren

Beispiel 2

„Wii Fit von Nintendo wurde entwickelt, damit Sie mit Spaß an der Bewegung Ihre Fitness trainieren können ...“, schreibt Nintendo auf seiner Homepage (www.nintendo.de). Das

dazugehörige Balance Board erfasst Bewegungen und Gewichtsverlagerungen, die der Benutzer ausführt, und überträgt diese Signale an die Spielkonsole (siehe *Abbildung 16.2*). Der Benutzer kann z. B. Gleichgewichts- und Muskelübungen machen, kann aber auch Snowboarden, Joggen, Boxen etc. Das Balance Board hat dafür mehrere Drucksensoren in der Fläche verteilt und ähnelt damit einer elektronischen Waage.

In der Fernbedienung der Wii (siehe *Abbildung 16.3*) stecken ebenfalls Sensoren, und zwar ein 3-D-Beschleunigungssensor und optische Sensoren.

Mithilfe des Beschleunigungssensors werden Bewegungen der Fernbedienung in allen Richtungen (auch Drehbewegungen) erfasst und an die Spielkonsole weitergegeben. Die optischen Sensoren sind notwendig, um die Position der Fernbedienung relativ zur Sensor Bar, die mit Infrarot-LEDs ausgestattet ist, zu bestimmen. Die Sensor Bar ist wiederum mit der Spielkonsole verbunden und sendet ihre Signale an diese weiter. Für die exaktere Messung von komplexen Bewegungsabläufen kann die Fernbedienung durch einen Drehratensensor ergänzt werden („MotionPlus“). Möchte man außerdem das eigene Wohlbefinden, d. h. genauer den Puls und den Sauerstoffgehalt des Bluts, überwachen, stellt Nintendo einen Puls-Sauerstoff-Sensor zur Verfügung, der ebenfalls in die Fernbedienung integriert wird.

Im folgenden Abschnitt werden die meisten Sensoren dieser beiden Anwendungsbeispiele erläutert:

- Beschleunigungssensoren,
- Drehratensensoren,
- Berührungssensoren,
- Magnetfeldsensoren,
- Temperatursensoren und
- Drucksensoren.

Darüber hinaus werden:

- Verformungssensoren,
- Kraftsensoren und
- Sensoren auf der Basis von Frequenzänderungen näher beschrieben.

Dabei werden:

- der kapazitive Effekt,
- die magnetische Induktion,
- der thermomechanische,
- der thermoelektrische,
- der piezoresistive und
- der piezoelektrische Effekt erklärt.

Die optischen Sensoren werden in *Abschnitt 17.4* behandelt.

Sensoren kommen überall dort zum Einsatz, wo physikalische Größen erfasst oder gemessen werden sollen.

Die Sensorsignale werden genutzt, um eine Reaktion auf die physikalischen Größen auszulösen (physikalische Größe: das Handy wurde gedreht, Reaktion: die Anzeige auf dem Display wird ebenfalls gedreht).



Abbildung 16.2
Wii Balance Board
von Nintendo



Abbildung 16.3
Wii-Fernbedienung



16.1.2 Kapazitive Sensoren

Beschleunigungssensoren – Drehratensensoren – Berührungssensoren

Abschnitt 4.2



Kapazitive Sensoren funktionieren wie ein Plattenkondensator mit einer oder zwei festen und einer beweglichen Elektrode. Die Elektroden sind in der Lage, elektrische Ladungen zu speichern. Die Ladungen auf beiden Elektroden haben unterschiedliche Vorzeichen, sodass sich zwischen den Elektroden ein elektrisches Feld aufbaut. Bewegt man die Elektroden aufeinander zu und verringert damit ihren Abstand, so erhöht sich die Kapazität des Kondensators und umgekehrt. Über die Kapazität kann also der Abstand zwischen den Elektroden bestimmt werden, solange die anderen Faktoren bekannt sind und sich nicht verändern. Die Kapazität ist ein Maß für die Ladungsmenge Q pro angelegter Spannung V . Ihre Einheit ist das Farad [F].

Als feste Elektrode wird häufig eine Metallschicht auf der Trägerstruktur (z. B. Silicium) aufgebracht und strukturiert. Die elektrische Kontaktierung der Elektroden wird über Leiterbahnen aus demselben Material realisiert. Die Leiterbahnen führen zum Rand des Bauteils, wo sich Kontaktpads befinden. Die bewegliche Elektrode wird z. B. als Membran oder Balken ausgeführt, die/der ebenfalls metallisiert wird. Als Dielektrikum dient i. Allg. die Luft, die sich zwischen den Elektroden befindet. Wirkt eine äußere Kraft auf die bewegliche Elektrode, wird sie ausgelenkt. Die Abstandsänderung zur festen Elektrode kann über die Messung der Kapazität bestimmt werden. Die Größe der Kraft kann wiederum über das Maß der Auslenkung berechnet werden. Kapazitive Sensoren können auch aus drei Elektroden bestehen: zwei feststehenden und einer beweglichen, die zwischen den beiden feststehenden federnd aufgehängt ist (siehe Abbildung 16.5). Der Vorteil dieses Aufbaus ist, dass man immer zwei Messwerte hat: die Kapazitätsänderung zwischen der festen Elektrode Nr. 1 und der beweglichen und die Kapazitätsänderung zwischen der beweglichen und der festen Elektrode Nr. 2. Im Optimalfall sind beide Messwertbeträge gleich groß, nur das Vorzeichen ist entgegengesetzt. In der Praxis entstehen jedoch Messungenauigkeiten, die durch einen solchen Differentialkondensator besser ausgeglichen werden können.

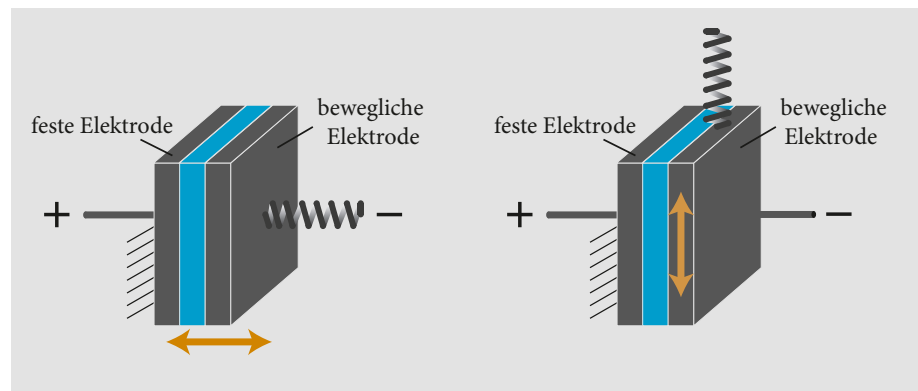
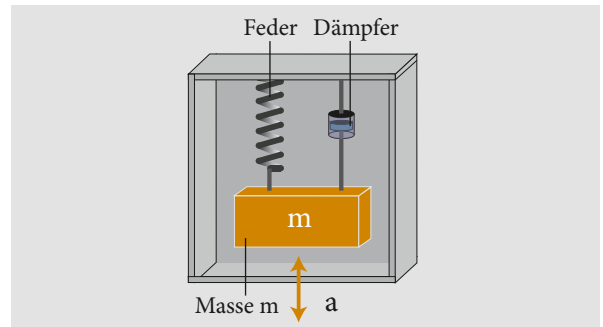
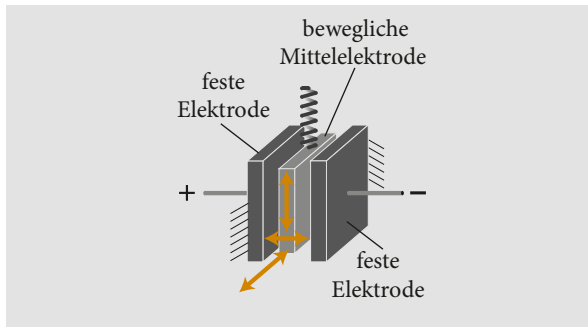


Abbildung 16.4 Schematische Darstellung eines kapazitiven Sensors mit einer festen und einer beweglichen Elektrode, rechts: Elektrodenbewegung parallel zum elektrischen Feld, links: Elektrodenbewegung senkrecht zum elektrischen Feld. Die Federn sind Sinnbild für eine elastische Verbindung zur festen Umgebung.



Links Abbildung 16.5 Schematische Darstellung eines kapazitiven Sensors mit zwei festen und einer beweglichen Elektrode

Rechts Abbildung 16.6 Feder-Masse-Dämpfer-System: Eine Masse m hängt an einer Feder mit einer Federsteifigkeit k . Die Masse schwingt, wenn eine Beschleunigung a auf das System wirkt. Da keine Feder unendlich elastisch ist, hört die Masse nach einer gewissen Zeit von selbst auf zu schwingen. Dies ist durch die Dämpfung bzw. die Dämpfungskonstante β berücksichtigt.

Ändert sich der Abstand bzw. die Fläche von zwei Elektroden, ändert sich auch die Kapazität des Kondensators.

Die Kapazitätsänderung kann gemessen und damit als Wert für die Abstandsänderung der Elektroden verwendet werden. Dieses Messprinzip wird kapazitives Messprinzip oder kapazitiver Effekt genannt.

Der kapazitive Effekt kann für verschiedene Sensoranwendungen verwendet werden:

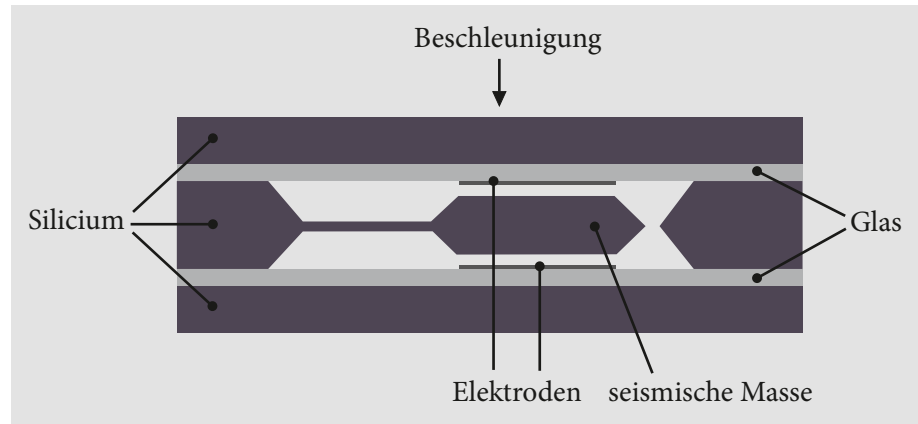
Kapazitive Beschleunigungs- und Drehratensensoren

Beschleunigungs- und Drehratensensoren gehören zu den sogenannten Inertialsensoren. Als Inertialsensoren bezeichnet man Sensoren, die die Bewegung eines Objektes in einem Inertialsystem (= ein Koordinatensystem, in dem sich Körper geradlinig und gleichförmig bewegen) detektieren können. Dabei muss kein Bezug zu einem Punkt außerhalb des Sensors hergestellt werden. Ein Beschleunigungssensor misst die Beschleunigung eines Körpers bei einer linearen Bewegung, ein Drehratensensor die Rotationsgeschwindigkeit eines Körpers. Durch mathematische Umrechnung kann aus der Beschleunigung die Geschwindigkeit und aus ihr wiederum die zurückgelegte Strecke bestimmt werden.

Kapazitive Beschleunigungssensoren haben als bewegliche Elektroden häufig einen schmalen Balken, der auf einer Seite befestigt ist (= einseitig eingespannter Balken). Wirkt eine Beschleunigung, schwingt das freie Balkenende in Richtung der Beschleunigung und federt anschließend in seine Ausgangsposition zurück. Während sich der Balken bewegt, ändert sich ständig der Abstand zwischen der beweglichen und der bzw. den festen Elektrode(n) und damit die Kapazität. Die Kapazitätsänderung ist ein Maß für die Auslenkung der beweglichen Elektrode. Die Auslenkung wiederum lässt auf den Wert der Beschleunigung schließen.

Zur Verstärkung dieses Effektes wird am freien Balkenende oft eine zusätzliche Masse – eine seismische Masse – angebracht (der Begriff seismisch kommt aus dem Griechischen und bedeutet erschüttern). Damit steigt die Empfindlichkeit des Sensors, d. h., der kleinste messbare Wert wird noch kleiner. Für dieses Prinzip wird der Fachaus-

Abbildung 16.7
Kapazitiver Beschleunigungssensor aus Silicium und Glas mit zwei feststehenden Elektroden und einer beweglichen Elektrode in der Mitte (Differentialkondensator)



druck Feder-Masse-Dämpfer-System verwendet (siehe *Abbildung 16.6*). In diesem Fall ist nicht der Balken, sondern die Masse, die eine ebene Unterseite hat, metallisiert und stellt die Elektrode dar.

In *Abbildung 16.7* ist ein Beschleunigungssensor aus Silicium und Glas mit zwei festen und einer beweglichen Elektrode dargestellt. Die bewegliche Elektrode besteht wie oben beschrieben aus einem dünnen, einseitig eingespannten Balken und einer seismischen Masse am freien Balkenende. Die Glasebenen dienen dazu, die Siliciumbauteile mittels anodischem Bonden miteinander verbinden zu können. Da Glas ein Isolator ist, werden die beiden festen Elektroden aus einer aufgedampften oder gesputterten Metallschicht strukturiert. Von ihnen führen Leiterbahnen aus demselben Material bis an den Rand des Bauteils und werden dort elektrisch kontaktiert. Die bewegliche Elektrode aus dotiertem Silicium wird direkt angeschlossen.

Der in *Abbildung 16.7* dargestellte Beschleunigungssensor ist eindimensional. Das heißt, er kann Beschleunigungen nur in eine Richtung messen, und zwar senkrecht zu der Ebene, in der Balken und Masse liegen. Diese Richtung wird im Allgemeinen als z-Richtung definiert. Man bräuchte also drei Beschleunigungssensoren, die jeweils im rechten Winkel zueinander stehen, um Beschleunigungen in x-, y- und z-Richtung erfassen zu können. Die Sensoren sind zwar schon sehr klein, ein Paket aus drei Einzelsensoren ist für viele Anwendungen aber noch zu groß. Das Prinzip wurde daher weiterentwickelt, sodass drei Elektrodensysteme auf einem einzigen Chip hergestellt werden können (siehe *Abbildung 16.8*). Die Elektroden für die Erfassung von Beschleunigungen in z-Richtung liegen auch hier wieder in der Chipebene. Die Elektroden für die x- und die y-Richtung werden senkrecht zur Chipoberfläche strukturiert. Die Technologien zur Herstellung solcher Strukturen sind inzwischen so weit fortgeschritten, dass 3-D-Beschleunigungssensoren kommerziell und preisgünstig verfügbar sind. Sie werden z. B. in Handys und in der Wii-Fernbedienung eingebaut.

Wird zwischen den Elektroden eine Gleichspannung angelegt, besteht die Gefahr, dass Störeinflüsse das Messsignal verfälschen. Störsignale können besser und einfacher herausgefiltert werden, wenn an die Elektroden Wechselspannung angelegt wird. Der in *Abbildung 16.9* dargestellte ADXL330 von der Firma Analog Devices wird zum Beispiel mit einer Rechteck-Wechselspannung mit einer Frequenz von 1 MHz be-