

Beschleunigungssensoren

Halbleiter-Beschleunigungssensoren messen die Kräfte, die bei einer Geschwindigkeitsänderung auftreten. Eine wichtige Bedeutung haben diese Sensoren im Bereich der Automobil-Industrie, da heute nahezu jedes weltweit produzierte Kfz mit mindestens einem Airbag ausgestattet ist.

Allgemeines

Elektronische Sensoren für unterschiedlichste Aufgaben sind in vielen Bereichen des täglichen Lebens zu finden. Eine Vielzahl von Sensoren werden auch im Kfz eingesetzt oder wurden speziell für derartige Anwendungen konzipiert.

Wenn es um den optimalen Insassenschutz geht, hat es gerade in den letzten 10 Jahren eine extreme Weiterentwicklung gegeben. Dazu zählen vor allem moderne Airbag-Systeme, die zum rechtzeitigen Auslösen natürlich entsprechende Sensoren benötigen.

Im Falle eines Unfalls sind Beschleunigungssensoren die ersten Komponenten

eines Airbag-Systems, bei denen die Crash-Informationen eintreffen. Die Sensoren müssen sicher und rechtzeitig ansprechen, und natürlich darf es unter keinen Umständen zu Fehlauflösungen kommen. Es werden also extreme Anforderungen an die Zuverlässigkeit dieser Sensoren gestellt, die je nach Aufgabe unterschiedliche Messbereiche und Empfindlichkeiten aufweisen.

Neben der hohen Zuverlässigkeit ist im Kfz-Bereich zusätzlich ein weiterer Temperaturbereich und eine weitgehende Unempfindlichkeit gegenüber mechanischen und thermischen Verspannungen gefordert.

Beschleunigungssensoren werden an verschiedenen Stellen der Fahrzeug-Karosserie angeordnet, wobei die Sensibilität

sowohl auf die Hoch- (Z) als auch auf die Längs- (X) sowie auf die Querachse (Y) ausgerichtet sein kann. Laterale Sensoren haben sowohl auf der X- als auch auf der Y-Achse eine entsprechende Empfindlichkeit.

Im Falle eines Aufpralls tritt schlagartig eine Verzögerung und somit eine negative Beschleunigung auf. Diese Verzögerung wird vom Sensor gemessen und sehr schnell in ein elektrisches Signal umgesetzt, dass in der Regel einem Mikrocontroller zugeführt wird. Dieser übernimmt dann die Unterscheidung zwischen einem dynamischen Fahrzeugverhalten und einem Aufprall und sorgt in Sekundenbruchteilen für die Aktivierung der entsprechenden Airbags.

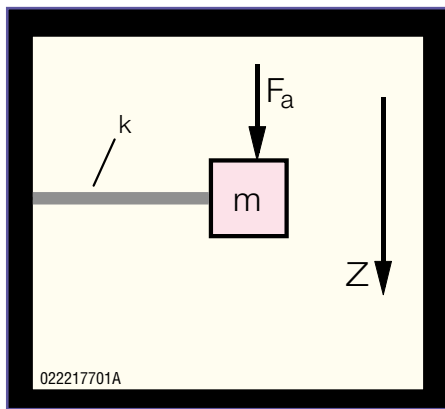


Bild 1: Durch Beschleunigung wird auf die Masse m eine Kraft (F_a) in Z-Richtung ausgeübt.

Obwohl sich natürlich jeder wünscht, dass es nie zur Aktivierung des Systems kommt, sollte die ordnungsgemäße Funktion immer sichergestellt sein. Aus diesem Grunde führt der auswertende Mikrocontroller ständig eine Diagnose des Systems durch und meldet Fehler durch Aktivierung einer Warnanzeige am Armaturenbrett.

Auch wenn die Auslösung von Airbags eine prädestinierte Aufgabe für Beschleunigungssensoren ist, so gibt es eine Vielzahl weiterer Anwendungsgebiete in den verschiedensten Bereichen der Technik. So sind z. B. auch Schock- und Vibrationsmessungen mit Beschleunigungssensoren möglich.

Um gleichzeitig Beschleunigungen in mehr als einer Achse erfassen zu können, sind mehrachsige Beschleunigungssensoren in einem Gehäuse erhältlich, die drei entsprechend angeordnete einachsige Modelle ersetzen können. Je nach Aufgabe gibt es Sensoren mit unterschiedlichem Messbereich.

Da wir immer der Erdbeschleunigung ausgesetzt sind, ist mit Beschleunigungssensoren entsprechender Empfindlichkeit die Bestimmung der Neigung gegenüber der Erdoberfläche möglich.

Weitere Messaufgaben von Beschleunigungssensoren kann die Messung von Vibrationen und Stößen sein. Vibrationen und Stöße können sowohl eine erhebliche Belastung für den menschlichen Organismus darstellen als auch einen störenden Einfluss auf viele technische Prozesse haben. Unter starker Vibrationseinwirkung kommt es bei vielen Werkstoffen zur Materialermüdung.

Beschleunigungsmessung

Das Formelzeichen für die Beschleunigung ist a und die Einheit m/s^2 . Die Beschleunigung steht im direkten Zusammenhang mit der beschleunigten Masse m und der Kraft F .

Eine wichtige Rolle spielt die Gravitati-

onskraft, d. h. die Erdbeschleunigung g , deren mittlerer Wert $9,80665 m/s^2$ beträgt. Die Erdbeschleunigung ist also immer vorhanden und bei Messungen entsprechend zu berücksichtigen.

Das mechanische Grundprinzip eines einfachen Beschleunigungssensors ist in Abbildung 1 dargestellt. Hier wirkt die Beschleunigung auf ein gedämpftes Feder-Masse-System.

Über eine biegsame Feder mit der Federkonstante k ist die Masse m mit dem Gehäuse verbunden. Die Beschleunigungskraft F_a wirkt in Z-Richtung und führt zur proportionalen Auslenkung der Masse m . Die Masse bewegt sich üblicherweise in einem Medium, dessen Viskosität eine bremsende Wirkung hat. Die Lageänderung der seismischen Masse m ist also abhängig von der Beschleunigung a und kann auf verschiedene Arten ausgewertet werden.

Eine Möglichkeit ist, wie bei Sensoren

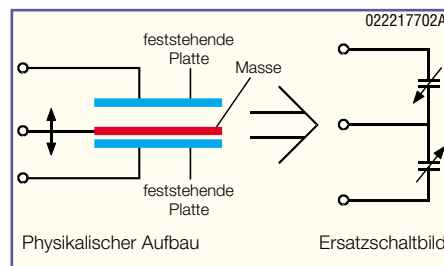


Bild 2: Die Verschiebung der seismischen Masse m wird durch Kapazitätsauswertung ermittelt.

zur Kraft- oder Druck-Messung die Piezo-resistive oder die Piezo-elektrische Auswertung. Bei der Piezo-resistiven Methode kann die Aufhängung dann aus einem Biegebalken bestehen, auf dem Piezo-Widerstände aufgebracht wurden. Durch die Auslenkung der Masse m kommt es zur Materialdehnung auf dem Biegebalken und somit zu Widerstandsveränderungen.

Eine weitere Möglichkeit, die durch Beschleunigung hervorgerufene Verschiebung der seismischen Masse m zu ermitteln, beruht auf dem kapazitiven Messprinzip. Dieses in Abbildung 2 skizzierte Messprinzip wird von den meisten Sensor-Herstellern bevorzugt, da sich durch Oberflä-

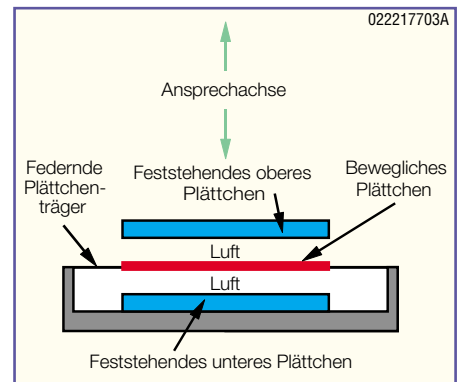


Bild 3: Aufbau des als g-Zelle bezeichneten Sensorelements eines Beschleunigungssensors

chen-Mikrofertigung sehr kleine Sensorstrukturen realisieren lassen. Insbesondere die führenden Hersteller Motorola, Analog Devices bzw. MEMSIC und Temic verwenden dieses Messprinzip. Das Funktionsprinzip des als g-Zelle bezeichneten eigentlichen Sensorelements ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die federnd aufgehängte Masse m bildet dabei eine Elektrode eines Differential-Kondensators und die anderen beiden Elektroden bestehen aus fest angeordneten Plättchen. Wird die g-Zelle einer Beschleunigung ausgesetzt, so verlagert sich das mittlere Plättchen (Masse m), wobei sich dann je nach Richtung der Beschleunigung die Kapazität des einen Kondensators verringert und die Kapazität des anderen Kondensators im gleichen Maße erhöht. Die Kapazitätsänderung ist abhängig von der Beschleunigung und durch komprimierte Luft zwischen den Plättchen wird die Bewegung gedämpft.

Die physikalischen Abmessungen einer mikrogefertigten g-Zelle sind mikroskopisch klein und das Gewicht des beweglichen Plättchens beträgt nur wenige hundert Pikogramm (10^{-12} Gramm). Durch Beschleunigung kann die seismische Masse weniger als $1 \mu m$ in der Position verändert werden, sodass sehr kleine Kapazitätsänderungen auszuwerten sind.

Die eigentliche g-Zelle ist in der Regel mit einer kompletten Elektronik zur Signalaufbereitung in einem Standard-IC-

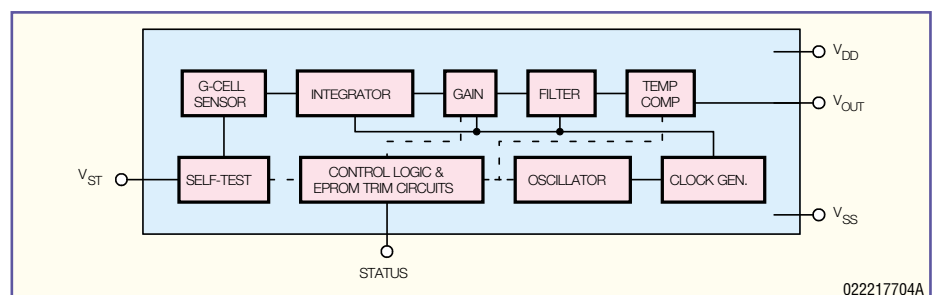


Bild 4: Das vereinfachte Blockschaltbild der Motorola-Beschleunigungssensoren MMA 1201P und MMA 2200W.

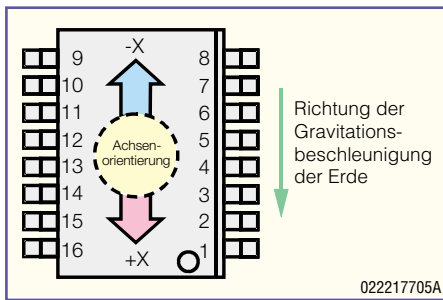


Bild 5: Wird der Sensor in der eingezeichneten Position zur Gravitationsbeschleunigung der Erde positioniert, erhalten wir ein positives Ausgangssignal von 1 g.

Gehäuse integriert. Das Gehäuse hat einen wichtigen Einfluss auf die Eigenschaften des Bauelements, wie Zuverlässigkeit, automatische Bestückbarkeit, Stoßübertragung und nicht zuletzt auch auf die Kosten des Produktes.

Messbereiche

Der erforderliche Messbereich und die Empfindlichkeit eines Beschleunigungssensors kann sehr unterschiedlich sein und ist vom Einsatz abhängig. So wird zur Erfassung von Bewegungen und Neigungen ein Messbereich von nur wenigen g benötigt, während zur Stoß- und Aufprall-Erkennung bei Airbag-Anwendungen je nach Montageposition ein Messbereich von ca. 40 g bis 250 g zur Verfügung stehen muss.

Motorola-Sensoren

Abbildung 4 zeigt das vereinfachte Blockschaltbild eines Motorola-Beschleunigungssensors, der für einen Messbereich von ± 40 g ausgelegt ist. Unter der Bezeichnung MMA 2201 P ist dieser Baustein im 16-poligen SOIC-Gehäuse lieferbar. Die Empfindlichkeit des Sensors liegt in der X-Achse. Wird der Sensor in der in Abbildung 5 dargestellten Lage zur Richtung der

Erdbeschleunigung gebracht, so erhalten wir ein positives Ausgangssignal von ca. 1 g.

Bei 0 g Beschleunigung liefert der Sensor eine Ausgangsspannung von 2,5 V und die Empfindlichkeit beträgt 50 mV/g. Das Ausgangssignal wird üblicherweise über ein RC-Tiefpass (1 k Ω , 10 nF) ausgekoppelt.

Eingesetzt in Sicherheitsanwendungen, wie z. B. in einem Airbag-System muss die einwandfreie Funktion des Sensors über die gesamte Lebensdauer des Produktes sichergestellt werden. Zur Überprüfung sind daher alle Beschleunigungssensoren von Motorola mit einer Selbsttest-Funktion ausgestattet.

Dazu wird in der g-Zelle ein viertes Plättchen für den Selbsttest genutzt. Damit sind dann alle mikromechanischen und elektrischen Funktionen des Beschleunigungssensors zu testen. Von außen wird der Selbsttest durch Anlegen eines Logik-Signals gesteuert. Intern wird dann ein definiertes Spannungspotential zwischen dem Selbsttest-Plättchen und dem mittleren Plättchen (Masse m) erzeugt, was zur Lageveränderung des beweglichen Plättchens und somit zur Simulation einer Beschleunigung führt.

Analog-Devices-Sensoren

Ein weiterer wichtiger Hersteller von verschiedenen Beschleunigungssensoren ist Analog Devices. Von diesem Hersteller wollen wir nun die sogenannten Low-g-Sensoren ADXL 202 und ADXL 210 näher betrachten, deren interne Struktur in Abbildung 6 zu sehen ist.

Der ADXL 202 verfügt über einen Messbereich von ± 2 g und der ADXL 210 ist für Messungen von ± 10 g konzipiert. Beide Sensoren erlauben Messungen in der X-Achse und in der Y-Achse (Abbildung 7). Messbar sind sowohl dynamische Beschleunigungen und Vibrationen als

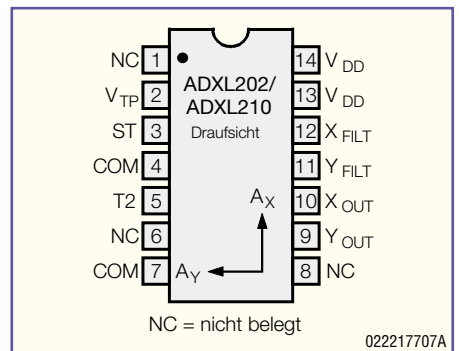


Bild 7: Orientierung der X- und Y-Achse beim ADXL 202 bzw. ADXL 210 zum Sensor-Gehäuse.

auch statische Gravitationen mit einer Auflösung von 5 mg bei 60 Hz Bandbreite. Die Bandbreite ist sowohl für die X-Achse als auch für die Y-Achse jeweils mit einem externen Kondensator (C_x , C_y) von 0,01 Hz bis 5 kHz einstellbar.

Der Sensor liefert ausgangsseitig zwei getrennte (X und Y) Pulsbreitensignale, deren Periodendauer mit einem externen Widerstand im Bereich 0,5 ms bis 10 ms einstellbar ist. Das Tastverhältnis (Abbildung 8) beträgt 50%, wenn der Sensor keiner Beschleunigung ausgesetzt wird. Je nach Beschleunigungsrichtung wird die Pulsbreite T_1 dann größer oder kleiner.

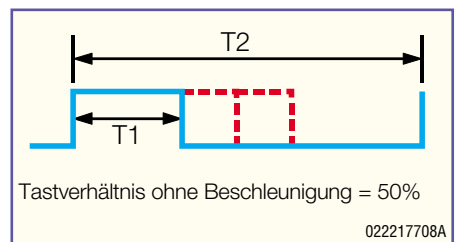


Bild 8: Pulsbreiten-Ausgangssignal des ADXL 202 bzw. ADXL 210. Ohne Beschleunigung beträgt das Tastverhältnis 50%.

Beim ADXL 202 ändert sich die Pulsbreite um 12,5% je g Beschleunigung und beim ADXL 210 beträgt die Pulsbreitenveränderung 4% je g Beschleunigung.

Mit Hilfe eines nachgeschalteten Tiefpassfilters (RC-Glied) besteht die Möglichkeit, aus dem PWM-Signal eine zur Beschleunigung proportionale Gleichspannung zu generieren.

Unter der Bezeichnung ADXL 150, ADXL 250 und ADXL 190 sind sogenannte High-g-Beschleunigungssensoren von Analog Devices erhältlich. Der ADXL 150 ist ein einachsiger Sensor mit einem Messbereich von 50 g und 10 mg Auflösung. Der ADXL 250 ist ein Doppelachsensensor mit dem gleichen Messbereich und ebenfalls 10 mg Auflösung, und der ADXL 190 kann bis zu 100 g mit 40 mg Auflösung messen. Diese Sensoren liefern analoge Ausgangssignale.

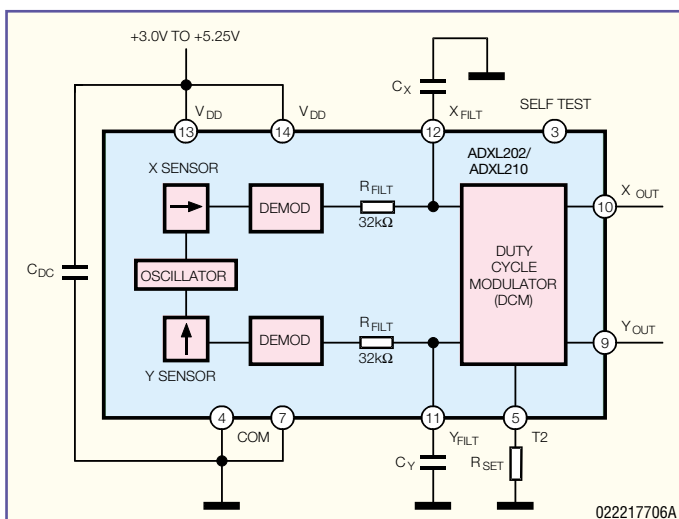


Bild 6: Interne Struktur der Analog-Devices Low-g-Beschleunigungssensoren ADXL 202 und ADXL 210.