



**ALMAS**  
**Applikationslabor für Mikro-  
sensoren, -aktoren und -systeme**

**Praktikum Prozessmesstechnik - PM**

*Unterlagen zum  
Beschleunigungssensor-Versuch*



## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Aufgabenstellung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Beschleunigungssensor ADXL202E</b> .....	<b>1</b>
2.1 Generelle Beschreibung .....	1
2.2 Aufbau und Funktionsweise .....	2
2.3 Erläuterung der internen Komponenten .....	3
2.4 Wesentliche Merkmale und wichtigste Spezifikationen .....	5
2.5 Datenblatt-Link .....	5

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Blockschaltbild des ADXL202E .....	1
Abbildung 2: Typisches DCM-Signal .....	2
Abbildung 3: Prinzipdarstellung eines Differential-Kondensators .....	3
Abbildung 4: Amplitudenmodulierte Rechteckspannung .....	3
Abbildung 5: Analoge Gleichspannung .....	4
Abbildung 6: DCM-Signal bei unterschiedlichen Beschleunigungen .....	4



## 1 Aufgabenstellung

Ziel des Versuchs ist die Untersuchung der Ausgangssignale eines 2-achsigen Beschleunigungssensors. Zur Erzeugung reproduzierbarer Ergebnisse besteht der Versuchsaufbau aus einer Drehscheibe, die gradgenau einstellbar ist. Die Messwerte der beiden senkrecht aufeinander stehenden Achsen des auf der Scheibe angebrachten Sensors sollen mit geeigneten Messgeräten aufgenommen und in einem Protokoll dokumentiert werden.

## 2 Beschleunigungssensor ADXL202E

### 2.1 Generelle Beschreibung

(Datenblatt: General Description, S. 1)

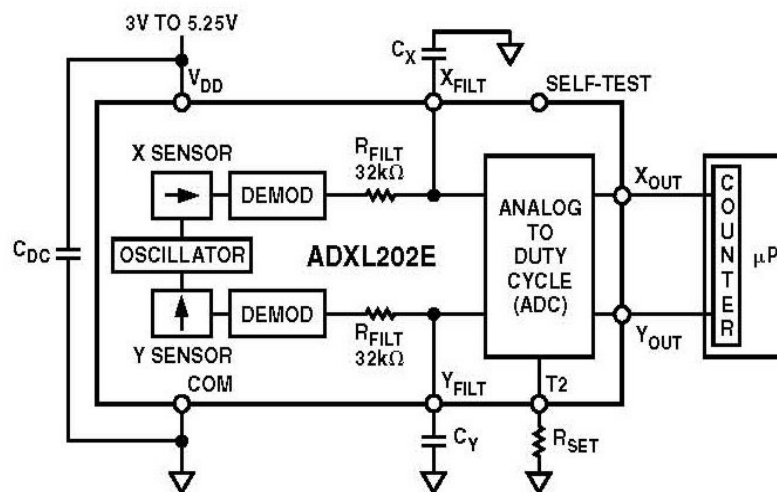


Abbildung 1: Blockschaltbild des ADXL202E

In diesem Versuch kommt der Sensor ADXL202 von Analog Devices zum Einsatz. Dieser 2-achsige Sensor erfasst Beschleunigungen im Bereich von  $\pm 2$  g. Der ADXL202 kann sowohl dynamische (z. B. Vibration) als auch statische Beschleunigungen (z. B. Gravitation) messen. Die digitalen Ausgangssignale der beiden sensitiven Achsen sind pulswellen moduliert (DCM - Duty Cycle Modulated). Hierbei ist der Duty Cycle, das Verhältnis der Pulsweite zur Periodendauer, proportional zur Beschleunigung. Diese Signalform kann direkt mit einem Zähler eines Mikroprozessors ausgewertet werden. Die Periodendauer ist durch die Beschaltung mit einem Widerstand ( $R_{SET}$ ) im Bereich von 0,5 ms bis 10 ms einstellbar.

Falls ein analoges Ausgangssignal benötigt wird, steht dieses an den Pins  $X_{FILT}$  und  $Y_{FILT}$  zur Verfügung. Auch die Analogsignale sind proportional zur Beschleunigung.

Die Bandweite des ADXL202 kann durch einen Tiefpass im Bereich von 0,01 Hz bis 6 kHz mittels der Kondensatoren  $C_X$  und  $C_Y$  gewählt werden.

Der ADXL202E ist in einem 5 mm x 5 mm x 2 mm LCC Gehäuse mit 8 Anschlüssen erhältlich. Der ursprüngliche ADXL202JQC in einem 14-poligen Surface Mount Cerpak (SMD-Bauform) ist abgekündigt und sollte in neueren Designs nicht mehr verwendet werden.

## 2.2 Aufbau und Funktionsweise

(Datenblatt: Theory of operation, S. 8)

Der ADXL202E ist ein komplettes 2-achsiges Beschleunigungsmesssystem in einem einzelnen monolithischen IC. Es setzt sich aus einem in mikromechanischer Oberflächenbearbeitung hergestellten Sensor aus Polysilizium und einer Signalaufbereitung zusammen. Ein Ausgangskreis wandelt das Analogsignal jeder Achse in ein pulsweites moduliertes digitales Signal um, das mit einem Zähler eines Mikrocontrollers ausgewertet werden kann. Der ADXL202E ist in der Lage sowohl positive als auch negative Beschleunigungen bis zu  $\pm 2g$  zu messen. Der Beschleunigungssensor kann statische Beschleunigungskräfte, z. B. Gravitation, messen, sodass er als Neigungssensor eingesetzt werden kann.

Der Sensor ist eine in mikromechanischer Oberflächenbearbeitung hergestellte Struktur, die sich auf der Oberseite einer Silizium-Scheibe befindet. Federn aus Polysilizium halten die Struktur an der Oberfläche der Scheibe und bilden einen Widerstand gegenüber den Beschleunigungskräften. Die Auslenkung der Struktur wird durch einen Differential-Kondensator gemessen, der aus unabhängigen fest stehenden Platten und zentralen Platten, die mit der beweglichen Masse verbunden sind, besteht. Die fest stehenden Platten werden mit einer um  $180^\circ$  phasenverschobenen Rechteckspannung angesteuert. Eine wirkende Beschleunigung wird die zentralen Platten auslenken und den Differential-Kondensator aus dem Gleichgewicht bringen. Hieraus resultiert eine Rechteckausgangsspannung, dessen Amplitude proportional zur Beschleunigung ist. Um das Signal gleichzurichten (Zweiweggleichrichtung  $\rightarrow$  Brückengleichrichter) und die Richtung der Beschleunigung zu bestimmen, werden phasensensitive Demodulationstechniken eingesetzt.

Der Ausgang des Demodulators steuert über einen  $32\text{ k}\Omega$  Widerstand einen Pulsweiten-Modulator (ADC bzw. DCM) an. An diesem Punkt steht für jede Achse ein Pin zur Verfügung, der dem Anwender durch den Anschluss eines Kondensators ( $\rightarrow$  Tiefpass) erlaubt, die Bandbreite des Systems einzustellen. Diese Filterung verbessert die Messauflösung und hilft bei der Unterdrückung des Aliasing-Effekts.

Nach der Tiefpass-Filterung wird das Analogsignal durch die DCM-Stufe in ein pulsweites moduliertes Signal gewandelt. Durch einen einzelnen Widerstand ( $R_{\text{SET}}$ ) kann die Periode eines kompletten Zyklus ( $T_2$ ) zwischen  $0,5\text{ ms}$  und  $10\text{ ms}$  eingestellt werden. Eine Beschleunigung von  $0g$  ergibt einen nominellen Tastgrad  $\left(\text{Duty Cycle: } \frac{T_1}{T_2}\right)$

von 50%. Das Beschleunigungssignal kann durch die Messung der Längen des Pulses  $T_1$  und der Periodendauer  $T_2$  mit einem Universalzähler oder einem Mikrocontroller bestimmt werden. Eine analoge Ausgangsspannung kann man direkt durch Speicherung des Signals an den Pins  $X_{\text{FILT}}$  und  $Y_{\text{FILT}}$  erhalten. Alternativ kann der Gleichspannungswert durch einen RC-Filter aus dem pulsweiten modulierten Signal (DCM-Signal) rekonstruiert werden. Dabei ist die Analogspannung ratiometrisch zur Versorgungsspannung mit einem Verhältnis von 50% bei einer Beschleunigung von  $0g$ .

Der ADXL202E wird mit einer Versorgungsspannung von mindestens  $3,0\text{ V}$  bis höchstens  $5,25\text{ V}$  betrieben.

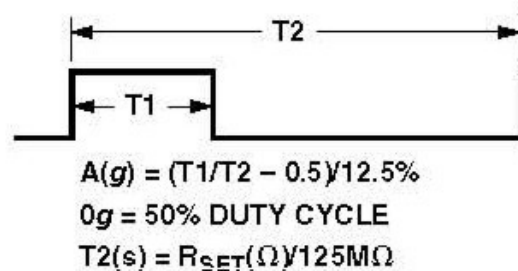


Abbildung 2: Typisches DCM-Signal

### 2.3 Erläuterung der internen Komponenten

Dieses Kapitel enthält nähere Erläuterungen zu den, im Blockschaltbild (vgl. Abbildung 1) dargestellten, internen Komponenten des ADXL 202E.

- X-/Y-Sensorelement

Das X- bzw. Y-Sensorelement besteht aus Differential-Kondensatoren, die aus fest stehenden Platten und zentralen Platten aufgebaut sind. Hierdurch entstehen innerhalb eines Differential-Kondensators die Teilkapazitäten C1 und C2. Die zentralen Platten sind dabei mit einer beweglichen Masse verbunden. Wirkt eine Beschleunigung auf die Differential-Kondensatoren, verschieben sich die zentralen Platten und es ergeben sich gegensinnige Kapazitätsänderungen. Bei 0 g befinden sich die Differential-Kondensatoren im Gleichgewicht, das heißt, die zentralen Platten sind mittig zwischen den fest stehenden Platten und die internen Kapazitäten (C1/C2) haben den gleichen Wert.

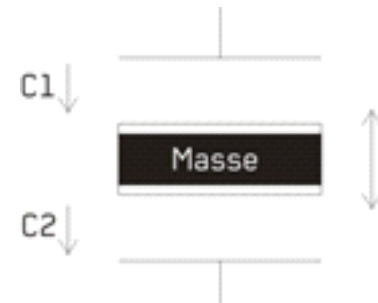


Abbildung 3: Prinzipdarstellung eines Differential-Kondensators

- Oszillator

Ein Oszillator ist ein Schwingungserzeuger. Er dient als Spannungsquelle und steuert die fest stehenden Platten mit einer Rechteckspannung an.

- Demodulator

Wirkt eine Beschleunigung auf die Differential-Kondensatoren, ändern sich die internen Kapazitäten, wodurch sich eine Rechteckausgangsspannung ergibt, die proportional zur Beschleunigung ist. Es wird angenommen, dass die Amplitude bei positiver Beschleunigung ansteigt und bei negativer absinkt.

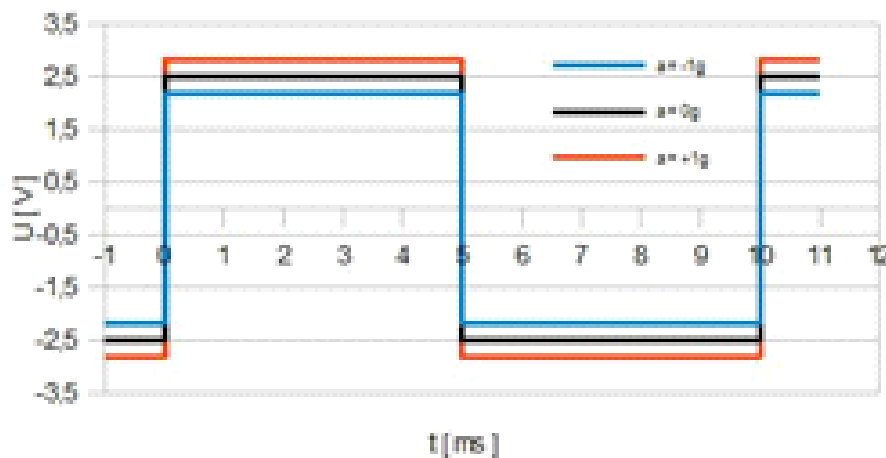


Abbildung 4: Amplitudenmodulierte Rechteckspannung

- Demodulator (Fortsetzung)

Die amplitudenmodulierte Rechteckspannung wird im Demodulator mittels eines Brückengleichrichters gleichgerichtet. Dadurch ergibt sich am Ausgang des Demodulators eine Gleichspannung, dessen Amplitude sich in Abhängigkeit der Beschleunigung ändert. Anhand der Abweichung gegenüber dem Gleichgewichtszustand bei 0 g, kann ermittelt werden, ob die Beschleunigung positiv oder negativ ist.

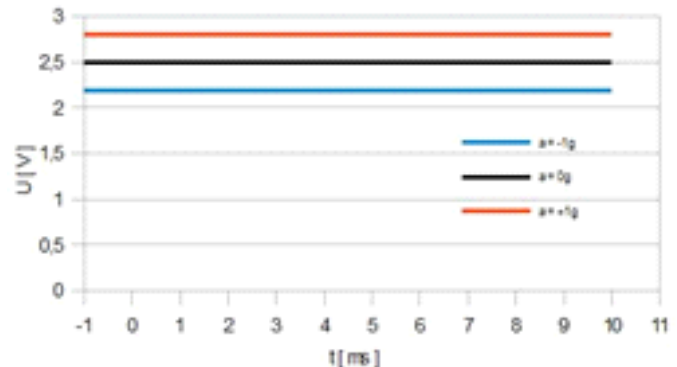


Abbildung 5: Analoge Gleichspannung

- ADC-Komponente (Duty Cycle Modulator)

Das Signal am Ausgang der ADC-Komponente ist eine rechteckförmige Spannung ohne negative Anteile. Da es sich um ein digitales Signal handelt, entspricht der High-Pegel der Versorgungsspannung des Sensors und der Low-Pegel 0 V. Das Signal besteht aus der Pulsweite T1, die sich in Abhängigkeit der Beschleunigung ändert, sowie der konstanten Periodendauer T2. Es wird angenommen, dass die Pulsweite bei positiver Beschleunigung länger und bei negativer kürzer wird. Die Periodendauer kann durch einen Widerstand, der an einem Anschluss-Pin des Sensors gegen Masse geschaltet wird, im Bereich von 0,5 ms bis 10 ms eingestellt werden. Das Verhältnis von Pulsweite T1 und Periodendauer T2 wird als Duty Cycle bezeichnet. Bei 0 g (Gleichgewichtszustand) beträgt dieser 50%.

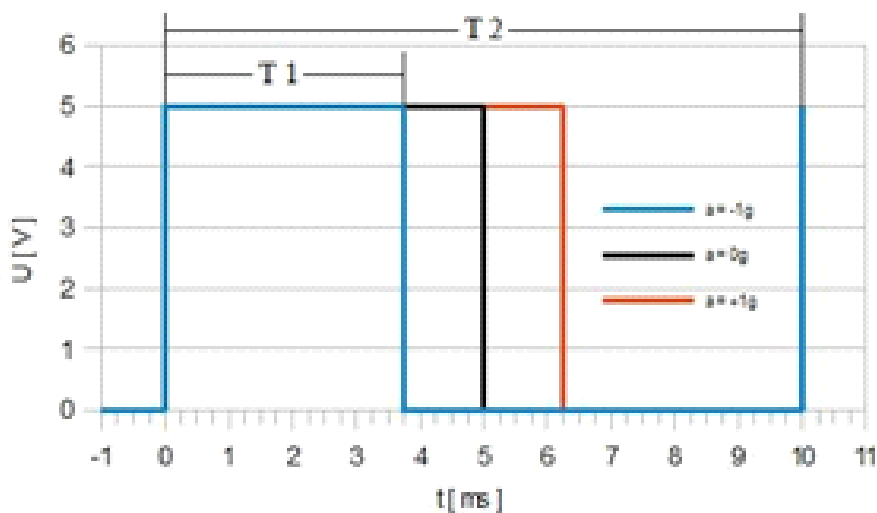


Abbildung 6: DCM-Signal bei unterschiedlichen Beschleunigungen



## 2.4 Wesentliche Merkmale und wichtigste Spezifikationen

Die wesentlichen Merkmale des ADXL202E sind:

- Messbereich  $\pm 2$  g
- 2-achsig
- statische und dynamische Messungen möglich
- Analog- und Digitalausgänge

Auszug aus dem Datenblatt mit den wichtigsten Spezifikationen:

- Messbereich  $\pm 2$  g
- Empfindlichkeiten
  - digital:  $12,5 \frac{\%}{g}$
  - analog:  $312 \frac{mV}{g}$
- 0g Basiszustand (Gleichgewichtszustand)
  - digital: 50 %
  - analog: 2,5 V (bei 5 V Versorgungsspannung)
- Spannungsversorgung
  - Spannungsbereich: 3 V bis 5,25 V
  - Versorgungsstrom: max. 1 mA

## 2.5 Datenblatt-Link

ADXL 202E: [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADXL202E.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL202E.pdf)

