

Sättigung bei piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmern

Piezoelektrische Sensoren eignen sich für Vibrationsmessungen am besten, denn sie haben die häufig für diese Anwendung benötigte hohe Bandbreite (zum Teil bis 20kHz).

Doch, wenn es sich um die Messung von Stößen handelt, liefern sie oft übersteuerte Messsignale, auch wenn sie einen sehr hohen dynamischen Bereich haben.

In der Abbildung rechts werden ein 500g piezoresistiver Sensor und ein piezoelektrischer Sensor, der einen 10-fach höheren Messbereich (5000g) besitzt, verglichen. Der 500g Sensor liefert das erwartete Signal, der 5000g Sensor übersteuert!

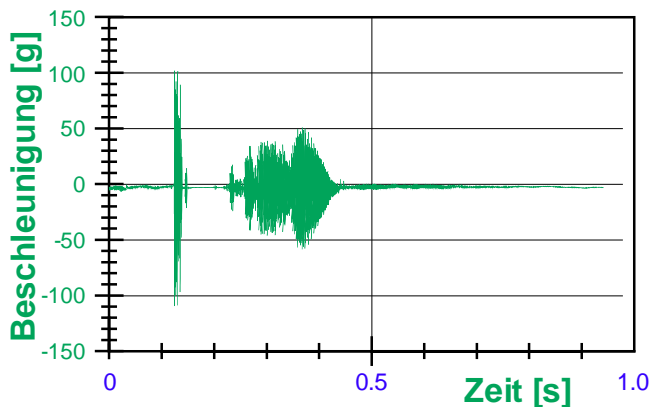
Der Grund für dieses Verhalten liegt an der hohen Energie und der deltaförmigen Pulsform eines Stoßsignals. Diese "Dirac-Stöße" beinhalten Frequenzanteile über einen breiten Spektralbereich. Damit wird der Sensor verteilt über alle Frequenzen – **auch der Resonanzfrequenz des Sensors** - mit gleicher spektraler Leistungsdichte angeregt.

Da die Amplitude im Resonanzfall sehr hoch ist, wird auch bei Beschleunigungen, die deutlich unter dem Messbereich des Sensors liegen, sehr viel Ladung erzeugt. Der Ladungsverstärker geht in Sättigung und führt zur Übersteuerung des Signals.

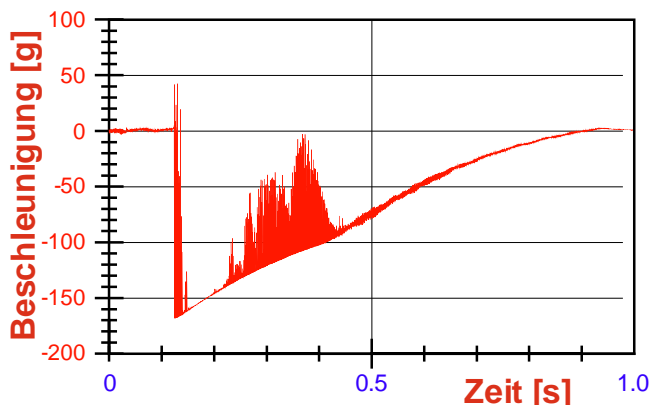
Ein elektrischer Filter alleine hilft hier nicht, denn die Ladungen werden im Piezokristall erzeugt und das würde trotz des elektrischen Filters den Ladungsverstärker (meistens MOSFET oder JFET Feldeffekttransistoren) sättigen.

Die Lösung für das Sättigungsproblem

Eine mechanische Filterung, welche eine Anregung durch hohe Frequenzen verhindert, und die hohe Energie filtert, wäre eine Lösung. Ein nachgeschalteter elektrischer Filter könnte das Verhalten des Sensors weiter optimieren.



Schocksignal (500g piezoresistiver Sensor)
WIE ERWARTET

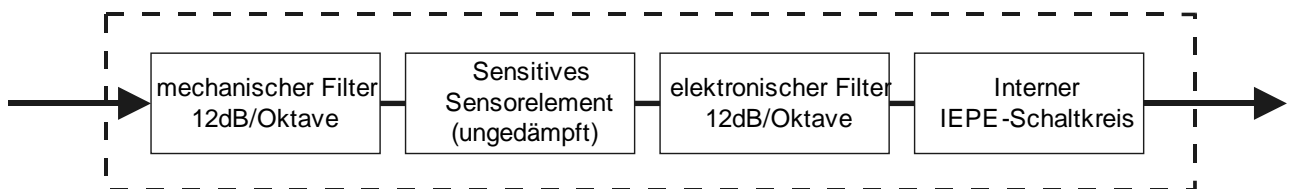


Schocksignal (5000g piezoelektrischer Sensor)
**ÜBERSTEUERT
(LADUNGSVERSTÄRKER IN SÄTTIGUNG)**

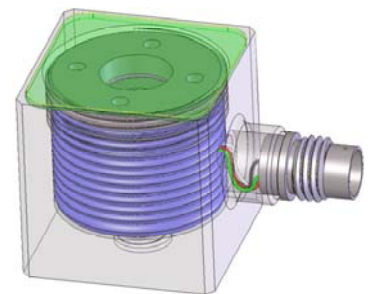
Mit diesem Ansatz wurden die mechanisch gefilterten Sensoren bzw. Montagefüße von Dytran wie 3056B9/B10, 3099A2, 3168D2, 3603AXT, 3143D10 und der Montagefuß 69069 entwickelt.



Beschleunigungssensor mit integriertem mechanischen Filter



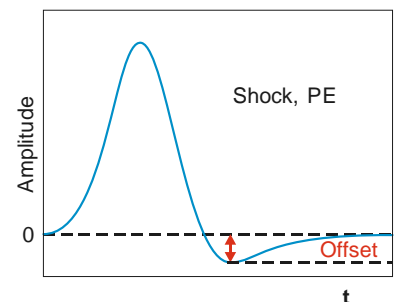
Das mechanisch und elektrisch gefilterte Design ermöglicht dem Sensor in einer Umgebung mit hochfrequenter Anregung zu arbeiten, ohne dass es zu einer Sättigung des Ladungsverstärkers und damit zur Übersteuerung des Signals kommt.



Die Dämpfung der mechanischen Resonanz sowie der elektrische Filter sorgen für eine effektive - Signalreduktion von bis zu 24dB/Oktave mit einer Eckfrequenz bei ca. 10kHz.

Diese Technik verhindert zudem, dass es zu einer "Nullverschiebung" kommt (aufgrund der systembedingten Zeitkonstante piezoelektrischer Sensoren, die meistens deutlich höher ist als die Pulsbreite des Schocks).

Dieses Phänomen tritt häufig bei piezoelektrischen Sensoren bei Stößen/Ereignissen mit sehr kurzen Anstiegszeiten auf und stellt sich als "Unfähigkeit" des Sensors dar, vor und nach einem Ereignis den Spannungspegel "Null" zu erreichen.



Damit werden die Vorteile der piezoelektrischen Sensoren genutzt, um auch Anwendungen abzudecken, die bisher mit dieser Art von Sensoren nicht möglich waren.

Allerdings ist beim Einsatz von solchen gefilterten Sensoren zu beachten, dass sie nicht in Rückkopplungsschleifen eingesetzt werden, da die hohe Energie ja nach wie vor im System vorhanden ist. Da diese aber gefiltert wurde, würde eine Rückkopplungsschleife, die das System steuert, die Signale so interpretieren können, dass es keine hohe Energie im System gibt und könnte das System auf höhere Amplituden hochfahren. Das könnte zur Zerstörung des Objektes führen!

Saturation of piezoelectric sensors

Piezoelectric sensors are best suited for vibration measurements because they have the high bandwidth (sometimes up to 20kHz) often required for this application.

However, when it comes to measuring shocks, they often deliver distorted signals, even if they have a very high dynamic range.

The figure on the right compares a 500g piezoresistive sensor and a piezoelectric sensor with a 10 times higher measurement range (5000g). The 500g sensor delivers the expected signal waveform; the 5000g sensor shows the typical signal clipping!

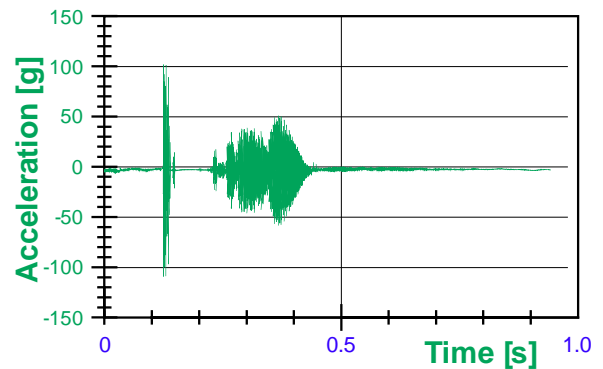
This behaviour is due to the high energy and the delta-pulse shape of a shock signal. These "Dirac-shocks" contain frequency components over a wide spectral range. Thus the sensor is excited with the same spectral power density, distributed over all frequencies – **including the resonance frequency of the sensor**.

Since the amplitude is very high in the case of resonance, a lot of charge is generated even at acceleration levels that are far below the measuring range of the sensor. The charge amplifier is saturated and this leads to the clipping of the signal.

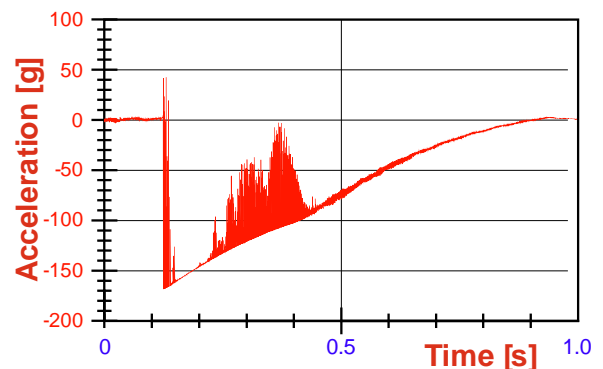
An electrical filter alone does not help here, because the charges are generated in the piezo crystal and this would saturate the charge amplifier (usually MOSFET or JFET field effect transistors) despite the electrical filter.

The solution for the Saturation effect of piezoelectric sensors

A mechanical filtering, which prevents excitation by high frequencies and filters the high energy, would be a solution. A downstream electrical filter could further optimize the behavior of the sensor by smoothing the sensor output to a flat line.



Shock Waveform (500g piezoresistive Sensor)
AS EXPECTED



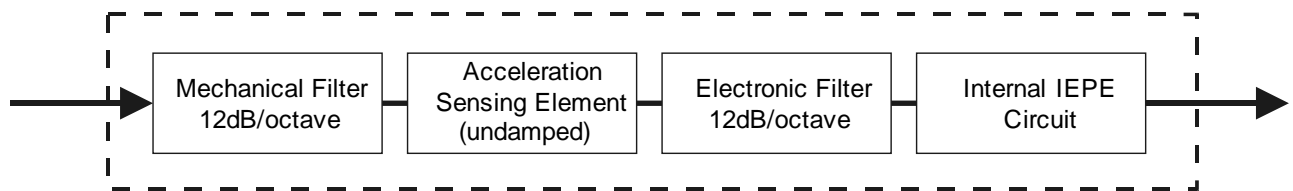
Shock Waveform (5000g piezoelectric Sensor)
**SIGNAL CLIPPING
(CHARGE AMPLIFIER IN SATURATION)**

This approach was used by Dytran to develop the mechanically filtered sensors such as the 3056B9/B10, 3099A2, 3168D2, 3603AXT, 3143D10 and the mounting base 69069.



The Mechanically & electrically filtered design allows the sensor to operate in an environment with high frequency excitation without causing amplifier saturation and signal distortion.

Accelerometer with built-in mechanical filter

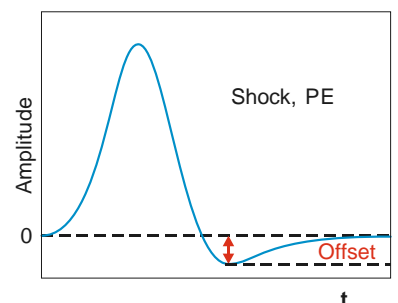
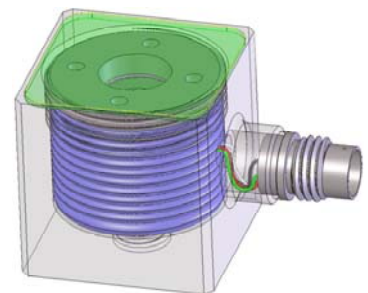


The attenuation of mechanical resonance plus the electrical filter provide effective -24dB/octave signal reduction with a corner frequency at approximately 10kHz.

This technique prevents “zero-shift” from occurring (due to the system-related time constant of piezoelectric sensors, which is usually significantly higher than the pulse width of the shock).

This phenomenon is commonly present in piezoelectric devices after high shock/fast rise time events and portrays itself as “inability” of the sensor to match the “zero input” voltage level before and after an event.

Thus the advantages of piezoelectric sensors are used to cover applications that were not previously in the scope of these sensors.



When using filtered sensors, it should be noted that they are not used in closed-loop systems. The high energy is filtered but is still present in the system. Since the sensor does not see this high energy, a feedback-loop that controls system would wrongly interpret this as though there is no high energy in the system and ramp up the system to higher amplitudes. This could lead to the destruction of the object!