

# Vibrationsschalter verstehen

David A. Corelli, PCB Piezotronics, Inc.



Dieses White Paper behandelt die Grundlagen mechanischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Vibrationsschalter. Es erläutert ihr grundsätzliches Design, ihr Funktionsprinzip und ihre Einsatzmöglichkeiten unter Berücksichtigung etwaiger Unwuchten eines Lüfters. Außerdem wird das Frequenzverhalten, insbesondere für langsam drehende Lüfter, zusammen mit den Hauptunterschieden in den Reaktionen bei mechanischen und elektronischen Schaltern diskutiert.

## Warum Vibrationsschalter

Vibrationsschalter sind verhältnismäßig einfache Instrumente zum Schutz von drehenden Maschinen gegen kostenintensive Schäden infolge übermäßig hoher Vibrationen. Dies gilt insbesondere für große Lüfter, z. B. in Kühltürmen. Vibrationsschalter überwachen kontinuierlich die Vibrationen einer Maschine und sorgen je nach Art des Vibrationsschalters und seiner Konfiguration für einen Alarm und/oder für die Abschaltung der Maschine, wenn die Vibrationspegel zu hoch werden. Abbildung 1 zeigt einen großen Lüfter, der infolge hoher Vibrationen schwer beschädigt wurde.



Abbildung 1: Kostenintensiver Schaden an einem großen Lüfter infolge hoher Vibrationen

## Vibrationsschalter-Typen

Es gibt zwei grundsätzliche Bauarten von Vibrationsschaltern: mechanisch und elektronisch, siehe Abbildungen 2 und 3. Mit dem heutigen Stand der Mikroprozessor-Technologie lassen sich elektronische Vibrationsschalter in wiederum zwei Typen unterteilen, nämlich in elektronische und in programmierbare elektronische Vibrationsschalter. Die neueren programmierbaren elektronischen Vibrationsschal-

ter bieten höhere Genauigkeiten und mehr Funktionen als die meisten herkömmlichen Vibrationsschalter, siehe Abbildung 4. Zusätzlich stellt dieses Papier eine Neukonstruktion von mechanischen Vibrationsschaltern vor, die sogenannten Linear Adjust Mechanical Vibration Switches, die eine bessere und feinere Einstellung der Abschaltswelle erlauben.

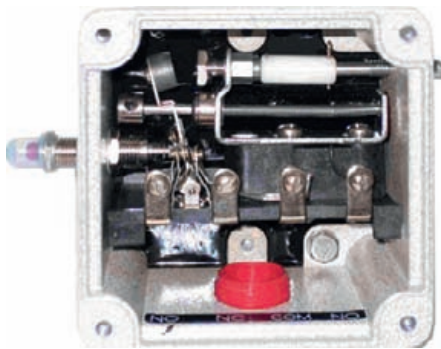


Abbildung 2: mechanischer Vibrationsschalter von IMI

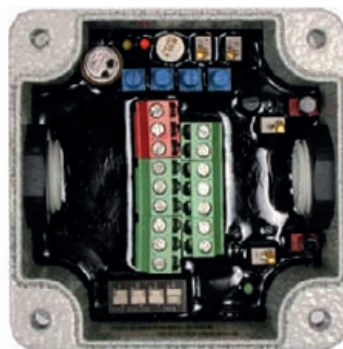


Abbildung 3: elektronischer Vibrationsschalter von IMI



Abbildung 4: Über USB programmierbarer Smart-Vibrationsschalter von IMI, montiert an einem Motor

## Mechanische Vibrationsschalter

Ein mechanischer Vibrationsschalter ist ein ziemlich einfaches Instrument, das aus einem Magneten auf einem federgespannten Hebelarm besteht, der wiederum mit mechanisch aktivierbaren elektrischen Schaltkontakten verbunden ist, siehe Abbildungen 5

und 6. Der Schalter befindet sich in Auslöseposition, wenn eine magnetische Platte so justiert ist, dass sie sich dicht genug an dem Magneten befindet, um die Kraft des vorgespannten Hebelarms zu überwinden.

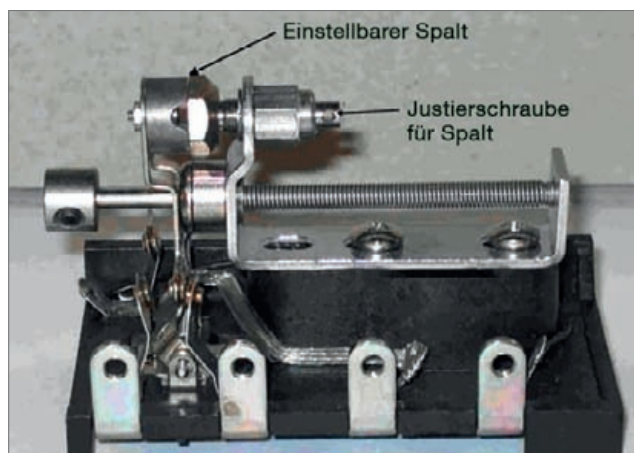


Abbildung 4: Über USB programmierbarer Smart-Vibrationsschalter von IMI, montiert an einem Motor

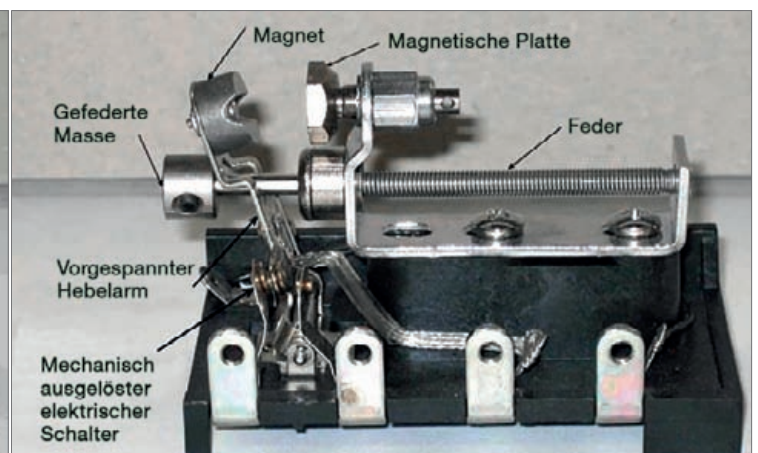


Abbildung 6: Ausgelöster Mechanismus eines mechanischen Schalters

Der Spalt zwischen dem Magneten und der magnetischen Platte kann mit einer externen Justierschraube eingestellt werden, um die magnetische Kraft, die den federgespannten Hebelarm in seiner auslösebereiten Lage hält, zu vergrößern oder zu verkleinern. Unglücklicherweise ist die Justierung des mechanischen Spaltes bzw. der Kraft pro Schraubendrehung nicht bei allen mechanischen Schaltern gleich. Einige Schalter, die der Autor untersucht hat, zeigten einen maximalen Spalt von nur 4,3 bis 5,1 mm; darüber hinaus war die magnetische Kraft zur Überwindung der Federkraft nicht stark genug. Andere mechanische Schalter hatten Spaltbreiten von 2 mm. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die Empfindlichkeitseinstellung auch eine Funktion der Gewindesteigung der Justierschraube ist. Manche Schrauben hatten Fein-, andere Normalgewinde. Das typische Vorgehen bei der Einstellung der Spalt-empfindlichkeit ist wie folgt: Man drehe die Justierschraube in Schritten von  $\frac{1}{4}$ -Umdrehungen, bis der Schalter beim Hochlauf nicht mehr auslöst.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass die Empfindlichkeit der verschiedenen Schalter sehr unterschiedlich sein kann. Wenn eine Bewegung auftritt, erzeugen der Magnet auf dem vorgespannten Hebelarm und die gefederte Masse Trägheitskräfte, die dem Magnetfeld, das den Schalter geschlossen (auslösebereit) hält, gemäß dem 2. Newtonschen Gesetz  $F = ma$  entgegenwirken. Ist die Beschleunigung groß genug zur Erzeugung einer Trägheitskraft, welche die magnetische Kraft übertrifft, löst der Schalter aus. Der federgespannte Hebelarm ruht auf einer gefederten Masse, die sich in den drei Achsrichtungen bewegen kann, siehe Abbildung 7. Somit sind mechanische Schalter in allen drei Achsrichtungen empfindlich, allerdings nicht gleichmäßig wie später gezeigt wird. Die gefederte Masse wurde für diese Abbildung verschoben, um die Funktion zu zeigen. Anmerkung: Die gefederte Masse bewegt sich nicht in negativer X-Richtung; somit gibt es große Unterschiede in der zur Auslösung des Schalters in positiver oder negativer X-Richtung erforderlichen Stoßkraft. Dies kann zu Problemen führen, da mechanische Schalter häufig infolge von Schocks auslösen.

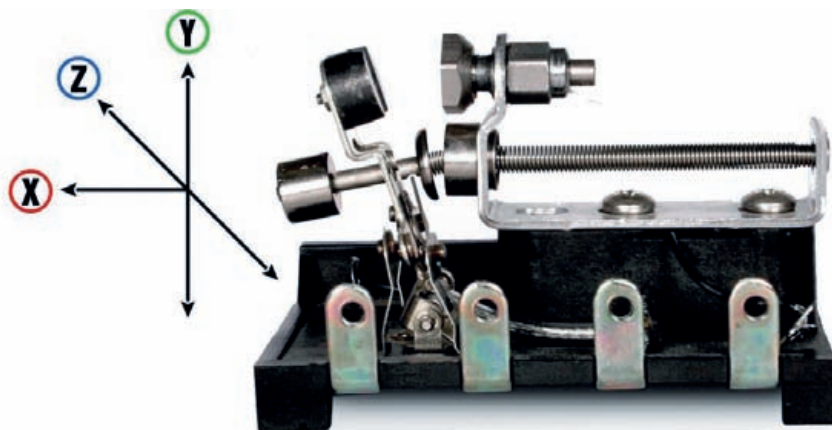


Abbildung 7: Die gefederte Masse ist für Bewegungen in drei Achsen empfindlich.

Obige Diskussion zeigt ein Schlüsselproblem bei mechanischen Vibrationsschaltern auf: Bei langsamen Betriebsdrehzahlen, z. B. bei großen Lüftern für Kühltürme, ist die Beschleunigung so gering, dass die Trägheitskräfte niemals groß genug werden, um den Schalter durch Unwuchten allein auszulösen; sie lösen aber doch aus, doch was ist der Grund dafür? Wird die Unwucht groß genug, treten Sekundäreffekte auf, typischerweise Schockwirkung,

womit genügend Beschleunigung zum Auslösen des Schalters erzeugt wird. Da jedoch bei einer Bewegung in negativer X-Richtung der Schalter dazu neigt, bei einem plötzlichen Stopp auszulösen und die gefederte Masse zu keiner Bewegung veranlasst, ist er in dieser Richtung viel unempfindlicher (benötigt geringere Schocks oder Vibrationen) als in positiver X-Richtung wie später gezeigt wird.



Der mechanische Vibrationsschalter wurde auf eine etwas willkürliche, jedoch ziemlich niedrige Reaktionsschwelle eingestellt. Der Schaltmechanismus war auslösebereit; anschließend wurde das Gehäuse mit einem kalibrierten Modally Tuned® Impulshammer von IMI in den vier Richtungen +X, -X, Y und Z beaufschlagt. Die zur Auslösung des Schalters erforderlichen Kräfte wurden für jede Richtung aufgezeichnet. Dieser Test wurde sowohl für herkömmliche mechanische Vibrationsschalter als auch für die neuen mechanischen Vibrationsschalter vom Typ Linear

Adjust ausgeführt. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 1. Es wird deutlich, dass in X-Richtung ein Unterschied von etwa 50 % in der Stärke des Schocks oder Schlag es zur Auslösung des Schalters je nach positiver oder negativer Aufschlagrichtung auftritt. Außerdem ist etwa die dreifache Stärke des Schocks oder der Vibration zur Auslösung des herkömmlichen Schalters in Y- oder Z-Richtung erforderlich. Die Richtungsabhängigkeit des Linear Adjust-Schalters sieht jedoch viel besser aus.

Switch	Zur Auslösung des Schalters erforderliche Kraft			
	+ X	- X	Y	Z
Traditional	50	25	160	160
Linear Adjust	60	30	75	85

Tabelle 1: Erforderliche Kraft zur Auslösung des Schalters in den drei Achsen

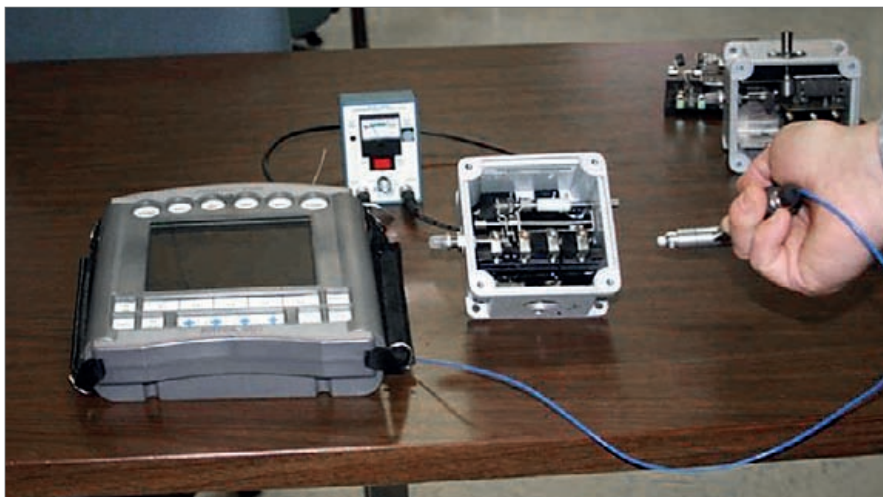
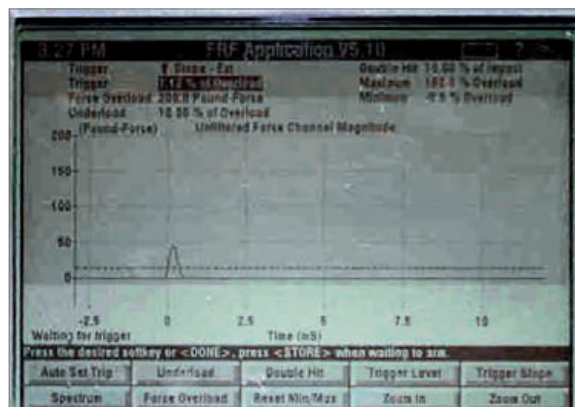


Abbildung 8a und b: Aufschlagtest für mechanische Vibrationsschalter



Die Empfindlichkeit in der Achse senkrecht zur Fläche des Magneten und der Platte, also in X-Richtung, ist viel größer als in den beiden anderen Achsrichtungen, insbesondere beim herkömmlichen mechanischen Vibrationsschalter, da die Trägheitskraft aufgrund von Schock und Vibration sowohl auf die träge Masse als auch auf den Magneten in dieser Richtung wirkt. Da die Massenträgheit des Magneten infolge eines Schocks in negativer X-Richtung das Öffnen und bei einem Schock in positiver Richtung das Schließen des Schalters unterstützt, ist die zum Auslösen des Schalters erforderliche Vibration in negativer X-Richtung kleiner als in positiver. Das bedeutet, dass bei Schlägen aufgrund übermäßig hoher Vibration, wie bei großen Unwuchten des Lüfters, die Richtung des Aufschlags direkten Einfluss auf die Schaltschwelle hat. Das ist keine wirklich wünschenswerte Eigenschaft.

Die Hauptnachteile eines mechanischen Vibrationsschalters sind: keine exakte Einstellmöglichkeit der Schaltschwelle, unterschiedliche Empfindlichkeiten in den einzelnen Achsrichtungen, keine besonders gute Reproduzierbarkeit, keine Auslösung infolge einer reinen Unwucht ohne Sekundäreffekte und Dichtigkeitsprobleme wegen der mechanischen Justier-

schraube. Eine schlechte Abdichtung verschlimmert das Problem durch das Eindringen von Feuchtigkeit, die zu Korrosion und Veränderungen der Empfindlichkeit führt; häufig nimmt die Empfindlichkeit gegenüber Schock und Vibration ab.

Schaut man sich typische Lüfterdrehzahlen von Kühltürmen (70 bis 400 U/min (1,2 bis 6,7 Hz)) und die dazugehörigen Unwuchtgrenzwerte in den typischen Tabellen an und errechnet die daraus resultierende Beschleunigung, erkennt man, dass diese Beschleunigungswerte äußerst klein sind.

Bei Verwendung der höchsten Auslenkung bzw. Unwucht für jede Lüfterdrehzahl wird deutlich, dass die Beschleunigungen zu klein sind, um genügend große Trägheitskräfte auf den Hebelarm des mechanischen Schalters oder die träge Masse des Mechanismus zur Auslösung des Schalters aufzubringen. Somit kann bei einer reinen Unwucht ein mechanischer Schalter den Turm nicht abschalten. Die Drehzahlpegel sind jedoch mit modernen piezoelektrischen Beschleunigungssensoren (PE) messbar; somit wird ein elektronischer Schalter mit einem PE-Beschleunigungssensor eine Unwucht in den meisten Fällen erfassen.

## Elektronische Vibrationsschalter

Elektronische Vibrationsschalter, siehe Abbildung 9, liefern viel genauere und reproduzierbarere Ergebnisse als mechanische Vibrationsschalter. Elektronische Vibrationsschalter setzen einen kalibrierten piezoelektrischen Beschleunigungssensor ein, der typischerweise in das Schaltergehäuse eingebettet ist, um die Vibration zu erfassen; in vielen

Fällen kann das Signal integriert werden, um die Schwinggeschwindigkeit und in manchen Fällen den Schwingweg zu erhalten. Im Gegensatz zu mechanischen Schaltern kann ein elektronischer Schalter in den meisten Fällen die Unwucht des Lüfters genau messen und entsprechend der Amplitude reagieren.

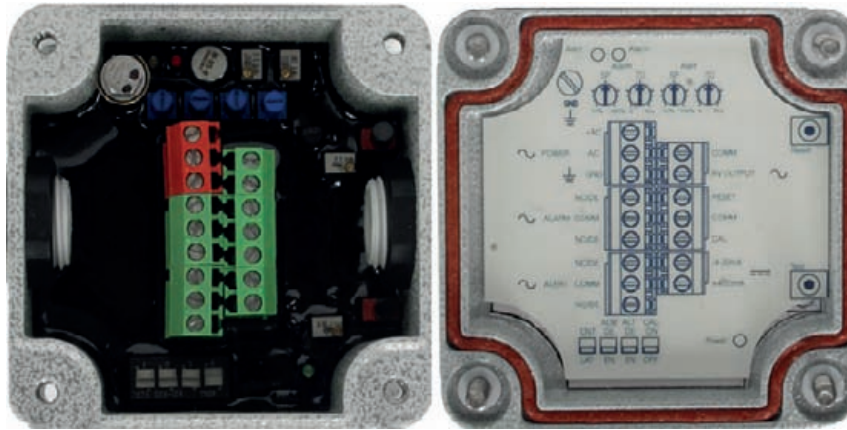


Abbildung 9: elektronische Vibrationsschalter mit Einstellmöglichkeiten durch Potentiometer und DIP-Schalter

Bei vielen elektronischen Vibrationsschaltern stehen einige oder alle der folgenden Optionen zur Verfügung, wodurch sie vielseitiger, effektiver und mit besserer Schutzwirkung als mechanische Vibrationsschalter eingesetzt werden können.

- **Vor- und Hauptalarm**
- **Zeitliche Verzögerungen**
- **Haltende und nichthaltende Schalteroperation**
- **Rohsignalausgang**
- **4-20 mA Ausgang**

#### **Vor- und Hauptalarm**

Eine Maschinenabschaltung durch einen Vibrationsschalter kommt immer mehr oder weniger ungelegen. Sind zwei Alarmschwellen mit zugehörigen Relais vorhanden, lässt sich ein Voralarmschwelle vorgeben, die ein Relais auslöst und damit dem Benutzer in Form einer Warnleuchte, eines Alarmtons oder einer Ansage angibt, dass sich die Maschine der Hauptalarmschaltenschwelle nähert; somit ergibt sich eine gewisse Reaktionszeit vor einer unerwarteten Abschaltung.

#### **Zeitliche Verzögerungen**

Zeitliche Verzögerungen sind ein großer Vorteil elektronischer Vibrationsschalter. Elektronische Vibrationsschalter können ein oder zwei Verzögerungsfunktionen enthalten; am häufigsten sind Hochlauf- und Alarmverzögerungen. Die Hochlaufverzögerung erlaubt eine feste oder programmierbare Zeitspanne (je nach Schaltertyp), während welcher der Vibrationspegel ignoriert wird, um der Maschine den Hochlauf, bei dem höhere Vibrationen auftreten als später im Dauerbetrieb, zu ermöglichen. Die Alarmverzögerung dient dazu, dass der Vibrationspegel für eine bestimmte

Zeit über der Alarmschwelle liegen kann, ohne dass eine Abschaltung erfolgt. Damit wird eine Abschaltung aufgrund zufällig auf die Maschine einwirkender Spitzenwerte wie Stöße vermieden. Zusätzlich erlauben manche Vibrationsschalter die Vorgabe eines Maximalpegels während der Hochlaufverzögerung. Diese Schwelle liegt über dem im Dauerbetrieb zulässigen Pegel, schützt die Einheit aber dennoch wirksam gegen übermäßig hohe Spitzen.

#### **Haltende und nichthaltende Schalteroperation**

Mechanische Vibrationsschalter sind von vornherein selbsthaltend, d. h. nach der Auslösung bleibt dieser Zustand erhalten bis ein Reset erfolgt. Ein elektronischer Schalter kann ebenso funktionieren, kann aber auch auf nichthaltend gesetzt werden. Das bedeutet, dass sich das Relais nach Auslösung automatisch zurücksetzt, wenn der Vibrationspegel unter die Alarmschwelle sinkt.

#### **Rohsignalausgang**

Mit dieser Funktion wird die analoge Breitbandkurve für Diagnosezwecke direkt von dem eingebetteten piezoelektrischen Beschleunigungssensor ausgegeben. Ein Registriergerät für Vibrationsdaten oder eine andere Analyseeinrichtung lässt sich mit diesem Ausgang verbinden.

#### **4-20 mA Ausgang**

Während der Schalter aktiven Schutz bietet, kann ein zum Gesamt-Vibrationspegel proportionales 4-20 mA-Signal zu einer SPS oder einem anderen zur Anlage gehörigen Überwachungsgerät in einem Kontrollraum zur Auswertung der Vibrationswerte geschickt werden.



## Programmierbare elektronische Vibrationsschalter

Wie in Abbildung 9 erkennbar, werden Alarmschwellen und Zeitverzögerungen bei herkömmlichen elektronischen Vibrationsschaltern häufig mit einem Potentiometer eingestellt und weisen somit eine gewisse Unsicherheit ( $\geq 10\%$ ) auf. Wie bei den neueren programmierbaren elektronischen Vibrationsschaltern gezeigt wird, erfolgt hier die Einstellung sehr genau über eine USB-Programmierung.

Programmierbare elektronische Vibrationsschalter bieten im Allgemeinen eine etwas höhere Genauig-

keit und eine bessere Kontrolle über Schaltschwellen und Verzögerungen als herkömmliche elektronische Vibrationsschalter, so dass der Benutzer die gewünschte Reaktion genau einstellen kann. Abbildung 4 zeigt das hermetisch verschweißte Modell 686B von IMI, einen USB-programmierbaren intelligenten Vibrationsschalter, der auf einem Motor montiert ist. Abbildung 10 zeigt seinen Programmierbildschirm und die große Anzahl Optionen zur exakten Einstellung der Alarmschwellen und Verzögerungen.

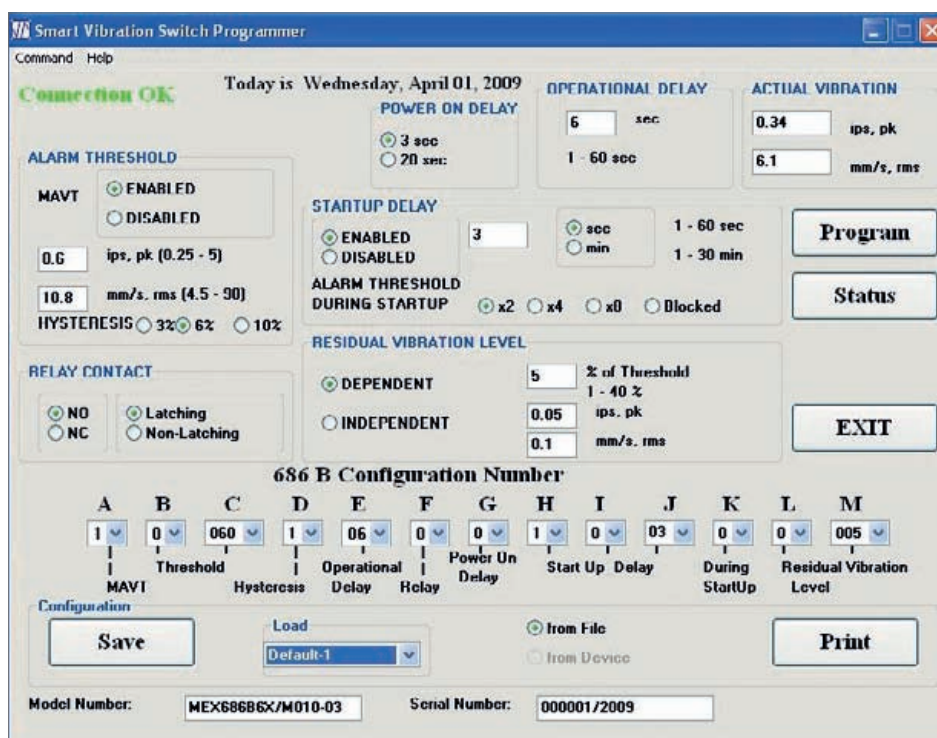


Abbildung 10: Programmierbildschirm für über USB-programmierbare elektronische Vibrationsschalter

### Fazit

Jeder Vibrationsschalter bietet Schutz gegen schädliche Vibrationen, wenn er richtig eingestellt und ordnungsgemäß benutzt wird. Elektronische Vibrationsschalter sind genauer und können direkten Schutz gegen reine Unwuchten bieten. Programmierbare elektronische Vibrationsschalter bieten gegenwärtig mehr Optionen als herkömmliche Einheiten, sind aber auch teurer. Das neue Modell 685A09 von

IMI, der Linear Adjust Mechanical Vibration Switch bietet eine genauere Empfindlichkeitseinstellung und einen besseren Schutz in den drei Achsrichtungen als herkömmliche mechanische Vibrationsschalter. Es bleibt dem Benutzer überlassen, den am besten für seine Anwendung geeigneten Vibrationsschalter auszuwählen.



---

**Hochwertige Messtechnik und Beratung aus einer Hand**



Ein Unternehmen der PCB Piezotronics, Inc.

---

**PCB Synotech GmbH** • Porschestr. 20 – 30 • 41836 Hückelhoven  
Tel.: +49 (0) 24 33/44 44 40 – 0 • E-Mail: [info@synotech.de](mailto:info@synotech.de) • [www.synotech.de](http://www.synotech.de)