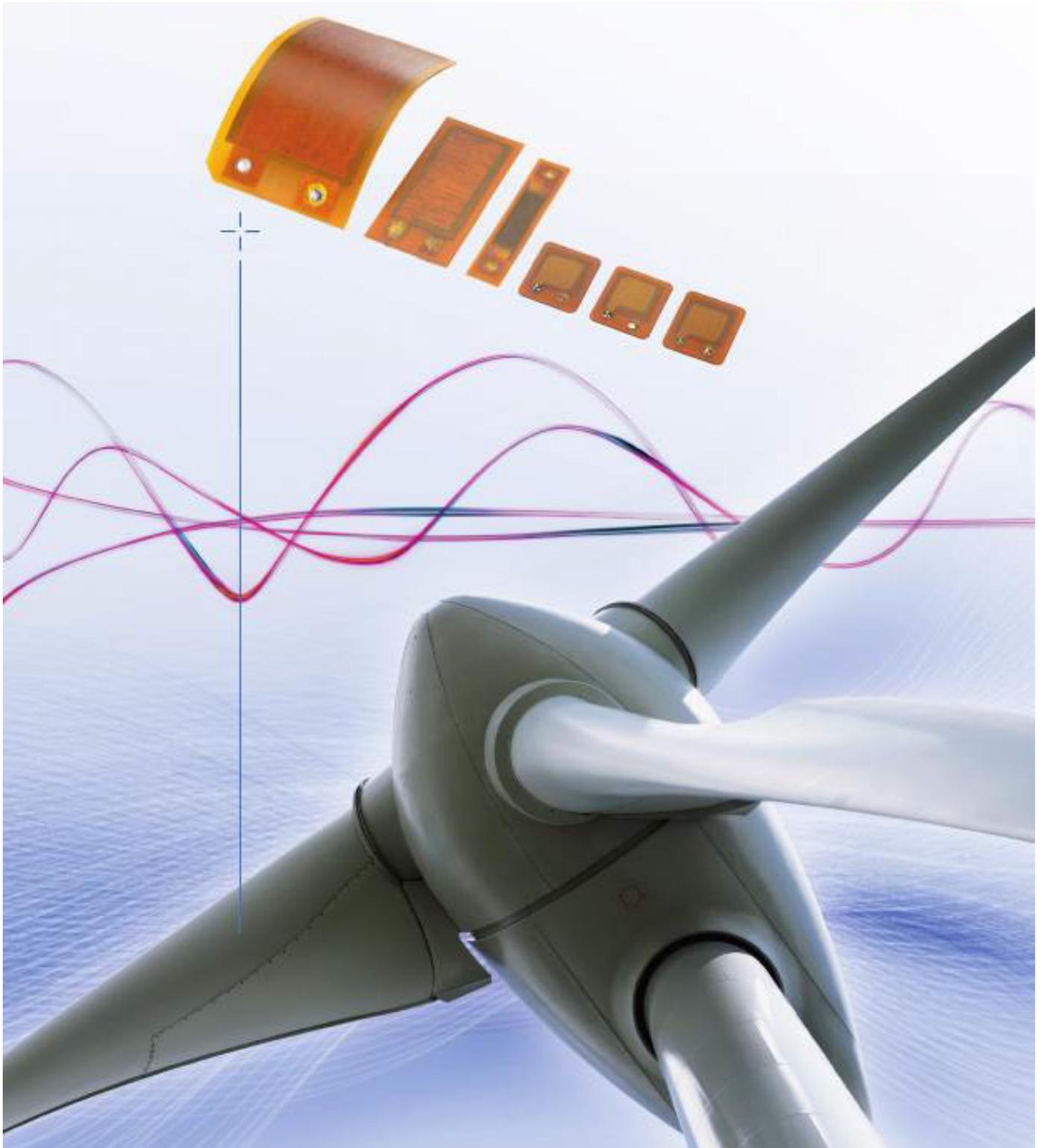


Energy Harvesting nutzt den Piezoeffekt

Piezowandler DuraAct plus darauf abgestimmte Elektronik



Was ist Energy Harvesting?

Als Energy Harvesting, wörtlich übersetzt „Ernten von Energie“, bezeichnet man das Erzeugen von Strom aus Quellen wie Umgebungstemperatur, Vibrationen oder Luftströmungen. Da es heute elektronische Schaltungen gibt, deren Leistungsbedarf im Milliwatt-Bereich liegt, ist Energy Harvesting mit piezobasierten Lösungen auch bei seinen verhältnismäßig geringen Energieerträgen immer dann hochinteressant, wenn eine Stromversorgung über Kabel nicht möglich ist und man auf Batterien und den damit verbundenen Wartungsaufwand verzichten will.

Energy Harvesting kann auf unterschiedlichen physikalischen Effekten beruhen. Solarzellen kommen ebenso infrage wie thermoelektrische Generatoren, die aus Temperaturunterschieden elektrische Energie gewinnen. Über Antennen kann außerdem auch die Energie von Radiowellen aufgefangen und energetisch verwendet werden. Ein Beispiel dafür sind passive RFID-Tags. Piezoelektrische Kristalle lassen sich ebenfalls sehr gut für ein Energy Harvesting einsetzen. Sie erzeugen bei Krafteinwirkung durch Druck oder Vibration elektrische Spannung, nutzen also in der Umgebung vorhandene Bewegungsenergie.

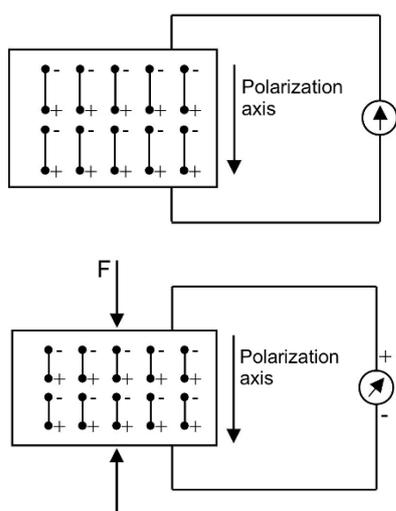


Abb. 1 Energiegewinnung durch Nutzung des Piezoeffekts (Physik Instrumente (PI))

Energie gewinnen mit dem Piezoeffekt

Durch mechanische Verformung eines Piezokristalls infolge einer Krafteinwirkung durch Zug oder Druck werden Ladungen generiert, die an den Elektroden des Piezoelements als elektrische Spannung messbar sind (s. Abb. 1). Dieses Phänomen wird als direkter piezoelektrischer Effekt bezeichnet.

Diese Möglichkeit der Ladungserzeugung kennt man z. B. von Gasanzündern zum Erzeugen der Zündspannung. Die generierte Ladung (Q) lässt sich mit folgendem mathematischen Zusammenhang beschreiben:

$$Q = d \times \Delta F$$

Die in der Gleichung vorkommende Ladungskonstante d (Verhältnis erzeugter Ladung zu beaufschlagter Kraft) ist eine werkstoffspezifische Konstante in der Größenordnung von 10^{-10} C/N.

Daran lässt sich sehr schnell erkennen, dass die generierten Ladungsmengen relativ gering sind. Dieser Aspekt stellt hohe Anforderungen an Mechanik und Elektronik, um ein Maximum an Energie „ernten“ zu können.

Ein komplexes System

Aufgrund der je nach Applikation verschiedenen energetischen Anregungsbedingungen gibt es jedoch leider keine universelle Energy Harvesting Lösung. Um ein solches System richtig zu dimensionieren, muss man immer alle entscheidenden Randbedingungen kennen und berücksichtigen. Zum einen betrifft dies die Energiequelle: Hier ist zwischen kontinuierlichen und stoßweisen Bewegungen zu unterscheiden. Zum anderen müssen natürlich auch die Anforderungen des elektrischen Verbrauchers berücksichtigt werden: Zu den wichtigen Parametern gehören hier die benötigte Spannung, die Leistung und die Eingangsbeschaltung, also kapazitiv oder ohmsch.

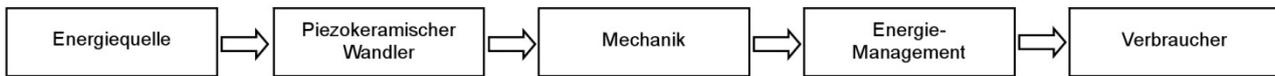


Abb. 2 Aufbau eines Energy-Harvesting-Systems (Physik Instrumente (PI))

Auf Basis dieser Daten ist dann ein Design und Dimensionierung des Wandlers einschließlich Mechanik möglich. In diesem Zusammenhang kann PI Ceramic die jahrelange Erfahrung und das umfangreiche Know-how bei der Erarbeitung kundenspezifischer Lösungen einbringen, wovon sehr unterschiedliche Branchen profitieren.

Typische Anwendungen für das Piezo Energy Harvesting

Anwendungen, bei denen die durch Energy Harvesting aus der Umgebung gewonnene Energiemengen ausreichen und sinnvoll genutzt werden können, gibt es viele.

Zwar haben kleine Knopfzellen heute durchaus lange Laufleistungen: Es kann aber dennoch sinnvoll sein, auf Batterien zu verzichten, weil Prüfung und Austausch zu aufwändig sind, wenn die Verbraucher unzugänglich montiert oder schwer erreichbar sind. Dann können Energy Harvesting Lösungen trotz ihrer Komplexität das Mittel der Wahl sein. Ein typisches Beispiel hierfür ist das so genannte Health Monitoring an den Flügeln von Windrädern.

Weitere für Energy Harvesting interessante Bereiche sind Datenmonitoring und -übertragung in der Heizungs- und Klimatechnik. Nutzt man Fahrzeugvibrationen zur Energieerzeugung, lassen sich Produkte während des Transports lückenlos überwachen, ohne dass die entsprechende Sensorik verkabelt oder mit Batterien ausgestattet sein muss. Das ist beispielsweise sinnvoll, wenn in geschlossenen Behältern Temperaturen erfasst werden sollen.

In der Frontscheibe von Kraftfahrzeugen können Regensensoren per Energy Harvesting versorgt werden und auch der Energie-Bedarf drahtloser Zigbee-Netze lässt sich in vielen Fällen decken, wenn man in der Umgebung Energie „erntet“.

Robuste Flächenwandler mit vielen Möglichkeiten

Prinzipiell kann man jede piezokeramische Komponente oder jeden Piezoaktor als Energy Harvester einsetzen. Durch die Umwandlung mechanischer Schwingungen von einigen Kilohertz in elektrische Spannung lassen sich Leistungen im Milliwatt-Bereich erzeugen, mit denen man elektrische Bauteile versorgen kann, z.B. Prozessoren, Sensoren oder Minisender.

	Betriebsspannungsbereich [V]	Min. laterale Kontraktion [$\mu\text{m}/\text{m}$]	Rel. laterale Kontraktion [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{V}$]	Blockierkraft [N]	Abmessungen [mm]	Min. Biegeradius [mm]	Piezokeramikhöhe [μm]	Elektrische Kapazität [nF] $\pm 20\%$
P-876.A11	-50 bis +200	400	1,6	90	61 x 35 x 0,4	12	100	150
P-876.A12	-100 bis +400	650	1,3	265	61 x 35 x 0,5	20	200	90
P-876.A15	-250 bis +1000	800	0,64	775	61 x 35 x 0,8	70	500	45
P-876.SP1	-100 bis +400	650	1,3	280	16 x 13 x 0,5	-	200	8

Piezokeramik PIC 255
Standardanschlüsse: Lötunkte
Betriebstemperaturbereich: -20 bis +150 °C

Abb. 3 Die Tabelle zeigt die technischen Daten unterschiedlicher Piezowandler (Physik Instrumente (PI))

Eine besonders praxisgerechte Lösung ist der robuste, einlamierte DuraAct-Transducer. PI Ceramic bietet hier eine Vielzahl von Standardbauformen an (s. Abb. 3 und Abb. 4).



Abb. 4 Robuste Flächenwandler mit vielen Möglichkeiten (Physik Instrumente (PI))

Die DuraAct-Flächenwandler bestehen aus Piezokeramikplatten- oder Folien, die inklusive Kontaktierung in einem Polymer eingebettet sind. Dadurch wird die an sich spröde Keramik mechanisch vorgespannt und gleichzeitig elektrisch isoliert. Die mechanische Vorspannung erweitert die Grenzen der Belastbarkeit der Keramik, somit ist z.B. auch eine Applikation auf gekrümmte Flächen möglich. Gleichzeitig vereinfacht der kompakte Aufbau einschließlich der Isolierung die Handhabung für den Anwender, es besteht sogar die Möglichkeit, den Flächenwandler in einen Verbundwerkstoff einzubetten.

Im Idealfall sind die Flächenwandler symmetrisch aufgebaut, d.h. bei Verbiegung des Wandlers entstehen auf beiden Elektrodenflächen gleiche Ladungsmengen mit entgegengesetztem Vorzeichen, man würde keine Potentialdifferenz messen können. Aus diesem Grund ist es erforderlich, den Wandler auf ein Substrat (z.B. Aluminium, CFK- oder GFK-Material) zu kleben. Man erhält somit eine klassische Biegerstruktur.

Bei fester Randeinspannung und bei Auslenkung des Biegers können nun Ladungen generiert werden, die in erster Näherung proportional zu den in die Keramik eingebrachten Spannungen oder Dehnungen sind. Ein Test gibt Aufschluss darüber, welche Keramikdicke welche Voraussetzungen fürs Energy-Harvesting bietet. Dazu wurden die DuraAct-Wandler auf CFK-Streifen geklebt und einseitig eingespannt. Eine rotierende Exzentrerscheibe lenkt den Biegewandler aus.

Mit dem vorliegenden Aufbau konnten somit die für den direkten Wandlervergleich notwendigen reproduzierbaren Einspan- und Anregungsbedingungen (Variation von Frequenz und Auslenkung) realisiert werden.

Ausgangsleistung als Funktion des Lastwiderstandes

Zudem lässt sich vergleichen, wie sich die Biegerstrukturen aus CFK und den aufgeklebten unterschiedlichen DuraAct-Transducern (P-876.A11, -A12 und -A15) bei verschiedenen Lastwiderständen und gleichen Anregungsbedingungen verhalten (Frequenz: 1 Hz, Auslenkung: 5 mm). Die vom Generator kommende Wechselspannung wurde mit einer Vollweg-Graetz-Brücke gleichgerichtet und mit einem Kondensator (10 μ F) geglättet. Bei verschiedenen Lastimpedanzen wurde dann die Ausgangsleistung für jeden DuraAct-Typ ermittelt.

Dabei zeigte sich, dass jeder Testwandler einen unterschiedlichen elektrischen Lastbereich mit optimaler Leistungsabgabe hat (s. Abb. 5, S. 4).

Die Biegerstruktur mit dem DuraAct P-876.A12 liefert unter den genannten Randbedingungen die größte Ausgangsleistung. Daran erkennt man sehr gut, dass für eine optimale Leistungsabgabe immer ein optimiertes Wandlerdesign mit entsprechender Leistungsanpassung notwendig ist.

Ausgangsleistung vs Ausgangslast @5mm/1Hz

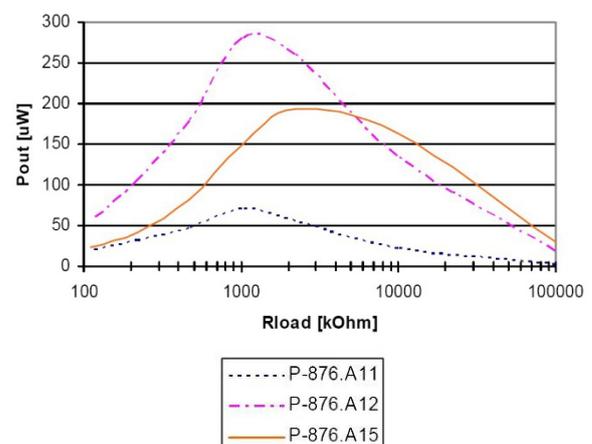


Abb. 5 Ausgangsleistung als Funktion des Lastwiderstands (Physik Instrumente (PI))

Ausgangsleistung als Funktion der Anreigungsbedingungen

Die weiteren Untersuchungsergebnisse beschränken sich auf die Biegerstruktur mit dem Flächenwandler DuraAct P-876.A12.

Abbildung 7 zeigt die Ausgangsleistung in Abhängigkeit von der Auslenkung. Die Ausgangsleistung wird maßgeblich durch die mechanische Deformation der Biegerstruktur bestimmt. Je größer die Auslenkung, desto größer sind die generierte Ladung und Leistung. Deshalb ist es besonders wichtig, die verfügbaren Energiequellen zu analysieren und darauf abgestimmt ein Mechanikdesign zu entwickeln, mit dem sich eine maximale Umwandlung mechanischer in elektrische Energie erzielen lässt.

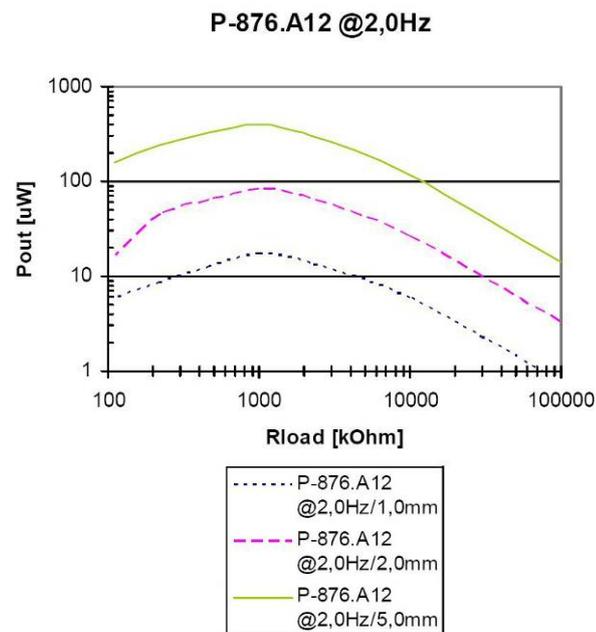


Abb. 6 Ausgangsleistung als Funktion der Anreigungsbedingungen (Physik Instrumente (PI))

Auch die Frequenz der Anregung hat unmittelbaren Einfluss auf die Ausgangsleistung. Wie Abbildung 8 zeigt, besteht annähernd ein linearer Zusammenhang zwischen Ausgangsleistung und Erregerfrequenz. Man erkennt auch eine Verschiebung des optimalen Lastbereichs zu kleineren Werten bei höherer Anregungsfrequenz.

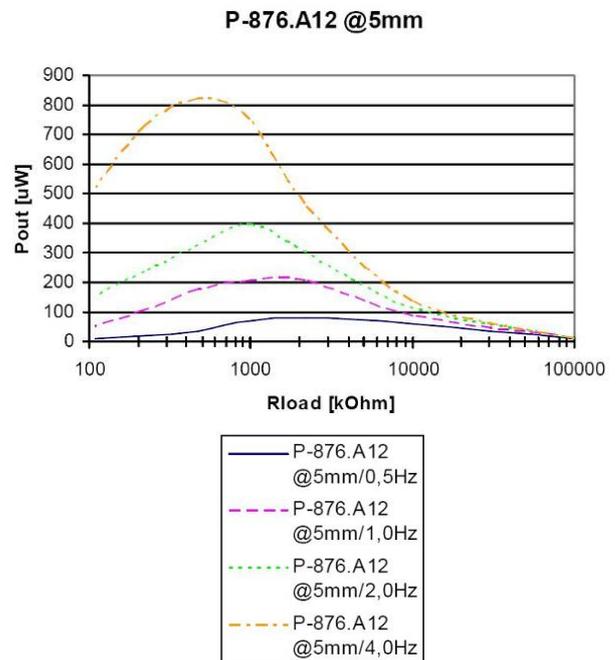


Abb. 7 Der Zusammenhang zwischen Ausgangsleistung und Erregerfrequenz ist annähernd linear (Physik Instrumente (PI))

Die passende Elektronik

Die für das Piezo-Energy-Harvesting vorliegende Testelektronik beinhaltet einen Gleichrichter mit nachgeschaltetem Speicherkondensator und Lastschalter. Sie ist in der Lage, alternierende und kontinuierliche Eingangsspannungen zu verarbeiten. Durch die elektronische Schaltung wird die Last (also der Verbraucher) vom Generator entkoppelt und die Energie kann über lange Zeit gesammelt und gespeichert werden.

Für den Ladevorgang des Speicherkondensators muss die Leerlaufspannung des Generators größer als V_{High} sein. Mit Erreichen des Spannungslevels V_H nach der Ladezeit t_1+t_2 beginnt der Entladevorgang (Versorgung eines Verbrauchers, t_3). Sinkt die verfügbare Spannung auf den Wert V_{Low} , ist keine weitere Leistungsabgabe möglich, der Speicherkondensator muss wieder geladen werden (s. Abb. 8).

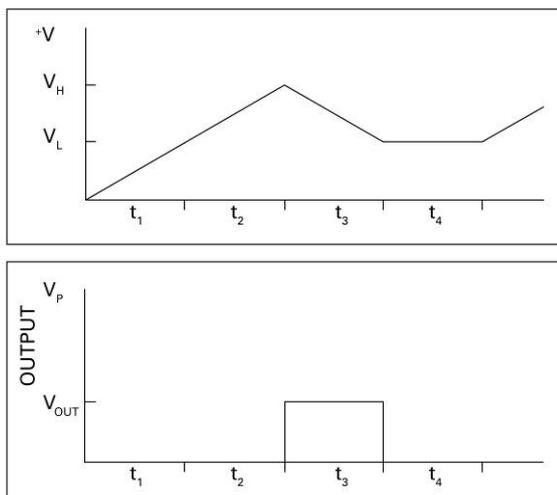


Abb. 8 Energie wird nur zwischen den Spannungspegeln V_H und V_L abgegeben (Physik Instrumente (PI))

Energie kann somit nur zwischen Spannungslevel V_H und V_L abgegeben werden:

$$W_{el} = \frac{C}{2} (V_H - V_L)^2$$

Variiert man den Kondensator, ist eine Anpassung an den Leistungsbedarf des Verbrauchers möglich. Die Ausgangsspannung der Testelektronik kann flexibel zwischen 1,8 und 5 V eingestellt werden. Aufgrund der sich wiederholenden Phasen „Laden“ (w), „Speichern“, „Energieabgabe“, „Laden“ ist diese Lösung besonders für Anwendungen geeignet, die keinen kontinuierlichen Leistungsbedarf haben, z.B. wird in drahtlosen Sensornetzwerken in Messpausen die Ladung generiert und gespeichert und für die Messung und Datenübertragung die Energie abgerufen.

Sind Piezowandler, Mechanik und Elektronik unter Berücksichtigung der applikationsspezifischen Randbedingungen aufeinander abgestimmt, kann das piezobasierte Energy Harvesting aber auch in vielen anderen Applikationen eine praxisgerechte Energieversorgung sein.

Fazit

Die hier aufgeführten Ergebnisse zeigen beispielhaft, wie unter bestimmten Bedingungen die vorhandene Energie aus der Umgebung in elektrische Energie umgesetzt und für die Versorgung eines entsprechenden Verbrauchers genutzt werden kann.

Die Entwicklung einer individuellen Energy Harvesting Lösung ist eine komplexe Aufgabe, für die es keine Standardlösung gibt.

Weitere Informationen zu piezoelektrischen DuraAct Flächenwandlern finden Sie unter:

www.piceramic.de

Autorin

Dipl.-Phys. Birgit Schulze, Produktmanagerin bei Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG.

Über PI Ceramic

Seit 1992 entwickelt und produziert PI Ceramic piezokeramische Materialien und Bauelemente für Standard- und OEM Lösungen: Piezokomponenten, Ultraschallwandler, Aktoren und System-lösungen. Unter anderem stammt die für ihre Zuverlässigkeit ausgezeichnete PICMA® Multilayer Aktortechnologie aus dem Hause PIC. PI Ceramic, ein Tochterunternehmen der Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG, hat seinen Sitz in Lederhose, Thüringen