

ENERGIE AUS DER UMGEBUNG ERNTEN

Fortschritte bei Strom sparenden Techniken vereinfachen die Realisierung drahtloser Sensornetzwerke in vielen Anwendungen. Problem dabei: Drahtlose Sensoren benötigen Batterien, die man regelmäßig austauschen muss – eine mühsame und teure Wartungsaufgabe. Ein piezoelektrisch Energie erntender Stromversorgungsbaustein stellt eine bessere Lösung dar, da er die benötigte Energie direkt aus der Umgebung des Sensors generiert.

TEXT: Michael Whitaker FOTOS: Linear Technology

Typischerweise liegt die aus der Umgebung gewinnbare Energie im Bereich von wenigen Mikrowatt, so dass diese Versorgung ein sorgfältiges Powermanagement benötigt, um diese geringe Energiemenge erfolgreich zu „ernten“ und in einem Energiespeicher aufzufangen zu können. Eine Energieform, die aus der Umgebung gewonnen werden kann, sind mechanische Schwingungen, die z.B. von laufenden Motoren in einer Fabrik, dem Luftstrom durch einen Lüfter oder von sich bewegenden Fahrzeugen herrühren. Ein piezoelektrischer Wandler kann diese Vibrationsenergie in elektrische Energie umzuwandeln, die dann dazu benutzt werden kann, Schaltungen zu versorgen.

Um die Energieernte und die Versorgung eines Systems zu managen, vereint der piezoelektrische Energie erntende Stromversorgungsbaustein LTC3588-1 einen internen Brückengleichrichter mit einem synchronen Abwärts-Gleichspannungswandler. Der Baustein verwendet einen effizienten Algorithmus zur Energiegewinnung, um die Energie von den Piezoelementen, die eine hohe Impedanz und Kurzschlussströme in der Größenordnung von wenigen zehn Mikrowatt besitzen, zu sammeln und zu speichern.

Energie erntende Systeme müssen häufig Spitzenladeströme liefern, die deutlich höher sind als die, die ein Piezoelement erzeugen kann. Deshalb akkumuliert der Energieernte-Baustein die Energie, so dass sie in kurzen Stromstößen an die Last abgegeben werden kann. Natürlich müssen diese Stromimpulse für einen kontinuierlichen Betrieb mit einem so kleinen Tastverhältnis auftreten, dass die gesamte Ausgangsenergie während der Bursts die Durchschnittsenergie nicht übersteigt, die über einen Energieakkumulierzyklus gesammelt wurde. Ein Sensorsystem, das in regelmäßigen Intervallen misst, die Daten überträgt und die Versorgung zwischen diesen Intervallen abschaltet, ist ein geeigneter Kandidat für eine Energie erntende Lösung.

Geringer Ruhestrom ist zur Energieernte nötig

Der Prozess zur Energiegewinnung ist abhängig von einem geringen Ruhestrom während der Phase der Energieaufnahme. Der Versorgungsbaustein ermöglicht dies durch seinen Unterspannungs-Sperrmodus (Undervoltage Lockout, UVLO) mit

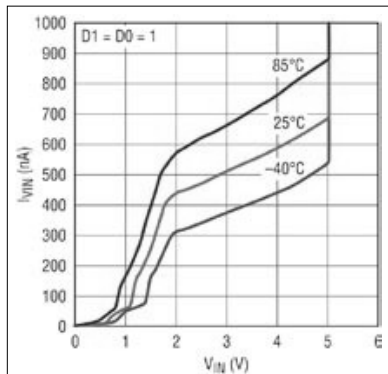
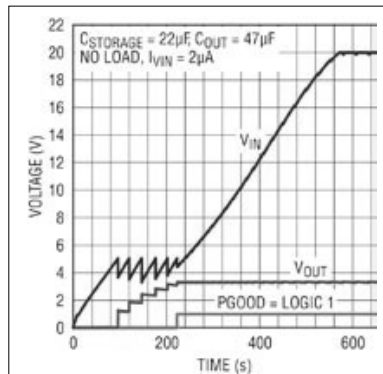
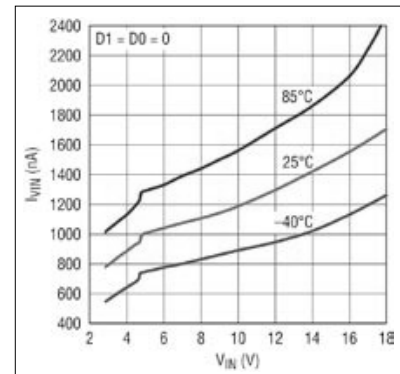
Abbildung 1: I_{VIN} in UVLO vs. V_{IN} 

Abbildung 2: Start-up-Profil eines 3,3-V-Reglers.

Abbildung 3: I_{VIN} in sleep vs. V_{IN}

breitem Hysteresefenster, der weniger als $1\ \mu\text{A}$ an Ruhestrom zieht. Der UVLO-Modus erlaubt das Aufladen eines Eingangskondensators bis ein interner Abwärtswandler einen Teil dieser gespeicherten Ladung an den Ausgang übergeben kann.

Abbildung 1 zeigt ein Profil des Ruhestroms im UVLO-Modus, der monolithisch mit V_{IN} ist, so dass eine Stromquelle mit nur $700\ \text{nA}$ den Eingangskondensator bis auf den ansteigenden UVLO-Schwellwert laden kann, was einen geregelten Ausgang ergibt. Einmal in Regelung, geht der Baustein in einen Schlafzustand über, in dem sowohl der Eingangs- als auch der Ausgangsruhestrom minimal sind. Zum Beispiel beträgt der Ruhestrom bei $V_{IN} = 4,5\ \text{V}$ mit dem Ausgang in Regelung nur $950\ \text{nA}$. Der Abwärtsregler schaltet dann ein und aus je nach dem, wie es die Regelung erfordert. Geringe Ruhestrome sowohl in den Schlaf- als auch UVLO-Modi erlauben es so viel Energie wie möglich im Eingangskondensator zu sammeln, selbst wenn der verfügbare Quellenstrom sehr gering ist.

Wenn V_{IN} die steigende Flanke von UVLO erreicht, schaltet der integrierte synchrone Abwärtswandler mit hohem Wirkungsgrad ein und beginnt die Energie aus dem Eingangs- an den Ausgangskondensator zu übergeben. Dieser Abwärtswandler verwendet einen Algorithmus zur Berechnung der Hysteresespannung, um damit den Ausgang über eine interne Rückkopplung über den V_{OUT} -Messpin zu steuern. Er lädt den Ausgangskondensator über eine Spule auf einen Wert, der etwas höher ist, als der Regelungspunkt, indem er den Spulenstrom durch einen internen PMOS-Schalter auf bis $250\ \text{mA}$ erhöht und ihn dann durch einen internen NMOS-Schalter wieder auf Null absenkt. Dies liefert effizient Energie an den Ausgangskondensator. Wenn die Eingangsspannung unter den fallenden UVLO-Schwellwert abfällt, bevor die Ausgangsspan-

nung in Regelung kommt, schaltet der Abwärtsregler ab und schaltet solange nicht wieder ein, bis die Eingangsspannung wieder über die ansteigende UVLO-Schwelle ansteigt. Während dieser Zeitspanne ist der Leckstrom am V_{OUT} -Messpin nicht höher als $90\ \text{nA}$, und die Ausgangsspannung bleibt nahe an dem Pegel, den sie erreichte, als der Abwärtsregler schaltete. Abbildung 2 zeigt ein typisches Einschaltsignal, wenn mit einer $2\text{-}\mu\text{A}$ -Stromquelle geladen wird.

Wenn der synchrone Abwärtswandler die Ausgangsspannung in die Regelung bringt, geht der Wandler in einen Schlafmodus mit geringem Ruhestrom über, der die Ausgangsspannung mit einem Schlafkomparator überwacht. In diesem Betriebszustand wird der Laststrom vom Ausgangskondensator des Reglers geliefert. Wenn die Ausgangsspannung unter den Regelungspunkt abfällt, wacht der Regler wieder auf und dieser Vorgang wiederholt sich. Diese Hysterese in der Methode einen geregelten Ausgang zu realisieren, minimiert Verluste des FET-Schalters und ermöglicht eine effiziente Regelung bei sehr kleinen Lasten.

Der Abwärtsregler liefert, wenn er geschaltet wird, bis $100\ \text{mA}$ durchschnittlichen Laststrom. Vier Ausgangsspannungen, $1,8$, $2,5$, $3,3$ und $3,6\ \text{V}$ lassen sich über Pin wählen und erlauben das Versorgen von Mikroprozessoren, Sensoren und drahtlosen Transmittern. Abbildung 3 zeigt den extrem kleinen Ruhestrom in der Regelung und im Schlafmodus, der einen effizienten Betrieb bei kleinen Lasten erlaubt.

Obwohl der Ruhestrom des Reglers während des Schaltens viel größer ist als der Ruhestrom, entspricht er dennoch nur einem Bruchteil des Laststroms. Dies resultiert in einem hohen Wirkungsgrad für eine umfangreiche Palette an Lastkonditionen.

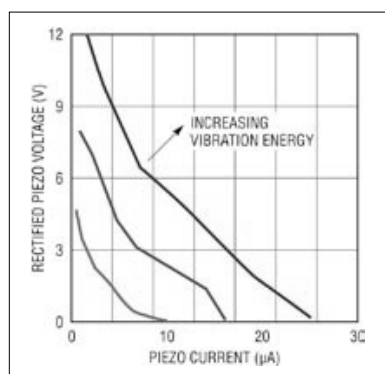


Abbildung 4: Typische piezoelektrische Lastenlinie für das Piezo System T220-A4-503X.

Der Abwärtswandler arbeitet nur, wenn sich ausreichend Energie im Eingangskondensator angesammelt hat und transferiert Energie in kurzen Bursts an den Ausgang, die wesentlich kürzer sind als die Zeitspanne zum Ansammeln der Energie. Wenn der Regler arbeitet, wird der Ruhestrom über eine vollständige Sammel-/Burst-Periode gemittelt. Der resultierende Ruhestrom ist sehr klein, was den Quellen, die kleine Mengen von Energie aus der Umgebung „ernten“, sehr entgegenkommt. Der geringe Ruhestrom in der Regelung erlaubt es dem Versorgungsbaustein einen hohen Wirkungsgrad bei Lasten unter 100 µA zu erzielen.

Von der Vibrationsenergie zur elektrischen Energie

Piezoelektrische Elemente wandeln mechanische Energie, üblicherweise Vibrationsenergie, in elektrische Energie. Piezoelemente können aus Blei-Zirkonat-Titanat-Keramik (PZT), Polyvinylidenfluorid (PVFT) oder anderen Zusammensetzungen bestehen. Keramische Piezoelemente zeigen einen piezoelektrischen Effekt, wenn die Kristallstruktur der Keramik zusammengepresst wird und die Bewegung der internen Dipole eine Spannung erzeugt. Polymere Elemente, die aus lange Molekülketten bestehen, generieren eine Spannung, wenn sie gedehnt werden und die Moleküle sich gegenseitig abstoßen. Keramik setzt man häufig unter direktem Druck ein, während Polymerelemente sich leichter beliebig formen lassen.

Eine große Zahl an Piezoelementen ist erhältlich und generiert eine Vielzahl von Leerlauf- und Kurzschlussströmen. Die Leerlauf- und Kurzschlussströme bilden eine „Linienlast“ für das Piezoelement, die mit verfügbarer Vibrationsenergie an-

steigt, wie in Abbildung 4 gezeigt. Der Baustein LTC3588-1 kann bis zu 20 V an seinen Eingängen verkraften, an welchen Punkt ein schützender Shunt das Auftreten einer Überspannung an V_{IN} verhindert. Wenn ausreichende Umgebungsvibrationen ein Piezoelement dazu bringen, mehr Energie zu generieren als der Baustein benötigt, verbraucht der Shunt die überschüssige Energie und klemmt das Piezoelement effektiv an seine Linienlast.

Der Baustein ist mit dem Piezoelement über seinen internen verlustarmen Brückengleichrichter verbunden, auf den man über die Pins PZ1 und PZ2 zugreifen kann. Der gleichgerichtete Ausgang wird im VIN Kondensator gespeichert. Bei den typischen Piezoströmen von 10 µA, liegt der Spannungsabfall auf Grund des Brückengleichrichters nur in der Größenordnung von 400 mV. Der Brückengleichrichter eignet sich auch für eine Vielzahl anderer Eingangsquellen, da er bei 125 °C weniger als 1 nA umgekehrten Kriechstrom (Reverse Leakage), eine Bandbreite über 1 MHz und die Fähigkeit, 50 mA zu verkraften, aufweist.

Vibrationen können charakterisiert werden, um ein Piezoelement mit den optimalen Eigenschaften auszuwählen. Die Frequenz und Kraft der Vibration und ebenfalls das gewünschte Intervall zwischen dem Einsatz des Reservoirs des Ausgangskondensators und der erforderlichen Energiemenge für jeden Burst kann helfen, das beste Piezoelement zu bestimmen. Auf diese Weise lässt sich ein System so entwickeln, dass es seine Aufgabe erfüllt so oft es die Menge an verfügbarer Energie erlaubt. In einigen Fällen ist die Optimierung des Piezoelements gar nicht nötig, da bereits die Fähigkeit, eine beliebige Energiemenge ernten zu können, attraktiv sein kann. □

> MORE@CLICK EEK7190660