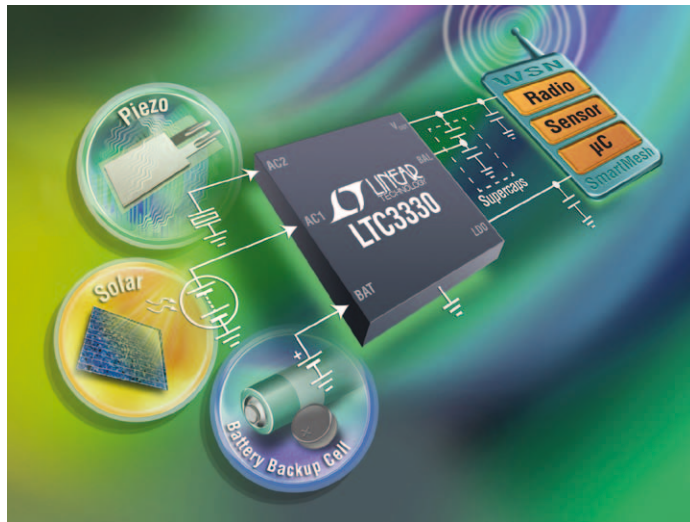


Was bedeutet die Energieernte im Grunde wirklich?



ergänzt, die zugeschaltet werden kann, wenn die Umgebungsenergiequelle ausfällt oder gestört ist.

Ein energieerntendes WSN

Es gibt eine Menge von Umgebungsenergie in der Welt um uns herum, und die konventionellen Methoden der Energieernte sind Solarzellen und Windkraft. Neue Erntewerkzeuge erlauben es uns jedoch, nun elektrische Energie aus einer Vielzahl an Quellen aus der Umgebung zu ernten. Darüber hinaus ist es nicht der Wirkungsgrad der Energiewandlung der Schaltungen, der wichtig ist, sondern die Menge der „durchschnittlich geernteten“ Energie, die verfügbar ist, diese Schaltungen zu versorgen. Thermoelektrische Generatoren wandeln Wärme (oder Kälte) in Elektrizität, Piezoelemente wandeln mechanische Vibrati-

Das Anwendungsgebiet von tragbaren Stromversorgungen ist riesig und vielfältig. Produkte reichen von drahtlosen Sensorknoten (wireless sensor nodes = WSN), die Leistung von nur wenigen Mikrowatt verbrauchen, bis hin zu medizinischen Geräten auf Instrumentenwagen oder Datenerfassungsgeräten mit Batterien, die mehrere Hundert Wattstunden Energie liefern.

Trotz dieser Vielfalt, haben sie jedoch einige Trends gemeinsam; nämlich, dass Entwickler weiterhin mehr Versorgungsleistung in ihren Produkten benötigen, um den steigenden Funktionsumfang zu unterstützen und außerdem möchten sie die Batterie aus einer verfügbaren Spannungsquelle laden. Der erste Trend würde bedeuten, die Kapazität der Batterie zu erhöhen. Unglücklicherweise sind die Nutzer häufig ungeduldig und diese größeren Kapazitäten müssten in einer angemessenen kurzen Zeit aufgeladen werden, was zu steigenden Ladeströmen führt. Der zweite Trend erfordert eine extreme Flexibilität von der Batterieladefreisetzung, da diese einen großen Bereich an

Eingangsenergiequellen und -leistungen handhaben muss.

Sehr geringe Leistungspegel

Glücklicherweise sind am unteren Ende des Versorgungsleistungsspektrums die Anforderungen der Nanopower-Wandlung der Energieernte, wie man sie üblicherweise in WSNs findet, die den Einsatz von Leistungswandel-ICs benötigen, gelöst. Sie arbeiten mit sehr geringen Leistungspegeln und Strom. Dies können einige zehn Mikrowatt bzw. Nanoampere an Strom sein.

Moderne und marktgängige Energieerntetechniken, z.B. Energieernte aus Vibration und Solarzellen für Innenräume, generieren unter typischen Betriebsbedingungen Leistungspegel in der Größenordnung von Milliwatt. Obwohl solche Leistungspegel ungeeignet erscheinen mögen, kann der Betrieb von energieerntenden Elementen über mehrere Jahre die Technologien direkt vergleichbar mit Primärbatterien mit langer Lebensdauer machen, sowohl bezüglich Energiebereitstellung als auch der Kosten pro Energieeinheit, die geliefert wird. Darüber hinaus sind Systeme, welche die Energieernte nutzen, üblicherweise in der Lage, nach einer Vollentladung wieder voll aufzuladen, etwas, das Systeme,

die von Primärbatterien versorgt werden, nicht können.

Nichtsdestotrotz werden die meisten Implementierungen, die eine Energiequelle aus der Umgebung als primäre Leistungsquelle nutzen, aber mit einer Primärbatterie

Faktoren, die den Leistungsverbrauch beeinflussen

Stromversorgung (oder Batterie)	Entladungsrate
	Batteriedimensionen
	Versorgungsspannungen
Sensoren	Art des verwendeten Elektrodenmaterials
	DC/DC-Wirkungsgrad
	Wandlung des physikalischen ins elektrische Signal
	Komplexität der unterstützenden Komponenten
ADC	Signalabtastung
	Signalkonditionierung
	Abtastrate
Mikroprozessor	Aliasing
	Dither
	Betriebsfrequenzen des Kerns
Funkübertragung	Betriebsspannungen
	Leistung proportional zur Prozess- & Computerauslastung
	Umgebungstemperatur
	Applikationscode
Funkübertragung	Peripherienutzung
	Modulationsart
	Datenrate
Funkübertragung	Übertragungsbereich
	Arbeitstakt

Tony Armstrong
 Director of Product Marketing
 Linear Technology
 Corporation
 www.linear.com

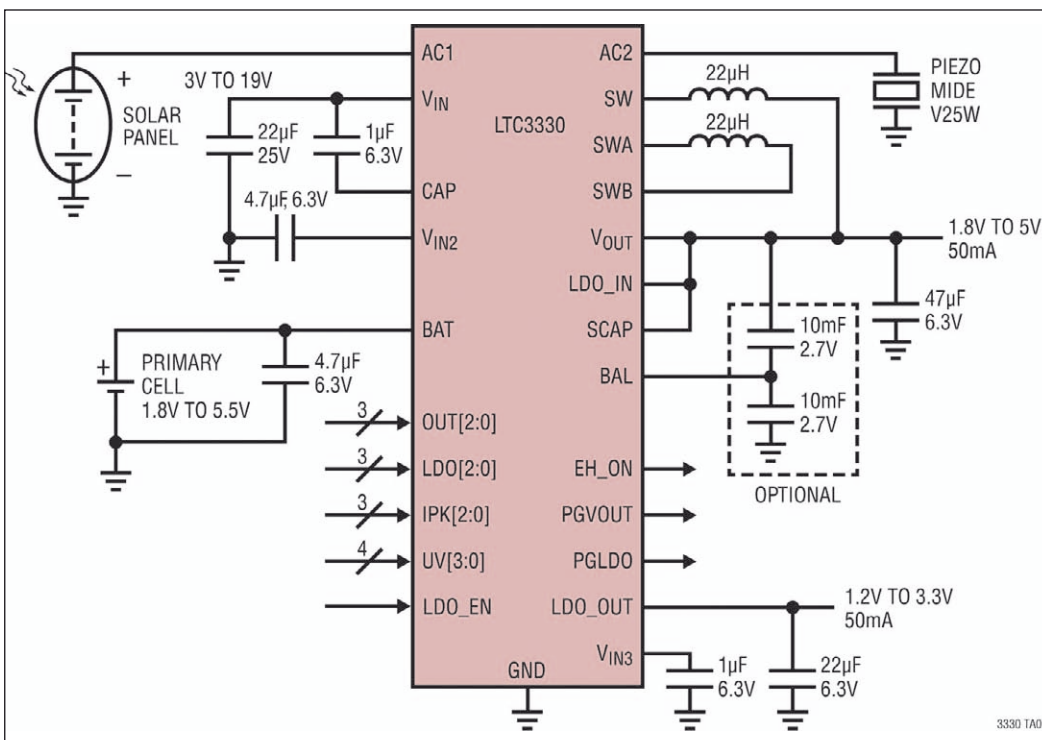


Bild 1: Der Energieernter & Batteriebetriebszeit-Erweiterungsbaustein LTC3330

onen, die Photovoltaik wandelt Sonnenlicht (oder jede andere Lichtquelle), und die Galvanik gewinnt Energie aus Feuchtigkeit. Dies ermöglicht es, entfernte Sensoren zu versorgen, oder ein Speicherelement, wie einen Kondensator oder eine Dünnschichtbatterie zu laden, sodass ein Mikroprozessor oder Messwertgeber aus der Entfernung ohne lokale Energiequelle versorgt werden kann.

Allgemein ausgedrückt, die nötigen Charakteristika der ICs zur Einbindung und dem Einsatz im alternativen Energiemarkt, schließen die folgenden mit ein:

- Geringe Standby-Ruheströme – typisch unter 6 µA bis hinunter zu 450 nA
- Geringe Einschaltspannungen – bis hinunter zu 20 mV
- Hohe Eingangsspannungen – bis zu 34 V kontinuierlich und 40 V Spitze
- Fähigkeit zur Handhabung von AC-Eingängen
- Mehrfachausgänge und autonomes Power-Management
- Betrieb mit automatischer Polaritätsanpassung

- Maximum-Power-Point-Control (MPPC) für Eingänge von Solarzellen
- Die Fähigkeit, Energie aus Temperaturunterschieden von nur 1 °C zu generieren
- Kompakte Ausmaße der Lösung mit minimalen externen Komponenten

WSNs sind grundsätzlich in sich geschlossene Systeme, die einen Wandler enthalten, der Energie aus der Umgebung in ein elektrisches Signal wandelt, gefolgt von einem DC/DC-Wandler und -Manager, der die nachfolgende Elektronik mit dem richtigen Spannungspegel und Strom versorgt. Diese nachfolgende Elektronik besteht generell aus einem Mikrocontroller, einem Sensor und einem Sender/Empfänger.

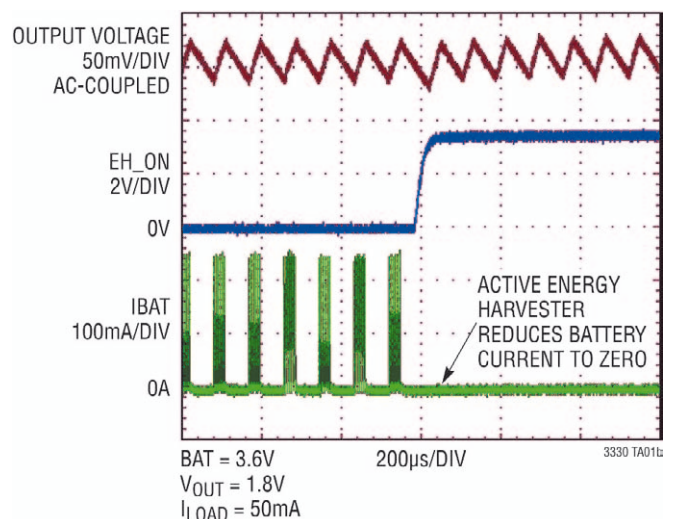
Wenn man versucht, WSNs zu implementieren, ist es eine gute Frage, die es zu berücksichtigen gilt: Wie viel Energie benötige ich, um ihn zu betreiben? Konzeptionell erscheint dies ziemlich einfach, in der Realität ist dies jedoch aufgrund mehrerer Faktoren etwas komplizierter. Zum Beispiel, wie oft muss ein Messwert erfasst werden? Oder, noch wichtiger, wie groß ist das

Datenpaket, und wie lange dauert es, dieses zu senden? Dies deswegen, weil der Sender/Empfänger rund 50 Prozent der Energie konsumiert, die vom System für eine einzige Sensorabfrage benötigt wird. Mehrere Faktoren beeinflussen die Leistungsverbrauchscharakteristika des energieerntenden Systems eines WSN. Siehe dazu Tabelle 1.

Natürlich hängt die Energie, die von der energieerntenden Quelle geliefert wird, davon

ab, wie lange die Quelle in Betrieb ist. Deswegen ist das primäre Maß für den Vergleich von energieerntenden Quellen die Leistungsdichte und nicht die Energiedichte. Die Energieernte ist ganz generell Gegenstand von geringen, variablen und unvorhersagbaren Mengen an verfügbarer Leistung, so dass häufig eine hybride Struktur, die mit dem Energieernter und einer sekundären Leistungsreserve verbunden ist, eingesetzt wird. Der Energieernter ist wegen seiner unbegrenzten Energieversorgung und Mangel an Leistung, die Energiequelle des Systems.

Der sekundäre Leistungsspeicher, entweder eine Batterie oder ein Kondensator, erzeugt eine höhere Ausgangsleistung, speichert aber weniger Energie, und gibt Leistung ab, wenn benötigt, empfängt aber sonst ständig Ladung vom Energieernter. In Situationen, in denen keine Energie aus der Umgebung verfügbar ist, aus denen Energie geerntet werden könnte, muss deshalb das sekundäre Speicherelement genutzt werden, um den WSN zu versorgen. Aus der Perspektive der Systementwickler führt dies natürlich zu einer höheren Komplexität, da sie nun in Betracht ziehen müssen, wie viel Energie im sekundären Energiespeicher gespeichert werden muss, um den Ausfall der Energiequelle in der Umgebung zu kompensieren. Wie viel sie dazu benö-



Energiequelle	Produzierte Energiemenge	Typische Anwendung
Kleine Solarzellen	Einige 100 mW/cm ² (direktes Sonnenlicht)	Elektronische Handheld-Geräte
Kleine Solarzellen	100 µW/cm ² (indirektes Sonnenlicht)	Elektronische Handheld-Geräte
Seebeck-Elemente (die Wärmeenergie in elektrische Energie wandeln)	Einige 10 µW/cm ² (Körperwärme)	abgesetzte drahtlose Sensoren
Seebeck-Elemente (fortgesetzt)	Einige 10 mW/cm ² (Ofenabwärme)	abgesetzte drahtlose Aktoren
Piezoelectrische Elemente (die Energie entweder bei Dehnung oder Stauchung des Elements erzeugen)	Einige 100 µW/cm ²	Elektronische Handheld-Geräte oder abgesetzte drahtlose Aktoren
HF-Energie von einer Antenne	Einige 100 pW/cm ²	abgesetzte drahtlose Sensoren

tigen, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Diese beinhalten:

1. Die Zeitspanne, in der die Energiequelle in der Umgebung nicht verfügbar ist.

2. Der Arbeitstakt der WSN (das ist die Frequenz, mit der eine Datenerfassung und Übertragung durchgeführt werden muss)

3. Die Größe und Art des sekundären Energiespeichers (Kondensator, Superkondensator oder Batterie)

4. Ist genügend Umgebungsenergie vorhanden, um als primäre Energiequelle zu wirken und bleibt ausreichend Energie übrig, um ein sekundäres Energiereservoir zu laden, wenn die Energiequelle für eine spezifizierte Zeitspanne nicht verfügbar ist?

Energiequellen in der Umgebung schließen Licht, Wärmeunterschiede, Vibrationen, übertragene HF-Signale, oder einfach jede andere Quelle, aus der eine elektrische Ladung mit einem Wandler erzeugt werden kann, mit ein. Tabelle 2 illustriert die Energiemenge, die mit den unterschiedlichen Energiequellen gewonnen werden kann. Es gibt eine Unmenge an Anwendungen, in denen diese Energiemengen sinnvoll für einen Systemeinsatz sind.

Hier nur ein paar Beispiele:

1. Korrosionssensoren in Flugzeugen
2. Automatisch abdunkelnde Fenster
3. Brückenüberwachung
4. Gebäudeautomatisierung
5. Elektrizitätsverbrauchsmesser

6. Gassensoren

7. Gesundheits-Überwachung

8. Heizungs-/Klimaanlagensteuerung

9. Lichtschalter

10. Abgesetzte Pipeline-Überwachung

11. Wasserverbrauchsmesser

Ein hervorragendes Beispiel für die Möglichkeiten, die von alternativen Energien geboten werden, ist der Markt für mit Solarzellen betriebene Geräte. Dieser wächst ständig weiter, da Unternehmen nach Wegen suchen, um den Energieverbrauch zu reduzieren. Betrachten wir dazu z.B. Smart-Meter. Sie werden im Smart-Grid eingesetzt und es wäre vorteilhaft für sie, wenn sie von einer Energiequelle in der Umgebung versorgt würden, um die Betriebsenergiekosten zu senken. Und eine nutzbare und unerschöpfliche Energiequelle sind die Solarzellen. Solarenergie ist jedoch variabel und unzuverlässig, weswegen nahezu alle solarbetriebene Geräte auch wieder aufladbare Batterien enthalten. Deshalb wäre es ein wichtiges Ziel, soviel Solarenergie wie nur möglich zu extrahieren, um diese Batterien schnell zu laden und ihren Ladungszustand für die Nutzung als Energiequelle zu erhalten, wenn die Solarenergie nicht verfügbar ist.

Eine Nanopower-IC-Lösung

Es ist klar, dass WSNs nur sehr kleine Mengen an Energie zur Verfügung haben. Dies bedeutet wiederum, dass die im System eingesetzten Komponenten in

der Lage sein müssen, mit diesen geringen Leistungspegeln zu Recht zu kommen. Während dies bei den Mikrocontrollern und Transceivern bereits erreicht ist, klafft auf der Leistungswandlungsseite der Gleichung noch eine Lücke. Allerdings stellte Linear Technology seinen LTC3330 vor, der speziell dazu ausgelegt ist, diese Anforderungen zu erfüllen, wie Bild 1 illustriert.

Der LTC3330 ist eine vollständig regelnde Energieerntende Lösung, die bis zu 125 mA kontinuierlichen Ausgangsstrom liefert, um die Batteriebetriebszeit zu verlängern, wenn erntbare Energie verfügbar ist. Er benötigt keinen Versorgungsstrom von der Batterie, wenn er geregelte Leistung an den Verbraucher aus der geernteten Energie liefert und nur 750 nA, wenn er von der Batterie ohne Verbraucher versorgt wird. Der LTC3330 enthält eine energieerntende Hochspannungs-Stromversorgung, plus einen synchronen Auf-/Abwärtswandler, wenn er aus einer Primärbatterie versorgt wird, um einen einzigen nicht unterbrechbaren Ausgang für Energieerntende Applikationen zu kreieren, wie sie in drahtlosen Sensornetzwerken vorkommen.

Die energieerntende Stromversorgung des LTC3330, die aus einer Graetz-Schaltung besteht, die AC- oder DC-Eingänge handhabt, und einem synchronen Abwärtswandler mit hohem Wirkungsgrad, erntet Energie aus piezoelektrischen (AC), solaren (DC) oder magnetischen (AC) Quellen. Die Eingangsleistung der Primärbatterie versorgt einen synchronen Auf-/Abwärtswandler, der mit 1,8

V bis 5,5 V Eingangsspannung arbeitet und eingesetzt werden kann, wenn die geerntete Energie nicht verfügbar ist, um den Ausgang zu regeln, unabhängig ob der Eingang über, unter oder gleich dem Ausgang ist. Der LTC3330 geht automatisch auf die Batterie über, wenn die Energieerntende Quelle nicht länger verfügbar ist. Dies hat den zusätzlichen Vorteil, dass die batteriebetriebenen WSNs ihre Betriebszeit von zehn Jahren auf über 20 Jahre steigern können, wenn eine geeignete energieerntende Quelle mindestens die Hälfte der Zeit verfügbar ist und noch wesentlich länger, wenn die Energieerntende Quelle länger verfügbar ist.

Zusammenfassung

Auch wenn portable Applikationen und energieerntende Systeme für ihren korrekten Betrieb eine Vielzahl an Leistungspegeln haben, von Mikrowatt bis über 1 Watt, gibt es für den Systementwickler viele Leistungswandler-ICs zur Auswahl. Am unteren Ende des Leistungsbereichs, an dem Ströme im Bereich von Nanoampere gewandelt werden müssen, ist die Auswahl jedoch begrenzt.

Glücklicherweise ist der Energieerntende- & Batteriebetriebsdauer-Erweiterungsbaustein LTC3330, mit seinem extrem geringen Ruhestrom ideal für Anwendungen mit geringer Versorgungsleistung geeignet. Ein Ruhestrom von unter 1 Mikroampere verlängert die Batteriebetriebsdauer für Standby-Schaltungen in portabler Elektronik und ermöglicht eine neue Generation von Energieerntenden Applikationen, wie WSNs. ◀