ULP-Kurzstrecken-Transceiver

In den letzten Jahren hat sich der Markt für drahtlose Sensornetzwerke (WSN = wireless sensor networks) und Funkgeräte mit ultra-niedriger Leistung extrem ausgeweitet. Der Einsatz dieser Komponenten ermöglicht den Übergang zu einer weitgehend kontinuierlichen Übertragung der Daten von vielen verteilten Messpunkten.

Ihre Stromversorgung erfolgt üblicherweise durch kleinere Batterien oder durch Energieernte. WSN-Anwendungen umfassen Kurzstrecken-Maschine/Maschine-Verbindungen (M2M), medizinische Fühler am Körper und eine Menge anderer Anwendungen für wachsende neue Märkte im Erfassen und in der Automatisierung. Drahtlose Sensoren am Körper werden grob in zwei Kategorien von Netzen eingeteilt:

- Drahtloses Netzwerk für den persönlichen Bereich (WPAN)
- Drahtloses Netzwerk für den nahen Körperbereich (WBAN)

WPAN ist der Netzbereich um eine Einzelperson, die den Lebens- oder Arbeitsbereich umfasst, gewöhnlich bis zu zehn Metern. Er verwendet Protokolle wie Bluetooth und ZigBee.

Unter Verwendung der Application Note: „Ultra-Low Power Short Range Radio Transceivers“
Reghu Rajan, Microsemi CMPG
Microsemi Corporation
www.microsemi.com

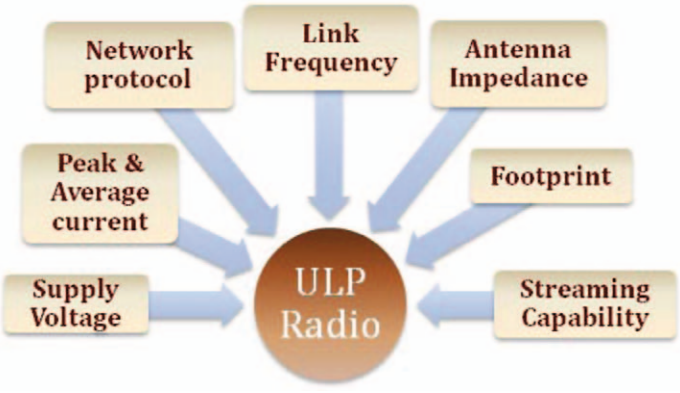

Bild 1: Anforderungen an einen Ultra-Low Power-Transceiver

WBAN ist ein kleinerer, drahtloser Netzbereich um eine Person, normalerweise bis zu einem Meter. Er wird für die Kommunikation der Sensoren verwendet, die mit dem menschlichen Körper verbunden sind. Obgleich WPAN und WBAN definierte eigene Netzbereiche sind, überlappen viele Anwendungen die beiden Netzbereiche. Eine wichtige Komponente für ULP-WSNs sind effiziente Energiespeicherung und -management. Mikroleistungsbatterien, wie z.B. Dünnschichtbatterien, haben in den letzten Jahren große technologische Fortschritte gemacht, desgleichen Lösungen für das Mikroleistungsmanagement. Fortschritte in der ULP-Technologie ermöglichen es, AA- oder AAA-Batterien durch Energiespeicher mit kleineren Kapazitäten und Baugrößen zu ersetzen.

Der derzeit letzte Schritt in der WSN-Technologie ist eine neue Kategorie drahtlose Fühler, die durch geerntete Energie betrieben werden, so dass sie keinen Batterieaustausch erfordern. Sie eignen sich besonders für die Erfassung und Überwachung von schwer erreichbaren Umgebungen und Anwendungen, in denen Energie geerntet werden kann. An drahtlose Fühler, die mit geernteter Energie arbeiten, werden mehrere Anforderungen gestellt, die strenger als bei batteriebetriebenen drahtlosen Sensoren sind:

- niedrige Spitzenleistung
- ultra-niedriger Standby-Strom
- insgesamt niedriger Leistungsverbrauch

Dies ist ein verhältnismäßig neues Gebiet der WSN-Technologie und hat weit verbreitete Anwendungsbereiche wie z.B. Medizintechnik, M2M, Militär und der Forschung.

Die Technologie- und Designüberlegungen beim Kurzstrecken-Transceiver spielen eine Rolle bei der Leistungsfähigkeit dieser Low-Power-Drahtlossensoren. Damit der Transceiver für die erwähnten Anwendungen geeignet ist, muss er die in Bild 1 in Kategorien zusammengefassten Anforderungen erfüllen.

Entscheidende Faktoren

Die Stromversorgung des Sender/Empfängers ist ein entscheidender Faktor bei der Auslegung des drahtlosen Sensors und seiner Anwendung. Da die meisten ULP-Sensoren aus kleinen Batterien oder Energieernte-Quellen betrieben werden, sind Stromversorgungen unter 2 V sehr begehrt. Die meisten Sensoren arbeiten problemlos mit einer Einzelzelle, abhängig von der Batteriechemie. Transceiver, die ab 1,1 V arbeiten, geben zusätzliche Flexibilität für das Sensor-Design und reduzieren die Beschränkungen des Leistungs-Managements. Die Versorgungsspannung, der Energiebedarf des Leistungsverstärkers (bei vergleichbarem Bereich) und die Link-Datenrate werden oft ignoriert, wenn man unterschiedliche Lösungen vergleicht. Jedoch haben alle drei eine erhebliche Auswirkung. Ein mit 2,5 V arbeitendes Funkgerät verbraucht doppelt so viel Leistung wie ein Gerät mit der gleichen Stromaufnahme aber der halben Betriebsspannung von 1,25 V. Betrieb mit höherer Spannung wird nur erforderlich, wenn eine Ausgangsleistung von mehr als 5 dBm erforderlich ist. Dies ist nicht der Fall bei Kurzstreckenanwendungen, wo die

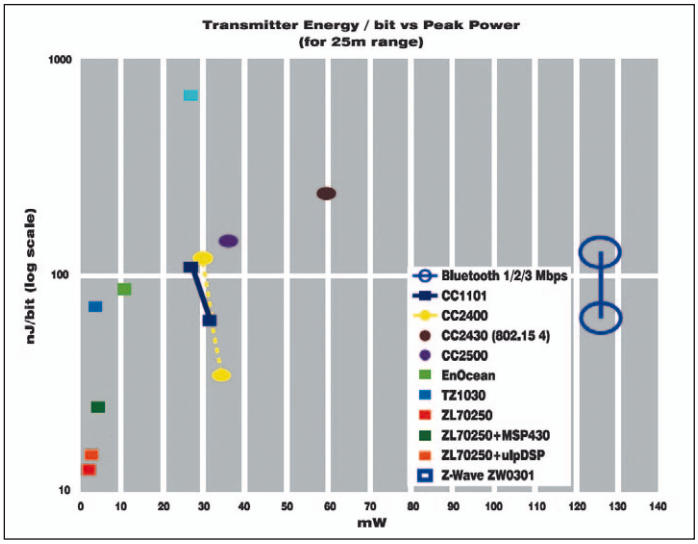

Bild 2: Energie pro Bit vs. Spitzenleistung

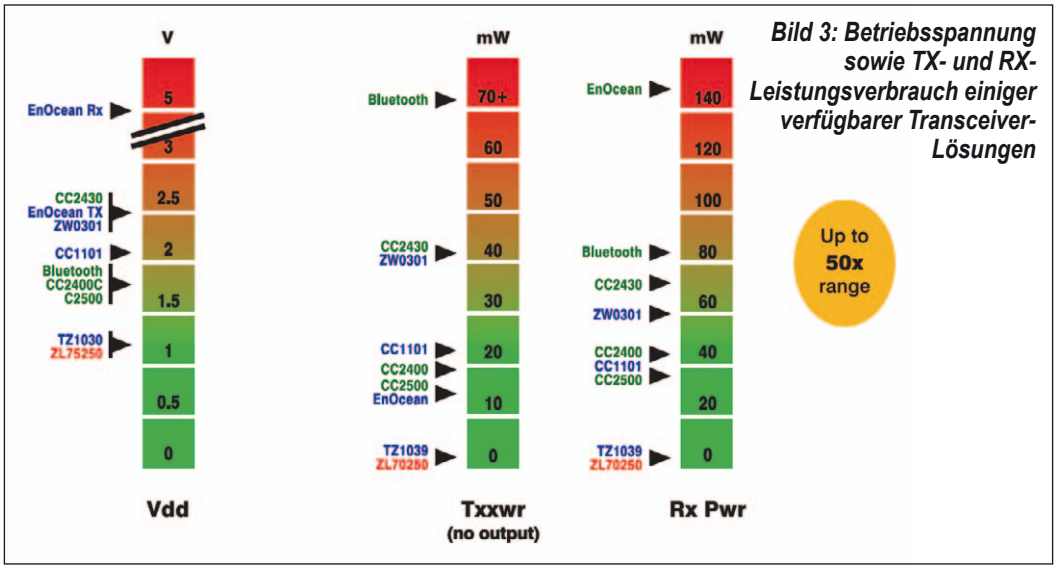

Bild 3: Betriebsspannung sowie TX- und RX-Leistungsverbrauch einiger verfügbarer Transceiver-Lösungen

Ausgangsleistung selten über 0 dBm liegt. Niedrige Versorgungsspannung ist eine einfache Möglichkeit, um die Leistungsaufnahme auf Systemebene zu verringern, aber sie erfordert ein für niedrige Betriebsspannung ausgelegtes HF-IC.

Spitzenstrom ist ein anderer Schlüsselparameter für Sender/Empfänger. Fast alle drahtlosen Sensornetze verwenden Duty-cycling, um Leistung zu sparen. Dieses erzeugt Spitzen im Stromaufnahmeprofil des Sensors. Funkgeräte, die hohe Spitzenströme aufweisen erlegen dem Leistungsmanagement Einschränkungen auf und machen die Unterdrückung von Betriebsspannungsschwankungen schwieriger.

Diese Einschränkung ist für drahtlose Sensoren, die mit geernteter Energie versorgt werden, sogar noch wichtiger. Oft haben die Wandler von Energieerntemaschinen eine höhere Ausgangsimpedanz als Batterien. Die Mikroleistungsmanagement-Ebene zwischen dem Signalumformer und dem Sensor konvertiert die Eigenschaften der Stromversorgung, einschließlich der Quellimpedanz. Folglich verringert der niedrige Spitzenstromverbrauch im Transceiver die Einschränkungen hinsichtlich der Stromversorgung des drahtlosen Sensors.

Bei einem Sender kann die Leistungsaufnahme des PA sehr groß sein. Viele 802.15.4- oder Bluetooth-Funkgeräte verbrauchen 25 – 40 mW zur Überbrückung von 25 Meter Freiraum, wobei über 95% der Leistung vergeudet werden. Bild 2 zeigt die Energie pro Bit gegenüber der Spitzenleistung einiger verfügbarer Transceiver-Lösungen für 25 m Funkstrecke. Für Batterie- oder durch Energieernte betriebene Systeme würde die optimale Kombination idealerweise in der linken unteren Ecke liegen.

Vom Gesichtspunkt des PA aus bestimmt der Empfänger die notwendigen Leistungsdaten. Seine Empfindlichkeit definiert, für einen gegebenen Bereich, wie viel Leistung ausgestrahlt werden muss. Die meisten Funkgeräte liegen im Empfindlichkeitsbereich -85 dBm bis -95 dBm, was in der Praxis einen Faktor 10 in der PA-Leistungsaufnahme bewirkt. Die drei Hauptfaktoren, welche sich auf die Leistungsaufnahme auswirken, sind:

- Empfängerempfindlichkeit
- Trägerfrequenz
- Ausgang-Impedanz.

Sie addieren sich und können dadurch zusammen die PA-Leistungsaufnahme, für einen identischen Bereich, über zwei Größenordnungen hinweg beeinflussen. Bild 3 vergleicht die Versorgungsspannung, sowie den Leistungsverbrauch gebräuchlicher Transceiver beim Senden und Empfang.

Ein anderer wichtiger Parameter, der die PA-Leistungsaufnahme beeinflusst, ist die Ausgangsimpedanz. Die meisten Funkgeräte haben Ausgangsimpedanzen unter 100 Ohm. Niedrige Impedanz ist nur bei hoher Ausgangsleistung für längere Strecken erforderlic, allerdings führt sie zur fünffachen Stromaufnahme gegenüber hoher Impedanz, die mehr für drahtlose Kurzstrecken verwendet werden. Nimmt man insgesamt eine ähnliche Empfängerempfindlichkeit und PA-Leistungsfähigkeit an, würde ein hochohmiges 900-MHz-Funkgerät nur 1 mW in seinem PA benötigen, um den gleichen Bereich zu überbrücken, wie ein 50-Ohm-2,4-GHz Funkgerät mit 25 mW bis 40 mW.

Die Wahl der Trägerfrequenz ist ein wichtiger Parameter für den Sender/Empfänger. Die beiden vorhandenen Optionen innerhalb der industriellen, wissenschaftlichen und medizinischen (ISM) Funkbänder sind 2,4 GHz oder Sub-GHz-Bereiche. Die nachfolgende Aufstellung listet einige der bei der Wahl zu berücksichtigenden Faktoren auf:

- Bereich
- Leistungsaufnahme
- Bitgeschwindigkeiten
- Antennengröße
- Interoperabilität
- Weltweite Verwendung

Wi-Fi-, Bluetooth- und ZigBee-Technologien sind die intensiv vermarkteten 2,4-GHz-Protokolle, die heute weitgehend verwendet werden. Sub-GHz-Systeme dagegen bieten Vorteile bei Low-Power-Anwendungen mit niedriger Bitgeschwindigkeit, wie z.B. drahtlose Sensoren, ULP-Kurzstrecken-Transceiver, der drahtlosen medizinischen Überwachung oder z.B. beim intelligenten Dosieren. Sub-Gigahertz-Trägerfrequenzen

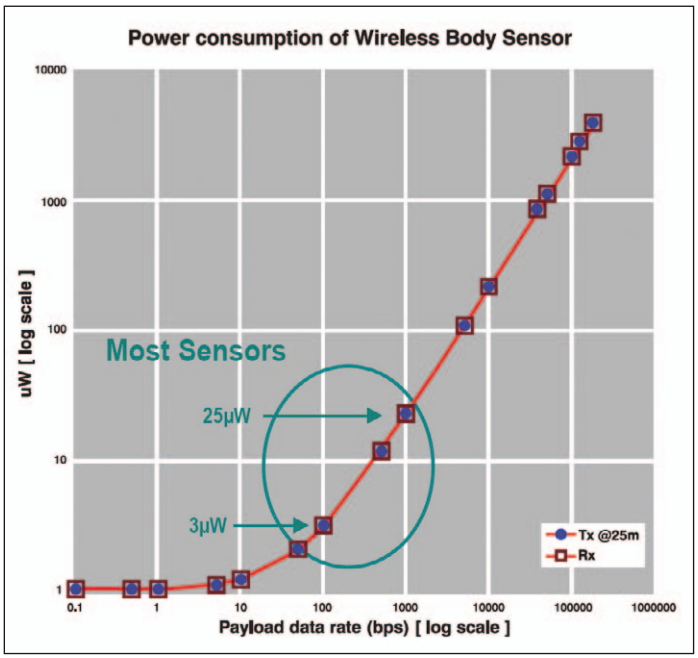

Bild 4: Durchschnittliche Leistung vs. Payload-Datenrate eines drahtlosen Sensors mit dem ZL70250-Transceiver (Microsemi)

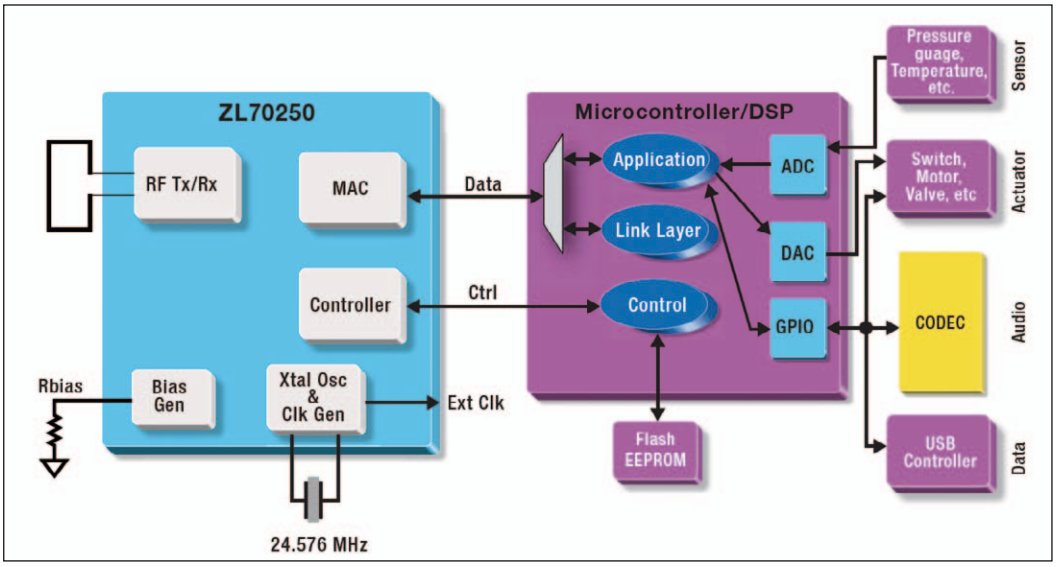

Bild 5: Block-Diagramm eines typischen drahtlosen Sensors, basierend auf einem ZL70250

haben eine Reihe von Vorteilen gegenüber 2,4 GHz:

Bereich- und Signalqualität

Zwar durchdringen Funkwellen Wände und andere Hindernisse, jedoch wird dabei das Signal geschwächt. Die Dämpfungsraten steigen bei höheren Frequenzen, daher wird das 2,4-GHz-Signal auch stärker als ein Sub-GHz-Signal gedämpft. Desgleichen ist die Dämpfung bei 2,4 GHz-Signalen größer, wenn sie an dichten Oberflächen reflektiert werden. In bebautem Gelände kann sich die 2,4-GHz-Übertragung sehr schnell abschwächen, was nachteilig die Signalqualität beeinflusst.

- Biologische Materialien absorbieren HF-Energie in Abhängigkeit von der Frequenz. Niedrigere Frequenzen können leichter in den Körper eindringen, ohne absorbiert zu werden, im Vergleich zu einem 2,4-GHz-Link.
- Obwohl sich Funkwellen in einer geraden Linie ausbreiten, biegen sie sich trotzdem beim Auftreffen auf eine stabile Kante (wie die Ecke eines Gebäudes). Nimmt die Frequenz ab, erhöht sich der Beugungswinkel noch und ermöglicht es Sub-GHz-Signalen sich noch weiter um ein Hindernis zu verbiegen und damit den Blockiereffekt zu reduzieren..

Die Friis-Gleichung demonstriert die überlegenen Ausbreitungseigenschaften des Sub-GHz-Funkbereichs und zeigt, dass die Streckendämpfung bei 2.4 GHz um 8.5 dB höher als bei 900 MHz ist. Dies bedeutet, dass ein 900-MHz-Signal die 2,67fache Ausbreitungsreichweite hat, da sich der Bereich mit jeder Zunahme der Leistung um 6 dB verdoppelt. Um den Bereich eines 900-MHz-Geräts zu erreichen würde eine 2,4-GHz-Lösung eine um 8,5 dB höhere zusätzliche Leistung benötigen.

Sowohl Leistungs-Wirkungsgrad als auch Systembereich sind Funktionen der Empfängerempfindlichkeit und der Übertragungsfrequenz. Die Empfindlichkeit ist umgekehrt proportional zur Kanalbandbreite, so dass eine schmalere Bandbreite zu höherer Empfängerempfindlichkeit führt und effizienten Betrieb bei niedrigeren Übertragungsraten erlaubt.

Wenn z.B. bei 300 MHz die Frequenzfehler des Sender- und des Empfängerquarzes jeweils 10 ppm betragen, entspricht das 3 kHz für jeden Quarz. Damit diese Anordnung effizient arbeitet, muss die minimale Kanalbandbreite doppelt so groß wie der Frequenzfehler sein, also 6 kHz, was für Schmalbandanwendungen ideal ist. Das gleiche Szenario bei 2,4 GHz benötigt eine minimale Kanalbandreite von 48 kHz, was nicht nur Bandbreite für Schmalbandanwendungen vergeudet sondern vor allem mehr Leistung benötigt.

Größerer Bereich, niedrige Interferenzen und geringe Leistungsaufnahme sind grundlegende Vorteile von Sub-GHz- gegenüber 2,4-GHz-Anwendungen. Einer der Nachteile, die häufig zitiert werden, ist, dass die Antennen größer als die in den 2,4-GHz-Netzen sind. Die optimale Antennengröße für Anwendungen bei 433 MHz zum Beispiel kann bis zu 17,5 cm betragen. Spielt die Größe bei Knoten eine Rolle, kann die Frequenz auch bis zu 950 MHz angehoben werden.

Die Gesamt-Leistungsaufnahme eines drahtlosen Sensors hängt natürlich auch von der Zeit ab, die benötigt wird, um die Daten zu übertragen. Sie ist abhängig von der geforderten Datenrate und dem verwendeten Übertragungsprotokoll. Die Bitgeschwindigkeit ist einer der wichtigsten Faktoren, der die Leistungsaufnahme in drahtlosen Links bestimmt. Ein 100-kps-Funkgerät verbraucht dabei ungefähr die halbe Leistung eines 50-kps-Gerätes bei gleicher Datenmenge.

Beim Vergleich von HF-Transceivern ist die Energie pro Bit ein besserer Indikator als die Stromaufnahme. Aber Funkgeräte mit hoher Bitgeschwindig-

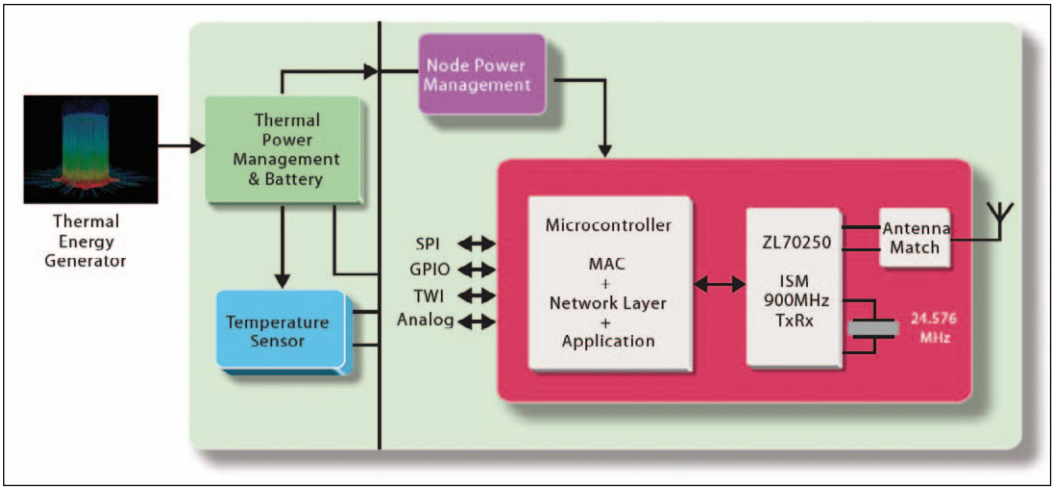

Bild 6: Block-Diagramn eines drahtlosen Sensors, der mit einem Energie-Harvester versorgt wird

keit haben häufig einen größeren Spitzenstrom. Sie sind daher mit kleinen Batterien durch Energieerntemaschinen nur schlecht zu versorgen

Auf der Netzebene hat das Protokoll eine erhebliche Auswirkung auf das durchschnittliche Leistungsbudget. Heutige Standards, wie 802.15.4 (ZigBee) oder Bluetooth bieten hoch entwickelte Link- und Vermittlungsschichten an. Aber sie verbrauchen ca. 50 bis 75% der gesamten Leistungsaufnahme. Für Ultra-Kleinleistungs-Anlagen sollte man stattdessen erwägen, ein Protokoll zu verwenden, das entsprechend des Bedarfs optimiert wird.

Die Latenzzeitanforderung des Netzes hat ebenfalls eine erhebliche Auswirkung auf den Leistungsverbrauch, speziell des Empfängers. Er wird um so größer je länger der Empfänger auf ein Signal warten muss. In 802.15.4 Maschennetzen zum Beispiel werden ungefähr 9 Prozent der Anlagenleistung für den Empfang verbraucht. Die niedrigste mögliche Empfänger-Leistungsaufnahme ist daher meist zum Erzielen von ultra-kleiner Leistungsaufnahme wesentlich.

Microsemis Low-Power-Funk-Technologie

Der ZL70250 ist ein völlig integrierter ULP-Sub-Gigahertz ISM-Transceiver von Microsemi für Anwendungen, in denen Leistung kritisch ist. Trotz seines sehr niedrigen Leistungsverbrauchs liefert der ZL70250 noch eine genügend hohe Bitgeschwindigkeit um Sprach- oder Musikübertragung zu ermöglichen. Mit über 186 Kb/s hat er genügend Bandbreite zum kontinuierlichen Übertragen eines Biosignals wie ein EKG, für eine Qualitäts-Telefonverbindung oder Qualitätssound mit irgend einer Form von ULP-Signalaufbereitung. Mit einer Gesamt-Leistungsaufnahme von ungefähr 4 - 5 mW, könnte ein Kopfhörer, der klein genug ist, um in das Ohr zu passen, über 10 Stunden lang arbeiten.

ULP- HF-Technologie ist in den Anwendungen kritisch, in denen Leistung die größte Bedeutung hat und mehr als 10 Bit/s übertragen werden. Wo früher am Körper getragene drahtlose Fühler nur für langsam sich ändernde Parameter benutzt werden konnten, können neue HF-Technologien heute bei der Beobachtung schneller sich ändernder physiologischer Parameter helfen, wie z.B. der elektrischen Gehirnaktivität oder der Blutoxydation, die 0,5 bis 5 Kb/s benötigen, um aussagefähige Kurvenformen zu ermöglichen. Ein drahtloser Körpersensor, der auf dem ZL70250 basiert, würde im Durchschnitt weniger als 100 µA verbrauchen, so dass Dünnschichtbatterien oder sogar thermoelektrische Energieerntemaschinen zur Versorgung ausreichen würden.

Der ZL70250 wird als CSP-Package geliefert (ungefähr 2 mm x 3 mm), ideal für einen kleinen Formfaktor der Einheit. Der ZL70250 ist mit einer 2-drahtigen SPI-Standardschnittstelle für die Steuerung und Datenübertragung durch einen beliebigen Standardmikrocontroller ausgestattet, je nach Anwendung. Die typische Verwendung des ZL70250 als Sensor zeigt Bild 5. Ein Mikrocontroller bildet gewöhnlich das Interface zwischen dem ZL70250 und einer anwendungsspezifischen Sensor- oder Ausgabeeinheit.

Der ZL70250 hat einen der niedrigsten Spitzenströme in der Industrie, was ihn ideal für geerntete Energie-Anwendungen geeignet macht. Ein Prototyp eines am Körper getragenen drahtlosen Sensors zur Messung der Körpertemperatur, wurde zum Beispiel erfolgreich mit einem thermoelektrischen Generator versorgt (TEG). Bild 6 zeigt die Struktur einer derartigen Sensors, der niemals einen Batterieaustausch erforderlich macht. ◄