Einführung in die BodyCom-Technologie

Das BodyCom-System ist eine neue, drahtlose Nahbereichs-Verbindungstechnik, welche die Fähigkeit des menschlichen Körpers verwendet, einige Signale übertragen zu können, die eine intuitive, einfache und sichere Kommunikation zwischen zwei elektronisch kompatiblen Geräten ermöglichen.

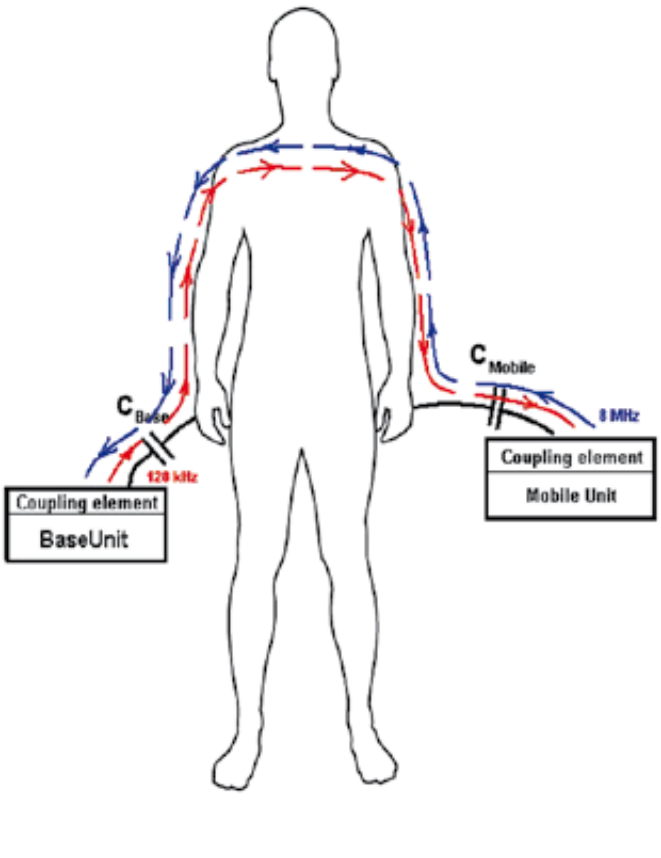

Bild 1: Funktionsprinzip des Bodycom-Systems

Kommunikation zwischen BodyCom-Systemgeräten erfolgt, wenn sie sich innerhalb eines Bereichs von wenigen Zentimetern in Körpernähe befinden: eine einfache Nähe- oder Berührungserkennung kann dann eine BodyCom-Systemverbindung herstellen.

Das System von MicroChip

Traditionell beruhen drahtlose Systeme für Fernzugriff auf einem HF-Link mit einem typischen Bereich von 400 bis 900 MHz. Während diese Systeme zwar die Annehmlichkeit der Fernbedienung bieten, erfordern sie andererseits auch eine manuelle Aktivierung vom Benutzer und ein zusätzliches Sicherheitsniveau, um zu verhindern, dass die Sicherheitscodes während des Sendens ausspioniert werden. Zwar sind diese Einschränkungen überwindbar, jedoch können sie sowohl für den Entwickler als auch den Nutzer eine Herausforderung darstellen, zum Beispiel wenn der Benutzer z.B. nach einem Einkauf – in einer

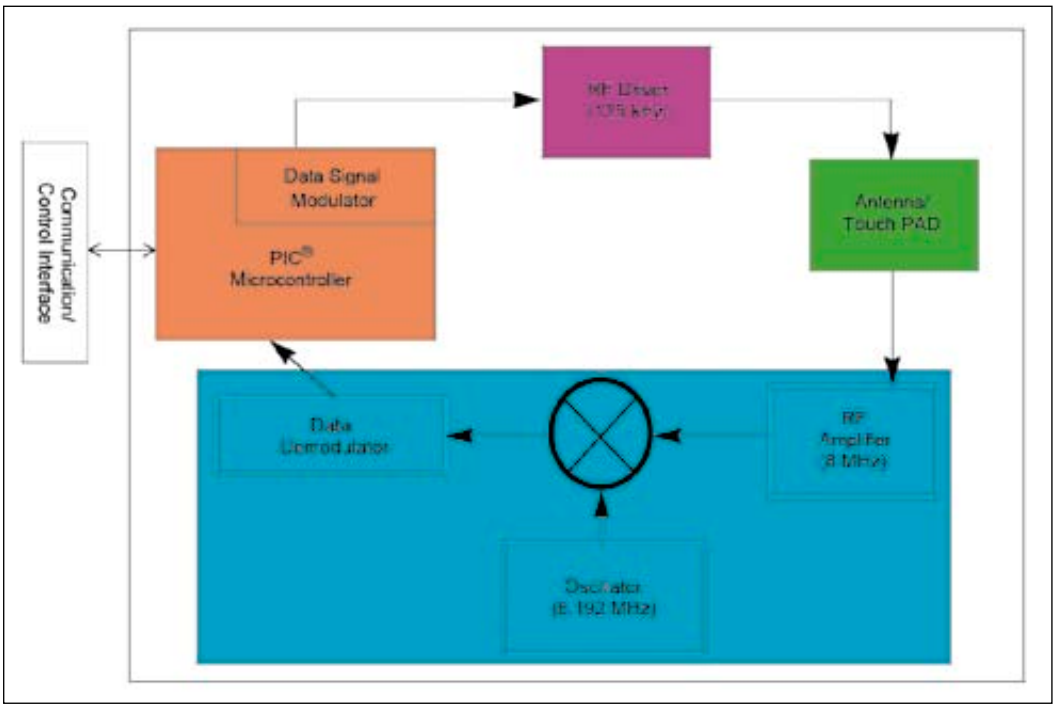

Bild 2: Blockdiagramm der Basisstation

Unter auszugsweiser Verwendung der Application Note AN1391 „Introduction to the BodyCom Technology" von Cristian Pop Microchip Technology. Inc. www.microchip.com

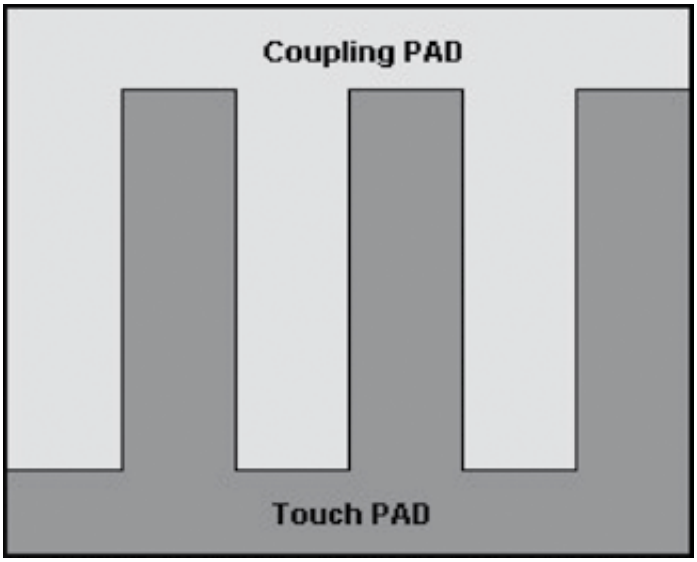

Bild 3: Koppelelement und Touch-Pad im Fingerstil

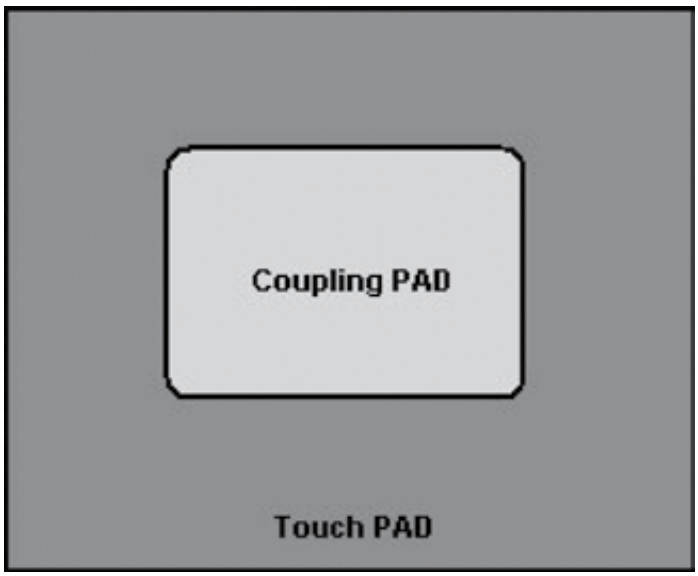

Bild 3: Koppelelement in der Mitte des Touch Pads

Hand eine Aktentasche in der anderen eine Einkaufstüte – versucht, während eines Regens in sein Haus zu kommen.

BodyCom überwindet diese Probleme indem es den Körper des Nutzers als Medium für die Datenübertragung verwendet. Die Daten werden über den Körper des Benutzers kapazitiv zwischen der Basis und den mobilen Einheiten gekoppelt. Dazu wird eine niederfrequente ASK-Modulation (Amplitude Shift Keying) verwendet, wann immer der Benutzer und die Basiseinheit in Kontakt kommen. Die Berührung des Benutzers veranlasst auch eine einfache kapazitive Kontakt-Erkennung, um die Übertragungs-Sequenz zwischen den Basis- und Mobileinheiten zu initialisieren, wenn der Benutzer anwesend ist.

Aufgrund der hohen Leitfähigkeit des menschlichen Körpers bei niedrigen Frequenzen können Übertragungen mit einem einfachen, leicht aufzubauenden System durchgeführt werden, das zwischen 60 kHz und 10 MHz arbeiten kann. Weil die Daten über den Benutzer gekoppelt werden, erfolgt keine HF-Ausstrahlung, die Sicherheitsprobleme erzeugen könnte, und die Berührungsinitialisierung des Systems macht manuelle Triggerung der Sequenz überflüssig.

BodyCom ist ein benutzerfreundliches, leicht einzusetzendes und sicheres System. Das Design ist einfach, ebenso das Design und die Produktion.

Das BodyCOM-System wurde gemäß folgender Prioritäten implementiert:

- sehr niedriger Verbrauch, besonders für die mobile Einheit
- schnelle Systemantwort
- stabile und robuste Kommunikation mit Fehlererkennung
- begrenzter Aktivitätsbereich (wenige Zentimeter), um bei einer Berührung erkennen zu können, wer die Mobileinheit trägt
- niedrige Kosten und geringe Komplexität

Der Signaltransfer verwendet kapazitive Kopplung zwischen dem menschlichen Körper, der Basiseinheit und der Mobileinheit (Bild 1). Deswegen werden die Signale bei niedrigen Frequenzen mehr gedämpft als bei höheren. Zum Ausgleich der unterschiedlichen Dämpfung werden Signale bei niedrigeren Frequenzen mit einer höheren Amplitude übertragen. Die mobile Einheit ist ein batteriebetriebenes, tragbares Gerät, bei dem niedriger Verbrauch eine Priorität ist. Die Basiseinheit kann dagegen mehr Leistung liefern.

Aus diesen wenigen Erklärungen wird schon deutlich, welche Vorteile dieses einfache System bietet. Um noch einmal das „Türöffnungsproblem“ vom Anfang zu bemühen: Hat man eine als Türöffner programmierte Mobileinheit in der Tasche in Körpernähe, genügt es jetzt, nur mit einem Finger auf einen an der Tür angebrachten Sensor der Basiseinheit zu drücken – und schon wird die Tür geöffnet, ohne mit umständlicher Akrobatik einen Schlüssel suchen zu müssen. Dieses Anwendungsbeispiel lässt sich natürlich auf viele andere Applikationen übertragen.

Die Wahl der Übertragungsfrequenz unterliegt einer Reihe von Einschränkungen, vor allem durch den Leistungsverbrauch der Mobileinheit im Empfangsmodus. Das liegt u.a. daran, dass nur wenige Low-power-Empfänger-ICs auf dem Markt angeboten werden, wodurch der mögliche Frequenzbereich auf 60 - 400 kHz beschränkt wird. Zusätzlich

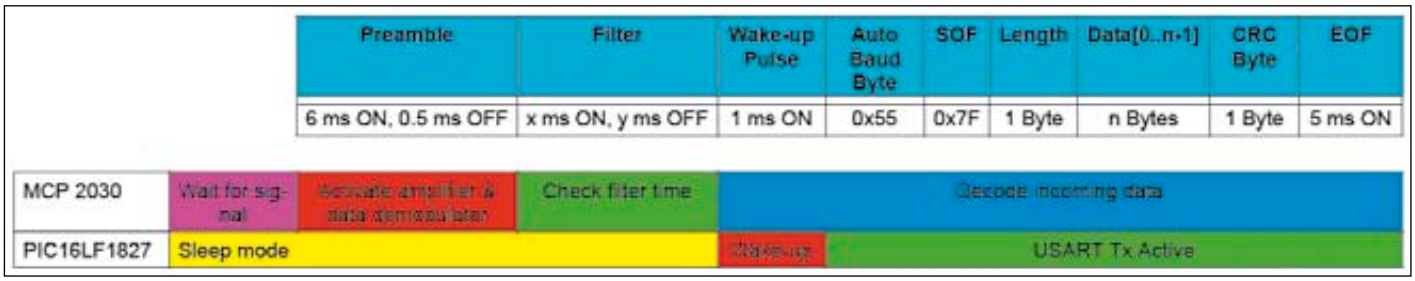

Bild 5: Empfänger Zustandsdiagramm-Funktionen

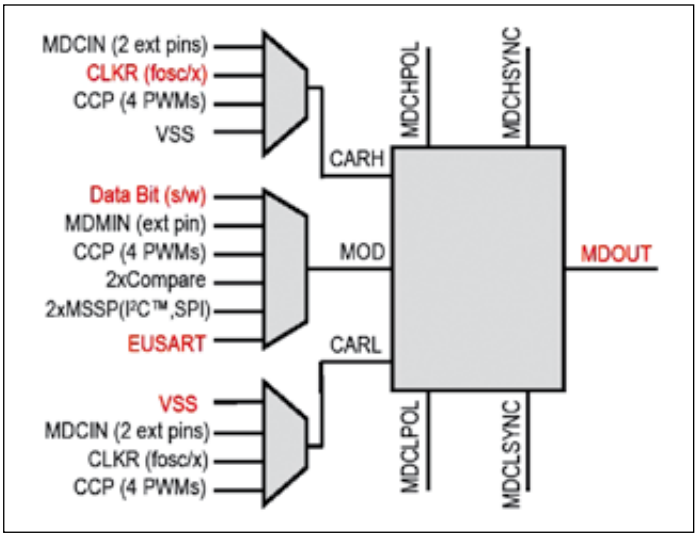

Bild 6: Datensignal-Modulator

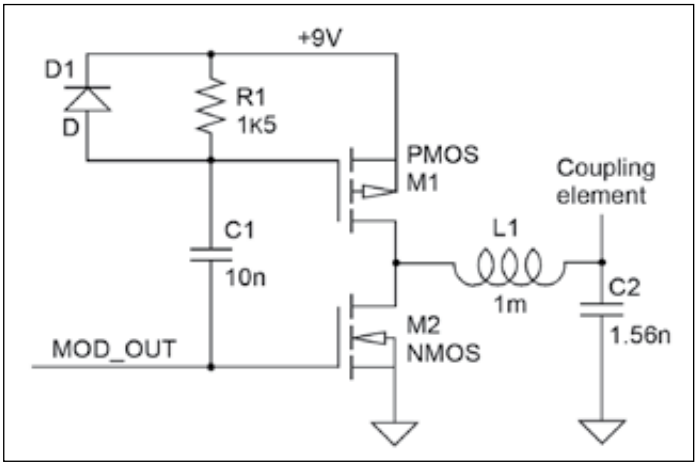

Bild 7: Halbbrücken-MOSFET-Treiber

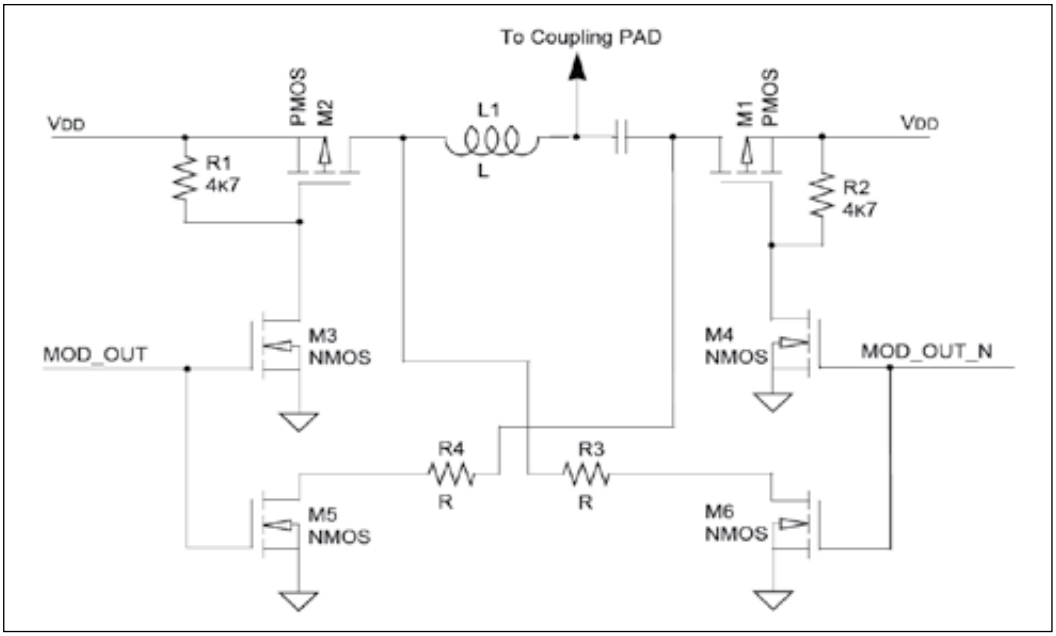

Bild 8: Vollbrücken-MOSFET-Treiber

zu dem geforderten niedrigen Stromverbrauch beim Senden, wird empfohlen, eine Frequenz zwischen 6 und 13 MHz für den Sendekanal zu verwenden, die zu optimalen Leistungen führt.

Eine Frequenz von 128 kHz wurde für den Sendekanal von der Basiseinheit zur Mobileinheit gewählt.

Eine Frequenz von 8 MHz ist für den Kanal von der mobilen Einheit zur Basiseinheit festgelegt. Die Frequenz steht bei Verwendung des auf dem Chip integrierten Oszillators zur Verfügung..

Übertragung von der Basis zur Mobileinheit

In einem BodyCom-System wird die Kommunikation von der Basisstation eingeleitet. Um mit einer Übertragung zu beginnen, wenn das System nur mit dem menschlichen Körper gekoppelt ist, führt die PIC-MCU eine ständige Berührungserkennung durch.

Sobald eine Berührung erkannt wird, stoppt der Mikrocontroller die Berührungserkennung und leitet eine Übertragung ein, die nach der Mobileinheit sucht. Die generierte Sequenz wird über einen Treiber zu einem LC-Resonanzkreis weitergeleitet. Diese Schaltung ist mit einem Koppel-Pad verbunden, welches das Signal auf den menschlichen Körper überträgt.

Wie zuvor erwähnt, wird für den Sendekanal eine niedrige Frequenz von 125 kHz verwendet, da die Basiseinheit mehr Leistung für den Sendekanal liefern kann. Dies ist möglich, weil die Basiseinheit entweder extern mit Strom versorgt oder mit einer größeren Batterie ausgestattet werden kann.

Das von der Basiseinheit generierte Signal wird zur mobilen Einheit übertragen, die typisch im Signalmodus mit niedrigem Stromverbrauch wartet. Der Empfang des gesendeten Signals veranlasst das Aufwachen des Empfängers in der mobilen Einheit.

Antwort der Mobileinheit an die Basisstation

Nachdem die Mobileinheit das gesendete Signal empfangen hat dekodiert es die Daten und antwortet, wenn eine Reaktion notwendig ist.

Die mobile Einheit wird ebenfalls kapazitiv mit dem Körper gekoppelt. Da sich der niedrigste Leistungsverbrauch beim Senden sowie die bessere Übertragung bei höheren Frequenzen ergeben, wird für den Antwortkanal eine Frequenz von 8 MHz verwendet, die auf dem Board zur Verfügung steht, wenn man den internen RC-Oszillator der PIC MCU verwendet.

Die Antwort wird von der mobilen Einheit unter Verwendung des 8-MHz-Kanals gesendet; das Signal wird durch den Körper in die Nähe der Basiseinheit übertragen und gelangt über ein Koppel-Pad zum Empfängerblock. Dabei handelt es sich um eine vollständige Empfängerlösung, die einen Vorverstärker, einen Abwärtsmischer, Filter und einen Datendecoder/Demodulator einschließt. Der Ausgang des Empfängers

ist mit dem PIC-Microcontroller verbunden. Er erhält die vollständige Sequenz und decodiert die eingehenden ‚Daten.

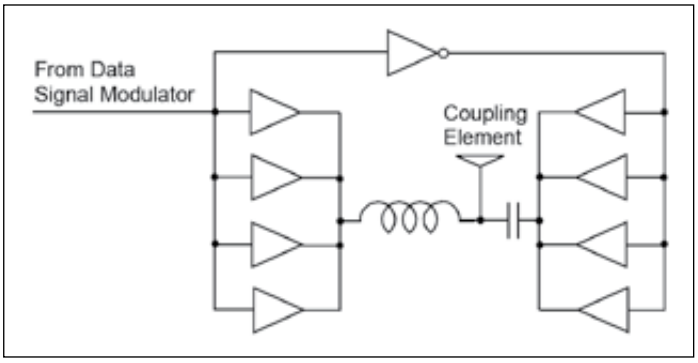

Bild 9: Vollbrücken-Treiber mit Logikgattern

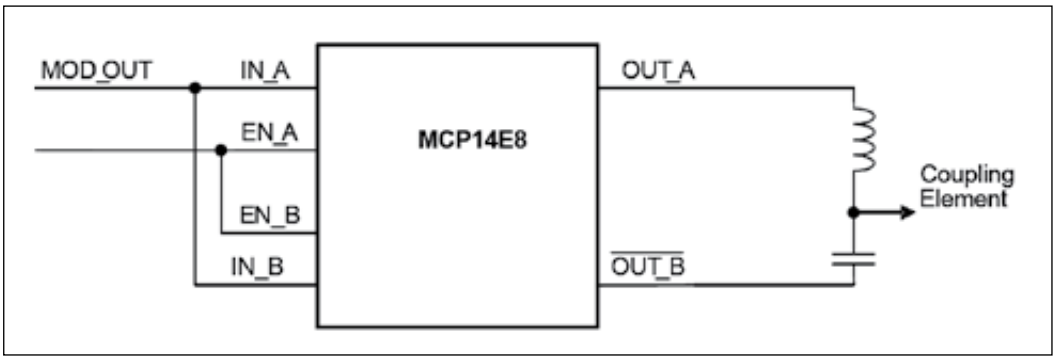

Bild 10: Vollbrückentreiber unter Verwendung integrierter MOSFET-Teiber

Blockdiagramm der Basiseinheit

Die Basis-Einheit muss in der Lage sein, folgende Aufgaben auszuführen:

- Berührungs-/Nähe-Erkennung
- Eine Aufforderung an die mobilen Einheiten senden
- Ankommende Daten empfangen und dekodieren
- einfaches Kommunikations-/Steuerungsinterface zur leichten Integration mit anderen Systemen

Bild 2 zeigt ein Blockdiagramm der Basisstation. Es enthält ein vollständiges Empfängersystem, die Senderschaltung und eine Kommunikationsschnittstelle, die alle von einem PIC-Microcontroller gesteuert werden.

Das Empfängermodul sorgt für eine stabile und effiziente Demodulation und Decodierung kompatibler Transponderdaten. Der Mikrocontroller überwacht den kompletten Sende-/Empfangsvorgang und übernimmt die Codierung/Decodierung sowie Fehlererkennung. Außerdem unterstützt er die Implementierung eines

Sicherheitsalgorithmus für sichere Kommunikation.

Das Sendermodul treibt ein Koppel-Pad, das gleichzeitig Berührung und die Nähe eines Körpers erkennt. Eine einfache serielle Schnittstelle ermöglicht die direkte Verbindung mit anderen Systemen oder Mikrocontrollern, um einfache Integration und Designflexibilität sicherzustellen.

Berührungserkennung

In einem typischen BodyCom-System wird die Kommunikation zwischen der Basis und der mobilen Einheit gestartet, wenn eine Berührung oder eine Annäherung erkannt werden. Die Basiseinheit wartet auf dieses Ereignis und leitet die Kommunikation nur ein, wenn der Nutzer das Pad berührt oder sich in der Nähe des Koppelelements befindet. Die Kopplungsdämpfung bzw. Dämpfung des niederfrequenten Signals auf dem Weg durch den menschlichen Körper begrenzt die Reichweite der Basisstation auf weniger als 1 cm.

In unserem Beispiel erfolgt die Berührungserkennung über den PIC-Mikrocontroller-Eingang unter Verwendung der CVD-Technik. Der Designer kann aber auch eine andere Methode wählen.

In einer Standardanwendung, sind das Koppelelement und die Touch Pads nahe beieinander. Während der Übertragung wird eine hohe Spannung an die Pads gelegt, was die Berührungserkennung beeinflusst. Daher wird die Berührungserkennung während dieser Periode gestoppt.

Die folgenden Konfigurationen wurden für das Verbindungselement und den Padentwurf {Konstruktion, Muster} verwendet:

1. Koppelelement und Touch Pad im Fingerstil

- die Verbindungskapazität zwischen dem Koppelelement und dem Pad ist hoch
- die Berührungs/Näheerkennung ist leicht
- das Design erfordert zwei Pads und eine Drahtverbindung zwischen dem Pad- und dem Komponentenbereich.

Dieses Design empfiehlt sich für Anwendungen, wo das Koppelelement und das Touch Pad gegeneinander isoliert sein müssen, so dass der Benutzer das Pad nicht direkt berührt.

2. Koppelelement in der Mitte des Touch Pads

- die Koppelkapazität zwischen den beiden Pads ist niedriger als bei der Lösung 1. Der Benutzer berührt das Koppelelement direkt, so dass die Dämpfung des ankommenden Signals minimal ist.

	Single Ended @9V	Full-Bridge using Logic Gates @ 5V	Full-Bridge MOSFET Transistors @ 5V	Full-Bridge using MOSFET Driver @ 5V	Full-Bridge using MOSFET Driver @ 9V
Driver complexity	Medium	Low	High	Lowest	Lowest
Driver output voltage	+++	+	+++	++	++++
Cost	Low	Low	Medium	High	High

Tabelle 1: Übersicht der Treiberkonfigurationen

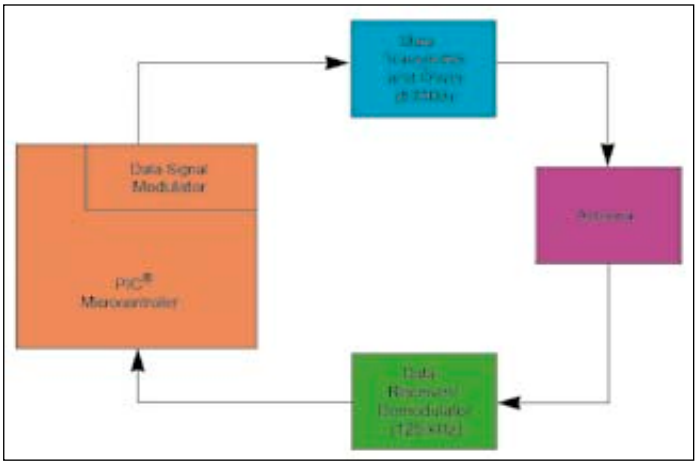

Bild 11: Blockdiagramm der Mobileinheit

- die Empfindlichkeit des Empfängers wird gegenüber der vorherigen Lösung vergrößert
- das Design erfordert zwei Drahtverbindungen zwischen dem Pad- und dem Komponentenbereich.
- Das Design empfiehlt sich für Anwendungen, die eine Annäherungserkennung erfordern.

Die Applikationsschrift von MicroChip enthält noch ein weiteres Beispiel.

Struktur des Datenpaketes

Die Struktur des für die Übertragung verwendeten Datenpaketes sollte eine stabile Kommunikation zwischen den Einheiten ermöglichen. Bild 5 zeigt die Präambelsequenz, die vom MCP2030 zur Aktivierung seiner Schaltkreise benötigt wird. Dieser Sequenz folgt ein Timing-Filter, das ein falsches Aufwecken des PIC-Mikrocontrollers minimieren soll, um damit auch den Leistungsverbrauch der gesamten Schaltung so gering wie möglich zu halten.

Die Kommunikation beginnt mit der ersten ansteigenden Flanke nach dem ersten Aufweckereignis, welches das Timing-Filter passiert hat. Dies veranlasst den PIC aufzuwachen und mit der Decodierung der Manchester-Daten zu beginnen.

Das Datenpaket ist aus zwei Teilen zusammengesetzt: einem Teil, der erforderlich ist, damit die Hardware richtig arbeitet, der zweite Teil ist eine Datensequenz. Der für die Hardware erforderliche Teil besteht aus folgender Sequenz:

- Präambelzeit – wird von der internen Schaltung des MCP2030 benötigt, um seine interne automatische Verstärkungsregelung (AGC) zu konfigurieren und auszulösen (Details siehe MCP2030 Datenblatt)
- Filterzeit, wird zur Vorabfilterung durch den MCP2030 benötigt. Diese Sequenz minimiert falsche Aufweckvorgänge

Die Datensequenz selbst ist ein Manchester-codierter Datenstrom mit folgendem Paketformat:

- Befehlsbyte - kontrolliert die Aktion des Systems
- 32-Bit Adresse - Adresse des Mobilteils
- Längenbyte - enthält die Länge des Datenpaketes
- Daten (0... n - 1) - Datenpaket

Datensignalmodulator (DSM)

Zur einfachen Modulation des Datenpaketes – bei minimaler Nutzung der Verarbeitungsleistung der PIC MCU - verwendet das BodyCom-System Mikrocontroller mit einem On-Chip-Datensignal-Modulator (PIC16F/LF182x Familie). Der Datensignal-Modulator (DSM) ist ein Peripheriebaustein, der es ermöglicht, einen Datenstrom mit einem Träger zu mischen, um ein moduliertes Ausgangssignal zu erhalten. Das DSM-Blockdiagramm zeigt Bild 6.

In einem BodyCom-System verwendet der DSM das Softwaredatenbit als

Modulationsquelle für das gesendete Signal. Für das modulierte Signal wird eine Frequenz von 125 kHz für die Basis und von 8 MHz für die mobile Einheit mit Hilfe des auf dem Chip integrierten Taktmoduls generiert und dem DSM zugeführt.

Entsprechend den MCP2030-Anforderungen liegen die erlaubten Baudraten zwischen 100 Hz und 10 kHz. Eine höhere mögliche Baudrate wird in diesem Bereich empfohlen, weil dadurch die aktive Zeit des PIC bei Empfang und Senden reduziert und dadurch der Stromverbrauch reduziert wird.

Basis-Sender und LC-Treiber

In einem typischen BodyCom-System initialisiert die Basis-Einheit die Kommunikation mit der mobilen Einheit. Der Mikrocontroller liefert eine rechteckförmige Spannung an einen Treiber, der mit einem Serien-LC-Resonanzkreis arbeitet.

Wenn eine bestimmte Treiber-Konfiguration für das BodyCom-System verwendet wird müssen die folgenden Kriterien für diese Schaltung berücksichtigt werden:

- sie muss in der Lage sein, die LC-Schaltung in Resonanz bei 125 kHz zu treiben, mit glatten und schnellen Übergängen zwischen dem on- und off-Zustand
- sie muss einen niedrigen Ausgangswiderstand im Sendemodus haben
- während des Empfangs muss sie hochohmig sein für das ankommende Signal auf (8 MHz
- der Stromverbrauch während des Empfangs oder im Leerlauf muss gering sein

Die folgenden Konfigurationen wurden für den LC-Treiber verwendet (Bild 7 – 10). Ausführliche Erläuterungen dazu finden sich in der Applikationsschrift.

Blockdiagramm der Mobileinheit

In einem BodyCom-System muss die mobile Einheit fähig sein, die eingehenden Daten zu empfangen und zu verarbeiten sowie eine Antwort zurückzusenden. Alles das sollte mit niedriem Leistungsverbrauch erfolgen. Bild 11 zeigt ein einfaches Blockdiagramm der Mobileinheit.

Auf dem Markt gibt es integrierte Bausteine für Datenempfang und Demodulation bei sehr niedrigem Stromverbrauch, aber der Frequenzbereich ist meist auf 60 - 400 kHz beschränkt. Die Frequenz sollte auf der Basiseinheit mit minimaler Belastung des PIC-Mikrocontrollers generiert werden. Aus diesem Grund wurde die Empfangsfrequenz des Mobilteils auf 125 kHz festgelegt (8,192 MHz dividiert durch 64 unter Verwendung des on-chip Taktmoduls).

Für Datenempfang und Demodulation wurde der MCP2030 gewählt; er verbraucht während des Wartezustands nur sehr wenig Leistung. Es handelt sich dabei um einen hochintegrierten Empfänger für niedrige Frequenzen, der z.B. in Low-Power-RFID-Applikationen eingesetzt wird. Er führt selbständig die Datenfilterung, Verstärkung und Erkennung bei minimalem Stromverbrauch aus.

Als Mikrocontroller wird ein PIC MCU der XLP-Serie mit niedrigem Leistungsverbrauch eingesetzt. Er muss alle ankommenden Signale decodieren. Sofern eine Antwort erforderlich ist, sollte der Mikrocontroller in der Lage sein, ein OOK-moduliertes Signal im Übertragungsbereich zwischen 6 und 13 MHz zu erzeugen. Für den aktuellen Entwurf wurde der PIC16LF1827 gewählt. Er ist ein Mitglied der XLP-Familie mit einem Netzstromverbrauch unterhalb 100 nA imn Energiesparmodus. Die

	Wait for Signal	Receive Data	Decode Data	Send Answer
MCP2030	Wait for signal (2 µA)	Decode data (10 µA)	Sleep (0.2 µA)	
PIC18LF1827	Sleep (<1 µA)	PIC® MCU clock: 500 kHz (150 µA)	PIC® MCU clock: 8 MHz (1.3 mA)	
Tx Driver	OFF (0.1 µA)			ON (15 mA)
Time (for 5000 baud rate)	NA	5 ms + (2 ms * Nbytes)	< 1 ms	16 ms + (2 ms * Nbytes)
Power Consumption	3 µA	160 µA	1.3 mA	17 mA

Tabelle 2: Typische Stromverbrauchswerte

Frequenz des Sendekanals wird mit Hilfe des 8-MHz-On-chip-Oszillators generiert.

Die Mobileinheit im Betrieb

Im Normalbetrieb führt der PIC-Mikrocontroller nach dem Einschalten die gesamte Initialisierung des MCP2030 und der internen Peripherieeinheiten durch und schaltet dann in den Sleep-Modus, um Leistung zu sparen. Ein vom Koppelement empfangenes Signal wird dem Eingang des MCP2030 über einen Kondensator zugeführt.

Der MCP2030 führt dann eine vorläufige Filterung des eingehenden Datenstroms durch (und minimiert damit die Gefahr eines falschen Aufweckvorgangs des Mikroontrollers). Wenn das Signal das im MCP2035 einprogrammierte Filterungs-Timing erfüllt, beginnt der Chip den Datenstrom auszugeben. Der PIC wacht bei der ersten ansteigenden Flanke auf und beginnt mit der Verarbeitung und Decodierung der erhaltenen Daten.

Sobald alle Daten empfangen und vom Mikrocontroller verarbeitet wurden, wird eine Antwort mit Hilfe eines OOK-modulierten-8-MHz-Signals zurückgeschickt. Nachdem die Antwortsequenz übertragen wurde, deaktiviert der Microcontroller alle internen Schaltungen und Schalter wieder zurück zum Schlafzustand. Die ausführliche Applikationsschrift von Microchip befasst sich mit Details zur Sender- und Empfängerdimensionierung sowie mit der Firmware und liefert die erforderlichen Formeln gleich mit. Außerdem findet man dort u.a. komplette Stromlaufpläne der Mobil- und der Basiseinheit. ◄

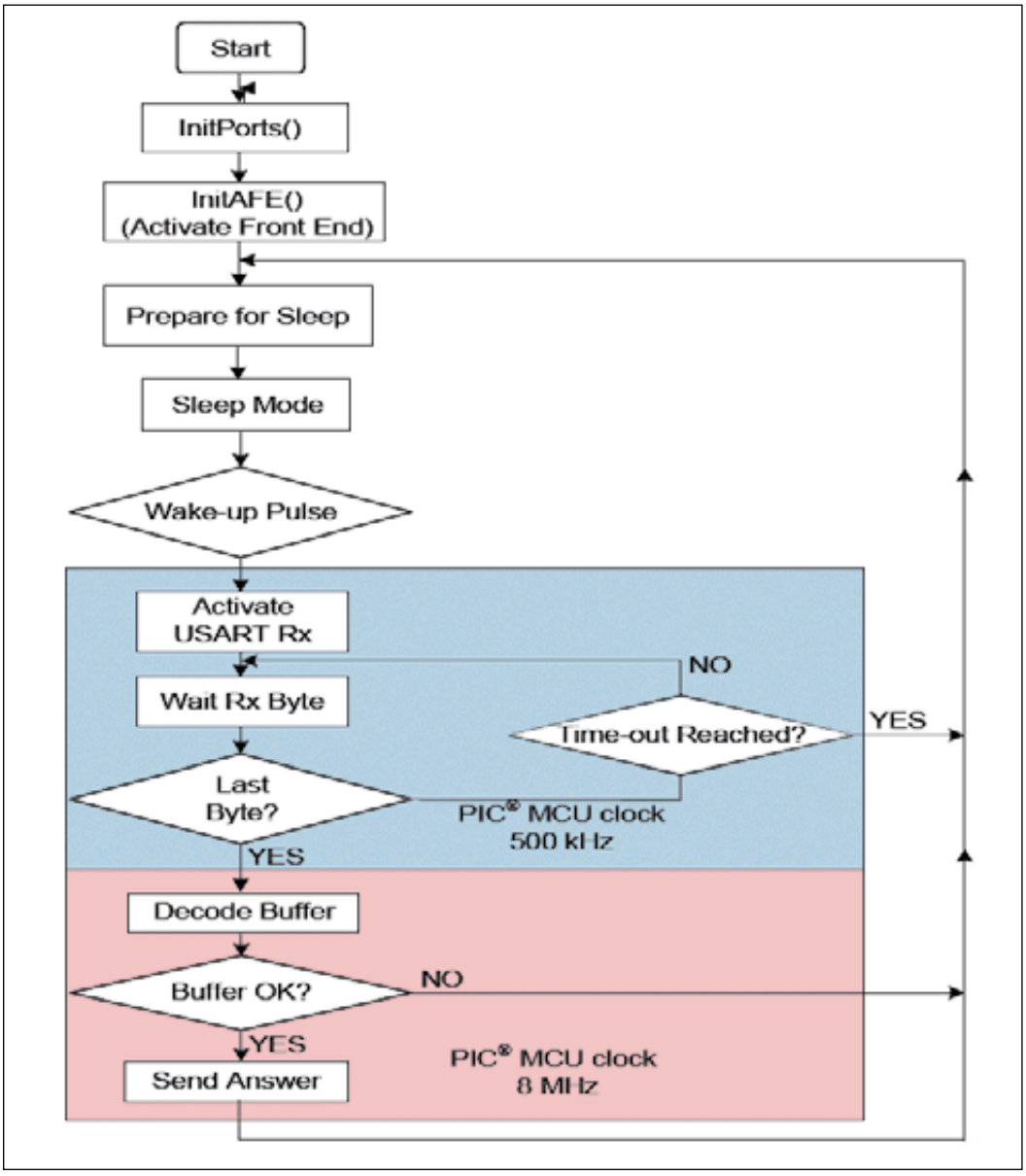

Bild 12: Status-Diagramm der Mobileinheit