

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

In der Arbeit wurden mikroelektronische Schaltung zur drahtlosen Signal- und Energieübertragung in Senorsystemen entwickelt. Dabei wurde der Schwerpunkt auf sogenannte passive Systeme gelegt, sie beziehen ihre Energieversorgung aus einer hochfrequenten Träger-schwingung und benötigen keine zusätzliche Energiequelle, wie zum Beispiel eine Batterie. Die Betrachtungen beziehen sowohl die aus der Nachrichtentechnik bekannten Übertragungsverfahren ein, wie auch die Entwicklung von Schaltungen mit äußerst geringem Energieverbrauch. Die Komplexität der Schaltungen nimmt stetig zu und der Trend nach immer kleineren Strukturen, die mit einer möglichst geringen Betriebsspannung arbeiten hält, unter anderem vorangetrieben durch das stark expandierende Gebiet der Mobilkommunikation, permanent an. Durch die Einbeziehung der Mikrosystemtechnik sind neue Möglichkeiten in der Transpondertechnik entstanden, so daß aus den ursprünglichen sehr einfachen Identifikationssystemen nun auch sogenannte RFIDS-Systeme mit integrierter Sensorik entstehen. Dies bringt nicht nur aus der wirtschaftlichen Sicht Vorteile, denn die Systeme werden immer kleiner und kompakter, sondern die Vielfalt von Anwendungsmöglichkeiten sorgen für ein breites Einsatzspektrum, so daß es nicht verwunderlich ist, daß die drahtlosen Kommunikation zu den am schnellsten wachsenden Märkten gehört. Aus Sicht der Schaltungstechnik ermöglicht die Kombination der Mikroelektronik mit der mechanischen Mikrosystemtechnik die Reduktion von Störeinflüsse, da zwischen den Sensoren und ihrer Ausleseelektronik die oftmals langen Zuleitungen oder andere parasitäre Kapazitäten wegfallen. Dadurch können Schaltungen mit einer höheren Auflösung realisiert werden.

Im ersten Teil der Arbeit wurde zunächst auf prinzipielle Aufbautechniken der heute schon standardisierten RFID-Systemen eingegangen. Dabei sind Kriterien zur Unterscheidung der einzelnen Systeme, wie Frequenzbereiche, Art der Datenübertragung und Übertragungsdistanz aufgestellt worden. Die Unterscheidungsmerkmale greifen in einander über und es ist nicht immer leicht, für einen bestimmten Anwendungsfall die entsprechenden Kriterien festzulegen.

Die zusammengefaßten Merkmale helfen die grundlegende Funktionsweisen der zahlreichen Anwendungen zu verstehen. Bei der Betrachtung sind nur die ISM-Frequenzbänder berücksichtigt worden, da sie einen lizenzfreien Zugriff erlauben und so die Kosten der Systeme nicht noch erhöht werden. Eine Besonderheit unter den RFID-Systemen ist die Erweiterung durch integrierbare Sensoren zu einem RFIDS-System. So können Sensoren identifiziert, anschließend ihre Meßwerte ausgelesen und zur Übertragung aufgearbeitet werden. Auf der Seite der Basiseinheit werden die Meßdaten demoduliert sowie dekodiert und stehen dann zu einer Weiterverarbeitung bzw. Auswertung direkt in digitaler Form bereit. Es wurden einige integrierbare Sensoren sowie Anwendungsmöglichkeiten vorgestellt.

Der Schwerpunkt der Betrachtungen lag bei passiv versorgte RFIDS-Systemen. Es wurde gezeigt, warum die zu gewährleistenden Energieübertragung auf dem Funktionsprinzip der induktiv gekoppelten Systemen beruht und wie die Abhängigkeit des Kopplungsfaktors von der Übertragungsdistanz der beiden Spulen zueinander abhängt. Unter der Betrachtung der äquivalenten Rauschbandbreite wurde der günstigste Übertrager ausgesucht. Anschließend erfolgte eine Abschätzung der benötigten Eingangsleistung um einen Transceiver ausreichend mit Energie zu versorgen. Dabei wurden die internationalen Zulassungsvorschriften berücksichtigt.

Unter dieser Voraussetzung sind verschiedene digitale Modulationsverfahren auf eine Einsatzmöglichkeit bei RFIDS-Systemen geprüft worden. Dazu wurde ein Gütefaktor aufgestellt, der die Kriterien, wie Möglichkeit der Energieübertragung, Bandbreite, Komplexität des Transceivers und Signal zu Rauschverhältnis bei einer festen Bitfehlerrate, beinhaltet. Dabei ist zwischen kohärenten und inkohärenten Detektoren unterschieden worden. Als Ergebnis läßt sich zusammenfassen, daß der inkohärente ASK-Detektor am einfachsten zu realisieren ist und deshalb seine Nachteile, wie geringerer Störabstand oder Einbußen bei der Energieübertragung durch die Modulation, toleriert werden. Zwar hatte der DBPSK-Detektor den höchsten Gütefaktor, doch bei einer kompletten Integration aller Komponenten außer der Spule ist der inkohärente ASK-Detektor einfacher zu realisieren. Ein geringer Schaltungsaufwand, bzw. keine externe Schaltungskomponenten ist neben dem geringeren Energieverbrauch auch durch die geringere benötigte Chipfläche ein wirtschaftlicher Aspekt, der nicht zu unterschätzen ist. Es folgte eine Abschätzung des Kanalrauschens sowie einige Betrachtungen zum Detektormodel.

Bei der Betrachtung der Schaltungskonzepte wurde der Schwerpunkt auf das RF-Frontend gelegt, das sich in drei Blöcke, „Versorgung“, „Taktextraktion“ und „Daten“, aufteilen läßt. Es wurden in einer CMOS-Technologie zu realisierende Konzepte für die Generation der Gleichspannung, den Spannungsbegrenzung und die Taktextraktion vorgestellt und realisiert.

Zusätzlich ist noch auf die Realisierung von Biasstromquellen und Spannungsregelungen eingegangen worden, da diese Schaltungselemente für eine stabile Funktion der analogen Ausleselektroniken der Sensoren wichtig sind. Für den Block „Daten“ wurde ein ASK-Modulator auf der Transceiverseite vorgestellt sowie eine Entwicklung eines Hüllkurvendemodulators zur Detektion der übertragenen Daten.

Aus einer Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten wurde ein Bereich herausgesucht, der in der Zukunft eine immer größere Bedeutung erlangen wird, die Medizintechnik. Durch die immer kleiner werdenden Baugrößen sind RFIDS-Systeme zur Implantation beim Menschen oder Tier möglich geworden. Dabei wird zum einen der Ansatz verfolgt einfache Meßsysteme direkt in den Körper zu verlegen, so daß die Infektionsherde wie herausgeführte Zuleitungen entfallen, und zum anderen werden körpereigene Funktionen technisch ersetzt. Dieser Ansatz ist nicht ganz unumstritten und viele Mediziner meinen die Gentechnik sei der bessere Ansatz. Doch erfolgreich arbeitende Implantate, wie das Cochlea-Implantat, zeigen die technischen Möglichkeiten auf. Innerhalb dieser Arbeit werden zwei Anwendungen aus den beiden Bereichen vorgestellt. Neben der unterschiedlichen Funktion der beiden Systeme ist die Datenübertragungsrichtung jeweils eine andere. Bei dem zuerst vorgestellten Retina-Implantat System soll die Netzhaut im Auge stimuliert werden, dazu müssen die Stimulationsdaten down-stream zum Transceiver ins Auge gesendet werden. Das intraokulare Drucksensorsystem soll die Temperatur und den Druck im Auge messen und anschließend die Meßdaten up-stream zur Basiseinheit aus dem Auge herausenden. Beide Systeme werden passiv betrieben, so daß eine theoretische lebenslange Verweildauer im Körper gewährleistet werden kann. Neben der Energie wird zum Betrieb der digitalen Schaltungselemente auch der Systemtakt mit Hilfe der hochfrequenten Trägerschwingung übertragen und im Implantat extrahiert.

Beide Systeme sind technisch realisiert und auch aufgebaut worden. Es konnte in beiden Fällen die Funktion der Systeme an Testaufbauten nachgewiesen werden. Was noch ausgeblieben ist, sind Testmessungen im implantierten Zustand, die aber in absehbarer Zeit nachgeholt werden.

Zu den Entwicklungen der Zukunft gehören sicherlich weitere Meßsysteme, wie zum Beispiel Meßsysteme zur Bestimmung chemischer Substanzen im Körper oder Meßsysteme zur Messungen von Strömungen. Der Vorreiter für solch ein System könnte ein im Moment in der Entwicklung befindliches Adern-Uboot sein, welches an einer bestimmten Stelle im Körper platziert wird und dann drahtlos zunächst nur Druck- und Temperaturwerte, später vielleicht auch Sauerstoffgehalt oder Strömungsgeschwindigkeiten, an eine Basiseinheit übermittelt.

Auch bei der Stimulation von Muskeln kann eine drahtlose Übertragung der Steuerungsbefehle oder der Daten zur Generation von Stimulationsimpulsen förderlich sein. So sind gelähmte oder teilweise gelähmte Patienten bei ihrem Lernprozeß wesentlich freier und unabhängiger in ihren Bewegungsmöglichkeiten.

Außerhalb der Medizintechnik gibt es zusätzlich viele Bereiche und Anwendungen, die die Vorteile eines RFIDS-Systems sich zu nutze machen können. Als Beispiel sind hier nur mal der Reifendrucksensor erwähnt. Mit dem Reifendrucksensor kann in Zukunft der Reifendruck und die Temperatur während der Fahrt gemessen werden, so daß bei Störungen direkt eine Meldung gemacht wird und angehalten werden kann. So können dann Unfälle vermieden werden.