

Automatic-Tuning-Device für NFC

Endbericht zum Berufspraktikum bei
NXP Semiconductors Austria

MICHAEL ROLAND

BACHELORARBEIT

eingereicht am

Fachhochschul-Bachelorstudiengang

HARDWARE/SOFTWARE SYSTEMS ENGINEERING

in Hagenberg

im Juni 2007

Betreuer: Dipl.-Ing. Mag. Josef Langer

Praktikumsstelle:

NXP Semiconductors Austria GmbH Styria
Mikronweg 1, 8101 Gratkorn, Austria

+43-(0)3124-299-DW
www.nxp.com



Kontaktperson:

Dipl.-Ing. Dr. Harald Witschnig

© Copyright 2007 Michael Roland

Alle Rechte vorbehalten

Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus anderen Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Hagenberg, am 23. Juli 2007

Michael Roland

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	iv
Kurzfassung	vii
Abstract	viii
1 Einleitung	1
1.1 Das Unternehmen	1
1.2 Radio Frequency Identification (RFID)	2
1.3 Near Field Communication (NFC)	4
1.4 Projekte und Tätigkeiten	5
2 Manuelles Tuning	6
2.1 Impedanzanpassung	6
2.2 Netzwerkanalysator und Smith-Diagramm	7
2.3 Tuningverfahren	8
3 Automatisches Tuning	10
3.1 Motivation	10
3.2 Anforderungen	10
3.3 Vorarbeiten	11
3.4 Hardware	11
3.4.1 Anpassungsschaltung	11
3.4.2 Kapazitätsarrays	11
3.4.3 Realisierung der Anpassungsschaltung	12
3.4.4 Messbrücke	12
3.4.5 Messschaltung	13
3.4.6 Auswertung und Steuerung	14
3.5 Software	15
3.5.1 Algorithmus	15
3.6 Ergebnisse	16
A Gesamtsystem	17

B Inhalt der CD-ROM	19
B.1 Bachelorarbeit	19
B.2 Abbildungen	19
B.3 Schaltungen und Messungen	20
B.4 Literatur	20
Literaturverzeichnis	21

Kurzfassung

Diese Bachelorarbeit gibt einen Einblick in die Tätigkeiten im Rahmen meines Berufspraktikums bei *NXP Semiconductors*.

Zunächst wird ein kurzer Überblick über das Unternehmen gegeben. Nach einer Einführung in die Thematiken *Radio Frequency Identification* (RFID), *Near Field Communication* (NFC) und manuelle Impedanzanpassung von Antennen an NFC-ICs wird gezeigt, wie die Hardware und die Software eines *Automatic-Tuning-Devices* entwickelt wurden.

Abstract

This essay deals with the work during my internship at *NXP Semiconductors*.

At first this essay gives an insight into the company, *Radio Frequency Identification* (RFID) and *Near Field Communication* (NFC). After an introduction to manual impedance matching of antennas to NFC-ICs it finally shows how the hardware and the software of an *Automatic-Tuning-Device* have been developed.

Kapitel 1

Einleitung

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über das Unternehmen, *NXP Semiconductors Austria*, und das Thema sowie den Ablauf des Praktikums.

1.1 Das Unternehmen

Im Jahr 2006 wurde die Halbleitersparte aus dem *Royal Philips Electronics*-Konzern ausgegliedert [7]. Das Unternehmen trägt seither den Namen *NXP Semiconductors*. Hauptgeschäftsfeld ist die Entwicklung und Herstellung von Halbleiterprodukten, mit den Schwerpunkten *Mobile & Personal, Home, Identification, Automotive* und *Multimarket Semiconductors* [6]. Parallel dazu ist *NXP Semiconductors* Eigentümer des Softwarehauses *NXP Software*. Das Unternehmen zählt weltweit zu den Topten am Halbleitermarkt [12]. Laut [7] ist *NXP* Marktführer bei den Produkten

- 5-V-CMOS-Logik für die Automobilindustrie,
- Bussysteme für die Automobilindustrie,
- digitale Signalprozessoren für Autoradios,
- kontaktlose Identifikation für elektronische Reisepässe,
- Chips für digitale Schnurlostelefone,
- FM-Radio-ICs für Mobiltelefone,
- GSM-/GPRS-/EDGE-Systeme,
- Schnittstellenprodukte,
- Lautsprechersysteme für Mobiltelefone,
- NFC (*Near Field Communication*),
- Chips für TV-Schnittstellen am PC,
- Hochfrequenzprodukte für Kabel- und Satelliten-TV-Empfänger,
- RFID (*Radio Frequency Identification*) für elektronische Tickets im öffentlichen Verkehr,

- Wegfahrsperrern und kontaktlose Zutrittssysteme,
- Chips für Fernseher und
- USB.

NXP Semiconductors hat seinen Hauptsitz in Eindhoven (Niederlande). Darüber hinaus gibt es weitere Standorte in über 20 Staaten. Weltweit beschäftigt das Unternehmen etwa 37 000 Mitarbeiter [7].

Am Standort Gratkorn sind mehr als 300 Mitarbeiter beschäftigt. Sie erforschen und entwickeln Lösungen auf den Gebieten Identifikation (RFID, *Smart Labels* und elektronische Ausweise), Automotive (Zugangssysteme, Wegfahrsperrern und Reifendrucküberwachung) und „neue Technologien“ (nicht-flüchtige Speicher, ultra-dünne Si-Kristalle, Sondermontagen und Ultra-Low-Power-CMOS) [6]. Zudem existiert, ein Stück außerhalb von Gratkorn, ein eigenes Gebäude zum Aufbau von RFID-Referenzsystemen.



Abbildung 1.1: Standort Gratkorn

1.2 Radio Frequency Identification (RFID)

Unter RFID, *Radio Frequency Identification*, versteht man kontaktlose Identifikationssysteme, bei denen Daten zwischen einem Transponder („RFID-Tag“) und einem Lesegerät („Reader“) übertragen werden.

Ursprünglich für einfache Zutrittskontrollsysteme entwickelt, findet RFID in der Zwischenzeit ein umfangreiches Anwendungsgebiet [13]. Zu den wichtigsten Anwendungen zählen elektronische Diebstahlsicherungen für Kaufhäuser, Wegfahrsperrern, Tieridentifikation, Paket- und Güteridentifikation, Produktverfolgung, Fahrscheine, elektronische Reisepässe, Ersatz für Barcodesysteme und Übermittlung von Sensordaten. RFID-Transponder können so gebaut werden, dass sie, trotz Schmutz oder fehlendem Sichtkontakt, sogar

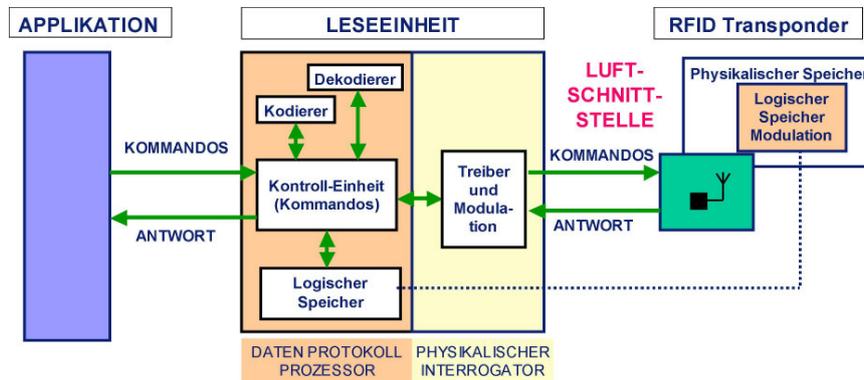


Abbildung 1.2: Leseinheit und Transponder [13]

aus größeren Entfernungen, problemlos ausgelesen werden können [13]. Dies verschafft RFID einen gewaltigen Vorteil gegenüber konventioneller Identifikationsmethoden (z. B. Barcodes). Im Vergleich zu anderen Funkübertragungssystemen hat RFID den Vorteil, dass *Tags* auch so gebaut werden können, dass sie ohne eigene Energieversorgung beschrieben und gelesen werden können [13].

Die verschiedenen Einsatzgebiete stellen unterschiedliche Anforderungen an RFID-Systeme. Die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale der einzelnen RFID-Systeme sind die Energieversorgung, die Betriebsfrequenz und das physikalische Übertragungsprinzip (Kopplung zwischen Transponder und Leseinheit) [4, 13]. Nach [3] werden RFID-Transponder, bezogen auf ihre Energieversorgung, in zwei Gruppen unterteilt:

- **Passive Transponder** Sie haben keine eigene Energieversorgung und werden durch die Leseinheit mit Energie versorgt.
- **Aktive Transponder** Sie beziehen ihre Energie (zumindest teilweise) aus einer Batterie.

Nach dem verwendeten Übertragungsprinzip lassen sich drei wesentliche Gruppen von RFID-Systemen (Tab. 1.1) unterscheiden:

- **Kapazitive Kopplung** Als kapazitive Kopplung bezeichnet man die Verbindung eines Lesegeräts mit einem Transponder über ein *starkes, hochfrequentes elektrisches Feld* [3]. Kapazitiv gekoppelte Systeme sind auf kurze Reichweiten ausgelegt.
- **Ausbreitung elektromagnetischer Wellen** Diese Art von RFID-Systemen ist für größere Distanzen geeignet. Dabei wird die Reflexion von Mikrowellen ausgenutzt.

Tabelle 1.1: Übertragungsprinzipien und zugeordnete Frequenzen [13]

Phys. Prinzip	Übertragung	Frequenzen
induktive Kopplung	alternierendes magnetisches Feld	125 kHz bis 13,56 MHz
EM-Wellenausbreitung	Radarprinzip	862–956 MHz, 2,45 GHz
kapazitive Kopplung	alternierendes elektrisches Feld	125 kHz

- Induktive Kopplung** Induktive Kopplung funktioniert nach dem Prinzip des Transformators. Energie und Daten werden mit Hilfe eines wechselnden magnetischen Feldes übertragen. Der Transponder kommuniziert mit Hilfe von Lastmodulation. Das bedeutet, dass ein Lastwiderstand R_L zu- oder weggeschaltet (Abb. 1.3) wird. Induktiv gekoppelte Systeme sind auf kurze Reichweiten ausgelegt. Das, im weite-

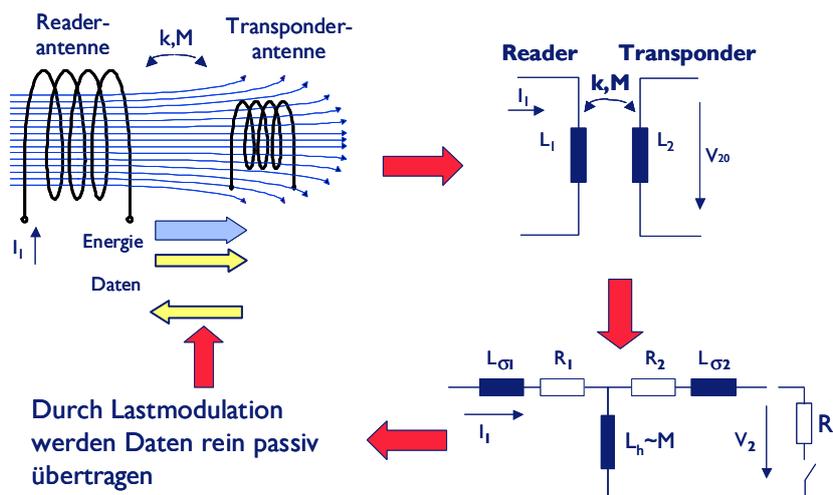


Abbildung 1.3: Induktive Kopplung [13]

ren Verlauf dieser Arbeit, behandelte System verwendet diese Art der Kopplung.

1.3 Near Field Communication (NFC)

Unter NFC, *Near Field Communication*, versteht man eine, von *NXP* (damals *Philips*) und *Sony* entwickelte, 13,56-MHz-Kommunikationstechnologie

für Distanzen bis zu 10 Zentimetern [13]. NFC ist die Weiterentwicklung bestehender RFID-Systeme [5]. Bei Übertragungsraten bis zu 424 kBit/s können NFC-Geräte miteinander oder mit RFID-Transpondern kommunizieren [13]. Hauptanwendungen dieser Technologie sind Bezahlungsfunktionen und einfacher Daten- und Informationsaustausch (z. B. Terminals zum Übertragen aktueller Nachrichten auf das Mobiltelefon.)

1.4 Projekte und Tätigkeiten

Während meines Berufspraktikums habe ich im Bereich 13,56-MHz-NFC-Technologie gearbeitet. Nachdem die Themen RFID und NFC für mich Neuland waren, verbrachte ich den ersten Teil meines Praktikums damit, mich in die Materie einzulesen. Meine wichtigsten Informationsquellen waren dabei [13] und [3]. Als nächstes konnte ich mit meiner eigentlichen Aufgabe beginnen: Die Entwicklung eines *Automatic-Tuning-Devices*. Das ist ein Gerät zur automatisierten Impedanzanpassung von NFC-Antennen. Einiges an Vorarbeit war bereits in Form einer Studien- [2] und einer Diplomarbeit [4] vorhanden. Meine Aufgabe bestand darin, einen funktionsfähigen Prototypen zu entwickeln. Dazu musste ich den Schaltplan und das Layout für eine Platine in *EAGLE*¹ zeichnen, die fertige Platine bestücken und anschließend auf ihre Funktionsfähigkeit testen. Parallel dazu war es notwendig einen Algorithmus zum automatischen Tuning zu entwickeln, in *Matlab* zu simulieren und auf einem geeigneten Mikrokontroller zu realisieren.

¹*CadSoft EAGLE Layout Editor*: <http://www.cadsoft.de/>

Kapitel 2

Manuelles Tuning

In diesem Kapitel wird erklärt, was Impedanzanpassung ist und wie das bisher verwendete, manuelle Tuningverfahren funktioniert.

2.1 Impedanzanpassung

Zur Kommunikation mit einem Transponder werden ein Reader-IC und eine geeignete Antenne benötigt. Lesegeräte werden in den unterschiedlichsten Formen gebaut. So können sie sogar in PDAs oder Mobiltelefone integriert werden. Gerade bei Mobiltelefonen muss die Bauform der Antenne stark an das Gehäuse angepasst werden. Nachdem die verwendeten Antennen von der Anwendung abhängig sind, sind auch die Antennenparameter (Induktivität, Widerstand, ...) von der Anwendung abhängig.

Der Antennenanschluss des Reader-ICs hat eine Impedanz von 50 Ohm. Deshalb müssen die Zuleitung zur Antenne und die Antenne selbst ebenfalls einen Wellenwiderstand von 50 Ohm haben. Nur so kann das Lesegerät Eigenschaften, wie eine optimale Reichweite, erreichen. Die Antenne selbst wirkt, auf Grund ihres spulenförmigen Aufbaus, vorwiegend als Induktivität. Um auf eine Impedanz von $50 \text{ Ohm} \pm j0 \text{ Ohm}$ zu kommen, wird daher ein Anpassungsnetzwerk (engl. *matching circuit*) aus Kapazitäten verwendet.

Abbildung 2.1 zeigt die gesamte Antennentopologie mit EMV-Filter, zur Gewinnung eines Sinussignals aus dem rechteckigen Ausgangssignal des Reader-ICs und zur Impedanztransformation [4, 8]), Anpassungsnetzwerk und Antenne. Um die Antenne zu tunen, das heißt an $50 \text{ Ohm} \pm j0 \text{ Ohm}$ anzupassen, wird die gesamte Antennentopologie als ein komplexer Widerstand Z (Abb. 2.2) betrachtet. Das EMV-Filter wird durch seine Resonanzfrequenz bestimmt. Diese ergibt sich aus der Summe der Betriebsfrequenz (13,56 MHz) und dem Hilfsträger der Lastmodulation (848 kHz) zu $f_r = 14,408 \text{ MHz}$. [8] gibt für dieses Filter die Werte $L_0 = 560 \text{ nH}$ und $C_0 = 221,2 \text{ pF}$ vor. Die gütesenkenden Widerstände R_Q werden verwendet, um die Antenne auf eine definierte Güte zu bringen und damit eine be-

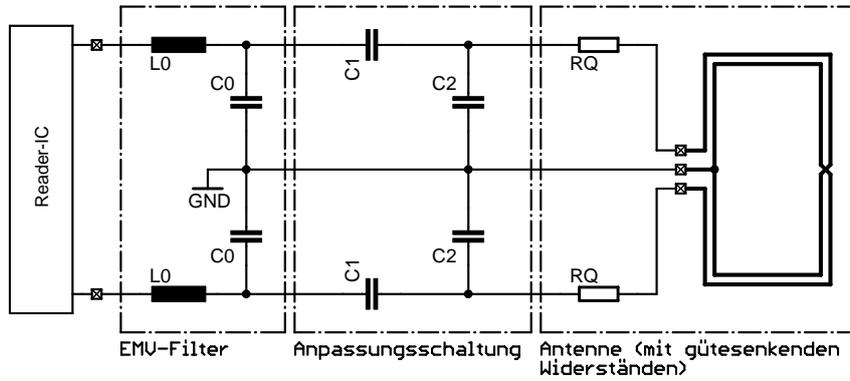


Abbildung 2.1: Standardantennentopologie [8]

stimmte Impulsform zu erzielen [8]. Die Impedanz Z kann also nur durch die Kapazitäten C_1 und C_2 beeinflusst werden.

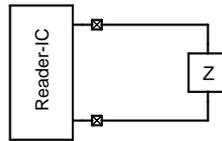


Abbildung 2.2: Antennentopologie entspricht Impedanz Z

2.2 Netzwerkanalysator und Smith-Diagramm

Zur Messung des komplexen Widerstandes Z wird ein Netzwerkanalysator verwendet. Der Netzwerkanalysator misst den Reflexionsfaktor eines Eintors (d. h. eines Netzwerkes mit einem Klemmenpaar, z. B. der Impedanz Z) über einen einstellbaren Frequenzbereich. Dieser Reflexionsfaktor, der sogenannte S_{11} -Parameter, wird in einem Smith-Diagramm (Abb 2.3) dargestellt.

Zwischen dem S_{11} -Parameter und der Impedanz Z besteht folgender Zusammenhang [9]:

$$Z(S_{11}) = Z_L \cdot \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}}, \text{ mit } Z_L = 50 \Omega$$

Aus diesem Zusammenhang ergeben sich folgende Eigenschaften des Smith-Diagramms:

- $S_{11} = -1$ ist der Kurzschlusspunkt ($Z = 0$).

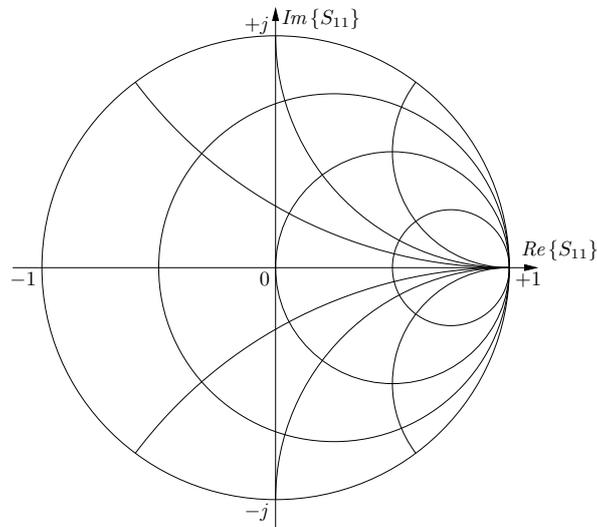


Abbildung 2.3: Smith-Diagramm

- $S_{11} = +1$ ist der Leerlaufpunkt ($Z = \infty$).
- $S_{11} = 0$ ist der Anpassungspunkt ($Z = 50 \text{ Ohm}$).
- $Im\{S_{11}\} > 0$ bedeutet, dass Z induktiv ($Im\{Z\} > 0$) ist.
- $Im\{S_{11}\} < 0$ bedeutet, dass Z kapazitiv ($Im\{Z\} < 0$) ist.

Das typische Smith-Diagramm einer angepassten Antenne ist in Abbildung 2.4 zu sehen. Dabei wurde der Reflexionsfaktor über einen Frequenzbereich von zehn bis 20 MHz gemessen. Zusätzlich wurde der Messwert für 13,56 MHz markiert. Der Verlauf des S_{11} -Parameters in Abhängigkeit der Frequenz bildet also eine Schlaufe. Im Idealfall liegt das vordere Ende der Schlaufe dabei im Anpassungspunkt und der Kreuzungspunkt auf der reellen Achse nahe am Kurzschlusspunkt.

2.3 Tuningverfahren

Zum Tuning wird die Antennenschaltung an den Netzwerkanalysator angeschlossen und der S_{11} -Parameter gemessen. Dabei werden die Kapazitäten C_1 und C_2 so verändert, dass die Impedanz der Antennenschaltung 40 bis 50 Ohm beträgt und eine Phase von etwa 0 Grad aufweist. Die Schlaufe im Smith-Diagramm lässt sich, wie in Abbildung 2.5, durch eine Änderung von C_1 bzw. C_2 verschieben. C_1 verändert dabei vorwiegend die Größe der Schlaufe. C_2 verschiebt die Schlaufe auf- bzw. abwärts. Allerdings hat eine

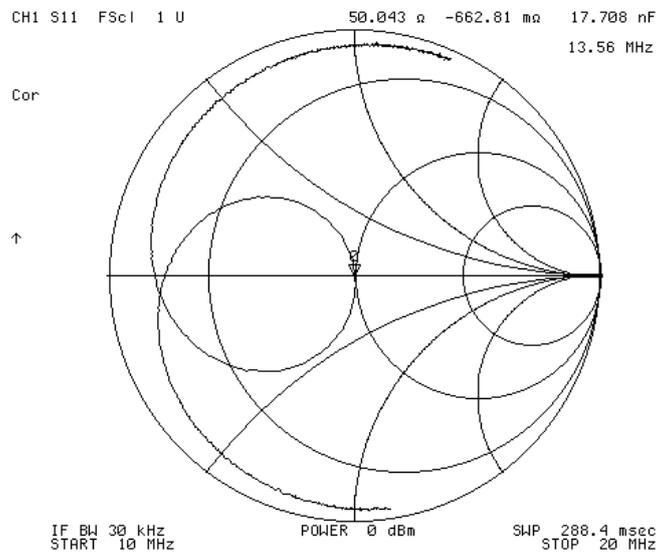


Abbildung 2.4: Smith-Diagramm einer angepassten Antenne

Änderung von C_2 auch einen geringen Einfluss auf die Größe der Schleife und eine Änderung von C_1 auch einen geringen Einfluss auf die Lage der Schleife.

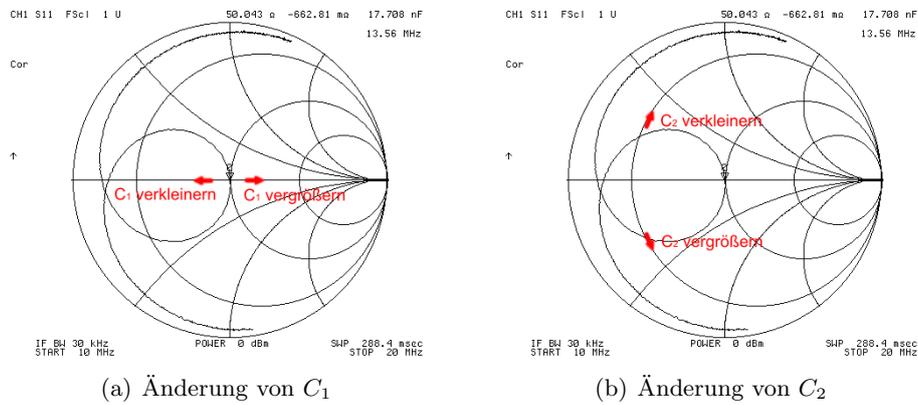


Abbildung 2.5: Bewegung der Schleife in Abhängigkeit von C_1 bzw. C_2

Auf diesem Weg lässt sich die Impedanz der Antennenschaltung durch abwechselndes Ändern von C_1 und C_2 anpassen.

Kapitel 3

Automatisches Tuning

Dieses Kapitel beschreibt die Motivation für ein *Automatic-Tuning-Device* und welche Ergebnisse dazu im Rahmen des Berufspraktikums erarbeitet wurden.

3.1 Motivation

Das manuelle Tuningverfahren ist, besonders für ungeübte Personen, eine aufwändige und langwierige Prozedur. Für jede neue Antennenbauform muss auch das Anpassungsnetzwerk neu dimensioniert werden. Abgesehen vom Zeitaufwand, der mit dem Anpassen verbunden ist, sind auch die Kosten für das notwendige Equipment enorm. (Der günstigste Netzwerkanalysator, der Firma *Agilent Technologies*, kostet etwa 10 000 Euro¹.) Um den Aufwand und die Kosten für Entwickler, die Reader-ICs in ihre Anwendungen einbauen, zu senken, soll die Anpassungsprozedur automatisiert werden.

3.2 Anforderungen

Für ein *Automatic-Tuning-Device* gibt es zwei Anforderungen: Zum einen sollen alle verwendeten Bauteile integrierbar sein. Damit würde sich die automatische Anpassungsschaltung in zukünftige Reader-ICs integrieren lassen. Zum anderen soll ein Gerät entwickelt werden, das an eine Antenne angeschlossen wird und anschließend die Kapazitäten C_1 und C_2 für den Anpassungsfall berechnet. Im Zuge der Experimente mit den entwickelten Prototypen hat sich jedoch gezeigt, dass diese beiden Anforderungen praktisch nicht gleichzeitig erfüllt werden können. Besonders die zweite Anforderung, die notwendigen Kapazitäten des Anpassungsnetzwerks zu berechnen, lässt sich, auf Grund der parasitären Effekte der verwendeten Bauteile, nicht realisieren.

¹Quelle: <http://www.agilent.com/>

3.3 Vorarbeiten

Zum Thema automatische Impedanzanpassung existieren bereits eine Studienarbeit [2] und eine Diplomarbeit [4].

Die Studienarbeit zeigt, wie mit Hilfe eines *idealen* Richtkopplers der Reflexionsfaktor gemessen werden kann. Weiters werden verschiedene Schaltungen zur Messung von Amplitude und Phase des reflektierten Signals vorgestellt.

Die Diplomarbeit stellt verschiedene Wege vor, um die Antennenschaltung auszumessen und kommt zum Ergebnis, dass, aus diesen Möglichkeiten, nur die Impedanzmessung mit Hilfe einer Messbrücke zielführend ist. Dieses Konzept wurde weiter verfolgt. Es werden passende Schaltungen zum Messen von Amplitude und Phase der Impedanz beschrieben. Zusätzlich werden Überlegungen angestellt, wie veränderbare Kapazitäten realisierbar sind. Als Lösung für dieses Problem wurden Halbleiterschalter gewählt, mit denen Kondensatoren zu- bzw. weggeschaltet werden können.

3.4 Hardware

Dieser Abschnitt beschreibt, wie, aus den in [4] erarbeiteten Schaltungen und Prototypen, ein Gerät zur automatischen Impedanzanpassung aufgebaut wurde.

3.4.1 Anpassungsschaltung

Als Grundlage für eine Anpassungsschaltung wurde die Standardantennentopologie aus [8] verwendet. Das EMV-Filter wurde nach den selben Kriterien wie beim manuellen Tuning gewählt. Nur statt der festen Kapazitäten C_1 und C_2 (Abb. 2.1) mussten (durch Steuersignale) veränderbare Kapazitäten eingebaut werden.

3.4.2 Kapazitätsarrays

In der Diplomarbeit [4] wurden drei verschiedene Möglichkeiten beschrieben, wie sich steuerbare Kapazitäten realisieren lassen. Zum einen kann man Trimmkondensatoren verwenden. Allerdings würden sich diese nur mit Hilfe von Servo- oder Schrittmotoren ansteuern lassen. Zudem sind mechanische Bauteile nicht integrierbar, wodurch die Anforderung der Integrierbarkeit nicht erfüllt wird. Eine Alternative ist die Verwendung von Kapazitäts- oder PIN-Dioden. Bei diesen Dioden ist jedoch die Trennung von Signal und Steuerspannung nur bedingt möglich [4]. Als dritte Möglichkeit werden Arrays aus geschalteten, parallelen Kondensatoren (Abb. 3.1) aufgezählt.

Die geschalteten Kondensatoren können entweder mit Relais oder mit Halbleiterschaltern realisiert werden. Im Zuge des Berufspraktikums wurden

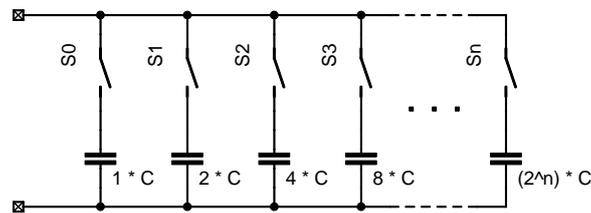


Abbildung 3.1: Kondensatorenarray [2]

beide Varianten realisiert.

Die Variante mit den Relais wies allerdings, vermutlich aufgrund ihrer beträchtlichen Größe, enorme, parasitäre Kapazitäten auf. Dadurch war eine Impedanzanpassung für die vorhandenen Antennen nicht möglich.

Die Variante mit den Halbleiterschaltern wurde bereits in der Diplomarbeit [4] ausgearbeitet. Dabei wurden die D/CMOS-Schalter *Vishay Siliconix DG611* [11] gewählt. Während des Praktikums wurde jedoch festgestellt, dass die Verwendung dieser Schalter einige Probleme mit sich bringt:

- Das Datenblatt [11] ist im Zusammenhang mit dem Bezug zwischen Versorgungs- und Steuerspannung etwas ungenau.
- Das geschaltete Signal muss unbedingt einen Bezug zur Versorgungsspannung haben.
- Die Schalter weisen relativ hohe parasitäre Kapazitäten sowohl zwischen den beiden geschalteten Anschlüssen, als auch zwischen den geschalteten Anschlüssen und Masse auf.

Diese Eigenschaften gestalten den Umgang mit den Schaltern etwas schwierig.

3.4.3 Realisierung der Anpassungsschaltung

Nach mehreren Anläufen konnte ein Prototyp entwickelt werden, der alle bekannten Probleme berücksichtigt. Insbesondere wurde auf die Leitungsführung und die Positionierung der Schalter geachtet. Abbildung 3.2 zeigt einen, von mir entwickelten, Prototyp der Anpassungsschaltung, der an vier der zur Verfügung stehenden Antennen angepasst werden kann. Anhang A zeigt das gesamte Automatic-Tuning-System.

3.4.4 Messbrücke

Die Messbrücke wird mit einem 13,56-MHz-Sinussignal gespeist. Sie wird dazu verwendet, um die Impedanz der Antennenschaltung auf 50 Ohm ab-

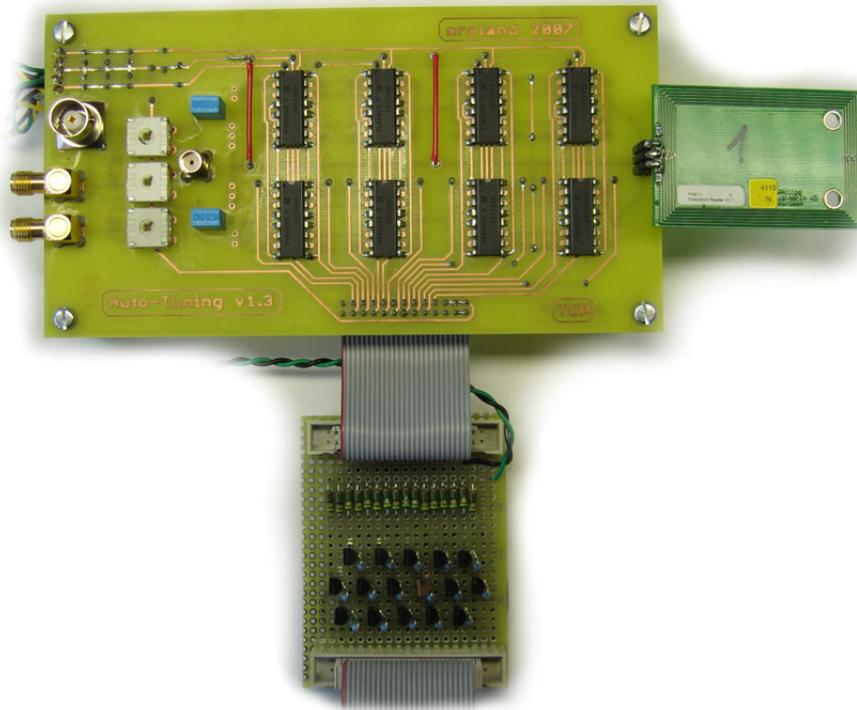


Abbildung 3.2: Auto-Tuning v1.3

zugleichen. Der Abgleich wird erzielt, indem Amplitude und Phase der Differenzspannung (Abb. 3.3) auf null Volt bzw. null Grad gebracht werden. Die Messbrücke und die Anpassungsschaltung sind vom übrigen System durch Transformatoren entkoppelt.

3.4.5 Messschaltung

Die Messschaltung ist von der Messbrücke über zwei Spannungsfolger (je ein Spannungsfolger pro abgegriffenem Signal) getrennt. Die Spannungsfolger dienen dazu, um die Signale hochohmig abzugreifen und damit die Messbrücke bzw. die Transformatoren nicht zu belasten. Die Messschaltung selbst besteht aus zwei Teilen.

Amplitudenmessung

Ein Teil ist die Schaltung zur Amplitudenmessung. Als erstes werden die beiden Signale gleichgerichtet. Dazu werden zuerst die negativen Halbwellen mit einem Messgleichrichter abgeschnitten und die resultierenden Signale

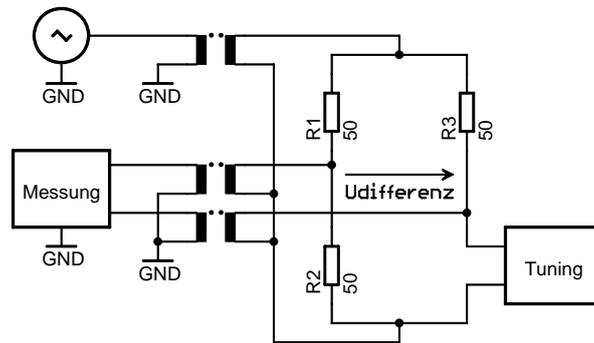


Abbildung 3.3: Messbrücke zur Impedanzanpassung

tiefpassgefiltert. Diese Gleichspannungen werden anschließend so verstärkt, dass sie mit einem Analog-Digital-Konverter digitalisierbar sind. Nachdem für den Abgleich der Messbrücke die Differenz der eingelesenen Signale benötigt wird, muss diese in Software berechnet werden.

Phasenmessung

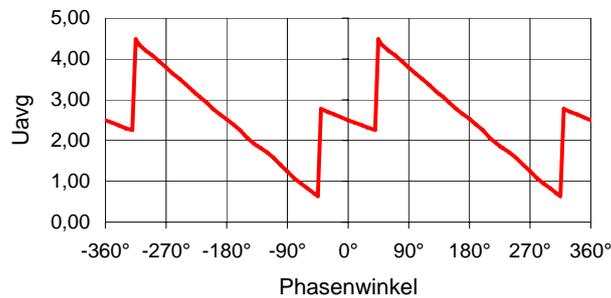
Der zweite Teil der Messschaltung ist die Schaltung zur Phasenmessung. Dazu werden die beiden Signale mit Hilfe von Komparatoren in Rechtecksignale umgeformt. Nachdem der Phasendetektor nur Winkel zwischen 45 und 315 Grad (Abb. 3.4(a)) eindeutig detektieren kann, wird eines der beiden Signale bei der Rechteckformung invertiert (Phasendrehung um 180 Grad, Abb. 3.4(b)). Die Rechtecksignale werden mit dem Phasendetektor eines *Texas Instruments CD74HC4046A* [10] in ein phasenabhängiges PWM-Signal gewandelt. Durch Tiefpassfilterung wird eine, zum Phasenwinkel proportionale (Abb. 3.4), Spannung erzeugt.

Abschließend wird diese Gleichspannung ebenfalls auf einen, mit einem Analog-Digital-Konverter, digitalisierbaren Wertebereich gebracht.

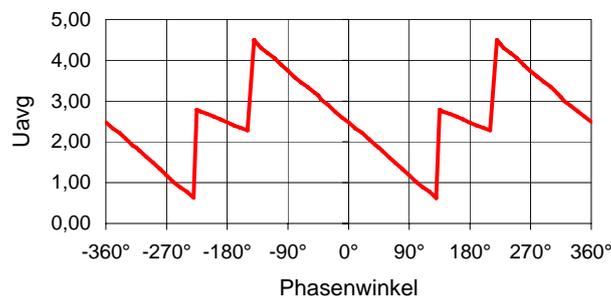
3.4.6 Auswertung und Steuerung

Zum Digitalisieren und Auswerten der Messwerte und zum Steuern der Schalter wird der Mikrokontroller *Atmel AVR ATmega128* [1] auf einer *Sandbox*² verwendet. Dieser hat sowohl einen Analog-Digital-Umsetzer, als auch genügend Ausgangspins, um die Schalter zu steuern.

²Entwicklungsboard des Studiengangs Hardware/Software Systems Engineering



(a) 0° Phasenoffset zwischen den Eingangssignalen



(b) 180° Phasenoffset zwischen den Eingangssignalen

Abbildung 3.4: Abhängigkeit zwischen dem Phasenwinkel (zwischen den zwei Eingangssignalen) und der Ausgangsspannung

3.5 Software

Dieser Abschnitt beschreibt die Funktionsweise der Software und des Regelalgorithmus für das *Automatic-Tuning-Device*.

Aufgabe der Firmware ist es, die Messwerte über den Analog-Digital-Konverter einzulesen und aufzubereiten, die Schalter auf ihren „Optimalwert“ zu schalten und das Ergebnis auf einem Display anzuzeigen.

3.5.1 Algorithmus

Die Entwicklung eines geeigneten Tuning-Algorithmus erwies sich als schwierig. Die Studienarbeit [2] zeigt zwar bereits einen Algorithmus, dieser erfordert allerdings einen kontinuierlichen Amplituden- und Phasenverlauf in Abhängigkeit von C_1 und C_2 .

In Abbildung 3.5 lässt sich jedoch deutlich eine regelmäßige Welligkeit erkennen. Diese entsteht dadurch, dass die parasitären Kapazitäten nicht nur einen konstanten Anteil haben, sondern auch einen, von der Schalterstellung, abhängigen Anteil zur Gesamtkapazität beitragen. Durch diesen

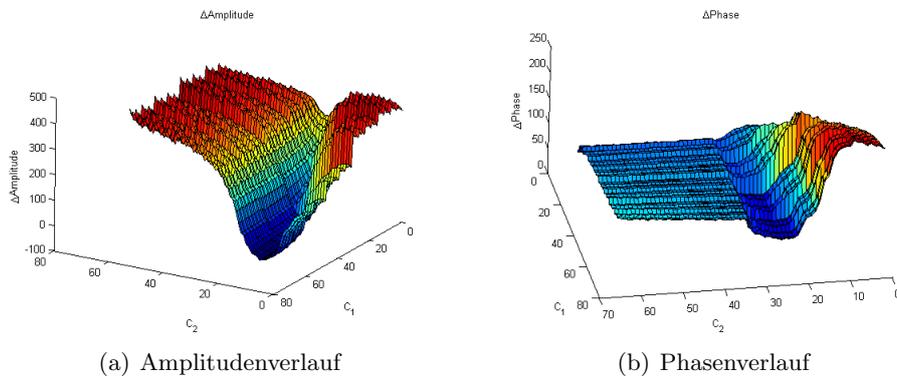


Abbildung 3.5: Messwertverlauf in Abhängigkeit von C_1 und C_2

Beitrag lassen sich die Kapazitätswerte nicht proportional zum Binärwert der Schalterstellungen verändern.

Aus diesem Grund haben sich nur Algorithmen, die durch Probieren aller möglichen Kombinationen ein Amplituden- und Phasenminimum finden, als geeignet erwiesen. Der genaueste Algorithmus war dabei jener, der jene Schalterstellung sucht, für welche die Formel

$$\Delta\text{Amplitude}^2 + \Delta\text{Phase}^2$$

ein Minimum hat. In Versuchen hat sich gezeigt, dass dieser Algorithmus in etwa dieselben Schalterstellungen für C_1 und C_2 berechnet, die auch durch manuelle Anpassung ermittelt wurden.

3.6 Ergebnisse

Es konnte erfolgreich ein System zur automatischen Impedanzanpassung aufgebaut werden. Mit diesem System lässt sich (in einem eingeschränkten Bereich) automatisches Tuning durchführen. Allerdings sind bei dieser Lösung einige Punkte offen geblieben. So lassen sich beispielsweise die Transformatoren nicht integrieren. Weiters konnte kein Weg gefunden werden, um aus den Schalterstellungen auf die notwendigen Kapazitätswerte für C_1 und C_2 zu schließen.

Anhang A

Gesamtsystem

In diesem Anhang werden ein Foto und ein Blockschaltbild des gesamten Automatic-Tuning-Systems abgebildet.

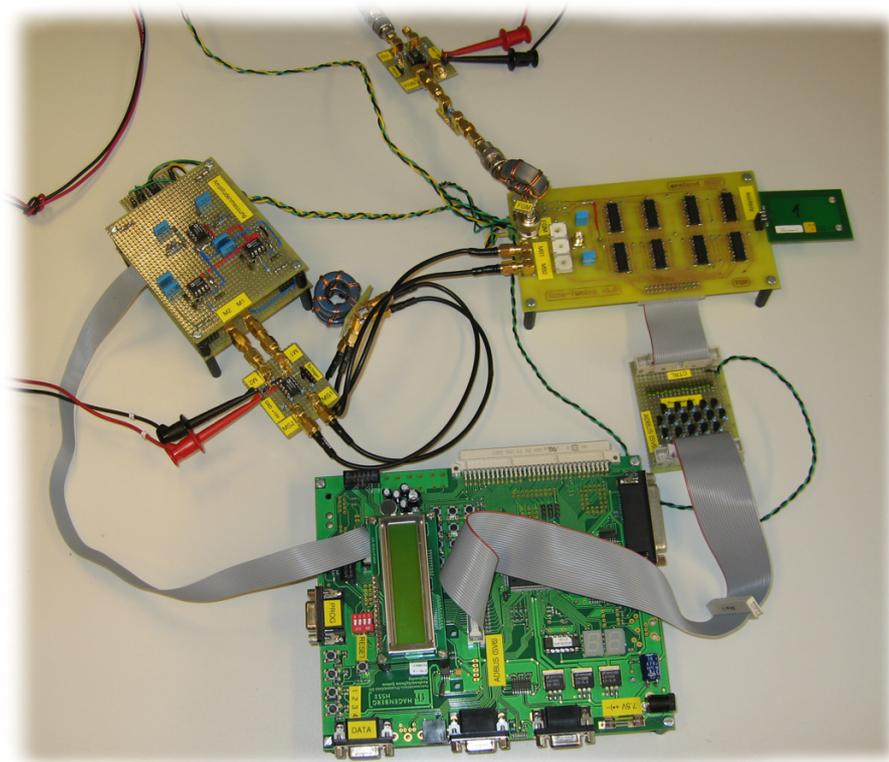


Abbildung A.1: Gesamtsystem

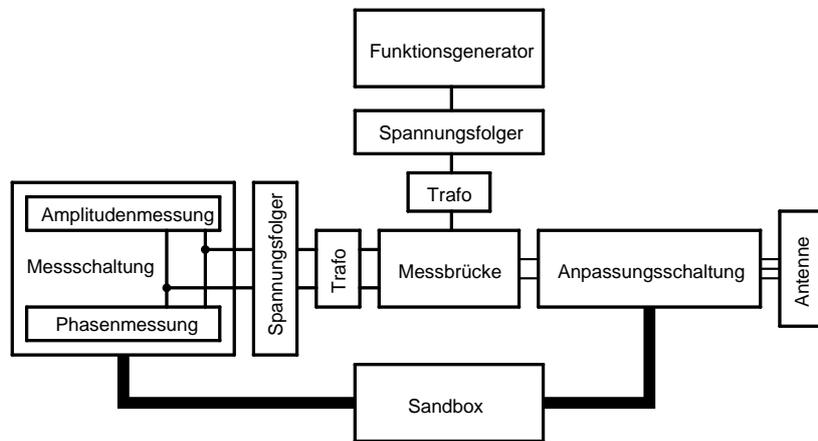


Abbildung A.2: Blockschaltbild des Gesamtsystems

Anhang B

Inhalt der CD-ROM

File System: ISO 9660/Joliet

Mode: Single-Session (CD-ROM)

B.1 Bachelorarbeit

Pfad: /

PrBericht.pdf Bachelorarbeit (PDF-Datei)
doc/ LaTeX-Quelltext der Bachelorarbeit

B.2 Abbildungen

Pfad: /doc/images/

capacityarray_*.pdf . Kondensatorenarray
gesamtsystem.pdf . . . Blockdiagramm zum Gesamtsystem
inductive-coupling.pdf induktive Kopplung
messbruecke*.pdf . . . Messbrücke
nxp-gratkorn.png . . . Gebäude von NXP (Gratkorn)
nxplogo.pdf NXP-Logo
phasedetector_*.pdf . Diagramme zum Phasendetektor
rfid-blockdiagram.png Blockdiagramm zu RFID
smithchart.pdf Smith-Diagramm
smithchart_matched.pdf Smith-Diagramm (angepasste Antenne)
smithchart_tune_c1.png Änderung von C_1 im Smith-Diagramm
smithchart_tune_c2.png Änderung von C_2 im Smith-Diagramm
sweep_Antenne3_*.png Sweepmessung von Amplitude und Phase
topology_*.pdf Antennentopologie und Ersatzschaltbild

Pfad: /photos/

- *.jpg Fotos der Prototypen
- *.png Fotos der Prototypen (nachbearbeitet)

B.3 Schaltungen und Messungen

Pfad: /schematics/

- blockdiagrams/ Blockschaltbilder
- capacities/ Schaltpläne zu den steuerbaren Kapazitäten
- measurement/ Schaltpläne zur Messschaltung
- topology/ Schaltpläne zur Antennentopologie

Pfad: /measurements/

- phasedetector_*. * . . . Messungen des Phasendetektors

B.4 Literatur

Pfad: /lit/

- Atmel/ Literatur von Atmel
- Burger/ Literatur zur Vorlage zur Bachelorarbeit
- NFCForum/ Literatur vom NFC Forum
- NXP/ Literatur von NXP Semiconductors
- TI/ Literatur von Texas Instruments
- Vishay/ Literatur von Vishay Siliconix
- Wikipedia/ Literatur von Wikipedia

Literaturverzeichnis

- [1] ATMEL CORP.: *ATmega128(L): 8-bit AVR Microcontroller with 128K Bytes of ISP Flash*, Rev. O, Oktober 2006.
URL, http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2467.pdf.
Kopie auf CD-ROM (Atmel/doc2467_Datasheet_ATmega128.pdf).
- [2] M. EBERHARDT: *Entwurf eines Automatic Tuning Device für Proximity Reader Antennen*. Studienarbeit, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Technische Elektronik, 2005.
- [3] K. FINKENZELLER: *RFID-Handbuch*. Hanser München Wien, 3. Aufl., 2002.
- [4] O. MALLE: *RFID-Antennentopologien und deren automatische Leistungsanpassung*. Diplomarbeit, Technische Universität Graz, Institut für Breitbandkommunikation, 2007.
- [5] NFC FORUM: *About NFC*.
URL, <http://www.nfc-forum.org/aboutnfc/>.
Kopie auf CD-ROM (NFCForum/aboutnfc.pdf),
Stand: 29. Mai 2007.
- [6] NXP SEMICONDUCTORS: *Unternehmenspräsentation*.
Kopie auf CD-ROM (NXP/Company_Presentation_FHKL.ppt).
- [7] NXP SEMICONDUCTORS: *Company Profile*.
URL, http://nxp.com/acrobat/other/profile/nxp_company_profile.pdf,
September 2006.
Kopie auf CD-ROM (NXP/nxp_company_profile.pdf),
Stand: 22. Mai 2007.
- [8] PHILIPS SEMICONDUCTORS: *Application Note: PN511 Transmission Module, Antenna and RF Design Guide*, Rev. 1.0, Juni 2004.
- [9] U. SIART: *Kurzanleitung zum Smith-Diagramm*, Juni 2004.
- [10] TEXAS INSTRUMENTS: *CD54HC(T)4046A, CD74HC(T)4046A: High-Speed CMOS Logic Phase-Locked Loop with VCO*, Dezember 2003.

- URL, <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hc4046a.pdf>.
Kopie auf CD-ROM (TI/cd74hc4046a.pdf).
- [11] VISHAY SILICONIX: *DG611/612/613: High-Speed, Low-Glitch D/CMOS Analog Switch*, Rev. G, September 1999.
URL, <http://www.vishay.com/docs/70057/dg611.pdf>.
Kopie auf CD-ROM (Vishay/70057_DG611.pdf).
- [12] WIKIPEDIA, DIE FREIE ENZYKLOPÄDIE: *Semiconductor sales leaders by year*.
URL, http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Semiconductor_sales_leaders_by_year&oldid=131799693.
Kopie auf CD-ROM (Wikipedia/en/SC_sales_leaders.pdf),
Stand: 22. Mai 2007.
- [13] H. WITSCHNIG und E. MERLIN: *Über Geschichte, physikalische Grundlagen und Applikationen der RFID Technologie*. e & i (Elektrotechnik und Informationstechnik), Vol. 123(3), März 2006.