

HANSER



Leseprobe

zu

„RFID-Handbuch“ (7. Auflage)

von Klaus Finkenzeller

ISBN (Buch): 978-3-446-43943-6

ISBN (E-Book): 978-3-446-44439-3

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-43943-6>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag München

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 7. Auflage	XVII
Verwendete Abkürzungen	XIX
1 Einführung	1
1.1 Automatische Identifikationssysteme	2
1.1.1 Barcode-Systeme	2
1.1.2 Optical Character Recognition	4
1.1.3 Biometrische Verfahren	5
1.1.3.1 Sprachidentifizierung	5
1.1.3.2 Fingerabdruckverfahren (Daktyloskopie)	6
1.1.4 Chipkarten	6
1.1.4.1 Speicherkarten	8
1.1.4.2 Mikroprozessorkarten	8
1.1.5 RFID-Systeme	9
1.2 Vergleich verschiedener ID-Systeme	9
1.3 Bestandteile eines RFID-Systems	11
2 Unterscheidungsmerkmale von RFID-Systemen	13
2.1 Grundsätzliche Unterscheidungsmerkmale	13
2.2 Bauformen von Transpondern	16
2.2.1 Disks und Münzen	16
2.2.2 Glasgehäuse	16
2.2.3 Plastikgehäuse	17
2.2.4 Werkzeug- und Gasflaschenidentifikation	18
2.2.5 Schlüssel und Schlüsselanhänger	19
2.2.6 Uhren	20
2.2.7 Bauform ID-1, kontaktlose Chipkarten	20
2.2.8 Smart Label	22
2.2.9 Coil-on-Chip	23
2.2.10 Weitere Bauformen	24
2.3 Frequenz, Reichweite und Kopplung	24
2.4 Aktive und passive Transponder	25
2.5 Informationsverarbeitung im Transponder	27
2.6 Auswahlkriterien für RFID-Systeme	29
2.6.1 Arbeitsfrequenz	30
2.6.2 Reichweite	30
2.6.3 Sicherheitsanforderungen	31
2.6.4 Speicherkapazität	32

3	Grundlegende Funktionsweise	33
3.1	1-bit-Transponder	34
3.1.1	Radiofrequenz	34
3.1.2	Mikrowelle	37
3.1.3	Frequenzteiler	39
3.1.4	Elektro-Magnetisch	40
3.1.5	Akustomagnetisch	43
3.2	Voll- und Halbduplexverfahren	45
3.2.1	Induktive Kopplung	47
3.2.1.1	Energieversorgung passiver Transponder	47
3.2.1.2	Datenübertragung Transponder > Lesegerät	50
3.2.2	Elektromagnetische Backscatter-Kopplung	58
3.2.2.1	Energieversorgung der Transponder	58
3.2.2.2	Datenübertragung Transponder > Leser: Modulierter Rückstrahlquerschnitt ...	60
3.2.3	Close coupling	61
3.2.3.1	Energieversorgung der Transponder	61
3.2.3.2	Datenübertragung Transponder > Leser	62
3.2.3.3	Close Coupling Chipkarten	63
3.2.4	Elektrische Kopplung	65
3.2.4.1	Energieversorgung passiver Transponder	65
3.2.4.2	Datenübertragung Transponder > Lesegerät	67
3.3	Sequentielle Verfahren	67
3.3.1	Induktive Kopplung	67
3.3.1.1	Spannungsversorgung des Transponders	67
3.3.1.2	Vergleich zwischen FDX-/HDX- und SEQ-Systemen	68
3.3.1.3	Datenübertragung Transponder > Leser	70
3.3.2	Oberflächenwellen-Transponder	71
3.4	Near Field Communication (NFC)	73
3.4.1	Active Mode	74
3.4.2	Passive Mode	75
4	Physikalische Grundlagen für RFID-Systeme	77
4.1	Magnetisches Feld	78
4.1.1	Magnetische Feldstärke H	78
4.1.1.1	Feldstärkeverlauf $H(x)$ bei Leiterschleifen	79
4.1.1.2	Optimierter Antennendurchmesser	81
4.1.2	Magnetischer Fluss und magnetische Flussdichte	83
4.1.3	Induktivität L	83
4.1.3.1	Induktivität einer Leiterschleife	84
4.1.4	Gegeninduktivität M	84
4.1.5	Kopplungsfaktor k	86
4.1.6	Induktionsgesetz	88
4.1.7	Resonanz	90

4.1.8	Praktischer Betrieb des Transponders	95
4.1.8.1	Spannungsversorgung des Transponders	95
4.1.8.2	Spannungsregelung	95
4.1.9	Ansprechfeldstärke H_{min}	97
4.1.9.1	„Energereichweite“ von Transpondersystemen	100
4.1.9.2	Ansprechbereich von Lesegeräten	102
4.1.10	Gesamtsystem Transponder – Lesegerät	103
4.1.10.1	Transformierte Transponderimpedanz Z_T'	105
4.1.10.2	Einflussgrößen von Z_T'	108
4.1.10.3	Lastmodulation	115
4.1.11	Messung von Systemparametern	122
4.1.11.1	Messung des Kopplungsfaktors k	122
4.1.11.2	Messung von Transponderresonanzfrequenz und Gütefaktor	123
4.1.12	Magnetische Werkstoffe	132
4.1.12.1	Eigenschaften magnetischer Werkstoffe und Ferrite	132
4.1.12.2	Ferritantennen in LF-Transpondern	133
4.1.12.3	Ferritabschirmung in metallischer Umgebung	134
4.1.12.4	Einbau von Transpondern in Metall	135
4.2	Elektromagnetische Wellen	137
4.2.1	Entstehung elektromagnetischer Wellen	137
4.2.1.1	Übergang vom Nah- zum Fernfeld bei Leiterschleifen	138
4.2.2	Strahlungsdichte S	139
4.2.3	Feldwellenwiderstand und Feldstärke E	140
4.2.4	Polarisation elektromagnetischer Wellen	141
4.2.4.1	Reflexion elektromagnetischer Wellen	142
4.2.5	Antennen	144
4.2.5.1	Gewinn und Richtwirkung	144
4.2.5.2	EIRP und ERP	146
4.2.5.3	Eingangsimpedanz	146
4.2.5.4	Wirksame Fläche und Rückstreuquerschnitt	147
4.2.5.5	Effektive Länge	150
4.2.5.6	Dipolantenne	151
4.2.5.7	Yagi-Uda-Antenne	153
4.2.5.8	Patch- oder Mikrostripantennen	153
4.2.5.9	Schlitzantennen	156
4.2.6	Praktischer Betrieb von Mikrowellentranspondern	156
4.2.6.1	Ersatzschaltbilder des Transponders	157
4.2.6.2	Spannungsversorgung passiver Transponder	158
4.2.6.3	Spannungsversorgung aktiver Transponder	166
4.2.6.4	Reflexion und Auslöschung	167
4.2.6.5	Ansprechempfindlichkeit des Transponders	168
4.2.6.6	Modulierter Rückstreuquerschnitt	168
4.2.6.7	Lesereichweite	171

4.3	Oberflächenwellen	174
4.3.1	Entstehung einer Oberflächenwelle	174
4.3.2	Reflexion einer Oberflächenwelle	176
4.3.3	Funktionsschema von OFW-Transpondern	177
4.3.4	Der Sensoreffekt	179
4.3.4.1	Reflektive Verzögerungsleitung	181
4.3.4.2	Resonante Sensoren	182
4.3.4.3	Impedanzsensoren	184
4.3.5	Geschaltete Sensoren	184
5	Frequenzbereiche und Funkzulassungsvorschriften	187
5.1	Verwendete Frequenzbereiche	187
5.1.1	Frequenzbereich 9 ... 135 kHz	189
5.1.2	Frequenzbereich 6,78 MHz (ISM)	191
5.1.3	Frequenzbereich 13,56 MHz (ISM, SRD)	191
5.1.4	Frequenzbereich 27,125 MHz (ISM)	191
5.1.5	Frequenzbereich 40,680 MHz (ISM)	192
5.1.6	Frequenzbereich 433,920 MHz (ISM)	192
5.1.7	UHF-Frequenzbereich	193
5.1.7.1	Frequenzbereich 865,0 MHz... 868 MHz (SRD) in Europa	193
5.1.7.2	Frequenzbereich 915 ... 921 MHz (SRD) in Europa	194
5.1.7.3	Frequenzbereich 915,0 MHz	194
5.1.8	Frequenzbereich 2,45 GHz (ISM, SRD)	194
5.1.9	Frequenzbereich 5,8 GHz (ISM, SRD)	194
5.1.10	Frequenzbereich 24,125 GHz (ISM)	195
5.1.11	Auswahl der Frequenz für induktiv gekoppelte RFID-Systeme	195
5.2	Internationale Fernmeldeunion (ITU)	198
5.3	Europäische Zulassungsvorschriften	199
5.3.1	CEPT/ERC REC 70-03	200
5.3.1.1	Annex 1: Non-specific Short Range Devices	202
5.3.1.2	Annex 4: Railway applications	202
5.3.1.3	Annex 5: Road Transport & Traffic Telematics	203
5.3.1.4	Annex 9: Inductive applications	204
5.3.1.5	Annex 11: RFID applications	206
5.3.2	Standardisierte Messverfahren	208
5.3.2.1	Übergreifende Standards	208
5.3.2.2	Anwendungsspezifische Messvorschriften	210
5.4	Nationale Zulassungsvorschriften in Europa	210
5.4.1	Bundesrepublik Deutschland	211
5.4.1.1	Induktive Funkanwendungen	211
5.4.1.2	RFID-Systeme im UHF-Bereich	213
5.5	Nationale Zulassungsvorschriften	214
5.5.1	USA	214

5.6	Vergleich nationaler Regulierungsvorschriften	216
5.6.1	Umrechnung bei 13,56 MHz	216
5.6.2	Umrechnung auf UHF	218
6	Codierung und Modulation	219
6.1	Codierung im Basisband	220
6.2	Digitale Modulationsverfahren	222
6.2.1	Amplitudentastung (ASK)	223
6.2.2	2-FSK	225
6.2.3	2-PSK	226
6.2.4	Modulationsverfahren mit Hilfsträger	227
7	Datenintegrität	229
7.1	Fehlererkennende und -korrigierende Codes	229
7.1.1	Das Prinzip der Codekonstruktion	231
7.1.2	Eigenschaften von Codes	233
7.1.3	Einfache Codes – die Paritätsprüfung	235
7.1.4	Zyklische Codes	236
7.1.4.1	CRC-Verfahren	237
7.1.4.2	Hardware-Implementierung von CRC	240
7.1.4.3	CRC-Verfahren bei RFID-Systemen	241
7.1.5	Lineare Codes	242
7.1.5.1	Hammingcode	243
7.1.5.2	Hammingcode-Implementierung in ISO/IEC 14443	245
7.2	Vielfachzugriffsverfahren – Antikollision	250
7.2.1	Raummultiplex – SDMA	253
7.2.2	Frequenzmultiplex – FDMA	254
7.2.3	Zeitmultiplex – TDMA	255
7.2.4	Beispiele für Antikollisionsverfahren	257
7.2.4.1	ALOHA-Verfahren	257
7.2.4.2	Slotted-ALOHA-Verfahren	259
7.2.4.3	Binary-Search-Algorithmus	263
8	Sicherheit von RFID-Systemen	273
8.1	Angriffe auf RFID-Systeme	274
8.1.1	Angriffe auf den Transponder	275
8.1.1.1	Dauerhaftes Zerstören des Transponders	275
8.1.1.2	Abschirmen oder Verstimmen des Transponders	276
8.1.1.3	Emulieren und Klonen eines Transponders	276
8.1.2	Angriffe über das HF-Interface	278
8.1.2.1	Abhören der Kommunikation	278
8.1.2.2	Störsender	297
8.1.2.3	Lesen mit vergrößerter Lesereichweite	298
8.1.2.4	Transponder mit vergrößerter Reichweite	305

8.1.2.5	Denial of Service-Angriff durch Blocker Tags	310
8.1.2.6	Relay-Attack	312
8.2	Abwehr durch kryptografische Maßnahmen	315
8.2.1	Kryptografische Funktionen und Merkmale kryptografischer Verfahren	317
8.2.1.1	Hashfunktionen und MAC	318
8.2.1.2	Blockchiffren	320
8.2.1.3	Stromchiffren	326
8.2.2	Kryptografische Protokolle	328
8.2.2.1	Gegenseitige symmetrische Authentifizierung	329
8.2.2.2	Authentifizierung mit abgeleiteten Schlüsseln	330
8.2.2.3	Basic Access Control Protocol (BAC)	331
9	Normung	335
9.1	Tieridentifikation	335
9.1.1	ISO/IEC 11784 – Codestruktur	335
9.1.2	ISO/IEC 11785 – Technisches Konzept	336
9.1.2.1	Anforderungen	336
9.1.2.2	Voll-/Halbduplex-System	338
9.1.2.3	Sequentielles System	338
9.1.3	ISO/IEC 14223 – Advanced Transponders	339
9.1.3.1	Teil 1 – Air Interface	339
9.1.3.2	Teil 2 – Code and Command Structure	341
9.2	Kontaktlose Chipkarten	343
9.2.1	ISO/IEC 10536 – Close coupling Chipkarten	344
9.2.2	ISO/IEC 14443 – Proximity coupling Chipkarten	344
9.2.2.1	Physikalische Eigenschaften	345
9.2.2.2	Energieübertragung und Signalinterface	347
9.2.2.3	Initialisierung, Antikollision und Protokollaktivierung	362
9.2.2.4	Datenübertragungsprotokoll	374
9.2.3	ISO/IEC 15693 – Vicinity coupling Chipkarten	378
9.2.3.1	Physical characteristics	379
9.2.3.2	Air interface and initialization	379
9.2.3.3	Anticollision and transmission protocol	382
9.2.4	ISO/IEC 10373 – Prüfmethoden für Chipkarten	390
9.2.4.1	Part 6 – Testverfahren für Proximity coupling Chipkarten	391
9.2.4.2	Part 7 – Testverfahren für Vicinity coupling Chipkarten	397
9.3	ISO/IEC 69873 – Datenträger für Werk- und Spanzeuge	398
9.4	ISO/IEC 10374 – Containeridentifikation	398
9.5	VDI 4470 – Warensicherungssysteme	400
9.5.1	Teil 1 – Kundenabnahmerichtlinien für Schleusensysteme	400
9.5.1.1	Ermittlung der Fehlalarmquote	400
9.5.1.2	Ermittlung der Detektionsrate	400
9.5.1.3	Formblätter in VDI 4470	401
9.5.2	Teil 2 – Kundenabnahmerichtlinien für Deaktivierungsanlagen	402

9.6	Güter- und Warenwirtschaft	402
9.6.1	ISO/IEC 18000 Reihe	402
9.6.1.1	Datennormen	402
9.6.1.2	Luftschnittstellennormen	405
9.6.1.3	Testnormen	408
9.6.2	GTAG Initiative	412
9.6.3	EPCglobal Network	412
9.6.3.1	Generation 2	414
9.6.3.2	Normen und Spezifikationen	415
9.6.3.3	Der Electronic Product Code (EPC)	416
9.6.3.4	Transponderklassen	419
9.6.3.5	Einführung in das EPC-Netzwerk	420
9.6.4	EPCglobal UHF AI Gen 2 / ISO/IEC 18000-6 Type C / ISO/IEC 18000-63 ..	422
9.6.4.1	Kommunikationsprinzip	422
9.6.4.2	Kommunikation vom Lesegerät zum Transponder	423
9.6.4.3	Kommunikation vom Transponder zum Lesegerät	425
9.6.4.4	Dense Reader Mode, Signalspektrum und Funkzulassungen	428
9.6.4.5	Speicher	430
9.6.4.6	Session Flags	431
9.6.4.7	Kommandos	433
9.6.4.8	Ablauf der Kommunikation	439
9.6.4.9	Unterschiede zwischen EPCglobal UHF AI Gen 2 und ISO/IEC 18000-6 Type C	442
9.6.4.10	Zusätzliches in ISO/IEC 18000-6 Type C	443
9.7	Das RFID-Emblem	444
9.8	Europäische Normen zum Schutz der Privatsphäre	447
10	Architektur elektronischer Datenträger	449
10.1	Transponder mit Speicherfunktion	450
10.1.1	HF-Interface	450
10.1.1.1	Schaltungsbeispiel – Lastmodulation mit Hilfsträger	451
10.1.1.2	Schaltungsbeispiel – HF-Interface für ISO-14443 Transponder	452
10.1.1.3	Simulation eines ISO/IEC14443 kompatiblen HF-Frontends	454
10.1.2	Adress- und Sicherheitslogik	456
10.1.2.1	State-Machine	457
10.1.3	Speicherarchitektur	458
10.1.3.1	Read-only-Transponder	458
10.1.3.2	Beschreibbare Transponder	459
10.1.3.3	Transponder mit Kryptofunktion	460
10.1.3.4	Segmentierte Speicher	463
10.1.3.5	MIFARE [®] -Applikationsverzeichnis	465
10.1.3.6	Dual-port-EEPROM	467

10.2	Mikroprozessoren	471
10.2.1	Dual Interface Karte	472
10.2.1.1	MIFARE plus	474
10.2.1.2	Moderne Konzepte für die Dual Interface Card	475
10.3	Speichertechnologie	477
10.3.1	RAM	478
10.3.2	EEPROM	478
10.3.3	FRAM	480
10.3.4	Leistungsvergleich FRAM – EEPROM	481
10.4	Messung physikalischer Größen	482
10.4.1	Transponder mit Sensorfunktionen	482
10.4.2	Messungen mit Mikrowellentranspondern	484
10.4.3	Sensoreffekt bei Oberflächenwellen-Transpondern	485
11	Lesegeräte	489
11.1	Datenfluss in einer Applikation	489
11.2	Komponenten eines Lesegerätes	490
11.2.1	HF-Interface	491
11.2.1.1	Induktiv gekoppeltes System, FDX/HDX	491
11.2.1.2	Mikrowellen-System – Halbduplex	492
11.2.1.3	Sequentielle Systeme – SEQ	494
11.2.1.4	Mikrowellen-System für OFW-Transponder	495
11.2.2	Steuerung	496
11.3	Integrierte Leser-ICs	497
11.3.1	Integriertes HF-Interface	498
11.3.2	Single Chip Reader IC	501
11.4	Anschluss von Antennen für induktiv gekoppelte Systeme	506
11.4.1	Anschaltung mit Stromanpassung	507
11.4.2	Speisung über Koaxialkabel	508
11.4.3	Einfluss des Gütefaktors Q	512
11.5	Ausführungsformen von Lesegeräten	513
11.5.1	OEM-Lesegeräte	513
11.5.2	Lesegeräte für industriellen Einsatz	514
11.5.3	Portable Lesegeräte	515
11.6	Near Field Communication	516
11.6.1	Secure-NFC	517
11.6.1.1	Single Wire Protokoll	520
11.6.1.2	NFC Wired Interface	522
12	Messtechnik für RFID-Systeme	525
12.1	HF-Messtechnik für Proximity-Systeme	525
12.1.1	Kontaktbasierte Messungen	526
12.1.1.1	Messung der Transponderchip-Impedanz	526

12.1.2	Kontaktlos-Messungen	530
12.1.2.1	Konzept zur Messung von Proximity-Karten	530
12.1.2.2	Aufbau zur Messung von Proximity-Transpondern	532
12.1.2.3	Aufbau zur Messung von Proximity-Lesegeräten	536
12.1.2.4	Charakterisierung und Evaluierung	537
12.1.3	Ausgewählte Messungen an Proximity-Smartcards	538
12.1.3.1	Messung der Rückwirkung, Card Loading Effect	538
12.1.3.2	Messung der Ansprechfeldstärke	539
12.1.3.3	Messung der Modulation	541
12.1.3.4	Messung der Zeiten in der sequentiellen Kommunikation	543
12.1.3.5	Messung der Karten-Rückmodulation	545
12.1.3.6	Messung ungewollter Störungen (EMD)	547
12.1.3.7	Prüfung der maximal verkraftbaren Feldstärke (maximum alternating field) ..	548
12.1.3.8	Zusammenfassung der Transponder-Antennenklassen	549
12.1.4	Ausgewählte Messungen an Proximity-Readern	550
12.1.4.1	Messung der Feldstärke des Lesegeräts	550
12.1.4.2	Messung der Modulationseigenschaften	552
12.1.4.3	Messung der Empfindlichkeit auf Lastmodulation	553
12.1.4.4	Messung der EMD	556
12.2	HF-Messtechnik für UHF-Systeme	556
12.2.1	Prolog	556
12.2.1.1	Unterschiede zwischen LF, HF und UHF	556
12.2.1.2	Allgemeiner Ansatz für den Testablauf	557
12.2.1.3	Einflussgrößen und Störungen	557
12.2.2	Signalstrecke und Umgebungseinflüsse	558
12.2.3	Testverfahren	559
12.2.3.1	Testverfahren für die Systemleistung – ISO18046-1	559
12.2.3.2	Testverfahren für die Leistung des Abfragesenders ISO18046-2	562
12.2.3.3	Testverfahren für UHF-Tags / Transponder ISO18046-3	562
12.2.4	UHF-Messtechnik – Gerätetechnik	564
12.2.4.1	Standardgeräte	564
12.2.4.2	Spezialgeräte für UHF-Messtechnik	565
12.2.5	Praktische RFID-Messtechnik im Labor	567
12.2.5.1	Fallbeispiel: Transponder	567
12.2.5.2	Fallbeispiel: Population von Transpondern	570
12.2.6	Fazit	572
13	Herstellung von Transpondern und kontaktlosen Chipkarten	573
13.1	Herstellung des integrierten Schaltkreises (Chip)	574
13.1.1	Das Halbleitermaterial	574
13.1.2	Herstellung eines integrierten Schaltkreises	576

13.1.2.1	Vorbereitung des Ausgangsmaterials	576
13.1.2.2	Züchten des Kristalls	576
13.1.2.3	Herstellung der Scheiben (Wafer)	577
13.1.2.4	Aufbringung der integrierten Schaltungsstruktur	578
13.1.3	Test der integrierten Schaltkreise	579
13.1.4	Sägen des Wafer	580
13.1.5	Mögliche Lieferformen	581
13.1.6	Weitere Verpackung	581
13.2	Antennenherstellung	582
13.2.1	Wickeltechnik mit Kern	582
13.2.2	Wickeltechnik mit Luftspule	582
13.2.3	Verlegetechnik	584
13.2.4	Siebdrucktechnik	585
13.2.5	Ätztechnik	586
13.2.6	Stanztechnik	587
13.3	Kontaktierverfahren	587
13.3.1	Kontaktierverfahren für Halbleiterchips im Gehäuse	587
13.3.1.1	Vorbereitung – Montage des Chips im Gehäuse	588
13.3.1.2	Löttechnik	588
13.3.1.3	Klebe- und Schneid-Klemm-Technik	589
13.3.2	Kontaktierverfahren für unverpackte Halbleiterchip	590
13.3.2.1	Vorbereitung von Wafer Bumpen	590
13.3.2.2	Flip Chip-Montage	591
13.3.2.3	Verbindungstechnik Schweißen	593
13.4	Spezielle Bauformen	595
13.4.1	Glastransponder	595
13.4.2	Plastiktransponder	597
13.4.3	Fertigung von Inlays	598
13.4.4	Kontaktlose Chipkarten	599
13.4.4.1	Zusammentragen der Folien	599
13.4.4.2	Laminieren	600
13.4.5	Etiketten	601
13.4.5.1	Herstellung	601
13.4.5.2	Drucktechnik in der Etikettenfertigung	603
13.5	Test in der Fertigung	604
13.5.1	Prozessparameter	604
13.5.1.1	Abschertest (Shear Test)	604
13.5.1.2	Rollentest für Inlay und Etiketten	605
13.5.2	Messung der HF-Parameter	605
13.5.2.1	Anforderungen an den Test	606
13.5.2.2	Test von LF- und HF-Transpondern	606

13.5.2.3	Test von UHF-Transpondern	606
13.5.2.4	Behandlung der Schlechteile	608
13.5.3	Test der Produkteigenschaften	608
13.5.3.1	Allgemeine Zuverlässigkeitsprüfungen	608
13.6	Antennendesign für RFID-Systeme	609
13.6.1	Eigenschaften von Schleifenantennen	609
13.6.1.1	Impedanz der Antenne	611
13.6.1.2	Resonanzfrequenz und Güte	614
13.6.1.3	Messung der Werte des Antennen-Ersatzschaltbildes	615
13.6.1.4	Abhängigkeiten des Antennen-Ersatzschaltbildes	616
13.6.2	Design von Loop-Antennen für Kontaktlos-Karten	618
13.6.2.1	Konzept zum Design	618
13.6.2.2	Induktivität	619
13.6.2.3	Wirkwiderstand	621
13.6.2.4	Kapazität	622
13.6.2.5	Einfluss des Antennen-Resonanzkreises auf die Performance	623
14	Anwendungsbeispiele	625
14.1	Kontaktlose Chipkarten	625
14.2	Öffentlicher Nahverkehr	626
14.2.1	Ausgangssituation	626
14.2.2	Anforderungen	627
14.2.2.1	Transaktionszeit	627
14.2.2.2	Witterungsbeständigkeit, Lebensdauer, Bedienkomfort	628
14.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen	629
14.2.4	Tarifmodelle mit elektronischer Abrechnung	630
14.2.5	Marktpotenzial	630
14.2.6	Projektbeispiele	631
14.2.6.1	Korea – Seoul	631
14.2.6.2	Deutschland – Lüneburg, Oldenburg	633
14.2.6.3	EU-Projekte – „ICARE“ und „CALYPSO“	635
14.3	Kontaktloser Zahlungsverkehr	638
14.3.1	MasterCard® Pay Pass	641
14.3.2	ExpressPay von American Express®	641
14.3.3	Visa® Contactless	641
14.3.4	ExxonMobil Speedpass	641
14.4	NFC-Anwendungen	642
14.5	Elektronischer Reisepass und nationale eID-Karten (eMRTD)	648
14.6	Ski-Ticketing	655
14.7	Zutrittskontrolle	657
14.7.1	Online-Systeme	657
14.7.2	Offline-Systeme	658
14.7.3	Transponder	660

14.8	Verkehrssysteme	661
14.8.1	Eurobalise S21	661
14.8.2	Internationaler Containerverkehr	663
14.9	Tieridentifikation	664
14.9.1	Rinderhaltung	664
14.9.2	Brieftauben-Preisflug	670
14.10	Elektronische Wegfahrsperre	672
14.10.1	Funktionsweise der Wegfahrsperre	672
14.10.2	Kurze Erfolgsgeschichte	675
14.10.3	Zukunftsaussichten	676
14.11	Behälteridentifikation	677
14.11.1	Gasflaschen und Chemikalienbehälter	677
14.11.2	Abfallentsorgung	679
14.12	Sportliche Veranstaltungen	681
14.13	Industriautomation	683
14.13.1	Werkzeugidentifikation	683
14.13.2	Industrielle Fertigung	686
14.13.2.1	Zentrale Steuerung	687
14.13.2.2	Dezentrale Steuerung	688
14.13.2.3	Vorteile durch den Einsatz von RFID-Systemen	689
14.13.2.4	Auswahl geeigneter RFID-Systeme	689
14.13.2.5	Projektbeispiele	691
14.14	Medizinische Anwendungen	694
15	Anhang	697
15.1	Die Autoren	697
15.2	Verbände und Fachzeitschriften	701
15.2.1	Industrieverbände	701
15.2.2	Fachzeitschriften	702
15.3	Relevante Normen und Vorschriften	703
15.3.1	Normungsgremien	703
15.3.2	Normenliste	704
15.3.3	Bezugsquellen für Normen und Vorschriften	713
15.4	Literatur	714
15.5	Platinenlayouts	729
15.5.1	Testkarte nach ISO 14443	729
15.5.2	Feldgeneratorspule	733
15.5.3	Lesegerät für 13,56 MHz	735
16	Register	741

Vorwort zur 7. Auflage

Dieses Buch richtet sich an die verschiedensten Leser. Zunächst an Ingenieure und Studenten, die zum ersten Mal mit der RFID-Technologie konfrontiert werden. Für sie gibt es einige grundlegende Kapitel über die Funktionsweise und die physikalischen sowie datentechnischen Grundlagen der RFID-Technik. Darüber hinaus richtet sich das Buch an den Praktiker, der sich als Anwender möglichst umfassend und konzentriert einen Überblick über die verschiedensten RFID-Technologien, die gesetzlichen Randbedingungen oder die Einsatzmöglichkeiten verschaffen möchte bzw. muss.

Zwar existiert eine schier unüberschaubare Fülle von Einzelbeiträgen in der Literatur zu diesem Themenbereich, aber alle diese „verteilten“ Informationen im Bedarfsfalle zusammenzutragen, ist sehr mühsam und zeitaufwändig, wie auch die Recherchen zu jeder Auflage dieses Buchs aufs Neue beweisen. Dieses Buch soll daher auch eine Lücke im Literaturangebot über RFID-Systeme schließen. Wie groß der Bedarf an technisch fundierter Literatur in diesem Fachbereich tatsächlich ist, zeigt die erfreuliche Tatsache, dass das vorliegende Buch mittlerweile in sieben Sprachen¹ erschienen ist.

Anhand der vielen Bilder und Zeichnungen will dieses Buch eine im wahrsten Sinn des Wortes anschauliche Darstellung der RFID-Technologie geben. Einen besonderen Schwerpunkt stellen dabei die physikalischen Grundlagen dar, welche aus diesem Grunde auch das mit Abstand umfangreichste Kapitel bilden. Besonderer Wert wurde aber auch auf das Verständnis der grundlegenden Konzepte der Datenträger und Lesegeräte, soie der relevanten Normen und funktechnischen Regulierungsvorschriften gelegt. In den letzten Jahren rückt auch die Sicherheit von RFID-Systemen immer mehr in den Vordergrund. Angriffsmöglichkeiten und Abwehrmaßnahmen nehmen daher auch in diesem Buch einen immer größeren Platz ein.

Auch wenn sich der RFID-Hype, den wir in den Jahren nach 2000 erlebt haben, mittlerweile etwas gelegt hat, so schreitet die technologische Entwicklung auf dem Gebiet der RFID-Technologie noch immer so schnell voran, dass ein Buch wie dieses zwar eine allgemeine Wissensgrundlage bilden kann, aber nicht dynamisch genug ist, um auf die neuesten Trends zu demnächst erscheinenden Produkten, Normen und Vorschriften eingehen zu können. Auch im Bereich der Anwendungsbeispiele wird es bei der zunehmenden Verbreitung der RFID-Technologie immer schwieriger, den Überblick zu behalten. In der Presse ist fast wöchentlich über neue Einsatzmöglichkeiten für RFID-Systeme zu lesen. Vor allem das Thema NFC, eine Variante der Proximity-RFID-Systeme, bei denen das Endgerät zwischen der Funktion eines Datenträgers und der eines Lesegeräts beliebig wechseln kann, erfährt derzeit in den Medien als neue Schnittstelle für Mobiltelefone eine hohe Aufmerksamkeit. Für Hinweise und Anregungen zu neuen Themen – insbesondere aus dem Kreis der Industrie – bin

¹ Weitere Informationen zur deutschen Ausgabe des RFID-Handbuchs sowie zu den Übersetzungen können Sie der Homepage zum Buch <http://RFID-handbook.com> entnehmen. Derzeit ist das Buch in folgenden Sprachen erhältlich: Deutsch, Englisch, Japanisch, Chinesisch, Koreanisch, Russisch und in chinesischer Langschrift (für Taiwan).

ich deshalb sehr dankbar. Die zugrunde liegenden Konzepte und physikalischen Grundlagen bleiben jedoch erhalten und bilden eine gute Voraussetzung für das Verständnis der aktuellen Entwicklung.

Ein ganz besonderes Ereignis war für mich die Verleihung des Fraunhofer Smart-Card-Preises 2008, der jährlich für besondere Verdienste in der Chipkartentechnologie vergeben wird, und diesmal sowohl an das ebenso bekannte Chipkartenhandbuch meiner beiden Kollegen Rankl und Effing als auch an das RFID-Handbuch ging. Die Preisverleihung fand anlässlich des 18. Smart-Card-Workshops des Fraunhofer Instituts für Sichere Informationstechnologien (SIT) am 5. Februar 2008 in Darmstadt statt. Zu diesem Zeitpunkt war das RFID-Handbuch bereits zehn Jahre erfolgreich etabliert. Die erste Ausgabe erschien im März 1998 in deutscher Sprache mit einem Umfang von 280 Seiten. War RFID damals noch eine Nischentechnologie und in der Öffentlichkeit kaum näher bekannt, so hat sich dieses Bild mittlerweile sehr gewandelt. RFID ist zu einem festen Begriff geworden, und durch Anwendungen wie den elektronischen Reisepass oder den elektronischen Produktcode (EPC) wurde auch die breite Öffentlichkeit auf diese Technologie aufmerksam.

Auf Grund der zunehmend komplexen Vielfalt der RFID-Systeme sowie der immer schnelleren technischen Weiterentwicklung dieser Systeme wurde es im Laufe der Jahre immer schwieriger, das Thema als Einzelautor in der notwendigen Tiefe zu bearbeiten. Um auch in Zukunft die RFID-Technologie möglichst umfassend und kompetent in einem Buch zusammenfassen zu können, wurde ab der 6. Auflage ein neuer Weg eingeschlagen. Einige der Kapitel wurden von Co-Autoren übernommen und werden auch in der Zukunft weitergeführt. An der vorliegenden Auflage haben Michael E. Wernle (Meshed Systems, München), Michael Gebhart (NXP, Graz), Josef Preishuber-Pflügl (CISC, Klagenfurt), Erich Reisenhofer (Infineon, Graz) und Florian Peters (Bundesdruckerei, Berlin) mitgearbeitet.

An dieser Stelle möchte ich mich auch noch bei allen Firmen bedanken, die mit zahlreichen technischen Datenblättern, Vortragsmanuskripten, Zeichnungen und Fotografien zum Gelingen des Werkes beigetragen haben.

München, im Sommer 2015

Klaus Finkenzeller

3 Grundlegende Funktionsweise

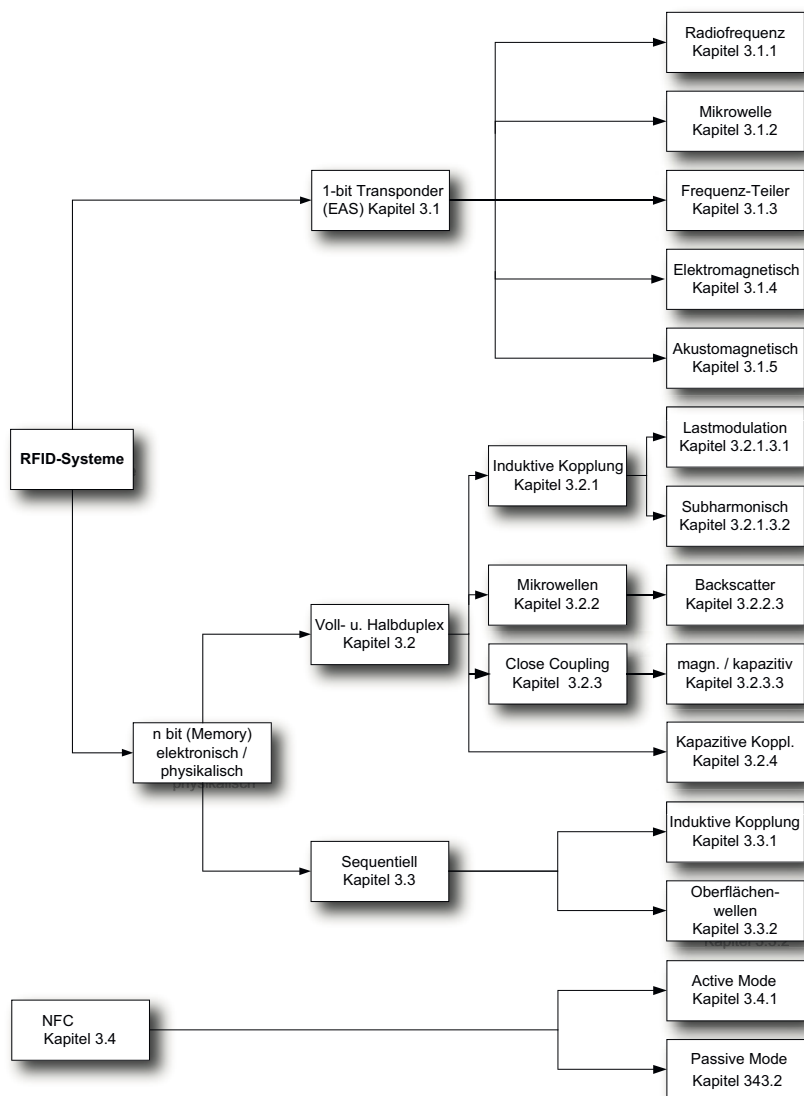


Abb. 3.1 Die Aufteilung der verschiedenen Funktionsweisen von RFID-Systemen in den Kapiteln.

Dieses Kapitel beschreibt das grundsätzliche Zusammenwirken zwischen dem Transponder und einem Lesegerät, insbesondere die Spannungsversorgung des Transponders und die Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät. Eine tiefergehende Beschreibung der physikalischen Zusammenhänge sowie mathematische Modelle für induktive Kopplung oder Backscatter-Systeme sind dem Kap. 4 „Physikalische Grundlagen für RFID-Systeme“, S. 77 zu entnehmen.

3.1 1-bit-Transponder

Ein Bit stellt die kleinste darstellbare Informationseinheit dar und kennt nur zwei Zustände: „1“ oder „0“. Für Systeme mit *1-bit-Transponder* bedeutet dies, dass nur zwei Systemzustände darstellbar sind: „Transponder im Ansprechbereich“ oder „**kein** Transponder im Ansprechbereich“. Trotz dieser Einschränkung sind 1-bit-Transponder sehr weit verbreitet – ihr Haupteinsatzgebiet sind elektronische *Diebstahlsicherungen* im Warenhaus (EAS – electronic article surveillance; elektronische Artikelsicherung).

Eine elektronische Artikelsicherung besteht aus folgenden Komponenten: den Antennen eines „Lesegerätes“ bzw. Detektors, dem *Sicherungsmittel* oder *Etikett*, sowie optional einem *Deaktivator* zur Entschärfung nach dem Bezahlen. Bei modernen Systemen erfolgt die Entwertung gleichzeitig mit der Registrierung des Preiscodes an der Kasse. Manche Systeme verfügen auch noch über einen *Aktivator*, mit dem ein Sicherungsmittel nach Entschärfung wieder reaktiviert werden kann [gillert]. Wesentliches Leistungsmerkmal aller Systeme ist die Erkennungs- oder *Detektionsrate* in Abhängigkeit von der Durchgangsbreite (maximaler Abstand zwischen Transponder und Detektorantenne).

Die Vorgehensweise bei der Abnahme und Überprüfung installierter Artikelsicherungssysteme ist in der Richtlinie VDI 4470 mit dem Titel „Warensicherungssysteme – Kundenabnahmerichtlinie für Schleusensysteme“ festgelegt. Diese Richtlinie enthält Definitionen und Testverfahren zur Ermittlung von Detektionsrate und Fehlalarmquote. Sie kann dem Einzelhandel als Grundlage für Kaufverträge oder zur laufenden Leistungskontrolle installierter Systeme dienen. Für den Produkthersteller stellt die Kundenabnahmerichtlinie ein wirkungsvolles Kontrollinstrument bei der Entwicklung und Optimierung von Integrationslösungen für Sicherungsprojekte dar [nach VDI 4470].

3.1.1 Radiofrequenz

Das *Radiofrequenz (RF)-Verfahren* arbeitet mit L-C-Schwingkreisen als Sicherungsmittel, welche auf eine definierte Resonanzfrequenz f_R abgeglichen sind. Ursprünglich wurden dazu Induktivitäten aus gewickeltem Kupferlackdraht mit angelötetem Kondensator im Kunststoffgehäuse (*Hartetikette*) verwendet. Heute benutzt man dazu zwischen Folie geätzte Spulen als Aufklebeschildchen. Damit der Dämpfungswiderstand nicht zu groß, und damit die Güte der Schwingkreise nicht zu klein wird, muss die Dicke der Aluminium-Leiterbahnen auf den 25µm starken *Polyethylen-Folie* wenigstens 50µm betragen [jörn]. Zur Herstellung der Kondensatorplatten werden 10µm dicke Zwischenfolien verwendet.

Durch das Lesegerät (Detektionsgerät) wird ein magnetisches Wechselfeld im Radiofrequenzbereich erzeugt (siehe Abbildung 3.2). Nähert man den L-C-Schwingkreis dem magnetischen Wechselfeld, so wird über die Spule des Schwingkreises Energie aus dem Wechselfeld in den Schwingkreis eingekoppelt (Induktionsgesetz). Entspricht nun die Frequenz f_G des Wechselfeldes der Resonanzfrequenz f_R des L-C-Schwingkreises, so wird der Schwingkreis zu einer *Resonanzschwingung* angeregt. Der dadurch im Schwingkreis fließende Strom wirkt seiner Ursache, also dem von außen einwirkenden magnetischen Wech-

selfeld entgegen. (siehe Kap. 4.1.10.1 „Transformierte Transponderimpedanz Z_T “, S. 105). Dieser Effekt macht sich in einer kleinen Änderung des Spannungsabfalles über der Generatorspule des Transmitters bemerkbar und führt letztendlich zu einer Abschwächung der messbaren magnetischen Feldstärke. Auch in einer optionalen Sensorspule ist eine Änderung der induzierten Spannung messbar, sobald ein resonanter Schwingkreis in das magnetische Feld der Generatorspule eingebracht wird.

Die relative Stärke dieser Änderung ist abhängig vom Abstand der beiden Spulen zueinander (*Generatorspule* – Sicherungsmittel, Sicherungsmittel – *Sensorspule*) sowie der Güte Q des angeregten Schwingkreises (im Sicherungsmittel).

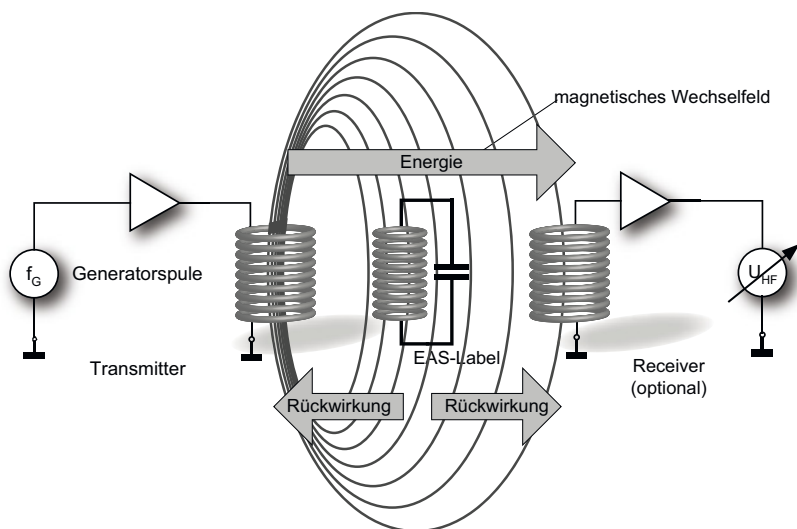


Abb. 3.2 Funktionsprinzip des EAS-Radiofrequenzverfahrens.

Die relative Stärke der Spannungsänderungen an Generator- und Sensorspule ist in der Regel sehr gering und damit schwierig zu erkennen. Um eine sichere Erkennung der Sicherungsmittel zu erreichen, ist es aber notwendig, ein möglichst ausgeprägtes Signal zu erhalten. Dies wird durch einen kleinen Trick erreicht: Die Frequenz des erzeugten Magnetfeldes ist nicht konstant, sondern wird „gewobbelt“. Dabei überstreicht die Generatorfrequenz fortlaufend den Bereich zwischen zwei Eckfrequenzen. Als Frequenzbereich steht den gewobbelten Systemen dazu der Bereich $8,2 \text{ MHz} \pm 10\%$ zur Verfügung [jörn].

Immer dann, wenn die gewobbelte Generatorfrequenz genau die Resonanzfrequenz des Schwingkreises (im Transponder) trifft, beginnt dieser einzuschwingen und erzeugt dadurch einen ausgeprägten Dip der Spannungen an der Generator- sowie der Sensorspule. Auch Frequenztoleranzen der Sicherungsmittel, bedingt durch Fertigungstoleranzen oder metallische Umgebung, spielen durch das „Abtasten“ eines ganzen Frequenzbereiches keine Rolle mehr.

Da die Etiketten an der Kasse nicht abgelöst werden, müssen sie so verändert werden, dass ein Ansprechen der Diebstahlsicherung ausgeschlossen ist. Hierzu werden die gesicherten Produkte von der Kassiererin auf ein Gerät gelegt – den *Deaktivator* –, das ein ausreichend

starkes Magnetfeld erzeugt, um mit der induzierten Spannung den Folienkondensator des Transponders zu zerstören. Die Kondensatoren besitzen dazu eigens eingebaute Sollkurzschlussstellen, so genannte *Dimples*. Das Durchschlagen der Kondensatoren ist irreversibel und verstimmt den Schwingkreis so stark, dass dieser durch das *Wobbelsignal* nicht mehr angeregt werden kann.

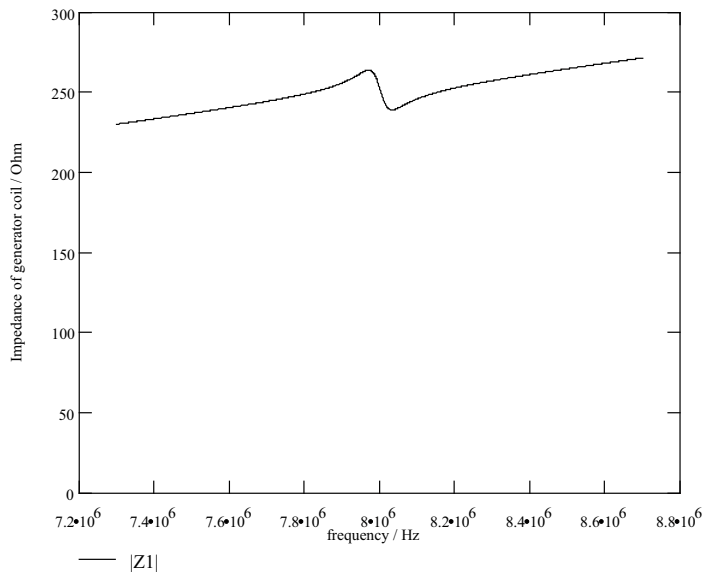


Abb. 3.3 Auftreten eines Impedanz-„Dip“ an der Generatorspule an der Resonanzfrequenz des Sicherungsmittels ($Q = 90$, $k = 1\%$). Die Frequenz f_G des Generators wird kontinuierlich zwischen zwei Eckfrequenzen gewobbelt. Ein RF-Etikett im Feld des Generators erzeugt auf seiner Resonanzfrequenz f_R einen ausgeprägten Dip.

Zur Erzeugung des benötigten magnetischen Wechselfeldes im Detektionsbereich der Sicherungsanlage werden großflächige *Rahmenantennen* eingesetzt. Die in Säulen integrierten Rahmenantennen werden zu Durchgangsschleusen kombiniert. Die klassische Bauform, bekannt aus jedem größeren Kaufhaus, ist in Abbildung 3.4 dargestellt. Mit dem RF-Verfahren werden Schleusenbreiten von bis zu 2 m erreicht. Bei der relativ niedrigen Detektionsrate von ca. 70% [gillert] zeigt sich ein relativ starker Einfluss von bestimmten Produktmaterialien. Vor allem Metalle (z. B. Konservendosen) beeinflussen die Resonanzfrequenz der Etiketten sowie die Kopplung zur Detektorspule und beeinflussen damit die Detektionsrate negativ. Um die genannte Schleusenbreite und Detektionsrate zu erreichen, müssen Etiketten von 50 x 50 mm zum Einsatz kommen.

Tabelle 3.1: Typische Systemparameter für RF-Systeme [VDI 4471].

Gütefaktor Q der Sicherungsmittel	> 60 .. 80
Minimale Deaktivierungsfeldstärke H_D	1,5 A/m
Maximale Feldstärke im Detektionsbereich	0,9 A/m

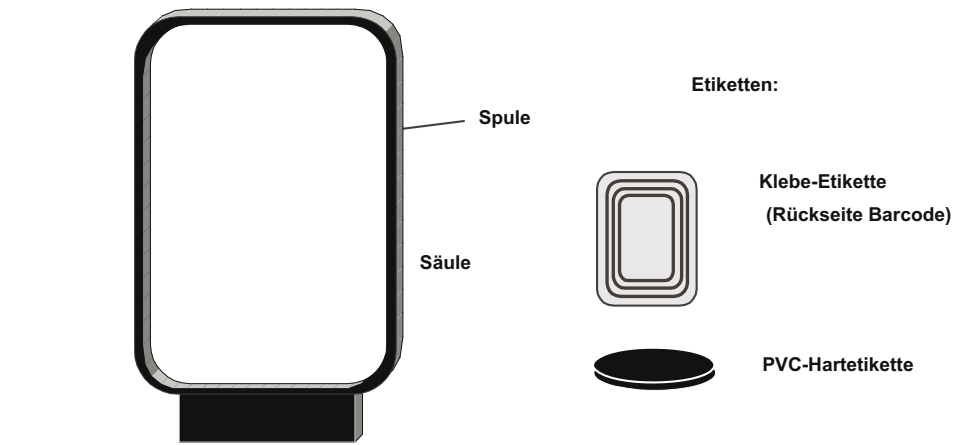


Abb. 3.4 links: Typische Rahmenantenne eines RF-Systems (Höhe 1,20 .. 1,60 m);
rechts: Bauformen von Etiketten.

Eine große Herausforderung für die Systemhersteller besteht in der Eigenschaft verschiedener Produkte, ebenfalls Resonanzfrequenzen aufzuweisen (z. B. Kabeltrommeln). Liegen diese Resonanzfrequenzen innerhalb des Wobbelbereiches $8,2\text{ MHz} \pm 10\%$, werden unweigerlich Fehlalarme ausgelöst.

Tabelle 3.2: Frequenzbereiche unterschiedlicher RF-Sicherungsanalgen [plotzke].

	Anlage 1	Anlage 2	Anlage 3	Anlage 4
Frequenz/MHz:	1,86 – 2,18	7,44 – 8,73	7,30 – 8,70	7,40 – 8,60
Wobbelfrequenz/Hz:	141	141	85	85

3.1.2 Mikrowelle

EAS-Systeme im *Mikrowellenbereich* nutzen die Entstehung von Harmonischen, an Bauteilen mit nichtlinearer Kennlinie (z. B. Dioden). Unter der *Harmonischen* einer sinusförmigen Spannung A mit definierter Frequenz f_A versteht man eine sinusförmige Spannung B, deren Frequenz f_B ein ganzzahliges Vielfaches der Frequenz f_A darstellt. Die Subharmonischen der Frequenz f_A sind also die Frequenzen $2f_A$, $3f_A$, $4f_A$ usw. Die N-fache der Ausgangsfrequenz wird in der Funktechnik als Nte Harmonische (Nte Oberwelle) bezeichnet, die Ausgangsfrequenz selbst wird als Grundwelle oder erste Harmonische bezeichnet.

Prinzipiell erzeugt jeder Zweipol mit nichtlinearer Charakteristik Harmonische zur Grundschwingung. Bei *nichtlinearen Widerständen* wird aber Energie verbraucht, sodass nur ein geringer Teil der Grundwellenleistung in die Oberschwingung umgesetzt wird. Unter günstigsten Bedingungen ist bei der Vervielfachung von f auf $n \cdot f$ der Wirkungsgrad $\eta = 1/n^2$. Benutzt man zur Vervielfachung hingegen nichtlineare Energiespeicher, hat man im Idealfall keine Verluste [fleckner].

Zur Frequenzvervielfachung eignen sich *Kapazitätsdioden* als nichtlineare Energiespeicher besonders gut. Anzahl und Stärke der entstehenden Harmonischen wird durch das *Dotierungsprofil* bzw. die Steilheit der Kennlinie der Kapazitätsdiode bestimmt. Ein Maß für die Steilheit (= Kapazitäts-Spannungs-Kennlinie) ist der Exponent n (auch γ). Dieser beträgt für einfach diffundierte Dioden 0,33 (z. B. BA110), für legierte Dioden 0,5 und für Tuner Dioden mit hyperabruptem PN-Übergang etwa 0,75 (z. B. BB 141) [itt75].

Legierte Kapazitätsdioden weisen einen quadratischen Verlauf der Kapazitäts-Spannungs-Kennlinie auf und eignen sich deshalb vor allem zum Verdoppeln von Frequenzen. Mit einfach diffundierten Kapazitätsdioden lassen sich sehr gut höhere Harmonische erzeugen [fleckner].

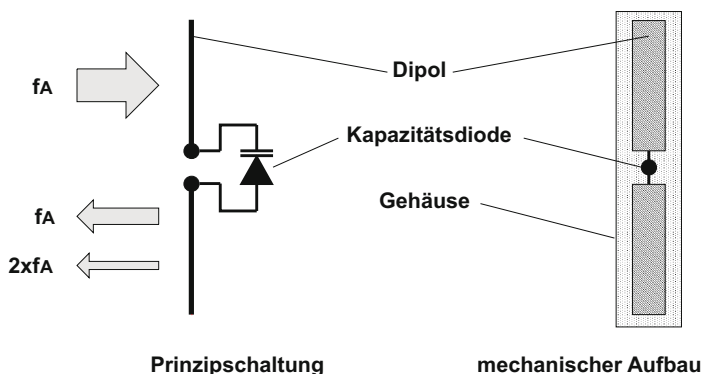


Abb. 3.5 Prinzipschaltbild und typische Bauform eines Mikrowellen-Etiketts.

Der Aufbau eines 1-bit-Transponders zur Erzeugung von Harmonischen ist ausgesprochen einfach: An den Fußpunkt eines auf die Grundwelle abgeglichenen *Dipols* wird eine Kapazitätsdiode geschaltet. Bei einer Grundwellenfrequenz von 2,45 GHz ergibt sich für den Dipol eine Gesamtlänge von 6 cm. Als Grundwellenfrequenz werden 915 MHz (außerhalb Europa), 2,45 GHz oder 5,6 GHz verwendet. Befindet sich der Transponder in der Strahlungskeule des Senders, so werden durch den Stromfluss in der Diode Harmonische der Grundwelle erzeugt und wieder abgestrahlt. Besonders ausgeprägte Signale erhält man je nach verwendetem Diodentyp auf der 2-fachen oder 3-fachen der Grundwelle.

In Kunststoff vergossene Transponder dieser Bauart (Hartetiketten) werden vor allem zur Sicherung von Textilien eingesetzt. An der Kasse werden die Etiketten beim Bezahlen abgenommen und wiederverwendet.

In Abbildung 3.6 wird ein Transponder in die Strahlungskeule eines Mikrowellensenders mit 2,45 GHz gebracht. Die an der Diodenkennlinie des Transponders erzeugte zweite Harmonische von 4,90 GHz wird wieder abgestrahlt und von einem Empfänger detektiert, der auf genau diese Frequenz abgeglichen wurde. Das Eintreffen eines Signals auf Frequenz der 2. Harmonischen kann dann zum Beispiel das Auslösen einer Alarmanlage bewirken.



Abb. 3.6 Mikrowellen-Etikett im Ansprechbereich eines Detektors.

Wird die Grundwelle in ihrer Amplitude oder Frequenz moduliert (ASK, FSK), so ist dieselbe Modulation auch in allen Harmonischen enthalten. Dies kann zur Unterscheidung von „Stör“- und „Nutz“-Signalen eingesetzt werden, womit sich Fehlalarme durch Fremdsignale weitestgehend ausschließen lassen. In obigem Beispiel modulieren wir die Amplitude der Grundwelle mit einem Signal von 1 kHz (100% ASK). Auch die am Transponder entstandene 2. Oberwelle ist mit 1 kHz ASK moduliert. Im Empfänger wird das Empfangssignal demoduliert und einem 1-kHz-Detektor zugeführt. Zufällig auftretende Störsignale auf der Empfangsfrequenz 4,90 GHz können dann keinen Fehlalarm auslösen, da diese in der Regel nicht oder anders moduliert sind.

3.1.3 Frequenzteiler

Dieses Verfahren arbeitet im Langwellenbereich bei 100 ... 135,5 kHz. Die Sicherungsetiketten enthalten eine *Halbleiterschaltung (Mikrochip)* sowie eine *Schwingkreisspule* aus gewickeltem Kupferlack. Mit einer angelöteten Kapazität wird der Schwingkreis auf der Arbeitsfrequenz des EAS-Systems in Resonanz gebracht. Diese Transponder sind als *Hart-etiketten* (Kunststoff) erhältlich und werden beim Kauf von der Ware entfernt.

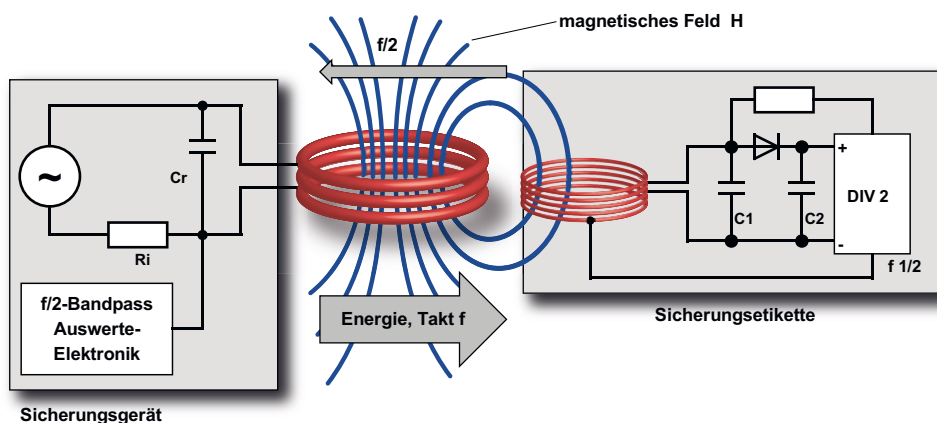


Abb. 3.7 Prinzipschaltbild des EAS-Frequenzteiler-Verfahrens: Sicherungsetikette (Transponder) und Detektor (Auswertegerät).

Der Mikrochip des Transponders wird durch die aus dem magnetischen Feld des Sicherungsgerätes ausgekoppelte Energie mit Betriebsspannung versorgt (siehe Kap. 3.2.1.1 „Energieversorgung passiver Transponder“, S. 47). Die an der Schwingkreisspule anliegende Frequenz wird vom Mikrochip durch 2 geteilt und zum Sicherungsgerät zurückgesendet. Die Einspeisung des frequenzhalbierten Signals erfolgt an einer Anzapfung der Schwingkreisspule.

Um die Auswertequote zu verbessern, wird das magnetische Feld des Sicherungsgerätes mit niedriger Frequenz gepulst (ASK-moduliert). Wie bei der Erzeugung von Harmonischen, so bleibt auch bei der halbierten Frequenz (*Subharmonische*) die Modulation der Grundwelle (ASK oder FSK) erhalten. Dies wird zur Unterscheidung von „Stör“- und „Nutz“-Signalen eingesetzt. Fehlalarme treten bei diesen Systemen daher kaum auf.

Als Sensor-Antennen werden Rahmenantennen eingesetzt, wie sie von den RF-Systemen her bereits bekannt sind.

Tabelle 3.3: Typische Systemparameter [plotzke].

Frequenz:	130 kHz
Modulationsart:	100% ASK
Modulationsfrequenz/-signal:	12,5 Hz oder 25 Hz, Rechteck 50%

3.1.4 Elektro-Magnetisch

Elektro-magnetische Verfahren arbeiten mit starken magnetischen Feldern im *NF-Bereich* von 10 Hz bis etwa 20 kHz. In den Sicherungsmitteln befindet sich ein weichmagnetischer *amorpher Metallstreifen* mit einer steilflankigen *Hysteresekurve* (siehe hierzu 4.1.2). In einem starken magnetischen Wechselfeld wird dieser Streifen periodisch ummagnetisiert und bis in die magnetische Sättigung geführt. Das stark unlineare Verhältnis zwischen angelegter Feldstärke H und magnetischer Flussdichte B nahe der Sättigung (siehe hierzu Abbildung 4.56 auf Seite 132), sowie der sprunghafte Wechsel der Flussdichte B nahe dem Nulldurchgang der angelegten Feldstärke H erzeugen Harmonische der Grundfrequenz des Sicherungsgerätes, die von diesem empfangen und ausgewertet werden können.

Eine Optimierung des elektro-magnetischen Verfahrens besteht darin, dem Hauptsignal zusätzlich Signalanteile mit höherer Frequenz zu überlagern. Durch die starke Unlinearität der Hysteresekurve im Streifen entstehen dadurch, zusätzlich zu den Harmonischen, Signalanteile mit Summen- und Differenzfrequenzen der eingespeisten Signale. Bei einem Hauptsignal der Frequenz $f_H=20$ Hz und den Zusatzsignalen $f_1=3,5$ und $f_2=5,3$ kHz entstehen folgende Signale (1. Ordnung):

$$f_1+f_2 = f_{1+2} = 8,80 \text{ kHz}$$

$$f_1-f_2 = f_{1-2} = 1,80 \text{ kHz}$$

$$f_H+f_1 = f_{H+1} = 3,52 \text{ kHz} \quad \text{und so weiter ...}$$

Das Sicherungsgerät reagiert hier nicht auf die Harmonischen der Grundfrequenz, sondern auf die Summen- oder Differenzfrequenz der Zusatzsignale.

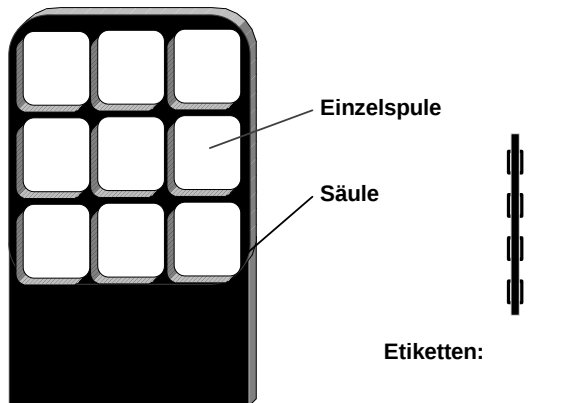


Abb. 3.8 links: Typische Antennenbauform der Sicherungsanlage (Höhe ca 1,40 m);
rechts: Mögliche Bauformen von Etiketten.

Die Sicherungsmittel sind als Etiketten in Form selbstklebender Streifen von einigen cm bis 20 cm Länge erhältlich. Aufgrund der extrem niedrigen Arbeitsfrequenzen eignen sich elektro-magnetische Systeme als einzige für metallhaltige Waren. Nachteilig wirkt sich jedoch die Lageabhängigkeit der Etiketten aus: Für eine sichere Detektion müssen die magnetischen Feldlinien des Sicherungsgerätes senkrecht durch den amorphen Metallstreifen laufen.



Abb. 3.9 Elektro-magnetische Etiketten im Einsatz. (Foto: Schreiner Codedruck, München)

Zur Deaktivierung sind die Etiketten mit einer hartmagnetischen Metallschicht umgeben oder partiell mit hartmagnetischen Plättchen bedeckt. An der Kasse werden die Sicherungsmittel deaktiviert indem die Kassiererin mit einem starken *Permanentmagneten* den Metall-

streifen entlangfährt [plotzke]. Hierdurch werden die hartmagnetischen Metallplättchen magnetisch. Dabei sind die Metallstreifen so ausgelegt, dass die Remanenzfeldstärke (siehe hierzu Kap. 4.1.12 „Magnetische Werkstoffe“, S. 132) der Metallplättchen ausreicht, um den amorphen Metallstreifen in der Sättigung zu halten, sodass das magnetische Wechselfeld der Sicherungsanlage nicht mehr wirksam werden kann.

Durch Entmagnetisierung können die Etiketten jederzeit wieder reaktiviert werden. Der Prozess der De- und Reaktivierung ist beliebig oft durchführbar. Aus diesem Grunde lag das Haupteinsatzgebiet der elektro-magnetischen Warensicherung ursprünglich bei Leihbibliotheken. Wegen der kleinen (mind. 32 mm kurze Streifen) und preiswerten Etiketten werden diese Systeme zunehmend auch im Lebensmitteleinzelhandel eingesetzt.

Um die erforderlichen Feldstärken zur Ummagnetisierung der Permalloy-Streifen zu erreichen, wird das Feld von zwei Spulensystemen in den Säulen zu beiden Seiten des schmalen Durchgangs erzeugt. In den beiden Säulen sind mehrere Einzelspulen, typischerweise 9 bis 12, die in der Mitte schwächere und außen stärkere Magnetfelder generieren [plotzke]. Damit sind heute Schleusenbreiten bis zu 1,50 m realisierbar, wobei noch Detektionsraten von 70% erreicht werden [gillert].



Abb. 3.10 Praktische Ausführung einer Antenne für Artikelsicherungssysteme. (Foto: METO EAS-System 2200, Esselte Meto, Hirschborn)

Tabelle 3.4: Typische Systemparameter [plotzke].

Frequenz	70 Hz
optionale Mischfrequenzen verschiedener Anlagen	21 Hz, 215 Hz, 3,3 kHz, 5 kHz
Feldstärke H_{eff} im Detektionsbereich	25 .. 120 A/m
minimale Feldstärke zur Deaktivierung	16000 A/m

3.1.5 Akustomagnetisch

Die Sicherungsmittel akustomagnetischer Systeme bestehen aus kleinen Kunststoffboxen, die etwa 40 mm lang, je nach Ausführung etwa 8 bis 14 mm breit und einen knappen Millimeter hoch sind. In dieser Box befinden sich zwei Metallstreifen, ein *hartmagnetischer Metallstreifen*, der fest mit der Plastikbox verbunden ist, sowie ein Streifen aus *amorphem Metall*, der so gelagert wird, dass er mechanisch frei schwingen kann [zechbauer].

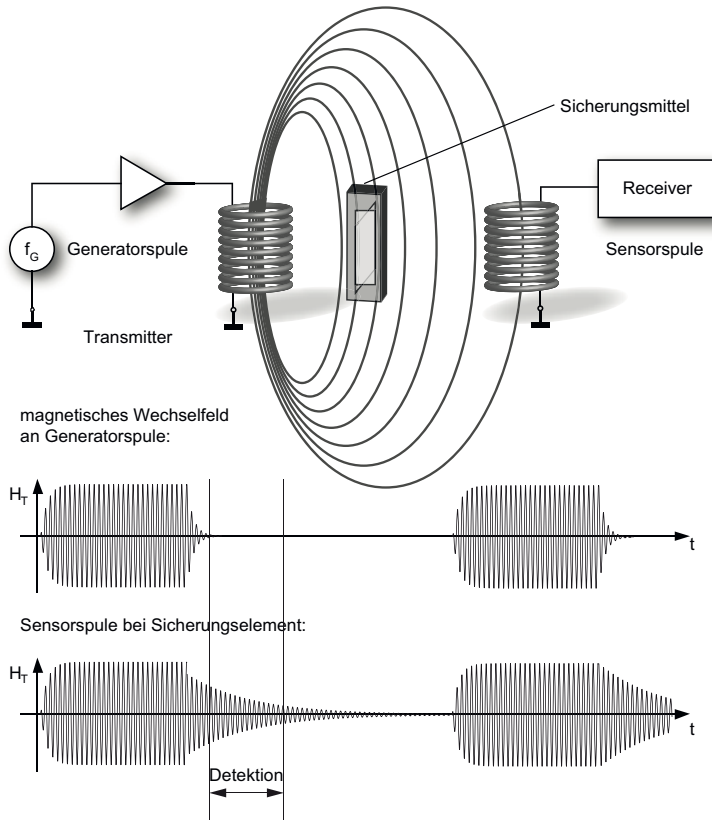


Abb. 3.11 Akustomagnetisches System bestehend aus Sender und Detektionsgerät (Receiver). Befindet sich ein Sicherungsmittel im Feld der Generatorspule, so schwingt dieses nach den Pulsen der Generatorspule wie eine Stimmgabel aus. Das Ausschwingverhalten kann von einem Auswertegerät detektiert werden.

Ferromagnetische Metalle (Nickel, Eisen, usw.) verändern in einem magnetischen Feld unter dem Einfluss der Feldstärke H ihre Länge in einem geringen Maße. Dieser Effekt wird als *Magnetostriktion* bezeichnet und ergibt sich aus einer geringfügigen Änderung des Atomabstandes durch die Magnetisierung. In einem magnetischen Wechselfeld schwingt ein magnetostriktiver Metallstreifen longitudinal mit der Frequenz des Feldes. Entspricht die Frequenz des magnetischen Wechselfeldes der (akustischen) Resonanzfrequenz des Metallstreifens, so wird die Amplitude der Schwingung besonders groß. Bei amorphen Metallen ist dieser Effekt besonders ausgeprägt.

Entscheidend ist nun, dass der magnetostriktive Effekt auch umkehrbar ist. Dies bedeutet, dass von einem schwingenden magnetostriktiven Metallstreifen ein magnetisches Wechselfeld ausgesendet wird. *Akustomagnetische Sicherungssysteme* sind nun so ausgelegt, dass die Frequenz des erzeugten magnetischen Wechselfeldes mit den Resonanzfrequenzen der Metallstreifen in den Sicherungsmitteln exakt übereinstimmt. Der amorphe Metallstreifen beginnt unter dem Einfluss des angelegten Magnetfeldes zu schwingen. Wird das magnetische Wechselfeld nach einiger Zeit abgeschaltet, so schwingt der angeregte Metallstreifen wie eine Stimmgabel noch eine gewisse Zeit weiter und erzeugt dabei selbst ein magnetisches Wechselfeld, das von der Sicherungsanlage leicht detektiert werden kann.

Tabelle 3.5: Typische Betriebsparameter akustomagnetischer Systeme [VDI4471].

Parameter	typischer Wert
Resonanzfrequenz f_0	58 kHz
Frequenztoleranz	$\pm 0,52\%$
Gütefaktor Q	> 150
minimale Feldstärke zur H_A zur Aktivierung	> 16.000 A/m
Einschaltdauer des Feldes	2 ms
Feldpause (Ausschaltdauer)	20 ms
Ausschwingvorgang des Sicherungsmittels	5 ms

Der große Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass die Sicherungsanlage während der Zeit, in der das Sicherungsmittel antwortet, selbst nicht sendet und die Detektionsempfänger somit entsprechend empfindlich ausgelegt werden können.

Im aktivierten Zustand sind akustomagnetische Sicherungsmittel magnetisiert, d. h. der eingangs erwähnte hartmagnetische Metallstreifen weist eine hohe Remanenzfeldstärke auf und bildet somit einen Dauermagneten. Um das Sicherungsmittel zu deaktivieren, muss der hartmagnetische Metallstreifen entmagnetisiert werden. Dies verstimmt die Resonanzfrequenz des amorphen Metallstreifens, sodass dieser durch die Ansprechfrequenz der Sicherungsanlage nicht mehr angeregt werden kann. Das Entmagnetisieren des hartmagnetischen Metallstreifens kann nur durch ein in der Feldstärke langsam abklingendes, starkes magnetisches Wechselfeld erfolgen. Die Manipulation der Sicherungsmittel durch vom Kunden mitgebrachte Dauermagneten ist somit sicher ausgeschlossen.

3.2 Voll- und Halbduplexverfahren

Im Gegensatz zu den 1-bit-Transpondern, welche meist durch die Anwendung einfacher physikalischer Effekte (Anschwingvorgänge, Anregung von harmonischen Verfahren mit Hilfe der unlinearen Kennlinien von Dioden oder an der unlinearen Hysteresekurve von Metallen) realisiert werden, verwenden die in diesem und dem folgenden Kapitel beschriebenen Transponder einen elektronischen Mikrochip als Datenträger. Auf diesem Datenträger können Datenmengen von wenigen Bytes bis hin zu einigen MByte gespeichert werden. Um die Datenträger auszulesen oder zu beschreiben, müssen Daten vom Lesegerät an den Transponder und auch zurück vom Transponder an das Lesegerät übertragen werden können. Hierbei kommen zwei grundsätzlich unterschiedliche Verfahren zum Einsatz: Voll- und Halbduplexverfahren, die in diesem Kapitel, sowie sequentielle Systeme, die im nachfolgenden Kapitel beschrieben werden.

Findet die Datenübertragung von Transponder in Richtung Lesegerät zeitversetzt mit der Datenübertragung vom Lesegerät zum Transponder statt, so bezeichnet man dies als *Halbduplexverfahren* (HDX). Bei Frequenzen unter 30 MHz wird zur Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät am häufigsten das Verfahren der Lastmodulation mit und ohne Hilfsträger eingesetzt, welches auch schaltungs-technisch sehr einfach zu realisieren ist. Damit eng verwandt ist das aus der Radartechnik bekannte Verfahren des modulierten Rückstrahlquerschnitts, welches auf Frequenzen über 100 MHz zum Einsatz kommt. Lastmodulation und modulierter Rückstrahlquerschnitt beeinflussen unmittelbar das durch das Lesegerät erzeugte magnetische oder elektromagnetische Feld, und werden deshalb auch zu den „*harmonischen*“ Verfahren gezählt.

Findet die Datenübertragung vom Transponder in Richtung Lesegerät (Uplink) zeitgleich mit der Datenübertragung vom Lesegerät zum Transponder (Downlink) statt, so bezeichnet man dies als *Vollduplexverfahren* (FDX). Dabei kommen Verfahren zum Einsatz, bei denen die Daten des Transponders auf Teilfrequenzen des Lesegeräts, also einer *subharmonischen*, oder auf einer davon völlig unabhängigen, also *anharmonischen* Frequenz zum Lesegerät übertragen werden.

Zur Datenübertragung vom Lesegerät zum Transponder (Downlink) werden bei Voll- und Halbduplexsystemen unabhängig von der Arbeitsfrequenz oder dem Kopplungsverfahren alle bekannten Verfahren der digitalen Modulation eingesetzt. Man unterscheidet zwischen drei grundsätzlichen Verfahren:

- *ASK*: Amplitude Shift Keying
- *FSK*: Frequency Shift Keying
- *PSK*: Phase Shift Keying

Wegen der einfachen Demodulationsmöglichkeit und der damit verbundenen einfacheren Schaltungstechnik im Transponder, verwendet die überwiegende Mehrheit der Systeme eine ASK-Modulation zur Datenübertragung an den Transponder.

FSK ist theoretisch möglich, dem Autor ist derzeit jedoch kein RFID-System bekannt, bei welchem FSK auf der Downlink kommerziell eingesetzt würde.

Auch PSK gewinnt erst in jüngster Zeit an Bedeutung. So wurde in der Standardisierung für ISO/IEC 14443 in 2011 ein Projekt gestartet, um mit PSK-Modulationsverfahren in Zukunft Bitraten von 10 MBit/s und höher auf dem Downlinkkanal zu ermöglichen. ASK wird bei ISO/IEC 14443 für Bitraten von 106 kBit/s bis hin zu 6,78 MBit/s eingesetzt.

Das wichtigste gemeinsame Merkmal der Voll- und Halbduplexsysteme besteht darin, dass die Energieübertragung vom Lesegerät zum Transponder kontinuierlich, also unabhängig von der Datenübertragungsrichtung stattfindet. Im Gegensatz dazu findet bei den sequentiellen Systemen (SEQ) die Energieübertragung vom Transponder zum Lesegerät immer nur für eine begrenzte Zeitspanne statt (Pulsbetrieb → *gepulste Systeme*). Die Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät wird in den Pausen zwischen der Energieversorgung des Transponders durchgeführt.

Leider konnte man sich in der Literatur über RFID-Systeme nie auf eine einheitliche Nomenklatur für diese Systemvarianten einigen. Vielmehr ist eine verwirrende und uneinheitliche Zuordnung einzelner Systeme zu Voll- und Halbduplexsystemen üblich. So werden gepulste Systeme häufig als Halbduplexsysteme bezeichnet – dies ist aus Sicht der Datenübertragung zunächst richtig –, alle ungepulsten Systeme werden aber gleichzeitig fälschlicherweise den Vollduplexsystemen zugeordnet. In diesem Buch werden deshalb gepulste Systeme – zur Unterscheidung von anderen Verfahren, und entgegen der üblichen RFID-Literatur(!) – als sequentielle Systeme (SEQ) bezeichnet.

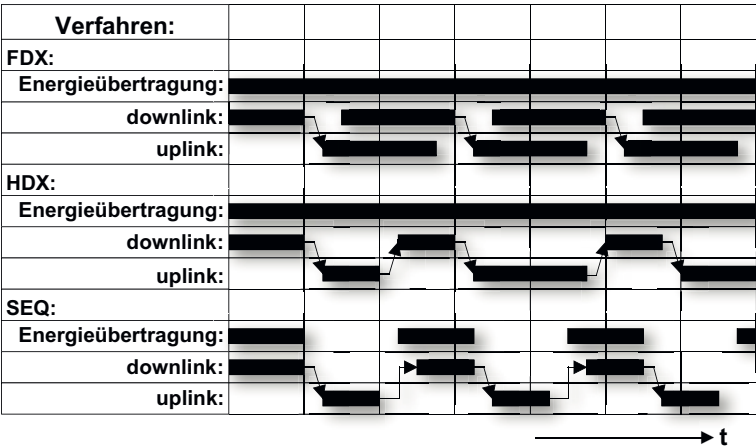


Abb. 3.12 Darstellung der zeitlichen Abläufe bei Voll-, Halbduplex- und sequentiellen Systemen. Die Datenübertragung vom Lesegerät zum Transponder wird in der Abbildung als downlink, die Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät als uplink bezeichnet.

3.2.1 Induktive Kopplung

3.2.1.1 Energieversorgung passiver Transponder

Ein induktiv gekoppelter Transponder besteht aus einem elektronischen Datenträger, meist einem einzelnen Mikrochip, sowie einer großflächigen Spule oder Leiterschleife, welche als Antenne dient.

Induktiv gekoppelte Transponder werden fast ausschließlich passiv betrieben. Dies bedeutet, dass die gesamte zum Betrieb des Mikrochips notwendige Energie durch das Lesegerät zur Verfügung gestellt werden muss. Von der Antennenspule des Lesegerätes wird dazu ein starkes hochfrequentes, elektromagnetisches Feld erzeugt, welches den Querschnitt der Spulenfläche und den Raum um die Spule durchdringt. Da die Wellenlänge der verwendeten Frequenzbereiche ($< 135 \text{ kHz}$: 2400 m, 13,56 MHz: 22,1 m) um ein Vielfaches größer ist als die Entfernung zwischen Leser-Antenne und Transponder, darf das elektromagnetische Feld im Abstand des Transponders zur Antenne mathematisch noch als einfaches magnetisches Wechselfeld behandelt werden (Weiteres dazu kann dem Kap. 4.2.1.1 „Übergang vom Nah- zum Fernfeld bei Leiterschleifen“, S. 138 entnommen werden).

Ein geringer Teil des von der Antenne des Lesegeräts erzeugten magnetischen Feldes durchdringt dabei auch die Antennenspule des Transponders, der sich in einiger Entfernung zur Spule des Lesegerätes befindet. Durch Induktion wird dadurch an der Antennenspule des Transponders eine Spannung U_i erzeugt. Die induzierte Spannung wird gleichgerichtet und dient der Energieversorgung des Datenträgers (Mikrochip).

Der Antennenspule des Lesegerätes wird ein Kondensator C_r parallelgeschaltet, dessen Kapazität so gewählt wird, dass zusammen mit der Spuleninduktivität der Antennenspule ein Parallelschwingkreis gebildet wird, dessen Resonanzfrequenz der Sendefrequenz des Lesegerätes entspricht. Durch den Effekt der Resonanzüberhöhung im Parallelschwingkreis können in der Antennenspule des Lesegerätes sehr hohe Ströme erreicht werden, womit die notwendigen Feldstärken auch zum Betrieb entfernter Transponder erzeugt werden können.

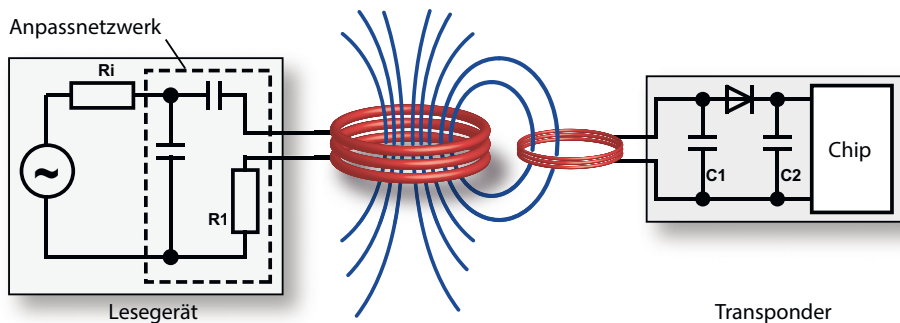


Abb. 3.13 Spannungsversorgung eines induktiv gekoppelten Transponders aus der Energie des magnetischen Wechselfeldes, das vom Lesegerät erzeugt wird.

Die Antennenspule des Transponders bildet zusammen mit dem Kondensator C1 ebenfalls einen Schwingkreis, welcher in etwa auf die Sendefrequenz des Lesegerätes abgestimmt wird. Durch Resonanzüberhöhung im Parallelschwingkreis erreicht die Spannung U_i an der Transponderspule ein Maximum.

Die Anordnung der beiden Spulen kann auch als Transformator interpretiert werden (*transformatorische Kopplung*), wobei zwischen den beiden Windungen nur eine sehr schwache Kopplung besteht. Der Wirkungsgrad der Leistungsübertragung zwischen der Antennenspule des Lesegerätes und dem Transponder ist proportional der Arbeitsfrequenz f , der Windungszahl n der Transponderspule, der umschlossenen Fläche A der Transponderspule, dem Winkel der beiden Spulen zueinander sowie der Entfernung zwischen den beiden Spulen.



Abb. 3.14 Verschiedene Bauformen induktiv gekoppelter Transponder. Dargestellt sind Transponder-Halbzuge, also Transponder vor dem Einspritzen in ein Kunststoffgehäuse.
(Foto: AmaTech GmbH & Co. KG, Pfronten)

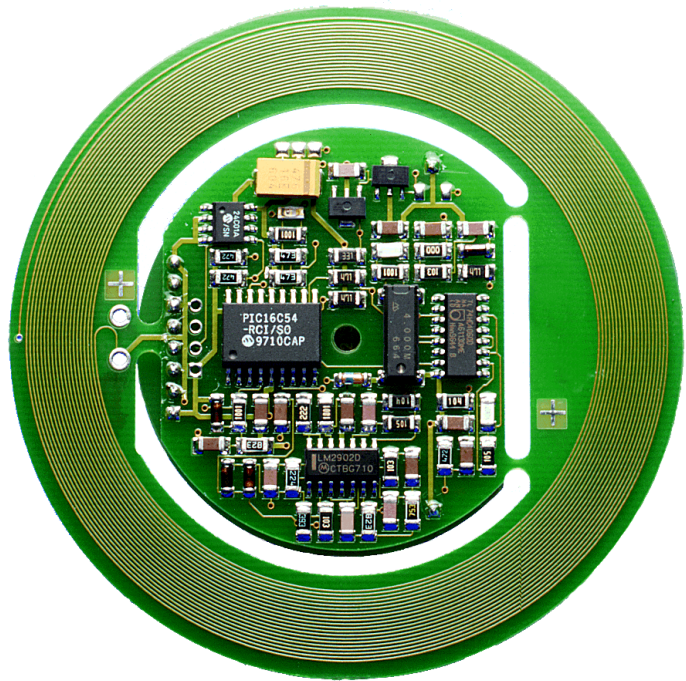


Abb. 3.15 Lesegerät für induktiv gekoppelte Transponder im Frequenzbereich < 135 kHz mit integrierter Antenne. (Foto: easy-key System, micron, Halbergmoos)

Tabelle 3.6: Übersicht über die Stromaufnahme verschiedener RFID-ASIC-Bausteine [ATMEL]. Die zum Betrieb der Mikrochips minimal notwendige Versorgungsspannung ist mit 1,8 V, die maximal zulässige mit 10 V angegeben.

	Speicher/Byte	Schreib-/Lesedistanz	Stromaufnahme	Frequenz	Anwendung
ASIC#1	6	15 cm	10 µA	120 kHz	Tier ID
ASIC#2	32	13 cm	600 µA	120 kHz	Warenfluss, Zutrittskontrolle
ASIC#3	256	2 cm	6 mA	128 kHz	ÖPNV
ASIC#4	256	< 2 cm	~ 1 mA	4/13,56 MHz	Warenfluss
ASIC#5	256	100 cm	500 µA	125 kHz	Zutrittskontrolle
ASIC#6	2048	0,3 cm	< 10 mA	4,91 MHz*)	kontaktlose Chipkarte
ASIC#7	1024	10 cm	~ 1 mA	13,56 MHz	ÖPNV
ASIC#8	8	100 cm	< 1 mA	125 kHz	Warenfluss
ASIC#9	128	100 cm	< 1 mA	125 kHz	Zutrittskontrolle

Mit zunehmender Frequenz f nimmt die benötigte Spuleninduktivität der Transponderspule und damit auch die Windungszahl „ n “ ab (135 kHz: typisch 100 ... 1000 Windungen, 13,56 MHz: typisch 3 ... 10 Windungen). Da die im Transponder induzierte Spannung jedoch proportional der Frequenz f ist (siehe hierzu Kap. 4.1.7 „Resonanz“, S. 90), wirkt sich die geringere Windungszahl bei höheren Frequenzen in der Praxis auf den Wirkungsgrad der Leistungsübertragung kaum aus.

3.2.1.2 Datenübertragung Transponder > Lesegerät

3.2.1.2.1 Lastmodulation

Wie bereits gezeigt, besteht bei induktiv gekoppelten Systemen eine *transformatorische Kopplung* zwischen der primären Spule im Lesegerät und der sekundären Spule im Transponder. Dies gilt, solange der Abstand zwischen den Spulen nicht größer als $(\lambda/2\pi) 0,16 \lambda$ wird, sodass sich der Transponder im *Nahfeld* der Sendeantenne befindet (eine nähere Erklärung zur Definition des Nah- und Fernfeldes siehe Kapitel 4.2.1.1 „Übergang vom Nah- zum Fernfeld bei Leiterschleifen“, S. 138).

Wird ein resonanter Transponder (d. h. die Eigenresonanzfrequenz des Transponders entspricht der Sendefrequenz des Lesegerätes) in das magnetische Wechselfeld der Antenne des Lesegerätes gebracht, so entzieht dieser dem magnetischen Feld Energie. Die dadurch hervorgerufene Rückwirkung des Transponders auf die Antenne des Lesegerätes kann als *transformierte Impedanz* Z_T in der Antennenspule des Lesegerätes dargestellt werden. Das Ein- und Ausschalten eines *Lastwiderstandes* an der Antenne des Transponders bewirkt eine Veränderung der Impedanz Z_T und damit Spannungsänderungen an der Antenne des Lesegerätes (siehe Kapitel 4.1.10.3 „Lastmodulation“, S. 115). Dies entspricht in der Wirkung einer Amplitudenmodulation der Spannung U_L an der Antennenspule des Lesegerätes durch den entfernten Transponder. Steuert man das An- und Ausschalten des Lastwiderstandes durch Daten, so können diese Daten vom Transponder zum Lesegerät übertragen werden. Diese Form der Datenübertragung wird als *Lastmodulation* bezeichnet.

In der Praxis zeigt sich, dass der Phasenwinkel der transformierten Impedanz vom Phasenwinkel des Stromes in der Transponderantenne, und damit von der genauen Resonanzfrequenz des Transponderschwingkreises abhängt. Je nach Phasenwinkel der transformierten Impedanz kann eine Lastmodulation eine „positive“ oder „negative“ Amplitudenmodulation, eine reine Phasenmodulation, oder eine Mischung davon, an der Antennenspule des Lesegerätes erzeugen. Hinzu kommt, dass vereinzelt auch kapazitive Lastmodulation, also die Umschaltung der Resonanzfrequenz des Transponders, verwendet wird.

Zur Rückgewinnung der Daten im Lesegerät wird eine an der Antenne des Lesegerätes abgegriffene Spannung gleichgerichtet. Dies entspricht der Demodulation eines amplitudenmodulierten Signals. Ein Schaltungsbeispiel hierfür kann dem Kapitel 11.3.1 „Integriertes HF-Interface“, S. 498 entnommen werden.

Verlässt der Transponder das Nahfeld, also den Bereich $< \lambda/2\pi (0,16 \lambda)$, so geht mit dem Übergang in das Fernfeld auch die transformatorische Kopplung zwischen der Antenne des

Lesegerätes und der Antenne des Transponders verloren. Eine Lastmodulation ist im Fernfeld daher nicht mehr möglich. Dies bedeutet jedoch nicht, dass eine Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät grundsätzlich nicht mehr möglich wäre. Mit dem Übergang ins Fernfeld beginnt der Mechanismus der Backscatter-Kopplung (Siehe „Elektromagnetische Backscatter-Kopplung“ auf Seite 58.) wirksam zu werden. In der Praxis scheitert eine Datenübertragung zum Lesegerät jedoch in der Regel an dem kleinen Wirkungsgrad der Transponderantennen (d. h. dem geringen Antennengewinn) im Fernfeld.

3.2.1.2.2 Lastmodulation mit Hilfsträger

Auf Grund der geringen Kopplung zwischen Leseantenne und Transponder-Antenne sind die das Nutzsignal darstellenden Spannungsschwankungen an der Antenne des Lesegerätes um Größenordnungen kleiner als die Ausgangsspannung des Lesegerätes. Bei einem 13,56 MHz-System kann in der Praxis, bei einer Antennenspannung von ca. 100V (Spannungsüberhöhung durch Resonanz!) mit einem Nutzsignal von etwa 10 mV gerechnet werden (= 80 dB Nutz/„Störsignal“-Verhältnis). Da diese geringen Spannungsänderungen nur mit einem sehr großen schaltungstechnischen Aufwand zu detektieren sind, macht man sich die durch die Amplitudenmodulation der Antennenspannung entstehenden Modulationsseitenbänder zunutze:

Wird nämlich der zusätzliche Lastwiderstand im Transponder mit sehr hoher Taktfrequenz f_H ein- und ausgeschaltet, so entstehen zwei Spektrallinien im Abstand $\pm f_H$ um die Sendefrequenz des Lesegerätes, die nun leicht detektiert werden können (es muss jedoch $f_H < f_{\text{LESER}}$ sein). Im Sprachgebrauch der Funktechnik wird die zusätzlich eingeführte Taktfrequenz als *Hilfsträger* (Subcarrier) bezeichnet.

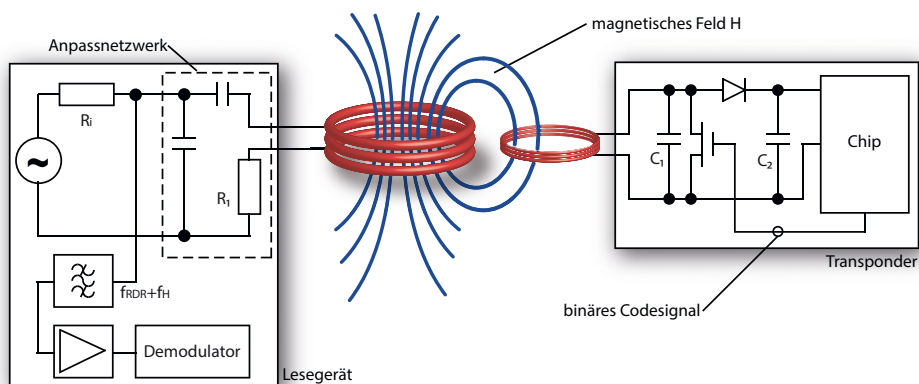


Abb. 3.16 Erzeugung der Lastmodulation im Transponder durch Umschalten des Drain-Source-Widerstandes eines FET auf dem Chip. Das abgebildete Lesegerät ist für die Detektion eines Hilfsträgers ausgelegt.

Um nun Daten an das Lesegerät zu übertragen, wird der *Hilfsträger* selbst im Takt des Datenflusses moduliert. Der Lastwiderstand im *Lastmodulator* wird nun im Takt des modulierten Hilfsträgers ein- und ausgeschaltet. Als Modulationsverfahren für den Hilfsträger

werden ASK- (z. B. ISO/IEC 14443 Typ A: On-Off keying), FSK- (z. B. ISO/IEC 15693: Umtastung zwischen den beiden Hilfsträgerfrequenzen 424 kHz und 485 kHz) oder PSK-Modulation (z. B. ISO/IEC 14443 Typ B: 2-PSK oder BPSK) eingesetzt.

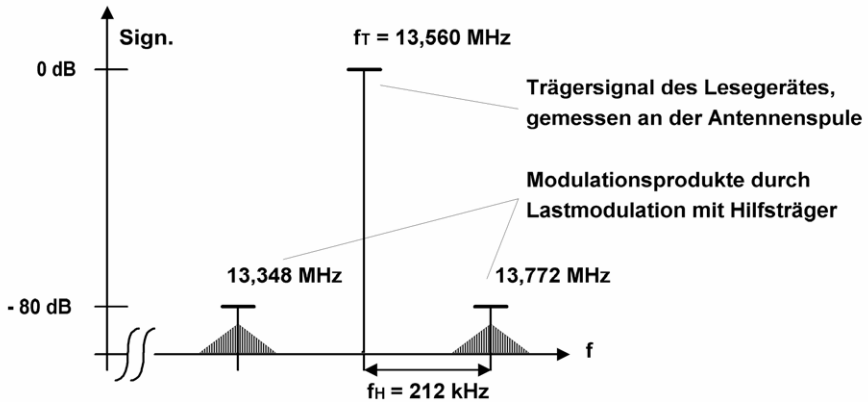


Abb. 3.17 Durch Lastmodulation mit Hilfsträger entstehen zwei Seitenbänder im Abstand der Hilfsträgerfrequenz f_H um die Sendefrequenz des Lesegerätes. Die eigentliche Information steckt in den Seitenbändern der beiden Hilfsträger-Seitenbänder, welche durch die Modulation des Hilfsträgers selbst entstehen.

Durch Lastmodulation mit Hilfsträger entstehen an der Antenne des Lesegerätes zwei Modulationsseitenbänder im Abstand der Hilfsträgerfrequenz um die Arbeitsfrequenz f_{LESER} . Diese Modulationsseitenbänder können durch eine Bandpassfilterung auf einer der beiden Frequenzen $f_{\text{LESER}} \pm f_H$ vom wesentlich stärkeren Signal des Lesegerätes getrennt werden. Nach anschließender Verstärkung ist das Hilfsträgersignal dann sehr einfach zu demodulieren.

Lastmodulation mit Hilfsträger wird fast ausschließlich im Frequenzbereich 13,56 MHz eingesetzt. Typische Hilfsträgerfrequenzen sind 212 kHz, 424 kHz (z.B. ISO/IEC 15693) und 848 kHz (z.B. ISO/IEC 14443).

3.2.1.2.3 Schaltungsbeispiel – Lastmodulation mit Hilfsträger

Ein Beispiel für die schaltungstechnische Realisierung eines Transponders mit Lastmodulation mit Hilfsträger ist in Abbildung 3.18 gezeigt. Die Schaltung ist für eine Arbeitsfrequenz von 13,56 MHz ausgelegt und erzeugt einen Hilfsträger von 106 kHz.

Die an der Antennenspule L_1 durch das magnetische Wechselfeld des Lesegerätes induzierte Spannung wird mit dem Brückengleichrichter ($D_1 \dots D_4$) gleichgerichtet und steht nach zusätzlicher Glättung (C_1) der Schaltung als Versorgungsspannung zur Verfügung. Mit dem Parallelregler (ZD 5V6) wird das unbegrenzte Ansteigen der Versorgungsspannung bei Annäherung des Transponders an die Leserantenne verhindert.

Über den Vorwiderstand (R_1) gelangt ein Teil der hochfrequenten Antennenspannung (13,56 MHz) an den Takteingang (CLK) des Frequenzteilers (IC1) und dient dem Transponder als Basis zur Erzeugung eines internen Taktsignals. Nach einer Teilung durch 2^7 (=128) steht an

Ausgang Q7 ein Hilfsträger-Taktsignal von 106 kHz zur Verfügung. Das Hilfsträger-Taktsignal wird, gesteuert durch einen seriellen Datenfluss am Dateneingang (DATA), auf den Schalter (T_1) gegeben. Liegt am Dateneingang (DATA) ein logisches HIGH-Signal, so wird das Hilfsträger-Taktsignal auf den Schalter (T_1) gegeben. Der Lastwiderstand (R_2) wird dann im Takt der Hilfsträgerfrequenz an- und abgeschaltet.

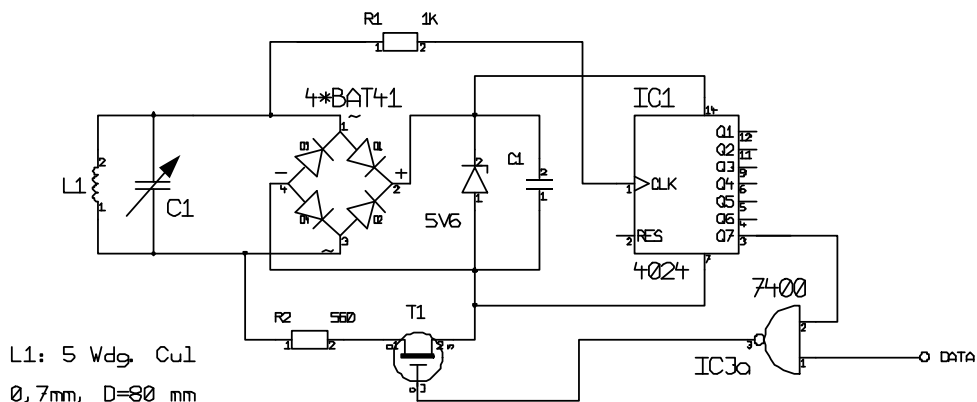


Abb. 3.18 Schaltungsbeispiel für die Erzeugung einer Lastmodulation mit Hilfsträger in einem induktiv gekoppelten Transponder.

Durch die Beschaltung des UND-Gatters (IC3) mit einem beliebigen anderen Ausgang (Q1 .. Q6) des Teilers kann auch eine höhere Hilfsträgerfrequenz (Q6: 212 kHz, Q5: 484 kHz, Q4: 848 kHz, .. Q2: 6,78 MHz) gewählt werden.

Optional lässt sich bei der abgebildeten Schaltung der Transponderschwingkreis mit der Kapazität C_1 auf 13,56 MHz in Resonanz bringen. Die Reichweite dieses „Minimaltransponders“ kann damit deutlich vergrößert werden.

3.2.1.2.4 Aktive Lastmodulation

Die begrenzenden Faktoren eines induktiv gekoppelten RFID-Systems hinsichtlich der *Kommunikationsreichweite* liegen einerseits in der *Energierreichweite* des Lesegerätes, also der Fähigkeit, einen Transponder im Leseabstand mit ausreichend Energie zum Betrieb zu versorgen, sowie andererseits in der Fähigkeit, Daten per Lastmodulation vom Transponder an das Lesegerät zurückzusenden. In beiden Fällen wird eine ausreichend große magnetische Gegenkopplung (mutual magnetic coupling M) zwischen der Antenne des Lesegerätes und der Antenne des Transponders benötigt.

Die physikalischen Parameter eines induktiv gekoppelten RFID-Systems sind zum Beispiel in *ISO/IEC 14443* so definiert, dass sich bei hohen Bitraten (106 .. 868 kBit/s), hohem Energieverbrauch des Transponderchips (Mikroprozessor mit Smart Card-Betriebssystem) und der Chipkarten-Bauform ID1 eine typische Lesereichweite von 10 cm oder weniger ergibt.

Werden an Stelle der Chipkarten-Bauform ID1 sehr kleine Transponder mit Antennen im Formfaktor einer *SIM-Karte* oder einer *micro-SD Karte* eingesetzt, so sinkt die magnetische Gegenkopplung, und damit die erreichbare Lesereichweite drastisch ab. Soll ein solch klei-

ner Transponder beispielsweise in ein Mobiltelefon oder in ein PDA eingesetzt werden, um diese mit einem kontaktlosen Interface auszustatten, so führt die kleine Lesereichweite von evtl. nur wenigen Zentimetern schnell zu einem Problem, insbesondere wenn der Transponder bei zusätzlich auftretender Abschirmung (z.B. durch den Akku) schließlich nicht mehr in der Lage ist, die Reichweite zu einem außerhalb befindlichen Lesegerät zu überbrücken.

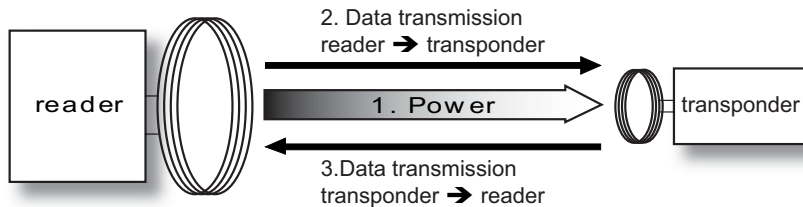


Abb. 3.19 Die die Kommunikationsreichweite begrenzenden Faktoren eines passiven, induktiv gekoppelten RFID-Systems.

Um auch mit Transpondern mit sehr kleiner Antennengeometrie akzeptable Lesereichweiten zu erzielen, müssen die eben beschriebenen begrenzenden Faktoren beseitigt werden. Im Falle der Energiereichweite ist das Problem einer zu geringen magnetischen Gegenkopplung einfach zu lösen. Hierzu ist es lediglich notwendig, den Transponder aus einer lokalen Energiequelle (Batterie) mit Strom zu versorgen. Wird der Transponder in der Bauform einer SIM-Karte oder einer micro-SD Karte in einem Mobiltelefon betrieben, so kann die Energie über einen Anschlusspin direkt im Mobiltelefon zur Verfügung gestellt werden.

Um einen passiven Transponderchip mit Energie zu versorgen, müsste eine Spannung von wenigstens 3 V in der Transponderantenne induziert werden. Bei einem *batteriegestützten Transponder* hingegen wird die in der Antenne induzierte Spannung nicht mehr zur Energieversorgung des Transponderchips verwendet, sondern nur noch dazu, Daten und Kommandos vom Lesegerät zu übertragen. Hierzu reicht aber bereits eine Spannung mit erheblich geringerem Pegel von wenigstens einigen mV aus, da diese einfach verstärkt werden kann. Auf diese Weise kann das Signal des Lesegeräts auch mit kleinsten Transponderantennen und Metallabschirmung auf deutlich größere Entfernung detektiert werden.

Etwas komplexer ist die Optimierung der Datenübertragung vom Transponder zurück zu einem Lesegerät. Die üblicherweise verwendete (passive) Lastmodulation scheidet auch bei einem Transponder mit externer Energieversorgung (aktiver Transponder) aus, da sich ohne eine Verbesserung der magnetischen Kopplung nur eine unwesentliche Verbesserung gegenüber einem passiven (batterielosen) Transponder ergibt. Eine Vergrößerung der magnetischen Kopplung ist aber nur durch die Verringerung des Abstands zwischen den Antennen oder einer Vergrößerung der Antennenfläche des Transponders möglich.

Eine Alternative besteht darin, auf anderem Wege ein Signal zu erzeugen, welches im Frequenzspektrum dem Signal einer *passiven Lastmodulation* gleicht, und dieses aktiv (d.h. unter Aufwendung von eigener Energie) an das Lesegerät zu senden. Ein solches Verfahren wird als *aktive Lastmodulation* (active load modulation) bezeichnet. Betrachten wir das durch eine (passive) Lastmodulation an der Antenne des Lesegerätes auftretende Frequenzspektrum, so sind zum Beispiel bei ISO/IEC 14443 neben dem Trägersignal (13,56 MHz) im Abstand der

Hilfsträgerfrequenz (848 kHz) zwei weitere Spektrallinien (14,408 MHz und 12,712 MHz) zu erkennen, um die sich jeweils zwei Modulationsseitenbänder ausbilden. Die Nutzdaten sind dabei ausschließlich in den Modulationsseitenbändern um die Hilfsträgerlinien enthalten.

Um Daten von einem aktiven Transponder an ein Lesegerät zu senden würde es ausreichen, die beiden Hilfsträger-Spektrallinien mit den datentragenden Seitenbändern zu erzeugen und an ein Lesegerät zu senden. Das Trägersignal muss dabei nicht übertragen werden; dieses wird vom Lesegerät ohnehin permanent ausgesendet. Ein solches Signal wird als *Zweiseitenband-* oder „*Dual-Side-Band*“ (DSB)-Modulation bezeichnet.

Eine Grundsaltung der Nachrichtentechnik, mit der eine solche DSB-Modulation erzeugt werden kann, ist der *Ringmodulator*. Der Ringmodulator wird mit einer Referenzfrequenz $f_c = 13,56$ MHz und dem modulierten Hilfsträger gespeist. Das Ausgangssignal des Ringmodulators ist dann bereits das benötigte DSB-Signal. Dieses wird in einem Verstärker im Pegel angehoben und über die Antenne abgestrahlt.

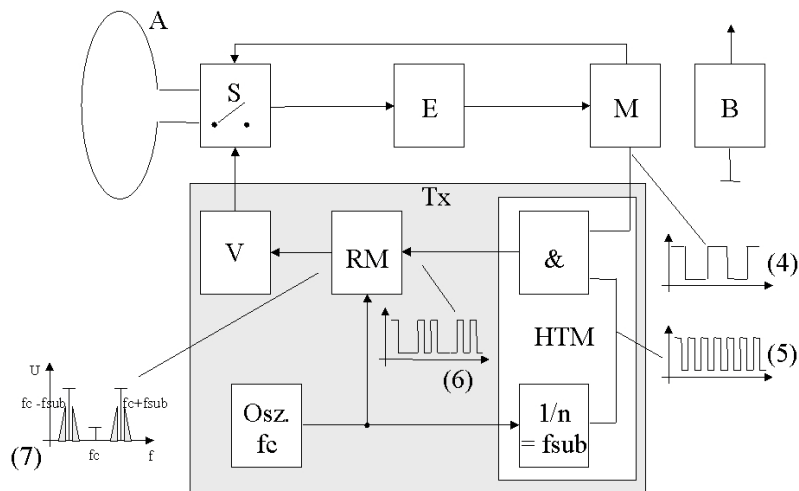


Abb. 3.20 Blockschaltbild eines Transponders mit aktiver Lastmodulation (RM: Ringmodulator, HTM: modulierter Hilfsträger, V: Verstärker, M: Microcontroller, E: Empfangsverstärker, B: Energieversorgung (Batterie)).

Da es sich bei den in einem Transponderchip verfügbaren Signalen nicht um analoge, sondern um binäre Signale handelt, können die benötigten Modulationsseitenbänder noch wesentlich einfacher durch eine Amplitudenmodulation erzeugt werden. Eine Amplitudenmodulation entsteht bei analogen Signalen wie bekannt durch die Multiplikation zweier Sinusschwingungen unterschiedlicher Frequenz:

$$U_{\text{mod}} = U_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot U_2 \cdot \sin(\omega_2 \cdot t) \quad [3.1]$$

Eine Multiplikation von Binärsignalen, also eine (2-)ASK-Modulation kann durch eine einfache UND-Verknüpfung realisiert werden.

Der passive Lastmodulator am Beispiel eines ISO/IEC 14443 Typ A-Transponders wird mit einem durch einen Manchestercode modulierten Hilfsträgersignal angesteuert. Diese Ansteuerung führt beim aktiven Transponder mit ASK-Modulator zu einem Signal, welches aus jeweils vier Träger-Bursts pro Bit besteht und genau die gewünschten Modulationsseitenbänder erzeugt, wie sie in Abbildung 3.17 dargestellt sind. Lediglich der 13,56 MHz-Träger kann durch die ASK-Modulation nicht unterdrückt werden, was aber die Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät nicht weiter beeinflusst.

Der Einfluss der Antennengröße eines aktiven Transponders auf die Lesereichweite wurde in [fink-0211] empirisch ermittelt. Die Messungen wurden dabei mit einem handelsüblichen Lesegerät nach ISO/IEC 14443 durchgeführt.

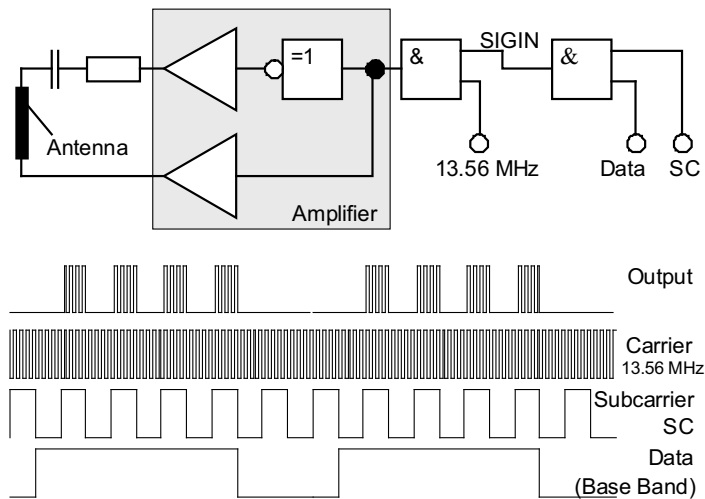


Abb. 3.21 Erzeugung einer aktiven Lastmodulation für ISO/IEC 14443 Typ A.

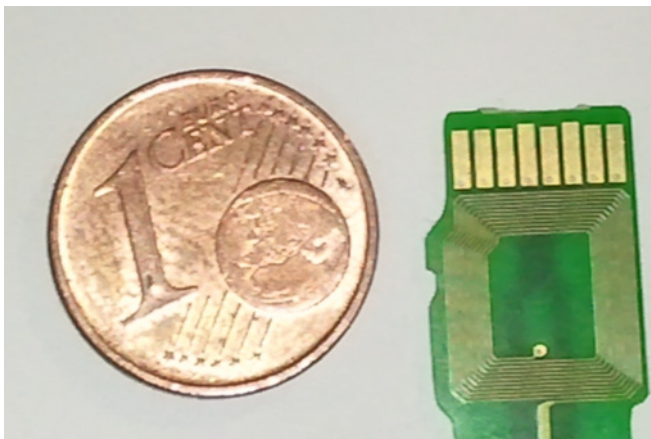


Abb. 3.22 Größenvergleich zwischen einer Transponderantenne in micro-SD Bauform und einer 1 Cent Euro-Münze.

Eine typische passive kontaktlose Chipkarte im ID1 Format kann hier mit dem exemplarisch verwendeten Lesegerät über eine Entfernung von etwa 7 cm ausgelesen werden. Ein NFC-fähiges Mobiltelefon wurde in der NFC-Betriebsart „card emulation“ über eine Entfernung von etwa 4 cm ausgelesen. Wird die Antennenfläche des Transponders auf 130 mm², was der typischen Fläche einer micro-SD Karte entspricht, verkleinert, so sinkt die Lesereichweite eines passiven Transponders auf unter einen Zentimeter. Der Transponder muss auf das Lesegerät gelegt werden, und kann unter Umständen gar nicht mehr gelesen werden. Wird solch ein kleiner Transponder in einem Gerät verbaut, zum Beispiel einem Mobiltelefon, so wird durch die zusätzliche Metallabschirmung ein Auslesen fast unmöglich gemacht. Unter Verwendung aktiver Lastmodulation ist es hingegen möglich, den kleinen Transponder auf eine Entfernung von sogar 10 cm auszulesen – weit mehr, als die Lesereichweite einer passiven kontaktlosen Chipkarte im ID1 Format auf demselben Lesegerät. Selbst im eingebauten Zustand in einem Mobiltelefon können noch einige Zentimeter Lesereichweite erreicht werden. Aktive Lastmodulation eignet sich daher vor allem für sehr kleine Transponder in Form von Speicherkarten, Schlüsselanhängern oder ähnlichen Bauformen, bei denen die Energieversorgung des Transponders durch eine Batterie sichergestellt werden kann [fink-0211], [fink-0411].

3.2.1.2.5 Subharmonische Verfahren

Unter der Subharmonischen einer sinusförmigen Spannung A mit definierter Frequenz f_A versteht man eine sinusförmige Spannung B, deren Frequenz f_B durch ganzzahlige Teilung aus der Frequenz f_A abgeleitet ist. Die Subharmonischen der Frequenz f_A sind also die Frequenzen $f_A/2$, $f_A/3$, $f_A/4$...

Bei den subharmonischen Übertragungsverfahren erhält man aus der im Transponder abgegriffenen Leser-Sendefrequenz f_A durch digitale Teilung eine zweite, meist um den Faktor zwei niedrigere Frequenz f_B . Zur Datenübertragung an das Lesegerät wird das Ausgangssignal f_B des Teilers mit dem Datenstrom des Transponders moduliert. Hierbei kann eine ASK- (On-Off-Keying im Takt der Daten) oder eine *BPSK-Modulation* (Umschaltung zwischen f_B und einem invertierten Signal $\bar{f}_B$ im Takt der Daten) zum Einsatz kommen. Über einen Ausgangstreiber wird das modulierte Signal dann wieder in die Antenne des Transponders eingespeist.

Eine häufig verwendete Arbeitsfrequenz für subharmonische Systeme ist 128 kHz. Hieraus ergibt sich eine Transponder-Antwortfrequenz von 64 kHz.

Die Antenne der Transponder besteht aus einer Spule mit Mittenanzapfung, wobei an einem Ende die Spannungsversorgung abgegriffen wird. Am zweiten Anschluss der Spule wird das Rücksignal des Transponders eingespeist.

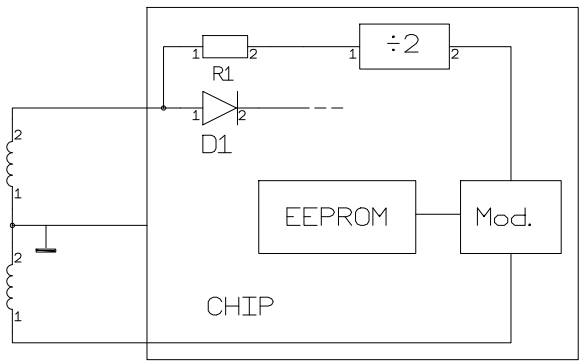


Abb. 3.23 Prinzipschaltung eines Transponders mit subharmonischer Rückfrequenz. Das empfangene Takt-signal wird durch zwei geteilt, mit den Daten moduliert und in eine Anzapfung der Transponder-spule eingespeist.

3.2.2 Elektromagnetische Backscatter-Kopplung

3.2.2.1 Energieversorgung der Transponder

RFID-Systeme, die deutlich mehr als 1 m zwischen Lesegerät und Transponder überbrük-ken, werden als *Long-range-Systeme* bezeichnet. Diese werden auf den *UHF-Frequenzen* 868 MHz (Europa) und 915 MHz (USA), sowie auf den *Mikrowellenfrequenzen* 2,5 GHz und 5,8 GHz betrieben. Die kurzen Wellenlängen dieser Frequenzbereiche ermöglichen die Konstruktion von Antennen mit weitaus kleineren Abmessungen und besserem Wirkungs-grad, als dies auf Frequenzbereichen unter 30 MHz möglich wäre.

Um die zum Betrieb eines Transponders verfügbare Energie abschätzen zu können, berech-nen wir zunächst die *Freiraumdämpfung* a_F in Abhängigkeit der Entfernung r zwischen dem Transponder und der Antenne des Lesegerätes, dem Gewinn G_T und G_R der Transponder-und Leserantenne, sowie der Sendefrequenz f des Lesegerätes:

$$a_F = -147,6 + 20\log(r) + 20\log(f) - 10\log(G_T) - 10\log(G_R)$$

[3.2]

Tabelle 3.7: Freiraumdämpfung a_F bei unterschiedlichen Frequenzen und Entfernungen. Als Gewinn der Transponderantenne wurde 1,64 (Dipol), als Gewinn der Leserantenne 1 (isotroper Strahler) angenommen.

Abstand r	868 MHz	915 MHz	2,45 GHz
0,3 m	18,6 dB	19,0 dB	27,6 dB
1 m	29,0 dB	29,5 dB	38,0 dB
3 m	38,6 dB	39,0 dB	47,6 dB
10 m	49,0 dB	49,5 dB	58,0 dB

Die Freiraumdämpfung ist ein Maß für das Verhältnis zwischen der von einem Lesegerät in den „freien Raum“ ausgesendeten und der vom Transponder empfangenen HF-Leistung.

Mit heutiger Low-power-Halbleitertechnologie lassen sich Transponderchips mit einer Leistungsaufnahme von nicht mehr als $5\text{ }\mu\text{W}$ realisieren [friedrich]. Der Wirkungsgrad eines integrierten Gleichrichters kann im UHF- und Mikrowellenbereich mit $5 \dots 25\%$ angenommen werden [tanberger]. Bei einem Wirkungsgrad von 10% benötigen wir damit zum Betrieb des Transponderchips eine Empfangsleistung von $P_e = 50\text{ }\mu\text{W}$ am Anschluss der Transponderantenne. Dies bedeutet, dass bei einer Strahlungsleistung des Lesegerätes von $P_s = 0,5\text{ W EIRP}$ die Freiraumdämpfung einen Wert von 40 dB ($P_s/P_e = 10000/1$) nicht überschreiten darf, um an der Transponderantenne noch eine ausreichend große Leistung zum Betrieb des Transponders zu erhalten. Ein Blick auf Tabelle 3.7 zeigt, dass damit bei einer Sendefrequenz von 868 MHz immerhin eine *Reichweite* (Energierreichweite) von etwas über 3 m realisierbar wäre, bei $2,45\text{ GHz}$ könnte immerhin noch etwas über 1 m erreicht werden. Mit den heute in Europa für 868 MHz zugelassenen 2 W ERP (dies entspricht $3,28\text{ W EIRP}$) wäre entsprechend der (gegenüber $0,5\text{ W EIRP}$) um $8,16\text{ dB}$ höheren Sendeleistung eine maximale Freiraumdämpfung von $48,16\text{ dB}$ zulässig. Damit ließe sich mit den im Beispiel angenommenen Werten eine Energierreichweite von sogar 9 m erzielen. Bei einer größeren Leistungsaufnahme des Transponderchips würde sich die erzielbare Reichweite wieder entsprechend reduzieren. Entscheidend für den Betrieb des Transponderchips ist neben einer ausreichenden Empfangsleistung P_e allerdings auch, dass nach Impedanzanpassung zwischen Antenne und Transponderchip eine ausreichend große Spannung U_e am Gleichrichter und Spannungsvervielfacher des Transponderchips anliegt, um daraus eine für den Chip ausreichend hohe Versorgungsspannung erzeugen zu können. Nach dem Ohmschen Gesetz ($U_e = \sqrt{P_e \cdot |Z_e|}$) ist dabei eine möglichst hochohmige Eingangsimpedanz des Transponderchips, und damit auch der Ausgangsimpedanz der Antennen bzw. des Anpassnetzwerkes erstrebenswert.

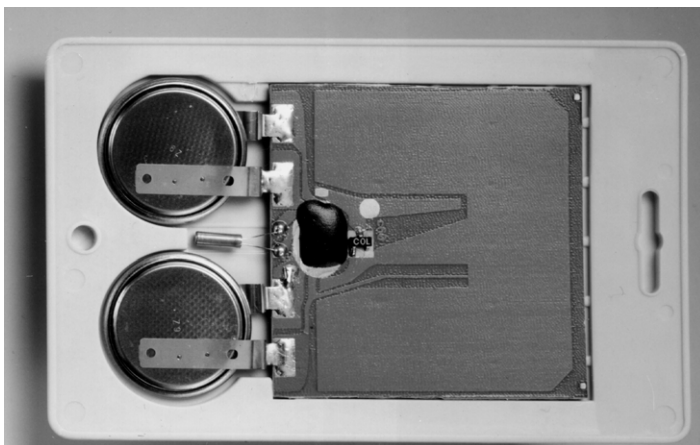


Abb. 3.24 Aktiver Transponder für den Frequenzbereich $2,45\text{ GHz}$. Der Datenträger wird durch zwei *Lithiumbatterien* mit Energie versorgt. Die Mikrowellen-Antenne des Transponders ist als u-förmige Fläche auf der Leiterkarte zu erkennen. (Photo: Pepperl & Fuchs, Mannheim)

Um große Reichweiten bis zu 15 m zu erreichen oder aber auch Transponderchips mit einer größeren Leistungsaufnahme noch mit einer akzeptablen Reichweite betreiben zu können, verfügen Backscatter-Transponder häufig über eine Stützbatterie zur Energieversorgung des Transponderchips. Um die Batterie nicht unnötig zu belasten, verfügen die Mikrochips in der Regel über einen stromsparenden „power-down“- bzw. „stand-by“-Modus. Verlässt der Transponder das Feld eines Lesegerätes, so schaltet der Chip automatisch in den stromsparenden „power-down“-Mode. Die Stromaufnahme beträgt dann maximal noch einige μA . Erst durch ein ausreichend starkes Signal in Lesereichweite eines Lesegerätes wird der Chip erneut aktiv und nimmt den normalen Betrieb wieder auf. Die Batterie aktiver Transponder stellt jedoch in keinem Falle Energie zur Datenübertragung zwischen Transponder und Lesegerät zur Verfügung, sondern dient ausschließlich der Versorgung des Mikrochips. Zur Datenübertragung zwischen Transponder und Lesegerät wird ausschließlich die Energie des elektromagnetischen Feldes eingesetzt, welches vom Lesegerät ausgesendet wird.

3.2.2.2 Datenübertragung Transponder > Leser: Modulierter Rückstrahlquerschnitt

Aus der *RADAR-Technik* ist bekannt, dass elektromagnetische Wellen von Materie, deren Ausdehnung größer als etwa die halbe Wellenlänge der Welle ist, reflektiert werden. Die Wirksamkeit, mit der ein Objekt elektromagnetische Wellen reflektiert, wird durch dessen *Rückstrahlquerschnitt* beschrieben. Einen besonders großen Rückstrahlquerschnitt weisen Objekte auf, die zu der eintreffenden Wellenfront in Resonanz sind, wie dies zum Beispiel bei Antennen für die jeweilige Frequenz der Fall ist.

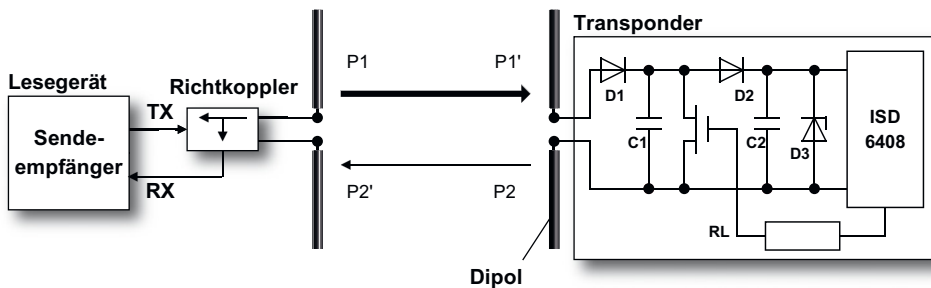


Abb. 3.25 Funktionsweise eines Backscatter-Transponders. Durch Umschalten des FET auf dem Chip wird die Impedanz des Chips „moduliert“ [isd].

Von der Antenne des Lesegerätes wird eine Leistung P_1 abgestrahlt, wovon ein geringer Teil (Freiraumdämpfung) die Antenne des Transponders erreicht. Die am Transponder ankommende Leistung P_1' steht als HF-Spannung an den Anschlüssen der Antenne zur Verfügung und kann nach Gleichrichtung durch die Dioden D_1 und D_2 als Schaltspannung zur De-/Aktivierung des stromsparenden „power-down“-Modus verwendet werden. Als Dioden werden hier *low-barrier-Schottky-Dioden* verwendet, welche eine besonders niedrige Schwellenspannung aufweisen. Für kurze Reichweiten kann die gewonnene Spannung auch zur Energieversorgung ausreichend sein.

Ein Teil der ankommenden Leistung P_1' wird von der Antenne reflektiert und als Leistung P_2 zurückgesendet. Die *Reflexionseigenschaften* (= Rückstrahlquerschnitt) der Antenne können durch Ändern der an die Antenne angeschlossenen Last beeinflusst werden. Um Daten vom Transponder zum Lesegerät zu übertragen, wird ein der Antenne parallelgeschalteter zusätzlicher Lastwiderstand R_L im Takte des zu übertragenden Datenstromes ein- und ausgeschaltet. Die vom Transponder reflektierte (= rückgestrahlte) Leistung P_2 kann so in ihrer Amplitude moduliert werden ($\rightarrow$ modulierter Rückstrahlquerschnitt, engl. *modulated backscatter*).

Die vom Transponder reflektierte Leistung P_2 wird in den freien Raum abgestrahlt. Ein geringer Teil davon (Freiraumdämpfung) wird von der Antenne des Lesegerätes aufgenommen. Das reflektierte Signal läuft daher in der Antennenleitung des Lesegerätes in „Rückwärtsrichtung“ und kann unter Verwendung eines *Richtkopplers* ausgekoppelt und auf den Empfängereingang eines Lesegerätes geführt werden. Das um Zehnerpotenzen stärkere „vorwärtslaufende“ Signal des Senders wird durch den Richtkoppler dabei weitestgehend unterdrückt.

Das Verhältnis zwischen der vom Lesegerät ausgesendeten und der vom Transponder zurückkommenden Leistung (P_1/P_2') kann anhand der Radargleichung abgeschätzt werden (siehe hierzu auch Kap. 4.2.5.4 „Wirksame Fläche und Rückstreuquerschnitt“, S. 147).

3.2.3 Close coupling

3.2.3.1 Energieversorgung der Transponder

Close coupling Systeme sind für Reichweiten von 0,1 cm bis maximal 1 cm konzipiert. Die Transponder werden deshalb zum Betrieb in ein Lesegerät eingesteckt oder auf eine markierte Oberfläche gebracht („touch & go“).

Das Einstecken oder Auflegen des Transponders in/auf das Lesegerät ermöglicht die gezielte Platzierung der Transponderspule im *Luftspalt* eines Ringkerns oder U-Kerns. Die funktionelle Anordnung von Transponderspule und Leserspule entspricht dann der eines Transformators. Es entspricht hierbei die Leserspule der Primärwicklung und die Transponderspule der Sekundärwicklung eines Transformators. Durch einen hochfrequenten Wechselstrom in der Primärwicklung wird ein hochfrequentes magnetisches Feld in Kern und Luftspalt der Anordnung erzeugt, das auch die Transponderspule durchströmt. Dadurch wird eine Wechselspannung gleicher Frequenz in der Transponderspule induziert. Durch Gleichrichtung dieser Spannung kann eine Versorgungsspannung für den Chip erzeugt werden.

Da die in der Transponderspule induzierte Spannung U proportional zur Frequenz f des Erregerstromes ist, wird zur Energieübertragung eine möglichst hohe Frequenz gewählt. In der Praxis kommen dabei Frequenzen im Bereich von 1 ... 10 MHz zum Einsatz. Um die Verluste im Kern des Transformators gering zu halten, muss bei diesen Frequenzen geeignetes Ferritmaterial als Kernmaterial verwendet werden.

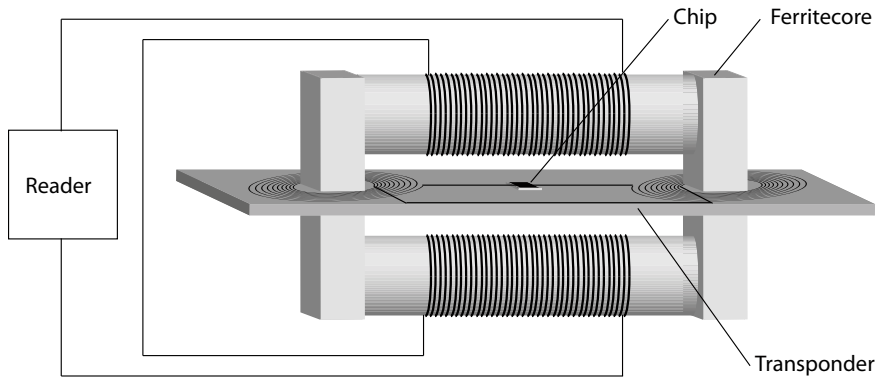


Abb. 3.26 Close coupling Transponder in einem Einsteckleser mit magnetischen Koppelpulen.

Aufgrund des im Gegensatz zu induktiv gekoppelten oder Mikrowellen-Systemen sehr guten Wirkungsgrades der Leistungsübertragung vom Lesegerät zum Transponder eignen sich Close coupling Systeme außerordentlich gut für den Betrieb von Chips mit hohem Energiebedarf. Anfang der 90er Jahre wurden *Close coupling Systeme* für kontaktlose Chipkarten mit Mikroprozessor und Chipkarten-Betriebssystem (Smart Card OS) eingesetzt. Die mechanischen und elektrischen Parameter kontaktloser *Close coupling Chipkarten* wurden hierzu in einer eigenen Norm, der *ISO/IEC 10536*, spezifiziert. Für den Energieverbrauch der Mikroprozessoren mussten nach dem damaligen Stand der Technik einige 10 mW Leistung bereitgestellt werden [sickert]. Ab Mitte der 90er Jahre wurden die Smart Coupling Chipkarten allerdings zunehmend durch induktiv gekoppelte Proximity Karten (*ISO/IEC 14443*) verdrängt. Seitdem Ende der 90er Jahre Proximity Karten auch mit Mikroprozessor verfügbar wurden, haben Close coupling Karten ihre Bedeutung jedoch gänzlich verloren, und werden daher heute für neue Anwendungen nicht mehr eingesetzt.

3.2.3.2 Datenübertragung Transponder > Leser

Zur magnetisch gekoppelten Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät wird auch bei Close coupling Systemen Lastmodulation mit Hilfsträger verwendet. Für Close coupling Chipkarten sind Hilfsträgerfrequenz und -modulation in *ISO/IEC 10536* festgelegt.

Aufgrund der geringen Entfernung zwischen Lesegerät und Transponder kann bei den Close coupling Systemen auch *kapazitive Kopplung* zur Datenübertragung verwendet werden. Hierbei werden Plattenkondensatoren aus zueinander isolierten Koppelflächen gebildet, die im Transponder und Lesegerät so angeordnet werden, dass sie bei einem eingesteckten Transponder genau parallel zueinander platziert sind.

Auch dieses Verfahren findet bei Close coupling Chipkarten Verwendung. Die mechanischen und elektrischen Eigenschaften dieser Karten sind in *ISO/IEC 10536* definiert.

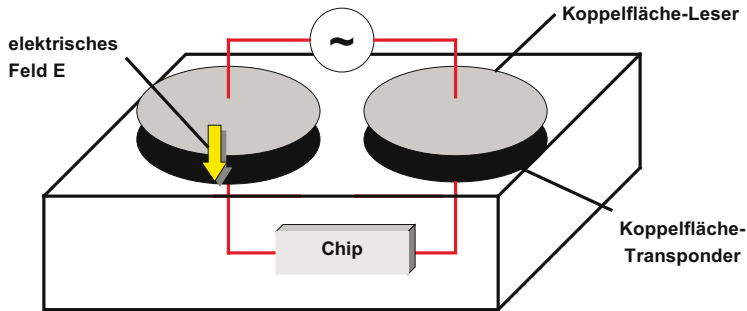


Abb. 3.27 Die kapazitive Kopplung bei Close coupling Systemen erfolgt zwischen zwei parallelen, in geringem Abstand zueinander angeordneten Metallflächen.

3.2.3.3 Close Coupling Chipkarten

Die vor allem in den 90er Jahren eingesetzten Close coupling Chipkarten wurden mittlerweile vollständig von anderen Systemen verdrängt. Die in ISO/IEC 10536 spezifizierten Eigenschaften sind aber zumindest aus technischer und technikhistorischer Sicht interessant, weshalb sie hier kurz vorgestellt werden sollen.

Bei den Close coupling Chipkarten kamen sowohl *induktive* (H1 ... 4) als auch *kapazitive Koppelemente* (E1 ... 4) zum Einsatz. Die Anordnung der Koppelemente wurde so gewählt, dass eine Close coupling Chipkarte in einem Einsteckleser in allen vier Lagen betrieben werden konnte.

Die Energieversorgung der Close coupling Chipkarte erfolgt über die vier induktiven Koppelemente H1 ... H4. Das induktive Wechselfeld soll eine Frequenz von 4,9152 MHz aufweisen. Die Koppelemente H1, H2 werden als Spulen, jedoch mit umgekehrtem Wickelsinn ausgeführt, sodass bei gleichzeitiger Speisung der Koppelemente eine Phasendifferenz von 180° zwischen den dazugehörigen magnetischen Feldern F1 und F2 bestehen muss (z. B. durch U-Kern im Lesegerät). Analoges gilt für die Koppelemente H3 und H4.

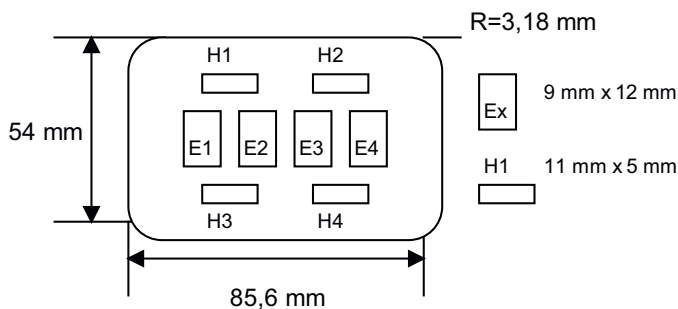


Abb. 3.28 Lage der kapazitiven (E1 – E4) und induktiven Koppelemente (H1 – H4) einer Close coupling Chipkarte.

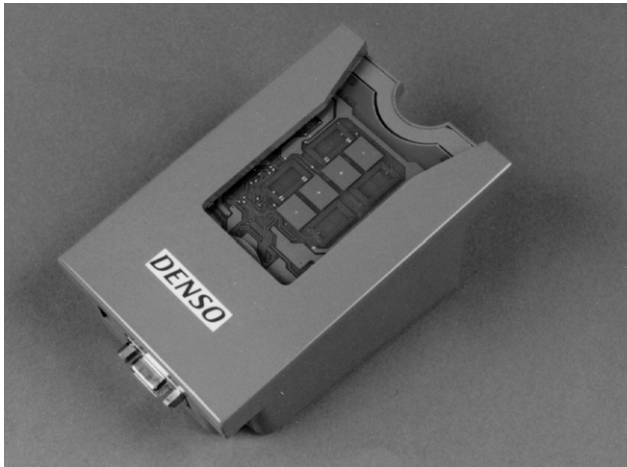


Abb. 3.29 Halb geöffnetes Lesegerät für Close coupling Chipkarten nach ISO/IEC 10536. In der Mitte des Einsteckschlitzes sind vier kapazitive Koppelflächen zu erkennen, umgeben von vier induktiven Koppелеlementen (Spulen). (Foto: Denso Corporation, Japan – Aichi-ken)

Die Lesegeräte müssen so ausgelegt sein, dass mit jedem der magnetischen Felder F1 ... F4 eine Leistung von 150 mW an die kontaktlose Karte abgegeben werden kann. Über alle vier Felder zusammen dürfen von der Karte jedoch nicht mehr als 200 mW aufgenommen werden.

Zur Datenübertragung zwischen Karte und Lesegerät können wahlweise die induktiven oder kapazitiven Koppелеlemente verwendet werden. Während einer laufenden Kommunikation darf jedoch nicht mehr zwischen den Kopplungsarten gewechselt werden.

Induktiv: Zur Übertragung von Daten über die Koppelfelder H1 ... H4 wird hier *Lastmodulation* mit *Hilfsträger* eingesetzt. Die *Hilfsträgerfrequenz* beträgt 307,2 kHz, die Modulation des Hilfsträgers erfolgt mit 180° PSK. Das Lesegerät ist so auszulegen, dass ein Lastwechsel von 10% der Grundlast an mindestens einem der Felder F1 ... F4 als Lastmodulationssignal erkannt werden kann. Der minimale Lastwechsel einer Karte ist mit 1 mW spezifiziert.

Kapazitiv: Hierzu werden paarweise die Koppelfelder E1, E2 oder E3, E4 eingesetzt. In beiden Fällen werden die paarweisen Koppelfelder durch ein Differenzsignal angesteuert. Die Spannungsdifferenz $U_{\text{diff}} = U_{E1} - U_{E2}$ soll so bemessen werden, dass an den Koppelflächen E1' und E2' des Lesegerätes ein Spannungspegel von mindestens 0,33 V zur Verfügung steht. Die Datenübertragung erfolgt durch *NRZ-Codierung* im Basisband (d. h. ohne Hilfsträger). Die Datenrate nach Reset beträgt 9600 bit/s; während des Betriebs kann jedoch auf eine höhere Datenrate umgeschaltet werden.

Zur Datenübertragung in Richtung Karte wird durch die Norm der induktive Kanal präferiert. Als Modulationsverfahren wird eine 90° PSK der Felder F1 ... F4 eingesetzt, wobei die Phasenlage aller Felder synchron umgetastet wird. Je nach Lage der Karte im Einsteckleser sind bei Modulation folgende Phasenbeziehungen zwischen den Koppelfeldern möglich:

Tabelle 3.8: Einstecklage 1 (Zustand A: ungetastet, Zustand A': getastet).

A	A'
ΦF	$1\Phi'F1 = \Phi F1 - 90^\circ$
$\Phi F3 = \Phi F1 + 90^\circ$	$\Phi'F3 = \Phi F3 + 90^\circ$

Tabelle 3.9: Einstecklage 2 (Zustand A: ungetastet, Zustand A': getastet).

A	A'
F1	$\Phi'F1 = \Phi'F1 + 90^\circ$
$\Phi F3 = \Phi F1 - 90^\circ$	$\Phi'F3 = \Phi'F3 - 90^\circ$

Die Datenübertragung erfolgt durch NRZ-Codierung im Basisband (d. h. ohne Hilfsträger). Die Datenrate nach Reset beträgt 9600 bit/s; während des Betriebs kann jedoch auf eine höhere Datenrate umgeschaltet werden.

3.2.4 Elektrische Kopplung

3.2.4.1 Energieversorgung passiver Transponder

Bei *elektrisch* (d. h. *kapazitiv*) gekoppelten Systemen wird durch das Lesegerät ein starkes, hochfrequentes *elektrisches Feld* erzeugt. Die Antenne des Lesegerätes besteht dabei aus einer großen, elektrisch leitfähigen Fläche (*Elektrode*), in der Regel eine Metallfolie oder eine Metallplatte. Wird an die Elektrode eine hohe, hochfrequente Spannung angelegt, so bildet sich zwischen der Elektrode und dem Erdpotenzial (ground) ein hochfrequentes elektrisches Feld aus. Die hierzu benötigten Spannungen in der Größenordnung einiger hundert bis zu einigen tausend Volt werden im Lesegerät durch Spannungsüberhöhung in einem resonanten Schwingkreis erzeugt, welcher durch eine Spule L_1 im Lesegerät, sowie der Parallelschaltung einer internen Kapazität C_1 und der zwischen der Elektrode und dem Erdpotenzial wirksamen Kapazität C_{R-GND} gebildet wird. Die Resonanzfrequenz des Schwingkreises entspricht dabei der Sendefrequenz des Lesegerätes.

Die Antenne des Transponders besteht aus zwei leitfähigen, in einer Ebene liegenden Flächen (Elektroden). Wird der Transponder in das elektrische Feld des Lesegerätes gebracht, so entsteht zwischen den beiden Transponderelektroden eine elektrische Spannung, welche zur Spannungsversorgung des Transponderchips verwendet wird.

Da sowohl zwischen dem Transponder und der Sendeantenne (C_{R-T}) als auch zwischen der Transponderantenne und dem Erdpotenzial (C_{T-GND}) eine Kapazität wirksam ist, kann das Ersatzschaltbild für eine elektrische Kopplung vereinfachend als *Spannungsteiler* mit den Elementen C_{R-T} , R_L (Eingangswiderstand des Transponders) und C_{T-GND} betrachtet werden (siehe Abbildung 3.32). Durch das Berühren einer der Elektroden des Transponders wird die Kapazität C_{T-GND} und damit auch die *Lesereichweite* deutlich größer.

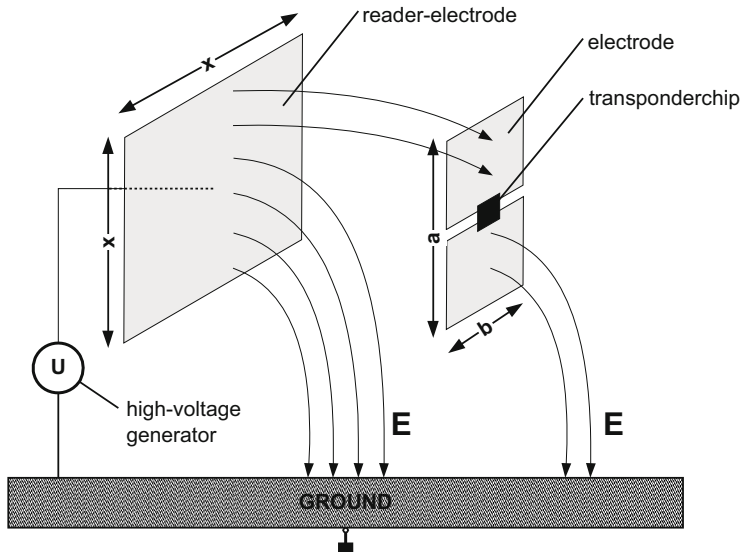


Abb. 3.30 Ein elektrisch gekoppeltes System verwendet elektrische (elektrostatistische) Felder zur Energie- und Datenübertragung.

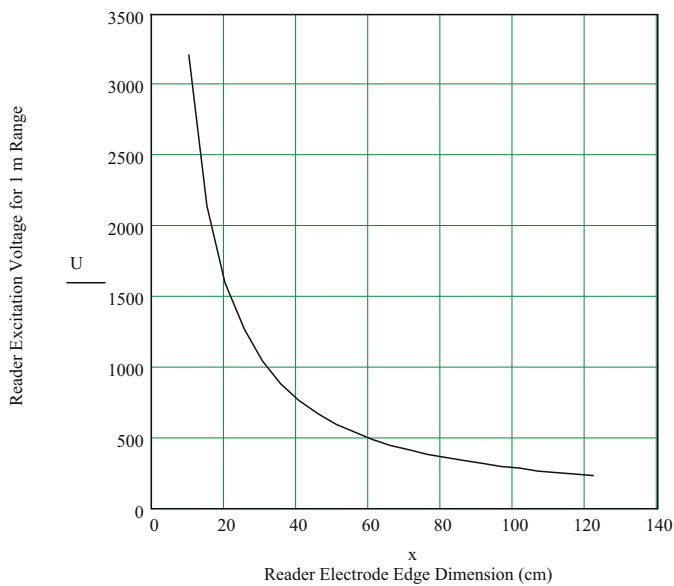


Abb. 3.31 Erforderliche Elektrodenspannung zum Auslesen eines Transponders mit der Elektrodengröße $a \cdot b = 4,5 \cdot 7 \text{ cm}^2$ (Bauform entsprechend einer Chipkarte), in 1 m Entfernung ($f = 125 \text{ kHz}$).

Die in den Elektrodenoberflächen des Transponders fließenden Ströme sind sehr klein. An die Leitfähigkeit des Elektrodenmaterials werden daher keine besonderen Anforderungen

gestellt. Neben den üblichen Metalloberflächen (*Metallfolie*) können die Elektroden daher auch aus leitfähigen Farben (z. B. einer *Silberleitpaste*) oder einer *Graphitbeschichtung* [bistatix] hergestellt werden.

3.2.4.2 Datenübertragung Transponder > Lesegerät

Wird ein elektrisch gekoppelter Transponder in das Ansprechfeld eines Lesegerätes gebracht, so wirkt der Eingangswiderstand R_L des Transponders über die zwischen der Leser- und der Transponderelektrode wirksame Koppelkapazität C_{R-T} auf den Schwingkreis des Lesegerätes und bedämpft diesen geringfügig. Durch das Ein- und Ausschalten eines Modulationswiderstandes R_{mod} im Transponder kann die auftretende Dämpfung zwischen zwei Werten verändert werden. Das Ein- und Ausschalten des Modulationswiderstandes R_{mod} erzeugt dadurch eine Amplitudenmodulation der an L_1 und C_1 anliegenden Spannung durch den entfernten Transponder. Durch das Ein- und Ausschalten des Modulationswiderstandes R_{mod} im Takt von Daten können diese an das Lesegerät übertragen werden. Dieses Verfahren wird als *Lastmodulation* bezeichnet.

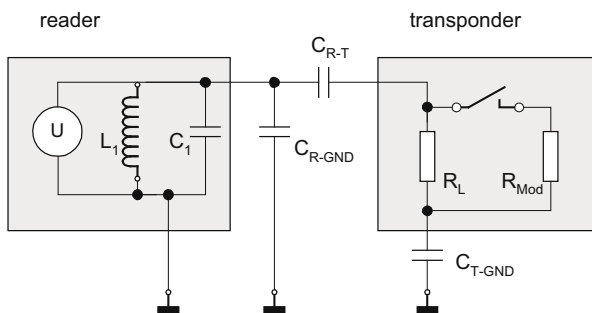


Abb. 3.32 Ersatzschaltbild für ein elektrisch gekoppeltes RFID-System.

3.3 Sequentielle Verfahren

Findet die Daten- und Energieübertragung vom Lesegerät zum Datenträger zeitversetzt mit der Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät statt, so handelt es sich um ein *sequentielles Verfahren* (SEQ).

Unterscheidungsmerkmale zwischen SEQ- und anderen Systemen wurden bereits im vorhergehenden Kapitel 3.2 „Voll- und Halbduplexverfahren“, S. 45, dargestellt.

3.3.1 Induktive Kopplung

3.3.1.1 Spannungsversorgung des Transponders

Sequentielle Systeme mit induktiver Kopplung werden ausschließlich auf Frequenzen unter 135 kHz betrieben. Zwischen der Spule des Lesegerätes und der Transponderspule besteht eine transformatorische Kopplung. Die in der Transponderspule durch Einwirkung des

Wechselfeldes vom Lesegerät induzierte Spannung wird gleichgerichtet und steht als Versorgungsspannung zur Verfügung.

Um einen hohen Wirkungsgrad der Energieübertragung zu erreichen, muss auf exakten Abgleich der Transponderresonanzfrequenz auf die Frequenz des Lesegerätes sowie auf eine große Güte der Transponderspule geachtet werden. So enthalten die Transponder einen „on-chip“ *trimm capacitor* zum Ausgleich von Fertigungstoleranzen der Resonanzfrequenz.

Im Gegensatz zu den Voll- und Halbduplexsystemen wird jedoch bei den sequentiellen Systemen der Sender des Lesegerätes nicht dauernd betrieben. Die während des Sendebetriebs zum Transponder übertragene Energie dient dazu, einen *Ladekondensator* als Energiespeicher aufzuladen. Der Chip des Transponders wird während des Lademodus in einen Stand-by- oder Stromsparmodus geschaltet, wodurch die empfangene Energie fast vollständig zur Aufladung des Ladekondensators verwendet wird. Nach Ablauf einer festgelegten Ladezeit wird der Sender des Lesegerätes wieder abgeschaltet.

Die im Transponder gespeicherte Energie wird dazu verwendet, eine Antwort an das Lesegerät zu generieren. Aus der hierzu nötigen Betriebsspannung und Stromaufnahme des Chips kann die Mindestkapazität des erforderlichen Ladekondensators berechnet werden:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{I \cdot t}{[V_{\max} - V_{\min}]} \quad [3.3]$$

Tabelle 3.10: Bedeutung der Formelzeichen aus Formel 3.3.

$V_{\max} ; V_{\min}$	Grenzwerte der Betriebsspannung, die nicht überschritten werden dürfen
I	Stromaufnahme des Chips während des Betriebes
t	Benötigte Zeit zur Übertragung der Daten, vom Transponder zum Lesegerät

Als Beispiel ergibt sich aus den Anforderungen $I = 5 \mu\text{A}$, $t = 20 \text{ msec}$, $V_{\max} = 4,5 \text{ V}$ und $V_{\min} = 3,5 \text{ V}$ ein Ladekondensator von $C = 100 \text{ nF}$ [schürmann-93].

3.3.1.2 Vergleich zwischen FDX-/HDX- und SEQ-Systemen

Die unterschiedlichen Verhältnisse bei Voll-/Halbduplex- (FDX-/HDX-) und sequentiellen (SEQ-) Systemen sind in Abbildung 3.33 dargestellt.

Da bei den Vollduplexsystemen die Energieübertragung vom Lesegerät zum Transponder gleichzeitig mit der Datenübertragung in beiden Richtungen stattfindet, befindet sich der Chip ständig im Betriebszustand. Um die übertragene Energie optimal nutzen zu können, wird eine *Leistungsanpassung* zwischen der Transponderantenne als Stromquelle und dem Chip als Verbraucher angestrebt. Bei exakter Leistungsanpassung steht dem Chip jedoch nur die Hälfte der Quellenspannung (= Leerlaufspannung der Spule) zur Verfügung. Um die verfügbare Betriebsspannung zu erhöhen, kann nur die Impedanz (= Lastwiderstand) des Chips vergrößert werden, was jedoch gleichbedeutend mit einer Verringerung der Leistungsaufnahme ist.

Bei der Konzipierung von Vollduplexsystemen muss also immer ein Kompromiss zwischen Leistungsanpassung (maximale Leistungsaufnahme P_{chip} bei $U_{\text{chip}} = \frac{1}{2} U_Q$) und Spannungsanpassung (minimale Leistungsaufnahme P_{chip} bei maximaler Spannung $U_{\text{chip}} = U_Q$) gefunden werden.

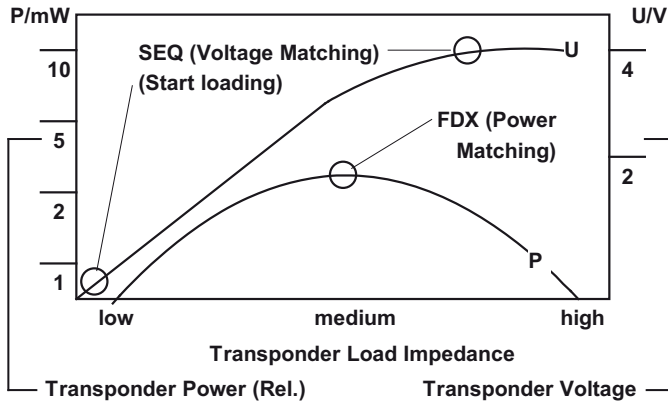


Abb. 3.33 Vergleich der induzierten Transponderspannung bei FDX-/HDX- und SEQ-Systemen [schürmann-93].

Völlig anders stellt sich die Situation bei Sequentiellen Systemen dar: Während des Ladevorgangs befindet sich der Chip in einem Standby- oder Stromsparmodus, sodass so gut wie keine Leistung durch den Chip aufgenommen wird.

Der Ladekondensator ist zu Beginn des Lademodus vollkommen entladen und stellt für die Spannungsquelle deshalb eine sehr niederohmige Last dar (Abbildung 3.33: Start loading). In diesem Zustand fließt der größtmögliche Strom in den Ladekondensator, die Spannung geht jedoch gegen null (= *Stromanpassung*). Mit fortschreitender Aufladung des Ladekondensators nimmt der Ladestrom, einer e-Funktion folgend, immer weiter ab und wird bei vollständiger Ladung des Kondensators zu null. Der Zustand des geladenen Kondensators entspricht einer *Spannungsanpassung* an die Transponderspule.

Gegenüber einem Voll-/Halbduplexsystem ergeben sich daraus folgende Vorteile bei der Energieversorgung des Chips:

- Für den Betrieb des Chips steht die volle Quellenspannung der Transponderspule zur Verfügung. Damit ist die zur Verfügung stehende Betriebsspannung maximal doppelt so groß wie bei einem vergleichbaren Voll-/Halbduplexsystem.
- Die dem Chip zur Verfügung stehende Energie wird nur durch die Kapazität des Ladekondensators sowie die Ladezeit bestimmt. Beide Werte können theoretisch (!) beliebig groß gewählt werden. Bei Voll-/Halbduplexsystemen ist die maximale Leistungsaufnahme des Chips durch den Punkt der Leistungsanpassung unveränderlich (d. h. durch Spulengeometrie und Feldstärke H vorgegeben).

3.3.1.3 Datenübertragung Transponder > Leser

Ein vollständiger Lesezyklus besteht bei sequentiellen Systemen aus zwei Phasen, der Ladephase und der Lesephase.

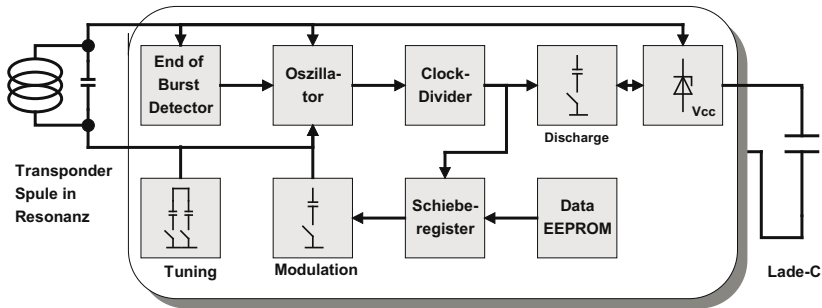


Abb. 3.34 Blockschaltbild eines sequentiellen Transponders des Texas Instruments TIRIS®-Systems, mit induktiver Kopplung.

Das Ende der Ladephase wird durch einen „end-of-burst detector“ detektiert, welcher den Spannungsverlauf an der Transponderspule überwacht und so das Abschalten des Lesefeldes erkennt. Mit dem Ende der Ladephase wird ein Oszillator auf dem Chip gestartet, welcher den aus der Transponderspule gebildeten Schwingkreis als frequenzbestimmendes Bauteil verwendet. Von der Transponderspule wird ein schwaches magnetisches Wechselfeld erzeugt, welches durch das Lesegerät empfangen werden kann. Gegenüber einem Voll-/Halbduplexsystem ergibt sich damit ein verbesserter Signal-Störabstand von typisch 20 dB, was sich positiv auf die bei sequentiellen Systemen erzielbaren Reichweiten auswirkt.

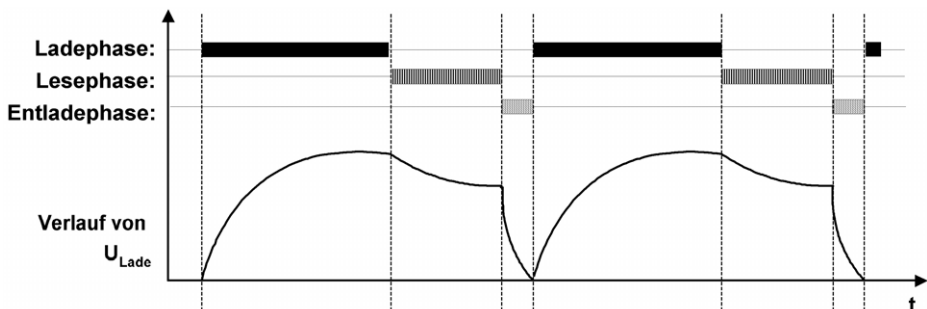


Abb. 3.35 Spannungsverlauf am Ladekondensator eines SEQ-Transponders mit induktiver Kopplung während des Betriebs.

Die Sendefrequenz des Transponders entspricht der Resonanzfrequenz der Transponderspule, welche zum Produktionszeitpunkt auf die Sendefrequenz des Lesegerätes abgeglichen wurde.

Um das erzeugte HF-Signal leistungslos modulieren zu können, wird dem Resonanzschwingkreis im Takt des Datenflusses ein zusätzlicher Modulationskondensator parallelge-

schaltet. Aus der daraus resultierenden Frequenzumtastung der Resonanzfrequenz entsteht eine *2-FSK-Modulation*.

Nach Aussendung aller Daten wird der Entlademodus (discharge) aktiviert, um den Ladekondensator vollständig zu entladen. Dadurch kann ein sicherer Power-On-Reset mit dem nächsten Ladezyklus gewährleistet werden.

3.3.2 Oberflächenwellen-Transponder

Akustische *Oberflächenwellen-Bauelemente* (OFW, engl. surface acoustic wave devices – SFW) beruhen auf dem *piezoelektrischen Effekt*⁵ sowie auf der oberflächengebundenen Ausbreitung elastischer (= akustischer) Wellen mit niedriger Geschwindigkeit. Oberflächenwellen-Transponder werden auf Mikrowellenfrequenzen, üblicherweise im ISM-Bereich 2,45 GHz, betrieben.

Auf piezoelektrischen Substraten lassen sich mit planaren Elektrodenstrukturen elektroakustische Wandler (*Interdigitalwandler*) und *Reflektoren* realisieren. Als Substrat dient hierfür in der Regel *Lithiumniobat* oder auch *Lithiumtantalat*. Die Herstellung der Elektrodenstrukturen geschieht durch fotolithografische Verfahren, wie sie auch in der Mikroelektronik zur Herstellung integrierter Schaltungen verwendet werden.

Der prinzipielle Aufbau eines Oberflächenwellen-Transponders ist in Abbildung 3.36 dargestellt. Am Ende eines länglichen piezoelektrischen Substrats wird eine fingerartige Elektrodenstruktur – der Interdigitalwandler – aufgebracht, an dessen Sammelschiene eine *Dipolantenne* für die Arbeitsfrequenz angebracht wird. Der Interdigitalwandler wird als Wandler zwischen elektrischen Signalen und akustischen Oberflächenwellen eingesetzt. Ein an der Sammelschiene angelegter elektrischer Impuls bewirkt wegen des piezoelektrischen Effekts zwischen den Elektroden (Fingern) eine mechanische Verformung an der Oberfläche des Substrates, die sich als Oberflächenwelle (Rayleigh-Welle) in beiden Richtungen ausbreitet. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit liegt bei den gebräuchlichen Substraten zwischen 3000 und 4000 m/s. Eine in den Wandler einlaufende *Oberflächenwelle* verursacht umgekehrt, durch den piezoelektrischen Effekt, einen elektrischen Impuls an der Sammelschiene des Interdigitalwandlers.

Auf die restliche Länge des Oberflächenwellen-Transponders werden einzelne Elektroden aufgebracht. Die Elektrodenkanten bilden einen Reflektorstreifen und reflektieren einen kleinen Teil einer einlaufenden Oberflächenwelle. Reflektorstreifen werden üblicherweise aus Aluminium hergestellt, es sind aber auch Reflektorstreifen in Form geätzter Rillen verwendbar [meinke].

Ein durch ein Lesegerät erzeugter hochfrequenter *Abtastpuls* wird von der Dipolantenne des Transponders in den Interdigitalwandler gespeist und so in eine akustische Oberflächenwel-

⁵ Wird ein (Ionen-)Kristall in bestimmten Richtungen elastisch deformiert, so treten Oberflächenladungen und damit elektrische Spannungen am Kristall auf (Anwendung: Piezo-Feuerzeug). Umgekehrt führt das Anlegen einer Oberflächenladung am Kristall zu einer elastischen Verformung im Kristallgitter (Anwendung: Piezosummer).

le⁶ umgewandelt, welche das Substrat in Längsrichtung durchläuft. An jedem einzelnen der über das Substrat verteilten Reflektorstreifen wird ein Teil der Oberflächenwelle reflektiert, während der verbleibende Anteil der Oberflächenwelle bis zum Ende des Substrates weiterläuft, um dort absorbiert zu werden.

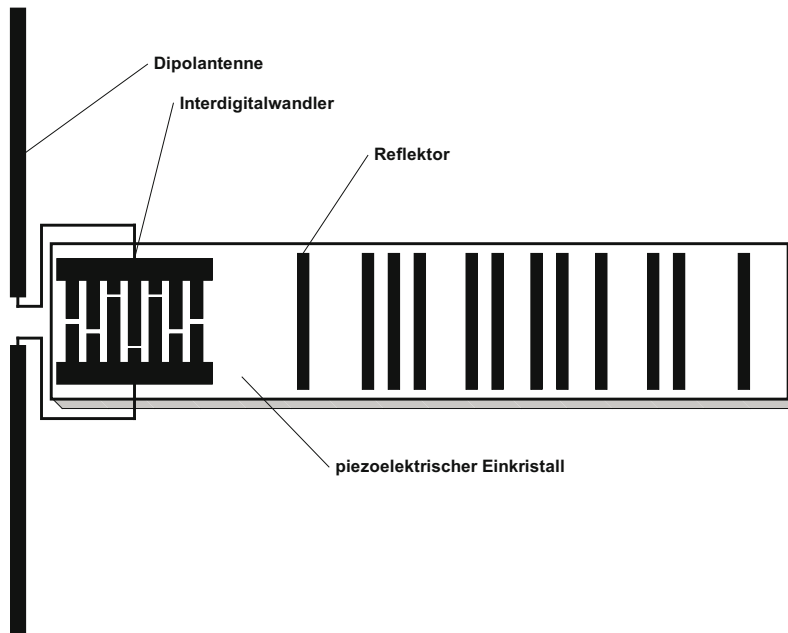


Abb. 3.36 Prinzipieller Aufbau eines OFW-Transponders. Auf den piezoelektrischen Kristall werden der Interdigitalwandler sowie Reflektoren aufgebracht.

Die reflektierten Wellenanteile laufen zurück zum Interdigitalwandler, wo sie in eine hochfrequente Pulsfolge umgewandelt und von der Dipolantenne abgestrahlt werden. Diese Pulsfolge kann durch das Lesegerät empfangen werden. Die Anzahl der empfangenen Pulse entspricht der Anzahl der Reflektorstreifen auf dem Substrat. Ebenso ist der zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Impulsen proportional dem räumlichen Abstand der Reflektorstreifen auf dem Substrat, sodass durch die räumliche Anordnung der Reflektorstreifen eine binäre Ziffernfolge dargestellt werden kann.

Aufgrund der langsamen Ausbreitungsgeschwindigkeit der Oberflächenwelle auf dem Substrat trifft der erste Antwortpuls erst nach einer Totzeit von etwa 1,5 ms nach Aussendung des Abtastpulses beim Lesegerät ein. Daraus ergeben sich entscheidende Vorteile für den Empfang der Pulse:

Reflexionen des Abtastpulses an Metalloberflächen der Umgebung laufen mit Lichtgeschwindigkeit zur Antenne des Lesegerätes zurück. Eine Reflexion in 100 m Entfernung

⁶ Die Frequenz der Oberflächenwelle entspricht der Trägerfrequenz des Abtastimpulses (z. B. 2,45 GHz)! Die Trägerfrequenz der reflektierten und zurückgesendeten Pulsfolge entspricht demzufolge der Sendefrequenz des Abtastpulses.

zum Lesegerät träre somit 0,6 ms nach Aussendung an der Antenne des Lesegerätes ein (Laufzeit hin & rück, dabei wird das Signal um > 160 dB gedämpft). Bis zum Eintreffen des Transpondersignals nach 1,5 ms sind deshalb alle Reflektionen aus der Umgebung des Lesegerätes lange abgeklungen, sodass es hierdurch nicht zu Verfälschungen der Pulsfolge kommen kann [dziggel].

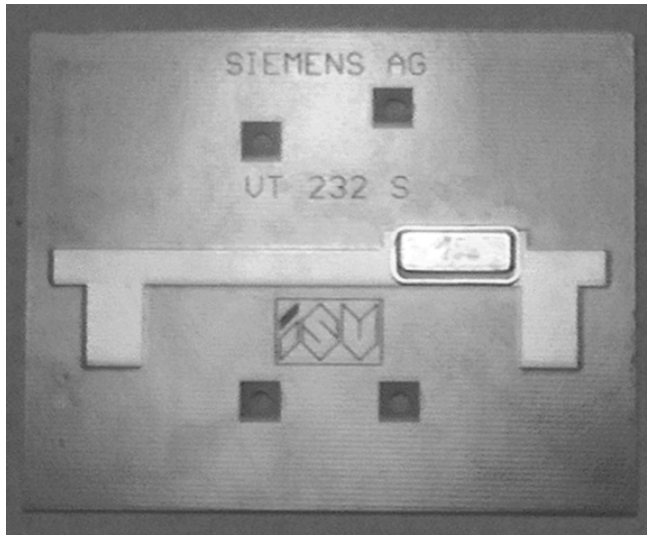


Abb. 3.37 Oberflächenwellen-Transponder für den Frequenzbereich 2,45 GHz mit Mikrostripleitung als Antenne. Der Piezokristall selbst ist in einem zusätzlichen Metallgehäuse, vor Umgebungseinflüssen geschützt, untergebracht. (Bild: Siemens AG, ZT KM, München)

Speicherbare Datenmenge und Datenübertragungsgeschwindigkeit von Oberflächenwellen-Transpondern hängen von der Größe des Substrates sowie von den realisierbaren Mindestabständen zwischen den Reflektorstreifen auf dem Substrat ab. In der Praxis werden etwa 16 ... 32 bit mit einer Datenrate von 500 kbit/s übertragen [sofis].

Die Reichweite von Oberflächenwellen-Systemen hängt im Wesentlichen von der Sendeleistung des Abtastpulses ab und kann nach der Radargleichung (siehe Kap. 4.3.3 „Funktionsschema von OFW-Transpondern“, S. 177) abgeschätzt werden. Bei der zugelassenen Sendeleistung im 2,45 GHz ISM-Frequenzbereich ist mit einer Reichweite von 1 ... 2 m zu rechnen.

3.4 Near Field Communication (NFC)

Bei Near Field Communication (NFC) handelt es sich auf den ersten Blick nicht um ein RFID-System, sondern um eine drahtlose Datenschnittstelle zwischen elektronischen Geräten, so wie auch *Infrarot* oder das bekannte *Bluetooth*. *NFC* bietet darüber hinaus jedoch zusätzliche Eigenschaften, die es auch im Zusammenhang mit RFID-Systemen interessant machen.

Zur Datenübertragung zwischen zwei NFC-Interfaces werden hochfrequente magnetische Wechselfelder im Frequenzbereich 13,56 MHz eingesetzt. Die für eine NFC-Datenübertragung typische Kommunikationsreichweite von maximal etwa 20 cm bedingt, dass sich der jeweilige Kommunikationspartner im Nahfeld der Sendeantenne befindet, woraus die Bezeichnung „near field communication“ abgeleitet ist.

Das physikalische Prinzip einer Datenübertragung zwischen zwei NFC-Interfaces ist in Abbildung 3.38 dargestellt. Ein NFC-Interface verfügt über einen 13,56 MHz-Sender sowie über einen 13,56 MHz-Empfänger, die wechselweise auf die Antenne geschaltet werden. Die Antenne ist als großflächige Spule oder Leiterschleife ausgeführt.

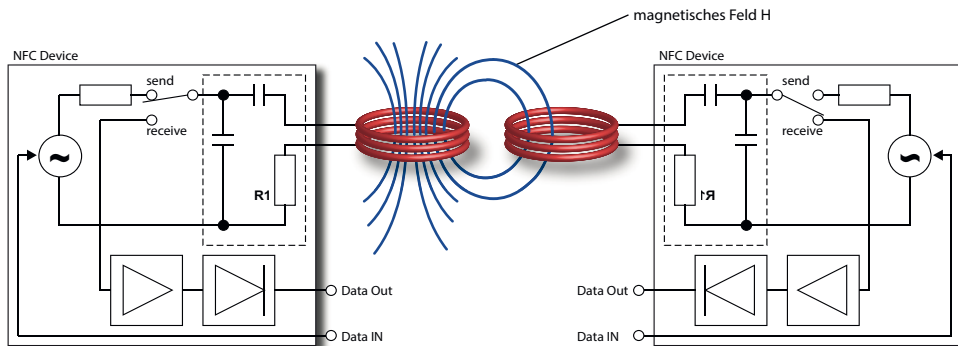


Abb. 3.38 Im Active Mode senden die NFC-Interfaces abwechselnd ein magnetisches Feld zur Datenübertragung aus.

Bei der Kommunikation zwischen zwei NFC-Interfaces kann das einzelne NFC-Interface unterschiedliche Funktionen einnehmen, die eines *NFC-Initiators* (Master Device) oder die des *NFC-Targets* (Slave Device). Der Aufbau einer Kommunikation wird immer vom NFC-Initiator eingeleitet. Bei einer NFC-Kommunikation wird außerdem zwischen zwei unterschiedlichen Betriebsarten unterschieden, dem active Mode und dem passive Mode.

3.4.1 Active Mode

Um im active Mode Daten zwischen zwei NFC-Interfaces übertragen zu können, aktiviert zunächst eines der NFC-Interfaces seinen Sender und übernimmt damit die Rolle des NFC-Initiators. Durch den in der Antenne fließenden hochfrequenten Strom wird ein magnetisches Wechselfeld H erzeugt, welches sich um die Antennenschleife ausbreitet. Die in der Nähe befindliche Antennenschleife eines zweiten NFC-Interfaces wird dabei von einem Teil des erzeugten magnetischen Feldes durchflossen, wodurch in der Antennenschleife eine Spannung u induziert wird, die vom Empfänger des zweiten NFC-Interfaces detektiert werden kann. Empfängt ein NFC-Interface Signale und entsprechende Kommandos eines NFC-Initiators, so nimmt dieses NFC-Interface automatisch die Rolle des NFC-Targets ein.

Zur Übertragung von Daten zwischen den NFC-Interfaces wird das ausgesendete magnetische Wechselfeld in der Amplitude moduliert (ASK-Modulation), so wie es auch bei der

Datenübertragung von einem RFID-Lesegerät zu einem Transponder üblich ist. Der Unterschied zwischen einem NFC-Target im active Mode und einem RFID-Transponder besteht jedoch darin, dass der Transponder über das magnetische Wechselfeld noch mit Energie zum Betrieb des Mikrochips versorgt werden muss, während das NFC-Interface über die Spannungsversorgung eines elektronischen Geräts, in dem es verbaut ist, mit Energie versorgt wird.

Um nun Daten in umgekehrter Richtung, also vom NFC-Target zum NFC-Initiator zu übertragen, wird die Senderichtung umgekehrt. Dies bedeutet, dass das NFC-Target nun den Sender aktiviert und der NFC-Initiator in den Empfangsbetrieb wechselt. Die beiden NFC-Interfaces erzeugen also wechselweise ein magnetisches Feld, auf dem die Daten ausschließlich vom Sender in Richtung Empfänger übertragen werden.

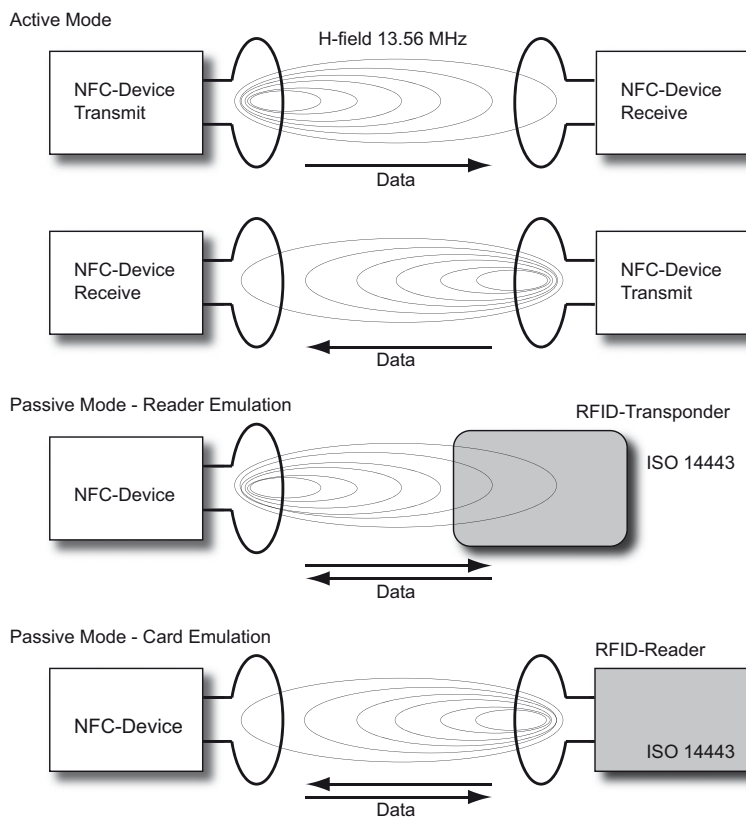


Abb. 3.39 NFC unterscheidet zwischen drei unterschiedlichen Betriebsmodi: Active Mode, und passive Mode in den Betriebsarten Reader Emulation und Card Emulation.

3.4.2 Passive Mode

Auch beim passive Mode erzeugt der NFC-Initiator zur Datenübertragung an das NFC-Target ein magnetisches Wechselfeld, dessen Amplitude im Takt der zu übertragenden Daten moduliert wird (ASK-Modulation). Nach der Übertragung eines Datenblocks wird das Feld

jedoch nicht abgeschaltet, sondern unmoduliert weiterhin abgestrahlt. Das NFC-Target kann nun durch das Erzeugen einer *Lastmodulation* Daten an den NFC-Initiator übertragen. Auch das Verfahren der Lastmodulation kennen wir bereits von RFID-Systemen.

Die Verwendung dieses Verfahrens bei NFC-Interfaces bringt eine Reihe von Vorteilen und interessanten Optionen für den praktischen Betrieb mit sich. So kann etwa die Verteilung der Rollen in einer NFC-Kommunikationsbeziehung zwischen den beiden NFC-Interfaces auch verhandelt werden und jederzeit wechseln. Ein NFC-Interface mit schwacher Energieversorgung, wie durch einen Akku mit geringer Kapazität, kann zum Beispiel die Rolle des NFC-Targets aushandeln und übernehmen, um durch die Datenübertragung per Lastmodulation Energie zu sparen.

Ein NFC-Interface in der Rolle des Targets kann neben anderen NFC-Interfaces auch eine Kommunikationsbeziehung zu kompatiblen passiven Transpondern (z.B. nach ISO/IEC 14443) aufbauen, die dann vom NFC-Target mit Energie versorgt werden und per Lastmodulation Daten an das NFC-Interface übertragen. Diese Option ermöglicht, mit elektronischen Geräten, die mit einem NFC-Interface ausgerüstet sind, wie zum Beispiel einem NFC-Mobiltelefon, verschiedene Transponder wie Smart-Label oder eTickets zu lesen oder zu beschreiben. Da sich das NFC-Interface hier wie ein RFID-Leser verhält, bezeichnet man diese Option auch als „reader-mode“ oder „reader-emulation-mode“.

Bringt man ein NFC-Interface in die Nähe eines kompatiblen RFID-Lesegerätes (z.B. nach ISO/IEC 14443), so ist das NFC-Interface in der Lage, auch mit einem Lesegerät zu kommunizieren. Hierzu übernimmt das NFC-Interface die Rolle eines NFC-Targets und kann dann per Lastmodulation Daten an das Lesegerät übertragen. Diese Option ermöglicht es einem RFID-Lesegerät, mit einem elektronischen Gerät mit NFC-Interface, zum Beispiel einem NFC-Mobiltelefon, Daten auszutauschen. Das elektronische Gerät verhält sich aus Sicht des Lesegerätes wie eine kontaktlose Chipkarte, daher bezeichnet man diese Option auch als „card-mode“ oder „card-emulation-mode“.

16 Register

Symbole

1999/5/EG 201, 208, 210, 714
 1-bit-Transponder 34
 2-FSK 226
 2-FSK-Modulation 71
 4-Kanalplan 430

A

A/D-Wandler 482
 Abfallentsorgung 679
 Abfrageimpuls 177
 Abhören 278
 Abhörreichweite 297
 Abschertest 604
 Abschirmen des Transponders 276
 Absorberfolie 618
 Absorberkammer 559
 Absorptionsrate 30, 197
 Abtastpuls 71
 Access Kommandos 437
 Access-Register 461, 469
 ACK Kommando 437
 Acquirer 639
 Activation Energy 559
 activation energy 563, 567
 Activation Sensitivity 559
 AddRoundKey 324
 Administration-Code 467
 Adresslogik 456
 Advanced Encryption Standard 321
 Advanced Mode 340
 Advanced Transponder 339
 AES 321
 AFC 626
 AIM 701
 Deutschland 701
 Aktivator 34
 aktive Lastmodulation 54, 305
 aktiver Transponder 15, 25, 95, 305
 Aktivierungsenergie 559, 563
 Aktivierungsfeld 336
 Akustomagnetisches Sicherungssystem 44
 Ali Baba 315
 ALOHA-Verfahren 255, 257

Alufolie 276
 American Express 641
 amorphes Metall 40, 43, 135
 Amplitude 219
 Amplitudenmodulation 117, 222
 Anechoic Chamber 559
 Angreifer 518
 Angriff 32
 Angriffsversuch 315
 Anharmonische 45
 animal-identification 335, 708
 Anisotroper Klebstoff 592
 Anpassschaltung 509
 Stückliste 735
 Anpassung 166
 Leistung 68
 Spannung 69
 Strom 69
 Ansprechbereich 102, 156
 Ansprechfeldstärke 82, 97, 168, 539
 Antenne 144
 Dipol 71
 -dipol 609
 Draht 587
 E-Feld 609
 geätzt 587
 gedruckt 587
 H-Feld 609
 Schleifenantenne 609
 Antennengewinn 302
 Antennengruppe 303
 Antennengüte 615, 621
 Antennenradius 81
 Antennenspule 507
 Antennenstrom 104
 Anticollision Frame 364
 Antikollisionsalgorithmus 119, 310, 501
 Antikollisionsverfahren 29, 252
 Antwortpuls, Phasenlage 178, 485
 Anzugsbolzen 398, 684
 aperture, scatter~ 143
 Application Code (MAD) 466
 Applikation 465
 Applikationssoftware 489, 496, 517

Applikationsverzeichnis 466
 MAD 466
Arbeitspunkt 529
Arbiträrsignalgenerator 534, 541
Armbanduhr 641
Artikelsicherung 34
 elektromagnetisches Verfahren 40
 Frequenzteiler-Verfahren 39
 Mikrowellensysteme 37
 RF-Verfahren 34
Artikelsicherungssystem 27
ASK 45
ASK-Modulation 222, 492
Ätztechnik 22, 586
Auslöschung 167
Ausschwingen 127
Ausspähen 275
Ausstanzen 608
AuthComm Kommando 438
Authenticate Kommando 438
Authentifizierung 29, 31, 329, 460, 674
Authentizität 316
Auto-ID-Center 414
Autoindustrie 691
Automatic fare collection 626
Automatic Vehicle Identification 705
Autoschlüssel 17
AWG 534, 535, 541

B

Backlack 582, 597
Backscatter 61
Backscattermodulator 450
Backscattersignal 297
Backscatter-System 25, 142, 156
Backscatter-Transponder 209
Bandbreite 126, 195
Barcode 2, 418
Barcodeleser 404
Basic Access Control Protocol 331
Basisbandsignal 219, 492, 500
Batterie 26, 166
batteriegestützter Transponder 54
Behälteridentifikation 678
Beschleunigungsmessung 485
Betriebsfrequenz 103

Betriebsspannung 95
Betriebssystem 8, 471
 auf Chipkarte 474, 475
Bieungsmessung 485
binary-search-tree-Algorithmus 266, 311
Binary-Search-Verfahren 256
Biometrie 5
Bitcodierung 263
Bitrate 503
Blindwiderstand 612
Blockchiffre 320
Blockertag 311
Blockieren des Lesegerätes 278
Blockschaltbild Lesegerät 503
Blockstruktur 460
Bluetooth 73
Bodenantenne 682
Bolus 668
Bondpads 578
Börsensystem 635
Broadcast 250
Brückengleichrichter 293
Brückenskapazität 622
Bump 590
Bundesnetzagentur 211
Bürgerverband 274
Business Solutions 703
Busy-Signal 657

C

CALYPSO 637
Capture-Effekt 260
Card Loading Effect 538
Card-Emulation-Mode 76, 522
carrier 222
Carrier-circuit 219
CBC 326
CBC-MAC 319
CDMA 251
CEN TC225 447
CEN/TR 16669 447
CEN/TR 16670 447
CEN/TR 16671 447
CEN/TR 16672 447
CEN/TR 16673 447
CEN/TR 16674 447

- CEN/TR 16684 447
- CEN/TS 16685 447
- CEPT 199, 200, 210
- CERP 200
- CE-Zeichen 201, 210
 - Dokumentation 714
- Chaining 502
- Chaining-Verfahren 324
- Challenge Kommando 438
- Channel 219
- Charakterisierung 527, 537
- Chiffre
 - one-time-pad 326
 - sequentiell 317
 - Vernam 326
- Chiffrieren 317
- Chip 11
- Chip-Impedanzmessung 527
- Chipkarte 6
 - close-coupling 344
 - mit Mikroprozessor 8
- Chipkartenbetriebssystem 474, 475
- cipher block chaining 326
- Close coupling Chipkarte 344
- Close coupling System 24, 61
- Close-coupling 626
- CNC-Technik 683
- Code, EAN 2
- Codemultiplexverfahren 251
- Codierung im Basisband 219
- coil-on-chip 23
- Company Prefix 417
- Contact Pads 578
- contactless interface unit 475
- Container 398
 - Identifikation 398
- Coprozessor 29
- CRC 237, 342, 476
- Crypto Suite 438
- Crypto Suite Identifier 438
- CSI 438
- Czochralski Verfahren 576
- D**
- DAC 535
- Data Compactor 403
- Datenblock 403
- Datenobjekt 404
- Datenschutz 444
- Datensicherheit 444
- Datenträger 11
- Datentransceiver 516
- Datenübertragung 115, 219
- DBP-Code 220
- Deaktivator 35
- Deaktivierungsanlage 402
- Deaktivierungsquote 402
- Debit-System 638
- Dechiffrieren 317
- Deckfolie 599
- Dehnungsmessung 485
- Demodulation 219, 222, 450, 454
- Demodulator 219
- Denial of Service 275
 - Angriff 310
- Dense-Reader-Mode 415, 428
- DES 321, 476
- Detektionsrate 34, 400
- Dethloff, Jürgen 625
- Deutsche Bahn A. G. 645
- Device under Test 530
- DFT 536, 544
- Die Bonder 588
- Diebstahlsicherung 14, 34, 204, 208
- Dielektrikum 276
- dielektrischer Spalt 135
- differential bi-phase code 220
- Differential-Code 220
- Digital-Analog-Konversion 535
- Dimple 36
- DIN 713
- Diode, Schottky-Diode 60
- Dipolantenne 38, 71, 137, 144, 151, 609
- Dirac-Impuls 127
- Dirac-Messung 127
- Direktor 153
- Discovery Services 413
- diskrete Fourier-Transformation 536
- Disktransponder 16
- DoD 416
- Doppler-Effekt 484
- Dotieren 575

Dotierungsprofil 38
 Drahtbonden 588
 Dreiecksknorpel 668
 Druckmessung 485
 Drucktechnik 603
 DSB 55
 DSB-Modulation 423
 Dual-Interface-Card 29, 472, 635
 Dual-port-EEPROM 468
 Dual-Side-Band 55

E

EAN 414
 EAN-Code 2, 274
 EAS 14, 34, 204, 704
 EAS-System 27
 ECB 325
 ECTRA 200
 EEPROM 690
 Lebensdauer 479
 Schreibzeit 481
 E-Feld Antenne 609
 effective aperture 147
 effective height 150
 Eindringtiefe 197, 616
 Eingangsimpedanz
 Antenne 146
 Transponder 157
 Eingangskapazität 157
 Eingangsspannung, HF- 98
 Eintor-Resonator 182
 EIRP 145
 Eisenbahnverkehr 202
 Electromagnetic Distortion 547, 556
 electronic code book 325
 elektrisches Feld 24, 65, 137
 elektrische Kompensation 532
 elektrische Kopplung 24, 65
 elektrische Länge 623
 elektrisches Wirbelfeld 88
 Elektrode 65
 elektromagnetisches Feld 24
 elektromagnetisches Störfeld 30
 elektromagnetische Verfahren 40
 elektromagnetische Welle 139, 142, 508
 Entstehung 137
 elektronischer Datenträger 449
 elektronischer Produktcode 413
 elektronischer Reisepass 331
 elektronische Wegfahrsperre 672
 Elektromog-Verordnung 704
 EMD 547, 556
 Empfängerempfindlichkeit 171
 Empfängerzweig 491
 Empfangsleistung 147
 Empfangsreichweite 307
 Empfangssignal 219
 Empfangssignalaufbereitung 499
 Empfangszweig 492
 EMV-Spezifikation 638
 EN 16570 447
 EN 16571 447
 EN 300 220 209
 EN 300 330 195
 EN 300 440 209
 EN 300 674 210
 EN 300 761 210
 EN 301 091 210
 EN 302 208 210
 EN ISO/IEC 29160 447
 end-of-burst detector 70
 Energiereichweite 53, 100, 299, 300, 494
 Energieversorgung 15, 450
 Entschlüsseln 317
 Entschlüsselung 476
 EPC 413, 416, 439
 EPC Information Services 412
 EPC Memory 430
 EPCglobal Inc 414
 EPCglobal Middleware 413
 EPCglobal Network 412
 EPCglobal Specifications 415
 EPCglobal Standards 416
 EPCIS 412
 EPCUHF1G2 442
 EPCUHFGEN2V2 442
 ERC 200
 ERC Recommendation 70-03 200
 ERO 200, 201, 210
 ERP 146
 Ersatzschaltbild 526
 Schottky-Diode 158

ESB 526
ETCS 661
Etikett 34
ETSI 199, 206, 208
 Anschrift 713
ETSI EN 300 220 208
ETSI EN 300 330 208
ETSI EN 300 440 208
ETSI EN 302 208 207
ETSI TR 102 436 210
EU-Mandat M/436 444
Eurobalise 203, 661
European Radio Office 201
Evaluierung 537
ExpressPay 641
Extended Bit Vector 437
ExxonMobil 641

F

Fahrsmart 633
Fahrzeugidentifikation 203
FCC Part 15 214
FCC-Vorschrift 215
FDMA 251, 254
FDT 306, 543, 554
FDX 13, 45
FDX-B Transponder 340
Fehlalarmquote 400
Feld
 elektrisch 65
 magnetisch 78
Feldeinwirkung 276
Feldgeneratorspule 733
 Anpassschaltung 734
Feldlinie 79
 magnetische 102
Feldstärke 168, 533
 die zur Zerstörung des Transponders
 führt 564
 magnetische 78
 Maximum 81
 Verlauf der 80
Feldwellenwiderstand 140
FELICA 642
Fernfeld 138, 195, 606, 610
Ferrit 18
Ferritantenne 133
Ferrit-Folie 617
Ferritfolie
 gesintert 618
Ferritschalenkern 18
Ferritstab 135
ferromagnetisches Metall 43
field threshold 563
File Kommando 439
Filter Value 417
FIPS-197 321
Flächenwiderstand 585
Flexodruck 603
Flip Chip 591, 592
Floating-Gate 479
FM0 Modulation 425
FRAM 480
 Schreibzeit 481
Frame Delay Time 306, 543
Freight containers ID 708
Freiraumdämpfung 58, 139
frequency shift keying 225
Frequenz 219
 anharmonische 45
 harmonische 37, 45
 Sende- 15
 subharmonische 40, 45
Frequenzauswahl 195
Frequenzband 201
Frequenzbereich 187, 189
 13,56 MHz 191
 135 kHz 189
 2,45 GHz 142, 194
 24,125 GHz 195
 27,125 MHz 191
 40,680 MHz 192
 433,920 MHz 192
 5,8 GHz 194
 6,78 MHz 191
 865,0 MHz 193
 868 MHz 193
 915 MHz 142, 194
 ISM 189
Frequenzmodulation 222

Frequenzmultiplexverfahren 251, 254
Frequenzplanung 199
FSK 45, 222
FSK-Modulation 492
Full-Blocker 311
Füllbytes 324
Function-Cluster 466
Funkanlage 187
Funkdienst 187
Funkfrequenzspektrum
Nutzung 199

G

GaAs 574
Gallium-Arsenid 574
geätzte Antenne 587
gedruckte Antenne 587
Gegeninduktion 89
Gegeninduktivität 84, 85, 105
gegenseitige Authentifizierung 329, 460
geinkt 579
gemapt 579
Gen 2 Protokoll 414, 422
Gen 2 V1.2.0 442
Gen 2 V2.0.0 442
Generation 2 414
Generatorspule 35
gepulste Systeme 46
gerichtete (Strahlungs-)Keule 31
geschlossenes System 273
GIAI 419
GID 416
Glastransponder 16, 135
Herstellen 595
Glaukom 694
Global ID-Magazine 702
Golden Device 532
GRAI 416
Graphitbeschichtung 67
Grötrupp Helmut 625
Gruppenantenne 155
GS1 422
GSM 206
GTAG Initiative 412
Güte 614
Antennengüte 615
Messung 128

Gütefaktor 93, 114, 119, 121, 182, 512
Messung 126

H

Haftfestigkeit 604
Halbduplexverfahren 13, 45
Halbleiterschaltung 39
Halbwellendipol 151
Halsbandtransponder 666
Handelspartner 412
Händlerbank 639
Harmonische 37, 294
harmonische Frequenz 45
Hartetikette 34, 39
hartmagnetisches Metall 43
Hashfunktion 318
kryptografisch 318
Hauptstrahlrichtung 145, 153
HCI 521
HDLC Protokoll 521
HDX 13, 45
Header 417
Helmholtz-Anordnung 533, 545
Herzschrittmacher 704
H-Feld 209
H-Feld Antenne 609
HF-Interface 293, 306, 450, 490
High-end-System 29
High-end-Transponder 450
Hilbert-Algorithmus 536, 542
Hilfsträger 51, 64, 227, 451, 492
Hilfsträgerfrequenz 55, 227
307,2 kHz 64
Hologramm 604
Host-Controle-Interface 521
Humanmedizin 694
Hybridkarte 635
Hysteresekurve 40, 132

I

ICARE 636
Identifikation von Tieren 335, 336
Identifikationscode für Tiere 335
Identifikationssystem 687
IIC-Bus 467
Impedanzanalysator 123
Impedanzanpassung 158, 166

Impedanzfunktion 614
Induktionsgesetz 88
Induktionsspannung 88
induktive Funkanlage 24, 204
induktives Koppelement 63
induktive Kopplung 24, 77, 138, 195
Induktivität 84, 612
 Gegeninduktion 89
 Gegeninduktivität 84
Industrieautomation 29
Informationsquelle 219
Infrarot 73
Injektionsnadel 666
injizierbarer Transponder 665
ink dot 579
Inletfolie 599
integrierter Schaltkreis 576
Integrität 316
Interdigitalwandler 71, 175
Intermodulationsprodukt 301
Internationale Fernmeldeunion 198
ISM-Frequenzbereiche 187
ISO 713
ISO 10536 62
ISO 6346 398
ISO 69871 398
ISO 69872 398
ISO 69873 18, 398
ISO/IEC 10373-6 526
ISO/IEC 10374 398
ISO/IEC 10536 344, 626
ISO/IEC 11784
 Identifikationscode 339
ISO/IEC 14443 46, 53, 305, 348, 626, 638
ISO/IEC 15693 626
ISO/IEC 15961 402
ISO/IEC 15962 402
ISO/IEC 15963 402
ISO/IEC 17363 445
ISO/IEC 17364 445
ISO/IEC 17365 445
ISO/IEC 17366 445
ISO/IEC 17367 445
ISO/IEC 18000 405
ISO/IEC 18000-6 422, 626

ISO/IEC 18000-63 422, 442
ISO/IEC 18001 407
ISO/IEC 18046 409, 559
ISO/IEC 18047 409
ISO/IEC 18092 642
ISO/IEC 19823 409
ISO/IEC 21481 642
ISO/IEC 24710 407
ISO/IEC 29160 447
ISO/IEC 29167 407, 438
ISO/IEC 7810 599
ISO/IEC 8824-1 404
ISO/IEC 9798-2 329
ISO/IEC 9834-1 404
ISO-Container 398
isotrop leitfähiger Klebstoff 592
isotroper Strahler 140, 144
Issuer 639
Item Management 402, 709, 710
Item Reference 417
ITU 198
ITU-R 199

J

Java-Applets 517

K

Kalibrierspule 533
Kanalcodierung 229
Kanalraster 201
Kapazitätsdiode 38
kapazitives Koppelement 63
kapazitive Kopplung 24, 62, 65
kapazitive Lastmodulation 117
Kennzeichnung von Produkten 274
KeyUpdate Kommando 438
Kfz-Diebstahl 672
Klarschriftleser 4
Klartext 316
Klassenkonzept 550
Klebeetiketten 23
Klebstoff
 anisotrop 592
 isotrop leitfähig 592
Koaxialleitung 509

- Kollisionsintervall 259
- Kommando
 - Access 437
 - ACK 437
 - NAK 437
 - Query 436
 - QueryAdjust 436
 - QueryRep 437
- Kommissionierung 693
- Kommunikationsprotokoll 516
- Kommunikationsreichweite 26, 53
- Kommunikationssystem 219
- Konfigurationsregister 461
- Konformität 408
- Konformitätsnorm 409
- kontaktbehaftete Chipkarte 472
- Kontaktierung 589
- Kontaktierverfahren 587
- kontaktlose Chipkarte 20, 24, 599
- kontaktlose Uhr 20
- KONTIKI 701
- Koppeldämpfung 493
- Koppelement 11
 - induktiv 63
 - kapazitiv 63
- Kopplung
 - elektrisch 24, 65
 - induktiv 24, 77, 138
 - kapazitiv 24, 62, 65
 - magnetisch 24
- Kopplungsfaktor 86, 110
- Kreditkarte 625
- Kreditkartenfunktion 517
- Kreditkartenorganisation 640
- Kreisdämpfung 93
- Kristallgitter 174
- Kryptografie 472
 - Koprozessor 472, 476
- kryptografische Hashfunktion 318
- kryptografisches Protokoll 328
- kryptografischer Schlüssel 329
- Krypto-Unit 456
- kugelförmiger Strahler 140
- Kunstlinse 694
- Kurzstreckenfunk 188
- Kurzstreckenfunkgerät 27
- Kurzwellenfrequenz 191
- L**
- Label 23
- Ladekondensator 68
- Lagerhaltung 693
- Laminieren 600
- Landing Plane 532
- Langasit 487
- Langwelle 189
- Langyagi-Antenne 303
- Lastmodulation 50, 64, 67, 76, 115, 338, 499
 - aktiv 305
 - aktive 54
 - kapazitive 117
 - ohmsche 117
 - reelle 117
- Lastmodulationsreichweite 299
- Lastmodulator 51, 121, 450, 516
- Lastwiderstand 50, 113, 157, 227
- Leadframe 589
- Leistungsanpassung 68
- Leistungsmessung 565
- Leistungspegel 201
- Leiterschleife 103, 138
- Leiterschleifenantennen 104
- Leitfähigkeit
 - spezifisch 616
- Leseentfernung 305
- Lesegerät 11, 103, 219, 489
 - für Klarschrift 4
- Lesereichweite 25, 65, 81, 99, 103
 - vergrößern 278, 298
- Lichtgeschwindigkeit 137
- Lieferkette 412, 417
- line code 220
- lineare Detektion 160
- Lithiumniobat 71, 174
- Lithiumtantalat 71, 174
- Logistikprozess 413
- Long-range-System 25, 58
- low-barrier-Schottky 60
- low-cost-Transponder 197

- low-end-System 27
- LPRA 702
- LTE 206
- Luftspalt 61
- M**
- MAC 319
- MAD 466
 - Administration-Code 467
 - Application-Code 466
 - Function-Cluster 466
- Magnetfeld 137
- magnetische Erregung 533
- magnetisches Feld 24, 78, 137
- magnetische Feldlinie 102
- magnetische Feldstärke 78
- magnetischer Fluss 83
- magnetische Kopplung 24
- magnetisches Wechselfeld 79
- Magnetisierungskennlinie 132
- Magnetostriktion 43
- Manchester-Code 220, 263
- Manipulation 329
- maschinenlesbare Zeile 331
- Massenfertigung 686
- MasterCard 641
- Masterschlüssel 330
- Master-Slave-Prinzip 489
- Materialfluss 687
- Matrix Run 619
- Mauterfassung 203
- Maximale Feldstärke 564
- maximum operating electromagnetic field 564
- Megabump 593
- mehrstufige Modulation 227
- Messung
 - Beschleunigung 483, 485
 - Druck 485
 - Durchfluss 483
 - Entfernung 484
 - Feuchte 483
 - Gase 483
 - Geschwindigkeit 484
 - Licht 483
 - PH-Wert 483
 - physikalische Größen 485
 - Temperatur 485
- Metall
 - amorphes 40, 43
 - hartmagnetisches 43
- Metalldeckel 135
- Metallfolie 67
- Metalloberfläche 18, 88, 134, 135, 677, 685
 - Rückstreuquerschnitt 143
- MFRC-522 501
- micro-SD Karte 53
- Middleware 517
- MIFARE 474, 501, 642
- MIFARE-Transponder 465
- Mikrochip 11, 39, 90
 - Betriebsspannung 95
 - Spannungsversorgung 90
 - Stromaufnahme 113
- Mikroprozessor 471
 - Betriebssystem 471
 - Chipkarte 8, 474
- Mikrospule 694
- Mikrostrip-Antenne 153
- Mikrowelle 25, 37
- Mikrowellenfrequenz 58
- Mikrowellensystem 492
- Miller-Code 220
 - modified 220
- Millersubcarrier 426
- Minimale Lese- oder Schreibfeldstärke 563
- Mitgliedstaaten 200
- MixColumn 323
- Mobile Oil 641
- Mobiltelefon 472
- Modem 219
- modified miller code 220
- modulated backscatter 61, 169
- Modulation 172, 219, 222, 554
 - 2-FSK 71
 - ASK 492
 - DSB 55, 423
 - FM0 425
 - FSK 492
 - PR-ASK 423
 - PSK 492
 - SSB-ASK 423
 - Zweiseitenband 55
- Modulationseigenschaften 533, 536, 541
- Modulationseingang 497
- Modulationskondensator 118

Modulationsparameter 542
Modulationsprodukt 223
Modulationsseitenband 297
Modulationswiderstand 116, 452
Modulator 219
modulierter Rückstrahlquerschnitt 142, 169
Montageuntergrund 568
Motorelektronik 674
multi-access 250
Multiplexer 657
Mutual Authentication 329

N

Nahfeld 50, 138, 195, 309, 606, 610
NAK Kommando 437
nationale Regulierungsvorschrift 210
Near Field Communication 642
Netzwerkanalysator 123
Newsletter
 ID Tech Ex 703
NF-Bereich 40
NFC 73, 516, 642
 active-mode 642
 passive-mode 642
NFC-Device 642
NFC-Initiator 74
NFC-Target 74
NFC Wired Interface 522
NFC-WI Interface 306
nichtlinearer Widerstand 37
Normen, Bezugsquelle 713
NRZ-Code 64, 220, 263
NTC 482
Nullkopplung 552
Nummer, Serien 673

O

Oberflächenwelle 71, 174
Oberflächenwellen-Bauelement 71
Oberflächenwellen-Transponder 25, 495
Oberwelle
 Abhören 293
Object Naming Service 412
OCR-System 5
OEM-Lesegerät 513
Öffentlicher Personen(nah)verkehr 626

Offsetdruck 603
OFW 71
Ohrmarke 666
on-chip trimm capacitor 68
On-chip-Oszillator 499
one-time-pad 326
On-Off keying 223
ONS 412
Operated Range Test 560
Operated Volume Test 560
Operating Volume 532, 536
ÖPNV 29, 701
Orientierungstest 563
Oszillator 171, 491
 on-chip 499
OTA-Dienst 644
Overlayfolie 599

P

Padding 324
Parabolspiegel 304
Parallelregler 97
Parallelresonanz 614
Parallelresonanzkreis 91
Parallelschwingkreis 90
Paritätsbit 235
Paritätsprüfung 235
Partition 417
Passierungsschicht 578
passive Lastmodulation 54
passiver Transponder 15, 25, 47, 95, 450
Passwort 460
Patch-Antenne 153
PayPass 641
PCD 532
PCD Antenne 532
PCD Standard Frame 365
Performanz 408
Performanznorm 409
Permanentmagnet 41
Permeabilität 132, 618
Permeabilitätskonstante 533
Personen(nah)verkehr 626
PGP 320
Phase 219
Phase Shift Keying 226

- Phasenlage 485
- Phasenmodulation 117, 222
- Phasenrauschen 171
- Phasenumtastung 226
- Photolithographie 578
- PICC 345
- PIE 424
- Piezoeffekt 174
- piezoelektrischer Effekt 71
- piezoelektrischer Kristall 174
- Planarantenne 153
- Plastikgehäuse 17
- Plastikpackage (PP) 17
- Point-of-Sale 638
- Polarisation 141
 - horizontal 141
 - linear 141
 - vertikal 141
 - zirkular 141, 155
- Polarisationsrichtung 168
- Polarisationsverlust 141
- Polling-Verfahren 256
- Polstelle 613
- Polyethylen-Folie 34
- Polymer-Absorberfolie 618
- Polymer-Dickfilmpaste 585
- Population Analysis 570
- Populationstest 570
- POS 638
- POS-Terminal 638
- power management unit 474
- power-down-mode 475
- Power-ON-Logik 456
- Poyntigscher Strahlungsvektor S 140
- PR-ASK-Modulation 423
- Privatsphäre 274
 - Schutz der 447
- Produktionsprozess 686
- Produktkennzeichnung 274
- Programmierstation 658
- Programmierung, Lesegerät 502
- Protokollrahmen 501
- Proximity-coupling 626
- Proximity-Effekt 617
- Pseudozufallsfolge 327
- PSK 45, 64, 222
- PSK-Modulation 492
- Public-Key Verfahren 320
- puls pause coding 220
- Pulse Intervall Encoding 424
- Pulsradar 496
- Pulsweite 503
- Q**
 - quadratische Detektion 160
 - Qualitätsmerkmale 390
 - Quarz 174
 - Query Kommando 436
 - QueryAdjust Kommando 436
 - QueryRep Kommando 437
- R**
 - R&TTE-Directive 210, 714
 - R&TTE-Homepage 211
 - R&TTE-Richtlinie 201, 208
 - radar cross section 143
 - Radar, Rückstreuquerschnitt 143
 - RADAR-Technik 60, 142
 - Rahmenantenne 36
 - railways 705
 - Raummultiplexverfahren 251, 253
 - Rauschen 171, 299
 - Rayleigh-Welle 174
 - RCS 143
 - reader-emulation-mode 76
 - Read-only-Transponder 27, 450, 458
 - REC 70-03 200
 - Receiver 219
 - Reference PICC 531, 536
 - Referenzkarte 531, 536
 - reflective delay line 178
 - reflektive Verzögerungsleitung 178
 - Reflektor 71, 153, 177
 - Reflexion 168
 - Reflexionseigenschaft 61, 142
 - Reflexionsmessung 527
 - Register 502
 - Regulierung 199
 - Regulierungsvorschrift 200
 - Bezugsquellen 713

- Reichweite 25, 30, 59, 65, 81, 103, 178, 197, 253, 298
 - Abhörreichweite 297
- Reichweitengrenze 139
- Relay-Attack
 - abwehren 331
- Remote-coupling-System 24
- REQUEST-Kommando 256, 261
- Reserved Memory 430
- Resonanzfrequenz 90, 107, 108, 123, 529, 614
 - Messung 128
- Resonanzschwingung 34
- Resonator 182
- RFID-Sign 444
- RFID-System 1, 11, 29
- RFID-Transponder 11
- RF-Verfahren 34
- Richtantenne 153, 297
- Richtkoppler 61, 493
- Rijndael-Algorithmus 321
- Ringmodulator 55
- road toll systems 203
- Roboter 693
- Rollentest 605
- RSA 477
- RTI 704
- RTTT 195
- Rückstrahlquerschnitt 60, 142
 - moduliert 169
- Rückstreuquerschnitt 143, 147, 168
- S**
- S2C-Interface 522
- Sägen des Wafer 580
- SAM 331
- SAW 71
- scatter aperture 143, 147
- Schieberegister 240
- Schleifenantenne 209, 609
- Schleifendipol 151
- Schlüssel 317
 - applikationseigener 463
 - applikationsspezifischer 463
 - geheimer 460
 - hierarchischer 462
 - Masterschlüssel 330
- Schlüsselanhänger 641
- Schlüsselpaar 320
- Schlüsselspeicher 461
- Schottky-Detektor 158, 168
- Schottky-Diode 60, 158
 - Sperrschichtkapazität 158
 - Sperrschichtwiderstand 158
- Schreibzeit 481
- Schweißen 593
- Schwingkreisspule 39
- Scutulum 668
- SDMA 251, 253
- Secure Element 518, 522, 644
- SecureComm Kommando 438
- Secure-Memory-Card 518
- segmentierte Transponder 403, 463
- Seitenband 172, 223
- Seitenbandamplitude 536, 545
- Selbstinduktion 89
- SELECT-Kommando 261
- semi-passiver Transponder 26
- Sendefrequenz 15, 108
- Sendeleistung erhöhen 300
- Senderzweig 491
- sensitivity degradation 563
- Sensordaten 482
- Sensorspule 35
- Seoul 631
- SEQ 67
- sequentielle Chiffre 317
- sequentieller Transponder 14
- sequentielle Verfahren 14, 67
- Seriennummer 27, 261, 265, 311, 458, 477, 673
- Serienresonanz 614
- Serienresonanzkreis 103, 508
- Session Flag 431
- SGLN 416
- SGTIN 416, 417
- SHA-1 332
- Shear Test 604
- ShiftRow 323
- Short Frame 364
- Short Range Device 27, 188, 200, 202
 - Regulierung 200
- Shuntregler 96, 97, 121
- Shuntwiderstand 95

- Sicherheitsanforderung 31
 Chipkarte 473
Sicherheitslogik 456
Sicherheitssystem 315
Sicherung
 siehe Artikelsicherung
Sicherungsetikett 34
Sicherungsmittel 34
Siebdruck 22, 603
Siebdrucktechnik 585
SIGIN 522
sigma-modulation 169
Signaldarstellung 219
Signaldecodierung 219
Signalkodierung 219, 498
Signallaufzeit 484
Signalprocessing 219
SIGOUT 522
Silberleitpaste 67
Silizium 574
SIM-Karte 53, 518
Single Chip Reader IC 501
Single Wire Protokoll 520
Ski-Lift 655
Skin-Effekt 616
Slot 261
Slotted-ALOHA 423
Slotted-ALOHA-Verfahren 259, 311
Smart Label 22, 25
Smart Labels Analyst 703
Softwareanwendung 489
Solutions 703
Sonotrode 584
Spannungsanpassung 69
Spannungsteiler, kapazitiv 65
Spannungsverdoppler 161
Spannungsversorgung 90, 158
 des Chips 26
 Shuntregler 97
Spanzeugidentifikation 398
Speedpass 641
Speicher, segmentiert 463
Speicherbereich 277
Speicherblock 342
Speicherkapazität 32
Speicherkarte 8
Speichersegmentierung, variabel 465
Spektrumanalysator 564
spezifische Leitfähigkeit 616
Spitzenwertgleichrichtung 160
split-phase encoding 220
spread-spectrum 251
Sprühventil 608
Spulentreiber 499
SRAM 690
SRD 27, 188, 200, 704, 705, 707
SSB-ASK-Modulation 423
SSCC 416
Standard Frame 365, 369
Start-up time 543
State-Machine 29, 450, 457, 474
Steilkegelschaft 398, 684
Störreflexion 178
Störsender 278, 297
Strahlungsdiagramm 145
Strahlungsdichte 140, 142
Strahlungsleistung 140
Strahlungswiderstand 146, 151, 154, 161
streamcipher 317
Stromanpassung 69
Stromaufnahme 113
Stromfestigkeit 622
Stromsparmodus 475
Stromverschlüsselung 317
Subcarrier
 siehe Hilfsträger
Subharmonisch 40, 45
Substitutionsmethode 531, 536, 538
supply chain 412
survival electromagnetic field 564
symmetrische Algorithmen 320
Synchronisation
 mehrere Lesegeräte 337
 Synchronisationsleitung 338
Systembetreiber 273
- T**
T/R 22-04 209
T/R 60-01 209
Takt 457
tamper-proof 604
Tari 425

Tartan-Matte 682
 Tastgrad 172, 223
 Taubenring 670
 TDMA 251, 255
 Telemetriesender 27, 208, 482
 Temperaturmessung 485
 Temperatursensor 182, 482, 483
 Thermokompressionsbonden 592
 Thermosonic Bonden 588
 Three Pass Mutual Authentication 329
 Threshold Level 559, 606
 threshold level 563, 567
 Ticketing 29
 TID Memory 430
 Tiegelziehverfahren 576
 Tieridentifikation 29, 335, 336
 touch & go 61
 Touch & Travel 645
 Touchpoint 645
 Trafic Telematics 195
 Träger 219, 222
 Trägerperiode 543
 Trägerschwingung 223
 Transaktionszeit 472
 transformatorische Kopplung 48, 50, 138
 transformierte Impedanz 50
 transformierte Transponderimpedanz 105,
 108, 115
 Transmitter 219
 Transponder 11, 219, 526
 1-bit 34
 aktiver 15, 25, 305
 Disk~ 16
 Glas~ 16
 passiver 15, 25, 47, 95, 450
 semi-passiver 26
 zerstören 275
 Transponderantenne 168
 Transponderimpedanz, transformierte 105
 Transponderklon 277
 Transponderresonanzfrequenz 123
 Transponderschwingkreis 115, 119, 124,
 452
 Transponderspule 596
 trimm capacitor, on-chip 68
 TS 102 613 520
 TS Bonden 588

U

U2270B 498
 Überlagerung 167
 Übertragungsfehler 219
 Übertragungskanal 219
 Übertragungsmedium 219
 Übertragungsprotokoll
 ISO 14223 341
 UCC 414
 UHF-Bereich 25
 UHF-Frequenzbereich 58, 192, 193
 UID 364
 UII 439
 UII Memory 430
 Ultraschallbonden 588
 Unikatsnummern 477
 Unipolar-Code 220
 unique number 28, 673
 Universal-Blocker 311
 Untraceable Kommando 439
 UPC 2, 274
 US Bonden 588
 User memory 430
 UV-Flexodruck 603

V

VDA 5520 445
 VDE 713
 VDI 713
 VDI 4470 34, 400
 Verbraucherschutzorganisation 274
 Verkehrsangebot 257
 Verkehrstelematik 203
 Verkürzungsfaktor 152
 Verlegetechnik 584
 Vernam Chiffre 326
 Verschlüsseln 317
 verschlüsselte Datenübertragung 317
 Verschlüsselung 31, 476
 Verschlüsselungsfunktion 327
 Verstimmung 276
 Vertraulichkeit 316
 Verwendungskontext 273
 VHF-Bereich 192
 Vicinity coupling 626
 System 25
 Vielfachzugriff 250

VISA 636

Visa Wave 641

Vollduplexverfahren 13, 45

VSWR Brücke 565

W

Wafer 577

 Bumpen 590

 Sägen 580

 sawn on foil 581

Wafer Prober 579

Wareneingang 413

Warensicherungssysteme

 Kundenabnahmerichtlinie 713

Wegfahrsperre 17, 497

Wellenlänge 138

Welttelegraphenverein 198

Werkzeugidentifikation 398

Werkzeugmagazin 684

Wickelmaschine 596

Wickeltechnik

 mit Kern 582

 mit Luftspule 582

Wicklungswiderstand 89

Widerstand, nichtlinear 37

Windungsabstand 622

Windungskapazität 622

Wirbelfeld 137

Wirbelstrom 88

Wirbelstromverlust 135

wirksame Fläche 147, 150

wirksame Höhe 150

wirksame Länge 150

Wirkwiderstand 612

Wobbelsignal 36

WUPA 364

Y

Yagi-Uda-Antenne 153

Z

Zahlungsverkehr 472

Zahlungsverkehrssystem 638

Zeitmultiplexverfahren 251, 255

Zeitschlitz 261

Zeitzeichensender 189

Zerstörung

 durch Feldeinwirkung 276

 eines Transponders 275

zirkulare Polarisation 141, 155

ZKA 636

Zufallszahl 329, 671

Zugriffsrechte 461

Zündschloss 673

Zustandsautomat 14, 450

Zustandsdiagramm 458

Zutrittsberechtigung 657

Zutrittskontrolle 29, 660

Zweifrequenzumtastung 225

Zweiseitenband-Modulation 55