Überlegungen zum professionellen Design eines Kurzstrecken-Funksystems

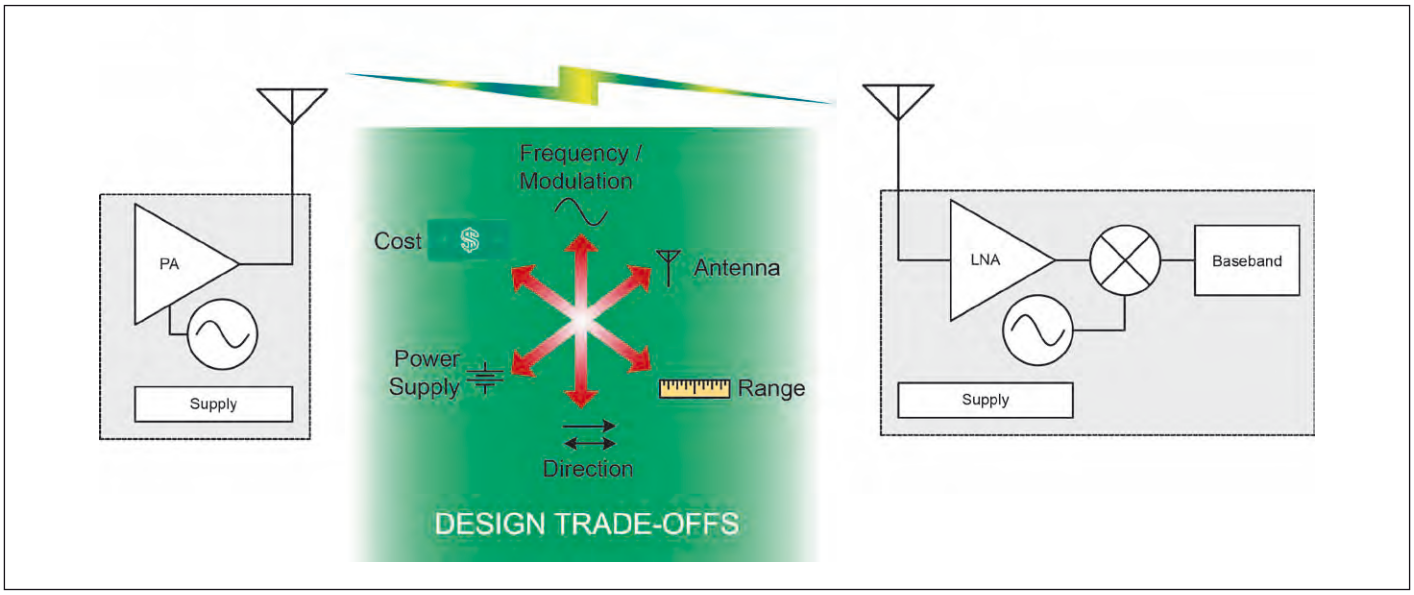


Bild 1: Zu den Kriterien, über die beim Design eines Kurzstrecken-Funksystems entschieden werden muss, gehören das Modulationsverfahren, die Sendeleistung, die Leistungsaufnahme, die Reichweite, die Antenne, die Richtwirkung und die Kosten.

Martin Stoehr
Maxim Integrated
Deutsche Erstveröffentlichung in der Fachzeitschrift „Elektronik“ Ausgabe 13, 2013

Das Design eines Kurzstrecken-Funksystems kann sich recht komplex gestalten, denn häufig muss hierbei eine Vielzahl von Kriterien berücksichtigt werden (Bild 1). Ein wenig Hintergrundwissen vorausgesetzt, lässt sich die Aufgabe jedoch vereinfachen, wenn man die verschiedenen Faktoren, also Festlegung der Frequenz, die Entscheidung zwischen uni- und bidirektionaler Kommunikation, die Wahl des Modulationsverfahrens, die Kosten, die Antennenoptionen, den Einfluss des Netzteils, die Auswirkungen auf die Reichweite und die Wahl des Protokolls in ein ausgewogenes Verhältnis bringt.

Wahl der richtigen Frequenz

Was könnte einen Designer bewegen, das 868/915-MHz-Band zu nutzen, anstatt mit 433,92 MHz zu arbeiten? Oder anders gefragt: Wie legt man die Frequenz fest, mit der das System arbeiten soll? Die Antwort wird in erster Linie von zwei Aspekten beeinflusst. Zum einen kann es sein, dass die Applikation traditionell ein bestimmtes Frequenzband nutzt oder die Verwendung eines gewissen Frequenzbereichs extern vorgegeben wird. Zum anderen kann sich das beste Frequenzband aus den übrigen Designparametern ergeben.

Der wichtigste Parameter für ein neues Design ist in der Regel das Erzielen der angestrebten Reichweite. Über das zu verwendende Frequenzband könnte leichter entschieden werden, wenn Größe und Anordnung der Antenne in keiner Weise eingeschränkt wären, es zwischen Sender und Empfänger keine Hindernisse gäbe und beide Einheiten über eine Netzstromversorgung verfügten. Wenn es jedoch um eine Consumer-Anwendung geht, die nach einer unauffällig integrierten Antenne verlangt, deren Signal die Wände eines Hauses

f (MHz)	λ (m)	λ/4 (cm)	λ/4 on FR4 (cm)	Aperture size (cm²)	Reactive near field (cm)	Far field (m)
260	1.153	28.83	16.72	1058	18.35	2.31
300	0.9993	24.98	14.49	795	15.90	2.00
315	0.9517	23.79	13.80	721	15.15	1.90
330	0.9085	22.71	13.17	657	14.46	1.82
434	0.6907	17.27	10.02	380	10.99	1.38
435	0.6892	17.23	9.99	378	10.97	1.38
470	0.6379	15.95	9.25	324	10.15	1.28
[868]	0.3454	8.63	5.01	95	5.50	0.691
902	0.3324	8.31	4.82	88	5.29	0.665
915	0.3276	8.19	4.75	85	5.21	0.655
928	0.3231	8.08	4.68	83	5.14	0.646

Tabelle 1. Antennengeometrie und Frequenz

durchdringen muss und die mehrere Jahre mit einer Knopfzelle auskommen muss, gewinnen diese Zielkonflikte an Relevanz.

Aus der Physik ist bekannt, dass die Reichweite eines Funksignals im freien Raum proportional zur Sendeleistung, zum Antennengewinn und zum Quadrat der Wellenlänge ist. Im Empfänger sind der Antennengewinn und die Empfindlichkeit von Belang. Die Antennengröße steht in umgekehrtem Verhältnis zur Frequenz: je niedriger die Frequenz, umso größer muss die Antenne sein.

Generell gilt, dass die niedrigeren Frequenzen bessere Ausbreitungseigenschaften zeigen und weniger auf eine direkte Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger angewiesen sind. In der Praxis aber sind es vorwiegend die anderen Faktoren, die letztendlich über die Reichweite des Systems entscheiden. Parameter wie die Größe und Richtcharakteristik der Antenne, die tatsächliche Einsatzumgebung (mit weniger Hindernissen als in der Worst-Case-Berechnung zugrundegelegt) und der Einfluss von Störungen aus dem Umfeld der Applikation haben meist den größten Einfluss auf die tatsächliche Reichweite des Systems.

Wie aber steht es mit der Ausgangsleistung in diesen Frequenzbändern? Inwieweit ergeben sich aus ihr Einschränkungen beispielsweise für die Reichweite oder den Oberwellengehalt? Die Sendeleistung kann helfen, andere Schwachstellen im System zu kompensieren. Hierbei müssen zwar die Vorschriften der Regulierungsbehörden beachtet werden, aber dennoch ist es gängige Praxis, die Möglichkeiten des Senders maximal auszuschöpfen, um Verluste und Effizienzmängel in der Antenne und im Anpassungssystem auszugleichen.

Unidirektionale und bidirektionale Systeme

Nach wie vor groß ist die Zahl der Anwendungen, die mit einem unidirektionalen Kommunikationssystem auskommen. Geht es zum Beispiel um das Betätigen einer Auto-Zentralverriegelung oder der Rollläden im Haus, wird keinerlei drahtlose Rückmeldung benötigt. Es wird also stets eine Nachfrage nach einer einfachen und kosteneffektiven unidirektionalen Funkübertragung bestehen.

Ungeachtet der Tatsache, dass es für die unidirektionale Kommunikation immer einen Markt geben dürfte, nimmt natürlich die Nachfrage nach Überwachungs- und Rückmeldefunktionen, einer Statusanzeige und anderen Interaktionen mit dem Benutzer weiter zu, sodass es einen Trend gibt, unidirektionale Lösungen durch Transceiver zu ersetzen. Bei einer funkfernbedienten Kfz-Zentralverrieglung etwa wünscht der Anwender möglicherweise die Rückmeldung, dass das Fahrzeug tatsächlich verriegelt ist, und bei der Fernbetätigung von Rollläden kann den Benutzer die Lufttemperatur am Fenster interessieren. In beiden Fällen könnte die bisherige, einfache unidirektionale Lösung durch ein bidirektionales Kommunikationssystem verdrängt werden.

Modulationsverfahren

In den ISM-Frequenzbändern (Industrial, Scientific and Medical) lassen sich mehrere Modulationsarten anwenden. In den niedrigeren Bändern (d. h. in dem unterhalb von 470 MHz angesiedelten Teil des IEEE-UHF-Bands) bevorzugen Designer meist das Amplitudenumtastverfahren (Amplitude Shift Keying - ASK), das einfach anzuwenden ist und tendenziell mit kostengünstigerer Hardware auskommt. Mit den Reifendruck-Überwachungssystemen kam bei den niedrigeren Frequenzen alternativ das Frequenzumtastverfahren (Frequency Shift Keying - FSK) ins Spiel. Dieses erwies sich als weniger anfällig gegen nachteilige Einflüsse der Applikationsumgebung (ein Reifen, der sich in einem Radkasten dreht, neigt dazu, eine Amplitudenmodulation zu verursachen). Für jede Art von Amplitudenmodulation (AM) wird ein lineares Demodulationsverfahren verwendet, sodass ein nicht geringer Teil der Störungen durchgelassen wird. Die Frequenzmodulation (FM) dagegen weist einen größeren Signal-Rauschabstand (Signal-to-Noise Ratio - SNR) auf und ermöglicht einen größeren Modulationshub (200 kHz bei einem herkömmlichen FM-Kanal). Andererseits kommt es bei der Frequenzmodulation unterhalb einer gewissen Empfindlichkeitsschwelle schnell zu einem Verlust der Trägersynchronisation.

Das FSK-Verfahren wird in größerem Umfang im höheren Teil des IEEE-UHF-Bands (>470 MHz) genutzt, weil hier strikte behördliche Vorschriften eingehalten werden müssen. Ein frequenzbasiertes Modulationsverfahren ermöglicht den Dauerstrichbetrieb des Senders. Man verringert damit die nachteiligen Effekte, die beim fortlaufenden Ein- und Ausschalten des Senders entstehen, wenn das ASK-Verfahren oder das On-Off Keying (OOK) verwendet wird. In den höheren Frequenzbändern oberhalb von 1 MHz (d. h. im L-, S- und C-Band nach Definition des IEEE) werden wegen der Überbelegung dieses Bereichs meist ausgefeiltere Modulationsarten wie das DSSS-Verfahren (Direct Sequence Spread Spectrum) eingesetzt. Dies wiederum setzt eine bessere Nachbarkanal-Unterdrückung voraus.

Battery	Technology	Nominal voltage (V)	Capacity (mAh)	Ø/thick (mm)	Weight (g)
A27	Alkaline	12*	22	8.0/28	4.4
394	Silver oxide	1.55	63	9.4/3.5	1.1
A312	Zinc-air	1.4	160	7.9/0.5	3.6
CR2032	Lithium	3.0	225	20/3.2	2.9
CR2450	Lithium	3.0	620	24.5/5.0	6.8
CR3032	Lithium	3.0	500	30/3.2	6.8
CR2	Lithium	3.0	850	15.6/27.0	11
AAA	Alkaline	1.5	1000	10/44	11
AAA	NiCd	1.2	250+	10/44	9.5
AAA	NiMH	1.2	550+	10.5/44	13
9V	Alkaline	9†	550	25.5 x 16.5 x 46	46
AA	Alkaline	1.5	2500	14/50	23
AA	NiCd	1.2	600+	14/50	22.7
AA	NiMH	1.2	1500+	14.5/50	26
CGR18650	Li-ion	3.6	2250	18.6/65	45
C	Alkaline	1.5	7+ Ah	25/49	70
D	Alkaline	1.5	16+ Ah	34/60	141
Automotive	Lead-acid	12‡	40+ Ah	Various	Various

*Button stack (12-cell), †six-cell, ‡six-cell

Tabelle 2. Kenndaten gängiger Batterien für portable Applikationen

Kosten

Ein weiterer maßgeblicher Faktor beim Design von Funksystemen für das ISM-Band ist der Wunsch nach einer kostengünstigen und dennoch zuverlässigen Lösung. Die meisten auf dem Markt angebotenen ISM-Funklösungen enthalten kleine integrierte Schaltungen mit wenigen Peripheriekomponenten und relativ geringem Flächenbedarf. Die verfügbaren Sender sind meist sehr einfach. Die integrierten Schaltungen haben nur wenige Pins und beschränken sich auf rudimentäre Schnittstellen für die zu übertragenden Daten. Nur wenige Impedanzan-

Technology	Anode	Cathode	Electrolyte	Self-discharge (%/month)
Lithium	Li	MnO_2	$LiClO_4$	<0.08
Alkaline	Zn	MnO_2	KOH	<0.17
Silver oxide	Zn	Ag_2O	NaOH/KOH	<0.17
Li-ion	$LiCoO_2$	LiC_6	Li salt (varies)	2 to 3
Lead-acid	PbO_2	PbO_2	$H2_2O_4$	~ 6
Zinc-air	Zn	O_2	Zn	~ 8 (exposed)
NiCd	NiOOH	Cd	KOH	15 to 20
NiMH	NiOOH	Varies	KOH	~ 30

Tabelle 3. Selbstentladeraten gängiger Batterietypen

passungs-Bauteile und die üblichen Entkopplungs-Kondensatoren kommen hinzu.

Auch bei den Empfängern besteht die Tendenz, die Materialkosten niedrig zu halten. Gleichzeitig wird den Systemdesignern ausreichend Flexibilität eingeräumt, um entsprechend den jeweiligen Anforderungen die nötigen Anpassungen vornehmen zu können. Der kleine IC-Footprint, der geringe Bauteileaufwand und die Tatsache, dass nicht mehr als zwei Lagen benötigt werden, ergeben günstige Leiterplattenkosten. Über die Leiterplatte und die Peripheriebausteine hinaus werden als einzige weitere externe Bauelemente nur noch eine Antenne und eine Batterie (wenn keine Netzstromversorgung vorhanden ist) benötigt.

Antenne

Die mechanischen Eigenschaften der Antenne, also Bauart, Größe, Form und Ausrichtung, können sich erheblich auf das Design und die Effektivität eines Systems auswirken. Da die Abmessungen eine entscheidende Restriktion für ISM-Applikationen darstellen können, sind sie es möglicherweise, die über das zu verwendende Frequenzband und schließlich auch über die benutzte Funklösung entscheiden.

Antennen gibt es in den unterschiedlichsten Formen - von der einfachen λ/4-Monopol-Antenne und der λ/2-Dipol-Antenne über Schleifen- und F-Antennen bis zu vielen anderen Bauformen. Außerdem unterscheidet man zwischen Antennen, die in erster Linie ein elektrisches Feld aussenden und solchen, die vorwiegend ein magnetisches Feld erzeugen. Das Konstruieren von Antennen ist fast schon eine Kunst. Der erste Schritt bei der Auswahl einer Antenne besteht darin, die größte von der Anwendung tolerierte Länge zu ermitteln. Außerdem ist zu entscheiden, ob die Antenne als Leiterbahn oder als extern angefügte Einheit auszuführen ist (Tabelle 1).

Kleinere Antennen können in den höheren Frequenzbändern effizient eingesetzt werden. Hier gibt es jedoch eine gewisse Obergrenze, denn mit kleiner werdenden Antennenabmessungen wird auch die Apertur geringer. Eine kleinere Apertur aber hat zur Folge, dass von der Antenne weniger Energie an die Umgebung abgestrahlt wird (und umgekehrt). Folgendes gilt für die Antennenkonstruktion:

- Das dielektrische Material einer Leiterplatte reduziert die effektive Länge einer Leiterbahn-Antenne.
- Schleifenantennen erzeugen ein magnetisches Feld, während die anderen Antennenbauarten ein elektrisches Feld abstrahlen.
- Magnetische (Schleifen-) Antennen werden weniger von der Nahfeld-Umgebung (z. B. der Hand des Benutzers auf einer Fernbedienung) beeinflusst.
- Entfernung und Ausrichtung des Antennen-Gegengewichts (Groundplane) können erheblichen Einfluss auf die Abstrahlcharakteristik haben.

Stromversorgung

Die Möglichkeiten, das Funksystem mit Strom zu versorgen, sind ebenso zahlreich wie die Anwendungen. Sehr verbreitete Energiequellen sind das Wechselstromnetz, das Kfz-Bordnetz mit 12 V oder ein 5-V-Bus im Auto, Lithiumbatterien (3 V), Batteriesätze aus mehreren 1,5-V-Alkalibatterien, Akkus (1,2 V), Energy Harvesting und vieles mehr. In den meisten Fällen aber werden Sender und Empfänger aus verschiedenen Quellen gespeist (z. B. der Sender von einer Lithiumbatterie und der Empfänger aus dem 5-V-Bus eines Autos).

Hinsichtlich der Stromversorgung geht es bei diesen Konfigurationen darum, eine möglichst lange Batterielebensdauer des Senders oder Transceivers gegen die Ausgangsleistung des Leistungsverstärkers abzuwägen. Hat eine Batterie-Stromversorgung hohe Priorität, sollten Designer hocheffiziente Sender- und Empfängerschaltungen verwenden und ein sehr diszipliniertes Protokoll nutzen. Die Batterielebensdauer ist außerdem bei sämtlichen Aspekten des Systems zu berücksichtigen - also bei der Zeit, die die Funkschaltung bis zur Herstellung der Betriebsbereitschaft braucht, der Inanspruchnahme des Mikrocontrollers, der Festlegung des Tastverhältnisses, der Effizienz des Leistungsverstärkers, den in Frage kommenden Spannungen, der Leistungsaufnahme des Empfängers im passiven Modus und auch bei der Stromaufnahme aller Schaltungen im Sleep-Modus.

FSK-Sender nehmen prinzipbedingt mehr Strom auf, weil ihr Signal während einer Übertragung ständig eingeschaltet ist, denn die Daten werden über die Frequenz des Signals codiert. Im

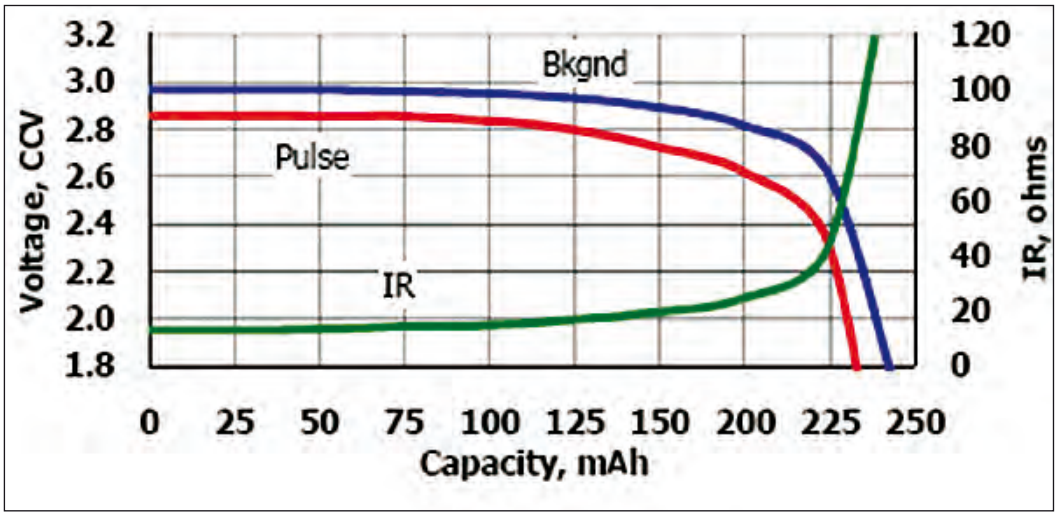


Bild 2: Hat eine CR2032-Batterie 200 mAh geliefert, ist ihr Innenwiderstand von rund 15 Ohm auf etwa 30 Ohm gestiegen. Die Spannung hat dabei von 3,0 V auf 2,8 V abgenommen (mit frdl. Genehmigung der Eveready Battery Company)

Gegensatz dazu wird der Leistungsverstärker eines ASK-Senders fortlaufend ein- und ausgeschaltet, sodass das System während der ‚Aus'-Phasen weniger Strom aufnimmt. Welche Bedeutung die Stromaufnahme hat, wird besonders deutlich, wenn man die Batterien vergleicht, aus denen der Strom entnommen wird. Alle Hersteller liefern Informationen über die Größe, Kapazität und Nutzungsweise ihrer Batterien (Tabelle 2).

Abgesehen vom Strombedarf der Schaltungen gibt es einen weiteren Faktor, der sich gravierend auf die Batterielebensdauer auswirkt: die Selbstentladerate. Bei den in ISM-Anwendungen genutzten Batterietypen steht diese in engem Zusammenhang mit der verwendeten Technologie (Tabelle 3).

Dass Lithium-Batterien (Li+) in kleinen Consumer-Produkten die größte Verbreitung haben, liegt an ihren geringen Abmessungen und ihrer langen Lebensdauer (niedrige Selbstentladerate). Die maximale Entladerate sowie die Lager- und Betriebstemperatur haben ebenfalls Einfluss darauf, welcher Batterietyp gewählt wird. Obwohl die genannten Batterien über den Großteil ihrer Lebensdauer hinweg eine stabile Spannung bereitstellen, kommt es bei allen Technologien zu einem gewissen Spannungsrückgang, der auf die allmähliche Zunahme des Innenwiderstands der Zelle zurückzuführen ist. Häufig wird die Mindest-Betriebsspannung der Funkschaltung anhand dieses Spannungschwunds festgelegt. Wenn Lithium-Batterien bei 90 % ihrer Nennspannung angelangt sind, kommt jedoch auch der verbleibende nutzbare Strom langsam an seine Grenzen.

Wurden beispielsweise aus einer CR2032-Batterie 200 mAh entnommen, hat sich der Innenwiderstand verdoppelt - nämlich von den ursprünglichen rund 15 Ω auf etwa 30 Ω, während die Spannung gleichzeitig von 3,0 V auf 2,8 V eingebrochen ist (Bild 2). Der bei etwa 225 mAh sichtbare Knick in der Kurve tritt auf, wenn die Batterie einen Innenwiderstand von ungefähr 50 Ω und eine Spannung von 2,3 V hat. Wurden der Batterie 240 mAh entnommen, ist der Innenwiderstand bereits größer als 120 Ohm, und die Spannung beträgt weniger als 1,8 V. Für die Batterielebensdauer ist der Spannungsrückgang jedoch weniger kritisch als der völlige Verlust der Fähigkeit, Strom zu liefern.

Application		Direction	Frequency	Modulation	Notes
Automotive	Remote keyless entry (RKE)	1-way	315 MHz, 434 MHz	ASK	Aftermarket systems and high-end luxury automobiles are moving toward two-way communication to provide feedback to the user in addition to the RKE function.
	Passive keyless entry (PKE)	2-way	125 kHz, 13.56 MHz	ASK	—
	Tire-pressure monitoring system (TPMS)	1-way	315 MHz, 434 MHz	FSK	—
	Garage-door opener (GDO)	1-way	315 MHz, 390 MHz	ASK	The U.S. military uses 390 MHz in certain locations; as such, 315 MHz is used to cover those areas.
	Electronic toll collection (ETC) and automatic vehicle identification (AVI)	1-way	—	—	—
	Wireless OBDII	1-way	315 MHz, 434 MHz	ASK	Monitor maintenance conditions, driving habits, etc.
Automatic meter reading (AMR)	Water meter	1-way	470 MHz, 868 MHz, 915 MHz	FSK	AMR is a growing field of automation for large utilities and the meter-manufacturing industry. It is a subset of sensor networks (HAN, NAN, mesh network), collector/concentrator structures, etc.
	Gas meter	1-way	868 MHz, 915 MHz	FSK	—
	Electric meter	2-way	868 MHz, 915 MHz	FSK	Occasionally designed as the "collector" for a home area network (HAN).
Home automation (HA)	Wireless remote control	1-way	434 MHz	ASK, FSK	IR replacement, AV systems, set-top boxes, multiroom controls, wireless data streaming (control channel)
	Lighting	1-way	390 MHz, 418 MHz, 434 MHz	ASK	Mood lighting, coordinated with AV
	Motor control	1-way	434 MHz	ASK	Projector screens, blinds/shades, coordinated with HVAC
	Security/fire	1-way 2-way	345 MHz, 434 MHz	ASK	—
	GDO	1-way	315 MHz, 390 MHz	ASK	Gate opener, driveway security
	Heat allocation	1-way	—	—	—
	Energy management	2-way	—	—	Programmable thermostats, watt-meter displays
	Home weather stations	1-way	—	—	Remote sensing
RFID	Product tracking	2-way	915 MHz, 2.45 GHz, 5.8 GHz	ASK, FSK, BPSK	—
	Rail trucking	2-way	915 MHz, 2.45 GHz, 5.8 GHz	ASK, FSK, BPSK	—
Wireless networking	Bluetooth LE	2-way	2.45 GHz	FHSS	IEEE 802.15.1
	Wi-Fi	2-way	2.45 GHz, 5 GHz	DSSS, FHSS, OFDM	IEEE 802.11
Wildlife tracking	Land/aquatic/air	1-way	410 MHz	PSK	ARGOS satellite system

Tabelle 4. Gängige Anwendungen für Kurzstrecken-Funksysteme im ISM-Band

Reichweite

Zahlreiche Faktoren, darunter die verwendete Frequenz, die Sendeleistung, die Effizienz der Antenne und die Empfänger-Empfindlichkeit, haben großen Einfluss auf die zu erwartende Reichweite eines Systems. Auch Hindernisse, Bewegungen und sogar die atmosphärischen Bedingungen können sich stark auf die Übertragungsdistanz auswirken. Allerdings unterliegen diese Variablen nicht dem Einfluss des Systemdesigners. Wenn man beim Systemdesign die ungünstigsten Einsatzbedingungen zugrundelegen möchte, bleiben als einzige Stellschrauben die Sendeleistung, die Wahl der Antenne und die Empfängerempfindlichkeit übrig.

Den größten Einfluss auf die Reichweite eines Systems kann die Ausgangsleistung haben. Oft wird der Leistungsverstärker mit mehr als der eigentlich zulässigen Leistung betrieben, um Effizienzmängel der Antennen zu kompensieren. Möglicherweise ist die Antenne auch kleiner als ein Viertel der Wellenlänge. Dies gilt speziell in niedrigen Frequenzbereichen, wo die Antenneneffizienz unter 10% liegen kann (bei Abmessungen von der Größe eines

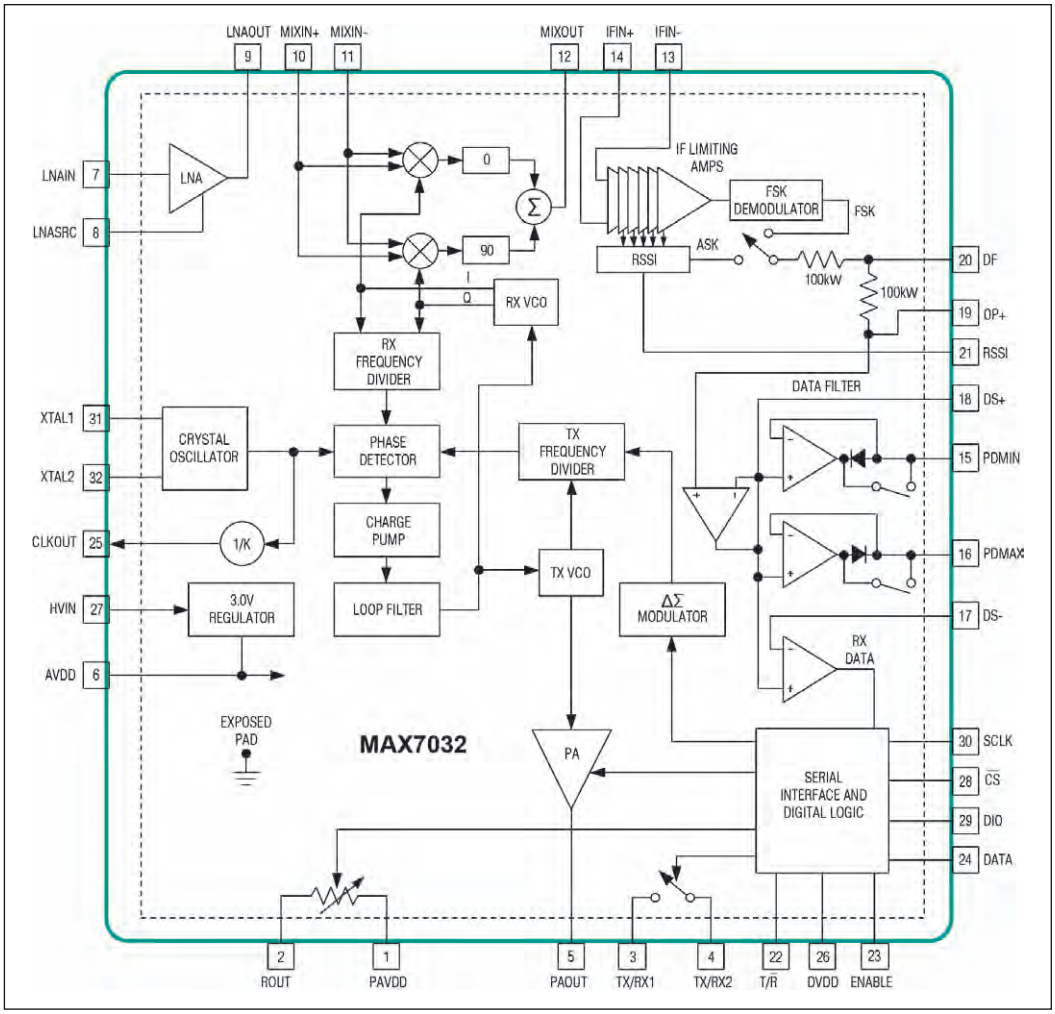


Bild 3: Der Baustein MAX7032 von Maxim Integrated ist ein typischer ASK/FSK-Transceiver für bidirektionale schlüssellose Zugangssysteme und ähnliche Anwendungen.

Schlüsselanhängers). Besonders wichtig ist es, die im jeweiligen Einsatzland geltenden Vorschriften zu beachten. In manchen Fällen ist mehr Leistung zulässig, wenn das Tastverhältnis des Senders gemäß den Vorgaben der Regulierungsbehörden angepasst wird.

Bei der Auswahl eines Leistungsverstärkers nach der Ausgangsleistung sind verschiedene Dinge zu beachten:

- Mehr Ausgangsleistung bringt eine höhere Stromaufnahme mit sich.
- In den höheren Frequenzbereichen ist die Stromaufnahme höher (meist wegen des höheren Strombedarfs der PLL-Stufe).
- Durch das Anheben der Ausgangsleistung können behördlich festgelegte Grenzwerte überschritten werden, beispielsweise hinsichtlich der abgestrahlten Leistung, der belegten Bandbreite oder des Oberwellengehalts.

Auf Seiten des Empfängers ist die Empfindlichkeit derjenige Aspekt, der sich am meisten auf die erzielbare Übertragungsdistanz auswirkt. Ähnlich wie beim Sender lassen sich mit einem Empfänger, der ein Signal mit 3 dBm weniger Leistung nutzen kann, eine mangelhafte Antenne oder ungünstige Umgebungsbedingungen kompensieren.

Erfolgt die Auswahl des Empfängers nach seiner Empfindlichkeit, ist dies zu beachten:

- Die Empfängerempfindlichkeit ist bei ASK-Modulation generell höher.
- Empfänger erreichen bei niedrigeren Frequenzen in der Regel eine höhere Empfindlichkeit.
- Die Datenrate hat einen spürbaren Einfluss auf die Empfindlichkeit: je niedriger die Übertragungsrate, umso höher die Empfindlichkeit.

Je nach Anwendung kann die Wahl des Protokolls der erste oder auch der letzte Schritt bei der Ausarbeitung des Systemdesigns sein. Das Protokoll regelt die Art und Weise des Informationsaustauschs zwischen Sender und Empfänger. Es umfasst Parameter wie die Telefonie-Anforderungen (analoge Audioübertragung), die Daten- und Bitstruktur, die Codierungsmethoden, die Handshake-Verfahren und die Funkdisziplin für die gemeinsame Nutzung der Radiowellen.

Neben einer großen Auswahl an Standard-Protokollen gibt es auch zahllose proprietäre Kommunikations-Verfahren. Der Designparameter, der sich am stärksten auf die Protokollauswahl auswirkt, ist meist die Frage, ob eine uni- oder bidirektionale Kommunikation gewünscht wird. Bidirektionale Systeme sind tendenziell komplizierter, denn sie machen ein Verfahren notwendig, die Nutzung der Wellen unter den verschiedenen Funkeinheiten auszuhandeln.

Anwendungen, Kompromisse und Richtlinien

Aufgrund ihrer spezifischen Anforderungen oder Einschränkungen sind die einzelnen Anwendungen tendenziell für den unidirektionalen oder bidirektionalen Betrieb oder bestimmte Frequenzen und Modulationstechniken prädestiniert. Tabelle 4 listet bezogen auf die Anwendung verschiedene Nutzungsweisen auf und liefert Fingerzeige für die Frequenzen und Modulationsverfahren, die in den betreffenden Applikationen vorwiegend genutzt werden.

Da alle Anwendungen, Märkte und Designs unterschiedlich sind, gelten überall verschiedene Prioritäten. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die verschiedenen Zielkonflikte, mit denen die Designer von ISM-Funksystemen konfrontiert werden, und macht Vorschläge bezüglich des Frequenzbands und des Modulationsverfahrens.

Von zahlreichen Herstellern wird eine Vielzahl von Single-Chip-Sendern, -Empfängern und -Transceivern angeboten (Bild 3). Diese Bausteine enthalten sämtliche nötigen Schaltungen, sodass für ein komplettes System nur wenige externe Bauelemente erforderlich sind.

Beim Entwurf der Schaltung für einen Sender beschränken sich die zusätzlich erforderlichen Bauteile meist auf einen Mikrocontroller oder eine einfache Encoder-Schnittstelle, ein Antennenanpassungs-Netzwerk

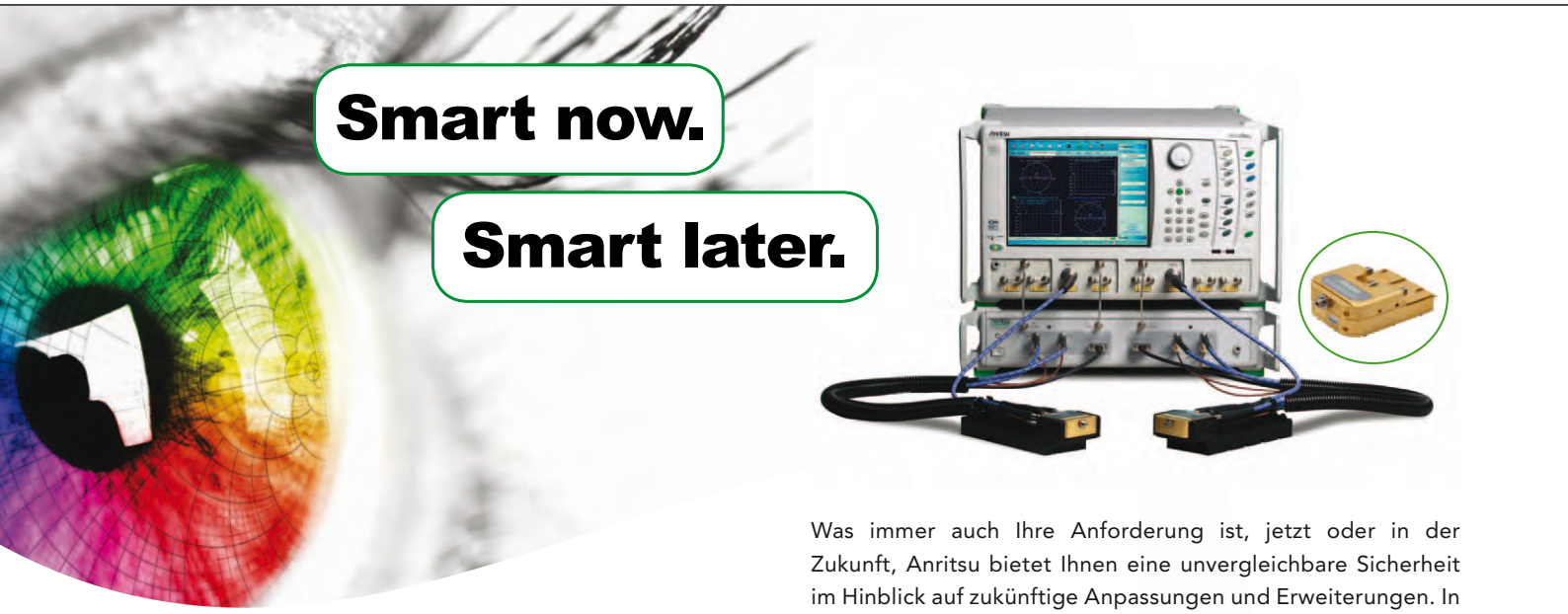
und eine Stromversorgung. Für den Empfänger müssen einige abgestimmte Schaltungen für die jeweilige Frequenz und Datenrate konfiguriert werden. Hinzu kommen der Mikrocontroller oder das Decoder-Interface und die Stromversorgung.

Auch wenn der Schaltplan fertig ist, darf nicht vergessen werden, dass die Mehrzahl der beim Design von HF-Systemen auftretenden Probleme auf ein mangelhaftes Leiterplatten-Layout zurückzuführen ist. Es empfiehlt sich deshalb, sich über die kritischsten Schwierigkeiten zu informieren, die beim Leiterplatten-Layout vorkommen, da sich der Zeitaufwand zum Testen und Debuggen des Systems hierdurch verringern lässt.

■ *Maxim Integrated www.maximintegrated.com www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/4755/t/al*

Priority	Band	Modulation	Reasoning	Tradeoffs
Range	Lower, mid	ASK	Assuming a large antenna, lower frequencies allow for better RX sensitivity. ASK commonly has better RX sensitivity than FSK. Midband regulation allows for more radiated TX power.	Cost, battery life, size, simplicity, DR, IR
Cost	Lower	ASK	Chosen for small and simple circuits, ASK is a preferred modulation for a simple TX. ASK RX chips tend to require the fewest peripheral components.	Range, battery life, DR, IR, tolerance
Battery life	Lower	ASK	Lower current drain at lower operating frequencies for both the TX and RX provide longer life from a limited source. ASK only requires a duty cycle percentage versus constant transmissions for FSK.	Range, cost, LOS, simplicity, DR, IR
Size	Mid	—	If size includes the antenna, then the 868/915-MHz bands are the best target because small antennas can be used with reasonable aperture sizes and electrical lengths. If there is no restriction on the antenna, then refer to the "Cost" priority.	Range, LOS
Line-of-sight (LOS) obstacles	Lower	FSK	Lower frequencies penetrate obstacles, bend around objects more easily, and suffer less absorption than higher frequencies. FSK is less influenced by multipath and possible amplitude changes caused by motion (TPMS, for example).	Battery life, size
Simplicity	Lower	ASK	ASK is an easier and more tolerant modulation scheme to handle. Larger wavelengths (lower frequencies) are less influenced by board and component sizes.	Range, battery life, DR, IR, tolerance
Data rate (DR)	Higher	FSK, PSK spread spectrum	Higher data rates will require wider bandwidths for operation, and the regulatory requirements are easier in the higher bands. High data rate, spread spectrum, and the high bands all require more operating current. Smaller apertures and wider bandwidths negatively impact the range.	Range, cost, battery life, simplicity
Interference rejection (IR)	Mid, higher	Spread spectrum	Spread-spectrum modulation rejects carriers and other interference very well. The wider bandwidths needed for operation are available in the higher bands.	Range, cost, battery life, simplicity
Frequency tolerance	Lower	—	Frequency tolerance is more important at higher bands. Narrower IF filters will provide better sensitivity and longer range. Absolute frequency accuracy is easier to obtain at lower bands. Temperature-controlled crystal oscillators (TCXOs) are more expensive than standard crystals.	Cost, simplicity

Tabelle 5. Überlegungen zur Wahl des Frequenzbereichs



VectorStar Netzwerkanalysatoren sind technologisch und ökonomisch smart.

Anritsus Technologielösungen bieten Ihnen Performance, dort wo es wirklich zählt. Das VectorStar Breitband VNA System ist mit 70 kHz - 145 GHz das Flaggschiff der VNA-Familie und bietet in den drei kritischen Performancebereichen unerreichte Leistungsmerkmale: Frequenzbereich, Dynamikbereich und Stabilität.

Was immer auch Ihre Anforderung ist, jetzt oder in der Zukunft, Anritsu bietet Ihnen eine unvergleichbare Sicherheit im Hinblick auf zukünftige Anpassungen und Erweiterungen. In dem gleichen Maß wie Ihre Anforderungen wachsen, wird der VectorStar ein verlässlicher Partner an Ihrer Seite sein.

Die Anwendungen sind mannigfaltig: Aktive und passive Mikrowellenkomponenten, On-Wafer Device Charakterisierung, Antennenmessungen oder Materialmessungen im oberen GHz-Bereich.

Sie fragen nach unverzichtbarer "Best-In-Class Performance"? Sie kennen die Antwort - Anritsu.

www.anritsu.com

Europe +44 (0) 1582-433433
©2014 Anritsu Company

Anritsu
envision : ensure