

HF-Technologie- und Schaltungskonzepte für Mobilfunkanwendungen

Karl-Reinhard Schön

Siemens AG, Bereich Halbleiter, HL HF SI CDB
Postfach 80 17 09, D-81617 München

1. Einleitung

Mobile digitale Funkgeräte wie Handies oder Schnurlostelefone sind aus der heutigen Welt nicht mehr wegzudenken. Das auf dem GSM-Standard beruhende zellulare Mobilfunknetz hat seit seiner Einführung im Jahre 1992 Europa erobert und sich in mehr als 120 Ländern in der Welt etabliert [1]. Vom noch recht unhandlichen Statussymbol haben sie sich in wenigen Jahren zum kleinen und leichten Arbeitsgerät mit vielfältigen Zusatzfunktionen entwickelt. Beruhten die früheren analogen Geräte, meist reine Auto-telefone, noch auf einer Vielzahl meist regionaler, untereinander inkompatibler Standards, so geht die Entwicklung heute in Richtung von global einsetzbaren universellen Kommunikationsgeräten.

In diesem Beitrag, dessen Schwerpunkt auf der Wechselbeziehung von Geräte- und Technologieentwicklung liegt, soll kein umfassender Überblick über die verschiedenen Systeme gegeben werden. Ebenso bleibt das Zusammenwachsen von Kommunikations- und Datentechnik, das durch die gewaltigen Fortschritte der Digitaltechnik und -technologie ermöglicht wird, außerhalb der Betrachtung.

2. Anforderungen der Mobilgeräte an die Technologie

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die in Europa bekanntesten digitalen Mobilfunksysteme. Zellulare Systeme nach dem GSM-Standard bei 900 und 1800 MHz sowie digitale Schnurlostelefone nach dem DECT-Standard bei 1700 MHz beherrschen heute den Markt. Da durch das rasche Wachstum bereits heute die Grenzen der Übertragungskapazitäten erkennbar werden und angesichts der zunehmenden Mobilität wachsender Bedarf besteht, mit dem gleichen Endgerät weltweit telefonieren zu können, wurde der weltweit gültige UMTS-Standard entwickelt, der etwa ab dem Jahr 2002 verfügbar sein wird. Dieser stellt sowohl eine Erweiterung der bestehenden Systeme als auch langfristig deren Ablösung dar. Er vereinigt nicht nur GSM und DECT, sondern integriert auch spezielle Systeme wie Funkruf, Bündelfunk oder Datenfunk.

Von vielfältiger Bedeutung sind die ISM-Frequenzbänder (Tab. 2). Besonderheit dieser Bänder ist, daß die Anwendungen weitgehend frei sind, d.h. ohne Anmeldung und ohne Kontrolle genutzt werden können. Gegenseitige Störungen sind daher freilich nicht ausgeschlossen. Um diese hinreichend klein zu halten, ist die Sendeleistung auf Werte von 1 – 10 mW (max. 100 mW) begrenzt. Damit lassen sich die Sender zusammen mit dem HF-Teil in einem Baustein integrieren, auch Einchip-Lösungen unter Einschluß des

Logikteils sind denkbar. Anwendungen von großem künftigen Marktpotential sind z.B. RKE (Funkautoschlüssel), ESL (elektronische Warenauszeichnung) oder Bluetooth (in Entwicklung befindlicher Standard für drahtlose Verbindung von PC mit Peripheriegeräten).

Name	Explanation	Frequency Range [MHz]	Application
GSM	Global System for Mobile Communication	900	Cellular
DCS	Digital Cellular System	1800 / 1900	Cellular
DECT	Digital Enhanced Cordless System	1700	Cordless
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System	1900 - 2200	Universal Mobile Radio
GPS	Global Positioning System	1500	Positioning
ISM	Industrial, Scientific, Medical	see Table 2	

Tab. 1: Digitale Mobilfunk-Systeme.

Frequency [MHz]	Typical Applications
433 (Europe)	Headphones Remote control RKE (Remote keyless entry) Toys
866 / 900 (Europe / USA)	Remote control RKE (Remote keyless entry) ESL (electronic shelf label)
2400 (worldwide)	WLAN (Wireless LAN) Bluetooth LPS (Local positioning system) Microwave oven
5700 (worldwide)	t.b.d.

Tab. 2: ISM-Frequenzbänder und Anwendungen.

Abbildung 1 zeigt das Blockschaltbild der Elektronik eines Handy. Die Basisbandfunktionen sind in CMOS-Technik realisiert, die IC's des HF-Teils dagegen in Bipolar-Technik, zusätzlich einige Funktionen wie z.B. der Sendeverstärker in GaAs, außerdem eine Vielzahl diskreter Elemente wie Filter, Spulen, Widerstände und Kondensatoren (von den ca. 300 Bauelementen, aus denen der HF-Teil besteht, sind über 80% diskrete Elemente). Von Anfang an richteten sich alle Anstrengungen darauf, die Geräte kleiner, leichter, billiger zu machen und die Betriebsdauer mit einer Akkuladung zu erhöhen.

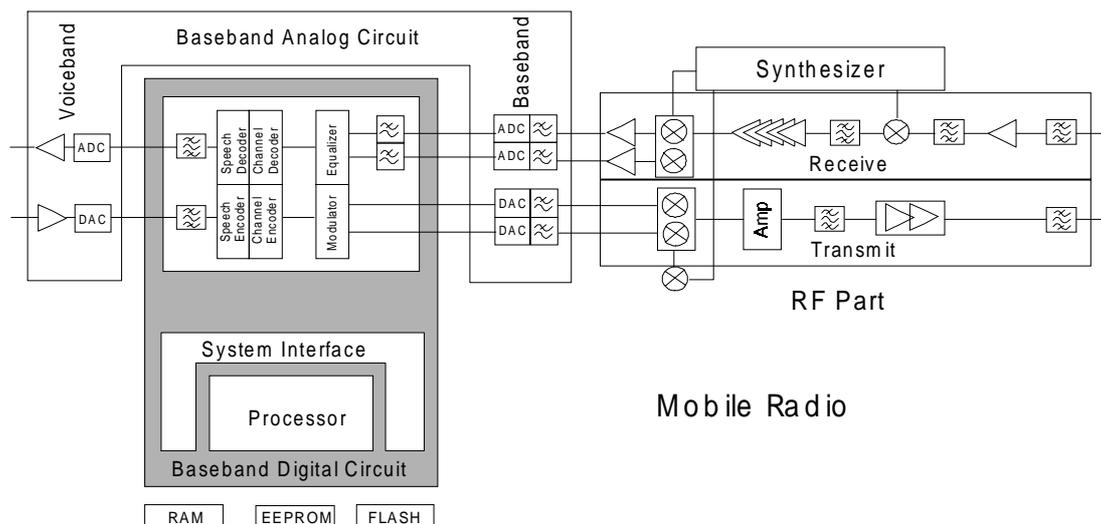


Abb. 1: Blockschaltbild der Elektronik eines GSM-Handys.

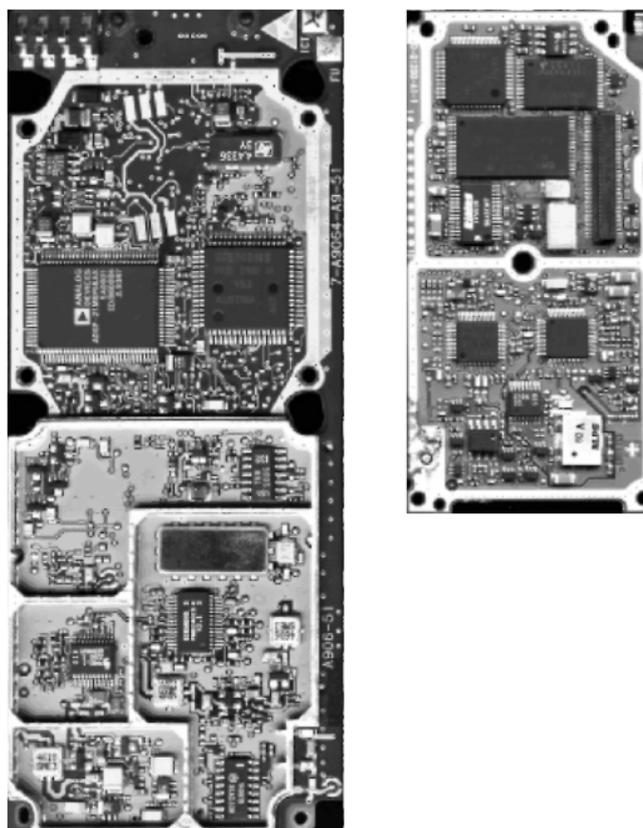


Abb. 2: Schaltungsplatinen von GSM-Handys 1994 und 1998.

Das (vorläufige) Ergebnis ist in Abb. 2 zu sehen, das die Platine eines Gerätes von 1994 und von 1998 in gleichem Maßstab zeigt. Unten ist jeweils der HF-Teil, oben der Basisbandteil zu sehen. Deutlich sind die Maßnahmen zu erkennen, auf denen diese Fortschritte beruhen:

- Höhere Integration, dadurch Verminderung der Zahl der IC's und der diskreten Elemente;
- Verbesserung der Schaltungstechnik, die Verzicht auf Abschirmung ermöglicht;
- Verkleinerung der Gehäuse;
- Miniaturisierung der diskreten Bauelemente, insbesondere der Filter;
- Ferner – auf dem Bild nicht sichtbar – Verringerung der Versorgungsspannungen.

Welche Verbesserungen bei den Halbleitertechnologien notwendig waren, um das zu erreichen, und in wohin die Entwicklung geht, wird im nächsten Abschnitt behandelt.

In der Schaltungstechnik wurden die verschiedenen Konzepte erprobt, um den Aufwand zu verringern und zugleich bessere Performance zu erhalten (die Entwicklung der Digitaltechnik soll hier nicht betrachtet werden):

- Zero-IF- (Homodyn-) Technik (Einsparung des SAW-Filters);
- Wahl höherer Zwischenfrequenzen, um Anforderung an die Güte (und damit Größe) der Filter zu verringern;
- Direkte A/D-Wandlung von der Zwischenfrequenz und digitale Weiterverarbeitung (bis heute noch nicht einsetzbar);
- Analog dazu wurden auf der Sendeseite verschiedene Modulationsverfahren entwickelt (Vor- und Nachteile dieser Verfahren sind in [1] genau dargestellt);
- Höherintegration wie z.B.:
 - Einbau des Low-Noise Amplifiers (LNA) in den Empfängerbaustein;
 - Integrierte Synthesizer-IC's für mehrere Frequenzen;
 - Integration von Teilen der Steuerlogik in die HF-IC's;
 - erste Lösungen für voll integrierte Leistungsverstärker (PA).

Auch in Zukunft geht der Trend in Richtung auf höhere Integration. Dabei geht es vor allem um die Verminderung der Anzahl an Bauteilen, besonders der diskreten. Noch in diesem Jahr wird das erste Gerät mit einem 1-Chip-Transceiver, der Sende- und Empfangspfad und den Synthesizer auf einem Silizium vereint und in einem High-Performance-BICMOS-Prozeß hergestellt wird, auf den Markt kommen.

Weitere Entwicklungsansätze sind:

- Integration von HF- und Basebandfunktionen auf einem Chip;
- Alternativ dazu die Verbindung von Analog- und Digitalfunktionen auf einem einzigen CMOS-Baustein;
- Zusammenfassung von Digitalfunktionen und Speichern;
- Insbesondere für Anwendungen mit geringeren Anforderungen (vor allem in den ISM-Bändern) werden bereits komplette 1-Chip-Lösungen diskutiert.

3. Entwicklungstrends der Siliziumtechnologie

Ohne erhebliche Fortschritte in der Halbleitertechnologie wären die Fortschritte der Gerätetechnik nicht möglich gewesen. Da der Fokus dieses Beitrags besonders auf die

Erhöhung des Integrationsgrades gerichtet ist, beschränke ich mich auf die Entwicklung der Siliziumtechnologie, ohne die Entwicklung der GaAs-Technologie abwerten zu wollen.

Neben der Weiterentwicklung der CMOS-Standardtechnologien für Digitalanwendungen, deren Schwerpunkt Verkleinerung der Strukturen und – dadurch erzwungen und zugleich ermöglicht – der Betriebsspannung war und ist, mußten die Analogtechnologien (Bipolar und CMOS) andersgeartete Forderungen erfüllen:

- Verbesserung der HF- (Grenzfrequenz, Rauschen) und Analogeigenschaften (Toleranzen, Matching, Langzeitstabilität) der Transistoren;
- Bereitstellung passiver Bauelemente hinreichender Güte (Toleranz, Matching, Parameterkonstanz):
 - Widerstände,
 - Kondensatoren,
 - Varaktoren (zur Integration von VCO's),
 - und integrierte Spulen für Anpaßschaltungen, Filter und VCO's.
- Verbindung von digitaler Steuerlogik mit Analogfunktionen (BICMOS-Technologie).

Insbesondere die Integration von Spulen auf Silizium stellt eine große Herausforderung dar, und weltweit werden erhebliche Anstrengungen unternommen, von den derzeit erreichten Gütefaktoren von ca. 5 – 8 auf Werte von mindestens 15 – 20 zu kommen, die notwendig sind, um Filter und Oszillatoren zu realisieren, die diskrete Elemente ersetzen können. Um die im Vergleich zu den optimierten diskreten weiterhin schlechteren Eigenschaften integrierter passiver Bauelemente kompensieren zu können, werden auch für vergleichsweise niedrige Betriebsfrequenzen um 2 GHz SiGe-Transistoren mit Grenzfrequenzen von 50 – 80 GHz entwickelt.

Ein besonders interessanter Aspekt der Entwicklung der nächsten Jahre ist die Frage, wieweit CMOS-Transistoren die bislang dominierenden Bipolartransistoren in HF-Anwendungen ablösen können. Die bisher vorliegenden Ergebnisse scheinen recht vielversprechend, wenn es auch bisher noch keine Produkte gibt, die in höheren Stückzahlen gefertigt werden.

Die Beantwortung der Frage, wieweit die Integration von high-performance Digitalfunktionen (Prozessor, DSP) mit anspruchsvollen Analogfunktionen (DAC/ADC, HF) sinnvoll möglich ist, ist heute noch nicht möglich. Einige grundsätzliche Aspekte lassen jedoch die wahrscheinliche Richtung ahnen:

- Die Anforderungen von Seiten der Digital- und der Analogtechnik sind unterschiedlich (siehe Tab.3): während die Digitaltechnik fast ausschließlich auf höhere Geschwindigkeit und höhere Packungsdichte hin optimiert wird, liegt in der Analogtechnik das Hauptgewicht auf Eigenschaften wie Parameterstabilität, Linearität und Verstärkung, Eigenschaften, die sich kaum mit minimalen Strukturen und kleinsten Versorgungsspannungen realisieren lassen.
- Die Innovationsgeschwindigkeiten sind wesentlich verschieden. Während die Digitaltechnik einem Zyklus von 1 – 2 Jahren folgt (der von einer weitgehend automatisierten, hochsprachenbasierten Designtechnik unterstützt wird), ist eine hoch komplexe Analogschaltung auf absehbare Zeit nicht ohne Redesign realisierbar.

Functional Block		Feature	Aim
Digital Part	Controller	Shrinking dimensions, increasing clock rates, decreasing supply voltage	Low power, increasing complexity, less space
	DSP		
	Memory		
Analog Part	RF	Higher frequencies, high linearity and gain, low noise, high-quality passive devices	Higher integration level, better performance @ lower power, new applications
	ADC/DAC		
	Filter		
	Amplifier		

Tab. 3: Anforderungen digitaler und analoger Funktionen.

Daher ist zu erwarten, daß für Anwendungen mit den höchsten Anforderungen an die Systemperformance wie z.B. GSM die Entwicklung eher in Richtung auf Zusammenfassung aller digitalen und aller analogen Funktionen in jeweils einem eigenen Chip hin gehen wird. Dabei dürfte der Analogteil zunehmend auf einem Silizium integriert werden, wobei die Entwicklung hier von high-performance BICMOS-Technologien mittelfristig hin zu low-cost BICMOS (d.h. Einbau eines Bipolartransistors mittlerer HF-Performance mit möglichst wenig zusätzlichen Fototechnikschritten in einen Analog-CMOS-Prozeß) gehen wird.

Für Anwendungen, die nur geringe Anforderungen an die Performance der Funktionsgruppen stellen und auch nicht die jeweils schnellste Digitaltechnologie erfordern (z.B. Funkverbindungen mit kurzer Reichweite und geringer Datenrate) dürfte eine reine CMOS-Lösung, die auf einem Chip integriert werden kann, ebenso attraktiv wie aussichtsreich sein.

Darüber hinaus gibt es aber weiterhin wachsenden Bedarf an neuen Funkanwendungen, für den weitere, d.h. höhere Frequenzbänder benötigt werden. Beispiel dafür ist das 5,7 GHz ISM-Band, das bereits definiert, aber praktisch noch nicht in Verwendung ist. Die Einführung neuer Frequenzbänder hängt dabei von der Verfügbarkeit sowohl leistungsfähiger als auch kostengünstiger Halbleitertechnologien ab. Daher wird es auch in Zukunft Bedarf an Höchsthochfrequenztechnologien geben, sei es nun GaAs als die Frontendtechnologie oder high-performance Bipolar/BICMOS als Voraussetzung für kostengünstige Standardanwendung.

4. Zusammenfassung

Für die bekanntesten digitalen Funksysteme werden die Entwicklungstrends und die sich daraus für die Siliziumtechnologien ergebenden Anforderungen vorgestellt. Es wird gezeigt, daß weitere Fortschritte in der Gerätetechnik von der weiteren Verbesserung der aktiven und v.a. der passiven Bauelemente in den Analogtechnologien abhängen. Ferner wird dargestellt, daß die CMOS-Technologie auch im HF-Frontend zunehmende Anwendung finden wird, daß darüber hinaus auch künftig Bedarf an leistungsfähigen Bipolar- und BICMOS-Prozessen bestehen wird.

Literatur

- [1] J. Fenk: *Highly integrated RF-IC's for GSM and DECT Systems – A Status Review*; IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. 45, No. 12, 1997