

第1章 マイクロ波半導体回路とデバイスの概要

このPDFは、CQ出版社発売の「実用マイクロ波技術講座-集積回路と応用-第6巻」の一部分の見本です。内容・購入方法などにつきましては是非以下のホームページをご覧ください。
<http://www.cqpub.co.jp/hanbai/books/79/79761.htm>

本章ではマイクロ波集積回路技術への導入部として、マイクロ波半導体回路およびそこで使われるデバイスの技術の概要を紹介する。まず、1.1節ではRFフロントエンド回路の基本的な構成について述べる。代表的な応用として携帯電話システムを取り上げ、通信方式の概要およびRFフロントエンドの一般的な構成について述べたのち、RF-ICの小型化・低コスト化に欠かせないダイレクトコンバージョン方式の回路について説明する。1.2節では、今日RFフロントエンド回路において使われる典型的な能動デバイスの動作原理と基本構造を概説する。1.3節では、RFフロントエンドを構成する基本回路の性能を評価する上での評価尺度の基本的な考え方を概説する。

1.1 RF フロントエンド回路の構成

マイクロ波移動体通信システムとしては、携帯電話のほかコードレス電話、公共業務用、一般業務用など様々なシステムがあり、その通信方式も国・地域によってまちまちである。従って、マイクロ波帯の搬送波を直接扱うRFフロントエンド回路は通信システムが要求する仕様に応じてその構成が変わる。ここでは今日の代表的な無線通信応用例として携帯電話を取り上げ、そのRFフロントエンド回路の構成について述べる。

1.1.1 携帯電話システムの通信方式

多くの情報を正確に伝えることが通信の重要な役割であることは言うまでもないが、移動体通信では雑音、干渉、フェージングなど情報伝送を妨げる様々な問題を克服する一方で不特定多数の加入者のために十分なチャネル数を確保する必要がある。代表的な携帯電話の通信方式を表1.1に示す。複数のユーザが同時に移動体通信にアクセスできるよう無線伝送路をシェアする方式を定めたのが多元接続 (Multiple Access) である。携帯電話のシステムを多元接続の種類で分類すると、FDMA (アナログ)、TDMA (デジタル)、CDMA (デジタル) に分けることができる。

見本

FDMA (Frequency Division Multiple Access; 周波数分割多元接続)

FDMA は各ユーザのチャンネルを異なる周波数帯に割り付ける方式である。基地局と移動局との間の通信は、接続している間その周波数を占有する。日本ではアナログ方式の自動車電話や携帯電話に使われる。移動体通信では、上記多元接続により自己と他のユーザを分離することに加え、上り回線（移動局→基地局）と下り回線（基地局→移動局）を分離する必要がある。デュプレクスと呼ばれるその手法は、周波数を使い分ける FDD (Frequency Division Duplex) と時間を使い分ける TDD (Time Division Duplex) に分けられる。

TDMA (Time Division Multiple Access; 時間分割多元接続)

複数のユーザが同時使用する周波数を時間軸上でスロット分割し、各ユーザが異なる時間スロットを利用できるようにする方式である。すなわち、信号をデジタル圧縮することにより、単位フレーム時間を各ユーザが通信する短い時間スロット別に分割して多くのチャンネル数を確保する方式である。TDMA は、国内規格の PDC (Personal Digital Cellular) や PHS (Personal Handyphone System)、あるいは欧州を含む広い地域の規格である GSM (Global System for Mobile Communication) などデジタル方式の携帯電話に利用されている。デュプレクスに関しては、国内規格の場合、PHS は TDD、PDC は FDD と規格に応じて分かれている。

表 1.1 代表的な携帯電話システム

	アナログ	デジタル			
	AMPS (北米)	IS-95 (北米)	GSM (欧州)	PDC (日本)	PHS (日本)
周波数帯 (GHz)	0.8	0.8	0.8	0.8/1.5	1.5
アクセス方式	FDMA	CDMA	TDMA	TDMA	TDMA
デュプレクス方式	FDD	FDD	FDD	FDD	TDD
変調方式	FM	OQPSK	GMSK	$\pi/4$ QPSK	$\pi/4$ QPSK
増幅器動作	非線形 (飽和)	線形	非線形 (飽和)	線形	線形
伝送速度 (kbps)	10	1,229	271	42	384
チャンネル帯域幅 (kHz)	30	1250	200	25	300



CDMA (Code Division Multiple Access) 分割多元接続

各ユーザが異なるコード（符号）を用いることで同一の周波数をシェアリングできるようにした方式である。チャンネル数を確保するために信号をデジタル圧縮する点では TDMA と同じだが、デジタル信号を PN (Pseudorandom Noise) 系列と呼ばれるコードで変調し共有周波数帯域で拡散させる。変調信号は他のユーザからは白色雑音のよう見え、同一の PN 系列をもつ受信相手にしか信号を復調できないため秘話性を高めることができ、よって加入ユーザ数も増やせる。このような利点がある一方で、同一周波数帯内の他のユーザへの干渉を抑えるため、移動局は CDMA 信号の出力レベルを常時調整する必要があり、TDMA などよりも回路システムは複雑になる。

1.1.2 RF フロントエンドの一般的構成

国内の PDC 方式デジタル携帯電話端末に用いられる基本的な回路ブロック構成を図 1.1 に示す。RF 信号の出入り口に相当し高い周波数を取り扱う RF フロントエンド部は、GaAs を中心とする高周波特性の優れたデバイスが中心的役割を担う部分である。一方、比較的低い周波数を扱う変復調部およびベースバンド部は Si デバイスが主に使われる。

RF フロントエンドの基本的な機能は以下の通りである。アンテナで受信された RF 信号は送信信号と受信信号の周波数を区別するデュプレクサを経て受信回路部にまわる。受信回路部

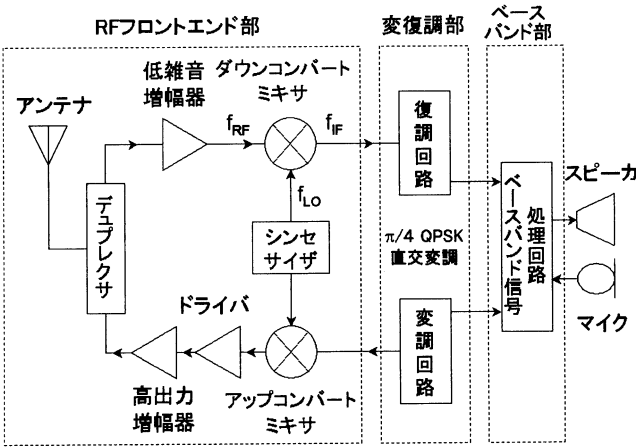


図 1.1 デジタル携帯電話端末の RF フロントエンド

では信号は低雑音増幅器（LNA: Low Noise Amplifier）で増幅され、ダウンコンバータミキサにより扱い易い中間周波数（IF: Intermediate Frequency）に周波数変換される。IF はさらに直交変調方式の変復調部においてベースバンド周波数へと変換され、ベースバンド段の処理回路において音声もしくはデータ信号が再生される。一方、送信部ではベースバンド信号が変復調部において IF 周波数の変調信号となり、さらにア

見本

ップコンバートミキサにより搬送波へ変換される。高周波信号はドライバ段および最終段の高出力増幅器（PA: Power Amplifier）で増幅されたのちアンテナから放射される。

さて、受信部においては必要な RF 信号の検知を妨害する様々な雑音やデバイスの非

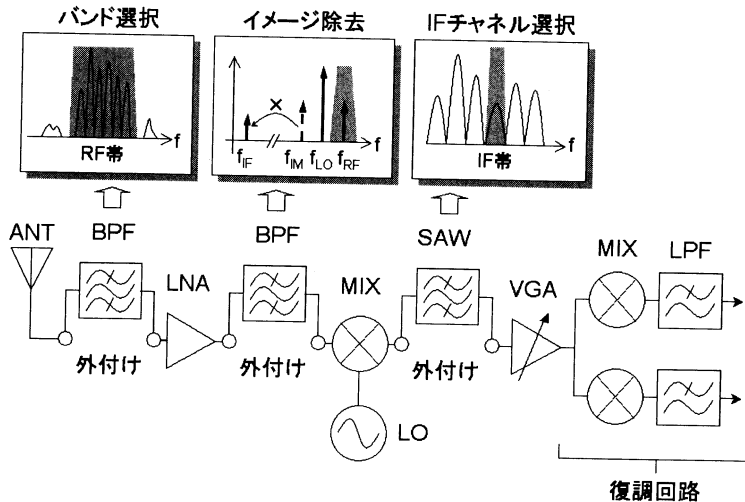


図 1.2 スーパーヘテロダイン方式の受信機

線形性に起因する不要波（Spurious）が発生する。そこで微弱な受信信号が増幅器の内部で発生する雑音にかき消されることがないように前段増幅器の低雑音化が図られる。また、不要波処理のためには、図 1.2 に示すように信号経路の随所にフィルタが用いられる。とくに IF の周波数帯ではシャープな帯域通過特性を有するフィルタが利用でき、RF 信号をベースバンド周波数に落とす前に一度 IF を経由すると高精度な IF チャネル選択が可能となる。このような方法により受信感度を高める方法はスーパーヘテロダイン方式と呼ばれる。同方式は、RF 周波数帯と比べると IF 周波数帯の利得増幅が容易なため、広範囲なレベル調整を行いダイナミックレンジが確保できる点でも有利となる。

1.1.3 RF-IC の小型化、低コスト化、多機能化

RF フロントエンドの回路（RF-IC）は携帯端末の製品競争力を決める重要な要素の一つである。IC チップの寸法縮小、低消費電力化はそれぞれ端末の小型軽量化、連続