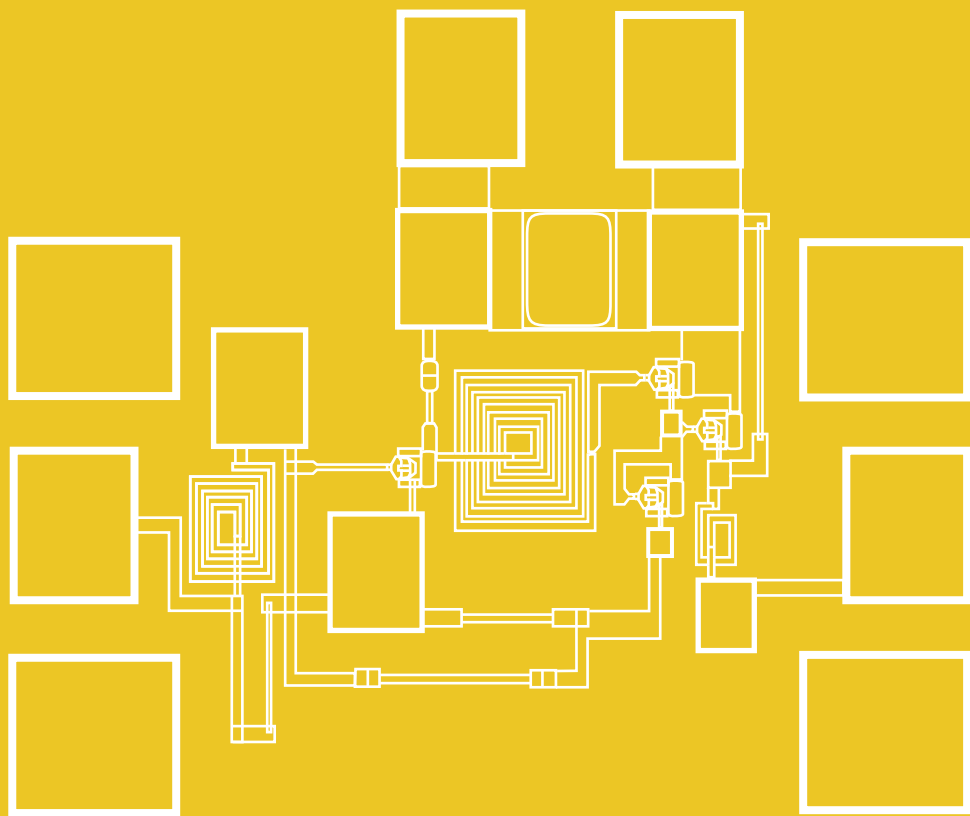


最新マイクロ波帯トランジスタ回路の 基礎と設計

小西良弘 監著
本城和彦



ケイラボ出版

概 要

21世紀の高度情報通信社会は、“何時でも”、“何処でも”、“誰でも”，をキーワードに急速な発展を続けている。移動体通信を中心としたワイヤレス技術はこのようなキーワードによく整合しており，その重要性が劇的に増大している。このような環境で，中核をなすハードウェア技術は，システム応用を目指したRF半導体回路技術およびモジュール技術である。そもそもRF半導体回路技術，モジュール技術は，レーダ，衛星通信，基幹通信などのインフラ技術の開発によって培われたマイクロ波回路技術・半導体技術に，低コスト化・量産化という視点を加えて新しく形成されてきた技術体系である。

本書ではこのようなRF半導体回路技術，モジュール技術を新しい視点から体系化して，基礎から応用まで，具体的事例を含めて解説している。

第1章ではワイヤレス技術を考える上で，先ず把握しなければならない雑音の問題をとりあげ，その性質を電波雑音，受信機雑音に分類して解説し，具体的雑音レベルを図表により示している。第2章では，アンテナで受信した受信信号を最初に取り扱う低雑音増幅器の設計法を示すとともに，第3章では低雑音増幅器で増幅されたRF周波数を中間周波数などの他の周波数に変換するミキサの原理をダイオードミキサ，トランジスタミキサに分けて説明し，それらの回路の設計法を説明している。第4章では，電波を送信する上での最も重要となる高出力増幅器の設計法を，トランジスタの等価回路モデリング法に始まり，回路動作の安定性の判別，高出力化，高効率化，低ひずみ化技術に至るまでを，具体例に基づき解説している。第5章ではデータ伝送速度を上昇させるために避けて通れない回路の広帯域化を，増幅器の視点で解説し，種々の設計手法について解説している。一方，発振器はワイヤレスシステムにおいて送受ともに必要な部品となるが，第6章では発振器位相雑音の発生メカニズムを解説し，

低位相雑音発振回路の設計法について述べている。第7章では、移動体通信、ワイヤレス LAN など用いられる各種変調方式について解説するとともにこれらの方式に対する変復調回路について述べている。第8章では RF 回路を低コストでモジュール化する上で重要な RF 用 LTCC に関して、その構造、製造方法から将来の展望までについて述べている。

このような RF 回路技術、モジュール技術は、奥行きが深く難解な技術領域とされているが、本書では原理、本質に立ち返り技術を解説するとともに、実例を多く取り入れて具体的に説明しているのでこの分野の技術体系、設計方法を効率的に知ることができる。

目次

第 1 章	受信システムにおける雑音(小西良弘) -----	1
1.1	雑音の大きさの表現	1 /
1.2	電波雑音と空中線の雑音温度	1
1.3	受信機の雑音	7 /
1.4	増幅器の雑音の雑音測定の原理	22
第 2 章	低雑音増幅器(小西良弘・伊藤康之) -----	30
2.1	低雑音増幅器の入出力回路の設計	30
2.2	低雑音増幅器の種類	33 /
2.3	反射整合形増幅器	33
2.4	負帰還増幅器	34 /
2.5	抵抗整合形増幅器	38
2.6	分布形増幅器	40
第 3 章	ミクサ(小西良弘・本城和彦) -----	45
3.1	ミクサの役割	45 /
3.2	ダイオードミクサ	45
3.3	トランジスタミクサ	60
第 4 章	高出力増幅器(本城和彦) -----	69
4.1	トランジスタを用いた高出力増幅器設計へのアプローチ	69
4.2	増幅器の高効率化	97
4.3	高出力増幅器におけるひずみ特性	107
第 5 章	広帯域増幅器(本城和彦) -----	126
5.1	広帯域増幅器設計への2つのアプローチ	126
5.2	抵抗負荷型増幅器の基本	128 /
5.3	負帰還増幅器	131
5.4	整合増幅器	136 /
5.5	抵抗整合増幅器	138
5.6	分布型増幅器	140

第 6 章	発振器 (本城和彦)	146
6.1	発振器の基本構成	146 /
6.2	位相雑音の発生	154
6.3	位相雑音の低減	159 /
6.4	位相同期回路	162
6.5	注入同期回路	164
第 7 章	変復調回路 (石崎俊雄)	168
7.1	種々の変復調方式と回路	168
第 8 章	LTCC 技術と応用デバイス (山下善就・中井信也・石崎俊雄)	194
8.1	はじめに	194
8.2	携帯電話端末と高周波デバイスの小型化	195
8.3	携帯電話と LTCC との出会いー樹脂製多層基板から LTCC へ	196
8.4	携帯電話に要求される高周波デバイス[1]	198
8.5-1	集積化の例～フロントエンドモジュール	209
8.5-2	アクティブ素子を実装した応用例～パワーアンプモジュール	211
8.6	他の無線モジュールへの展開	213
8.7	LTCC 材料プロセス技術の変遷	215
8.8	まとめ	217

第1章 受信システムにおける雑音

1.1 雑音の大きさの表現

受信機外部から来る電波雑音と、受信機内部で発生する受信機雑音とが、受信システムの総合雑音となる。電子雑音は図 1¹⁾、表 1¹⁾のように地球の表面の大気のほか宇宙や太陽系から来るものを総合した自然雑音と、自動車点火線、送電線、蛍光灯の他各種電気機器から発生する人工雑音とからなる。

一般に絶対温度 T に保たれた抵抗値 R の抵抗体からは、実効雑音電圧 \bar{v} ; $\sqrt{4kTRB}$ の雑音を発生するので (1.3.1 参照)、整合負荷 R に供給される雑音電力 N は

$$N = \frac{\bar{v}^2}{2R} = kTB \quad (B \text{ は帯域幅}) \quad (1-1)$$

となり、これは T のみの関数となる。そこで一般に雑音電力の大きさの表現に $T^\circ\text{K}$ を用い、これを雑音温度と呼ぶ。また $T=288^\circ\text{K}$; 290°K を基準にした N の値 N_0 として雑音電力 N が

$$N = FN_0 \quad (1-2)$$

と表せるから

$$10 \cdot \log F \quad (1-3)$$

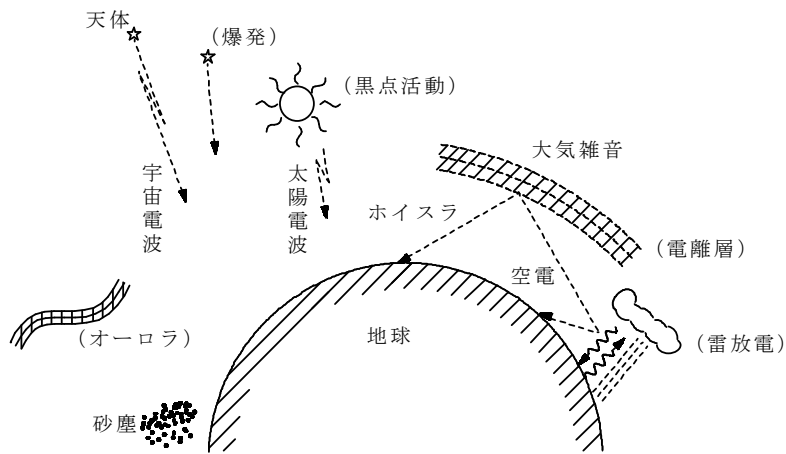
の値を雑音の基準にすることも多い。

1.2 電波雑音と空中線の雑音温度

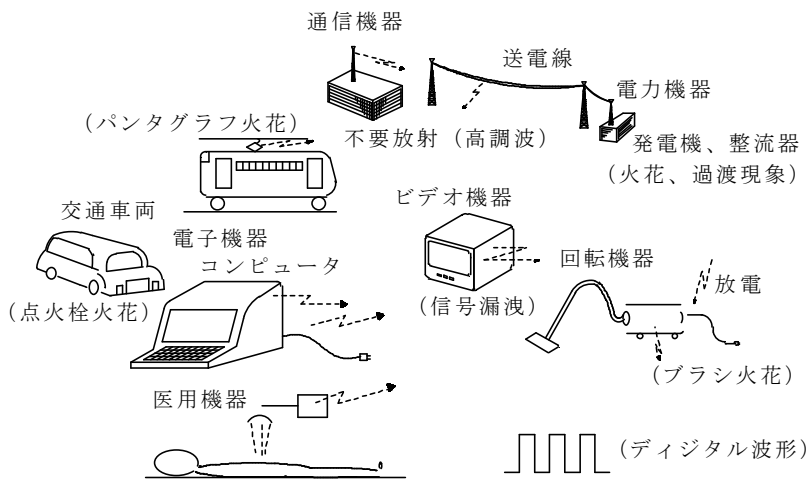
1.2.1 電波雑音

自然雑音と人工雑音のデータを図 1.2(a)²⁾及び(b)³⁾に示す。これらの値は雑音発生源に鋭い指向性のアンテナを向けた時の値である故、当然アンテナの指向性をブロードにすると太陽雑音などは小さくなる (太陽の立体角は 0.6° で非常に小さい故)。例えば無指向性のアンテナで受信した場合、(1-3)式の表現を用いた値を図 1.3 に示す。⁴⁾ 図 1.3 より 1GHz 以下では人工雑音が支配的であることがわかる。

また、ミリ波帯では図 1.4 に示すように水蒸気や酸素の吸収がある。図 1.4 の数 GHz 帯では最も雑音が小さくなっているため、よく衛星通信に用いられる。



(a) 自然雑音



人為的妨害可能性のある各種

(b) 人工雑音

図 1.1 電波雑音¹⁾

表 1.1 電波雑音¹⁾

	種 類	内 容	備 考	
自然雑音	宇宙雑音	天体が発生する電波，銀河系恒星，電波星（パルサー，クエーサーなど），星雲	電波天文に利用	
	太陽系雑音	太陽の発生する電波	黒点活動に大きくする	
		惑星，月	太陽雑音の反射	
	大気雑音	空電：雷に伴う電波（ヒス，ホイストラ） 沈殿雑音：雨滴や砂塵の衝突による放電		
人口雑音	その他放電による雑音	熱雑音、雨、雲、大気ガス、大地 火花（自動車点火栓，モータブラシ，パンタグラフなど） コロナ（送電線，オゾン発生機など） グロー（蛍光灯，ネオン灯など）	温度による 交通車両電化機器など 都市雑音の主要素になる	
	スイッチ雑音	半導体制御装置		
	持続振による雑音	パルス波	パルス回路，デジタル回路等より発生する高周波	コンピュータ AV機器など
	正弦波	送信機からの不要放射，電磁誘導 高周波利用設備・機器	無線機器	
	都市雑音	都市内で観測される電子機器，電化機器等あらゆる雑音の合成	人口に比例して増加	