

このPDFは、CQ出版社発売の「実用マイクロ波技術講座 -アクティブアンテナ- 第7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/79/79771.htm>

## 第2章 アクティブアンテナの基礎

### 2.1 アクティブ回路の基礎

アクティブアンテナのデザインするにあたって、アクティブ回路の知識は不可欠である。アクティブデバイスを用いることの最大利点は、利得が得られることである。しかしながら、そのアプリケーションによっては消費電力や雑音などの制限があり、最大利得を得ることが必ずしもいいこととは限らない。与えられたすべてのデザインスペックを満たす回路の設計が要求される。ここでは、典型的なアクティブマイクロ波回路を数種取り上げて、その設計方法と特徴を述べる。

#### 2.1.1 増幅器

増幅器には、大きく分けて低雑音増幅器等の小信号タイプと、パワー増幅器の大信号タイプに分けられる。ここでは、トランジスタを用いて両者の設計法の違いを簡単に説明する。

##### 小信号増幅器

このタイプの増幅器は入力信号が小さく入力電力と出力電力が線型性を保っている。設計は、データシートなどから得られる小信号Sパラメータを回路シミュレータに取り込んで行うか、スミスチャートを用いて行う。小信号増幅器の構図を図2.1に示す。ここで、 $\Gamma_{in}$ 、 $\Gamma_{out}$  はそれぞれ、

$$\Gamma_{in} = S_{11} - \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \quad (2.1)$$

$$\Gamma_{out} = S_{22} - \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_S}{1 - S_{11}\Gamma_S} \quad (2.2)$$

で与えられる。回路が安定であるとき、最大利得を得るための必要十分条件は、

$$\Gamma_S = \Gamma_{in}^* \quad (2.3)$$

$$\Gamma_L = \Gamma_{out}^* \quad (2.4)$$

である [1,2]。このとき、回路にスタンディングウェーブは存在せず、 $VSWR = 1$  となる。逆に値がこの条件から遠ざかるにつれて、利得は低下し、 $VSWR$  が増加してしまう。

アクティブデバイスは、ある条件が満たされると不安定になり発振してしまうので、増幅器の設計は安定性を考慮した上で行わなければならない。しばしば、増幅器を設計したつもりが、オ

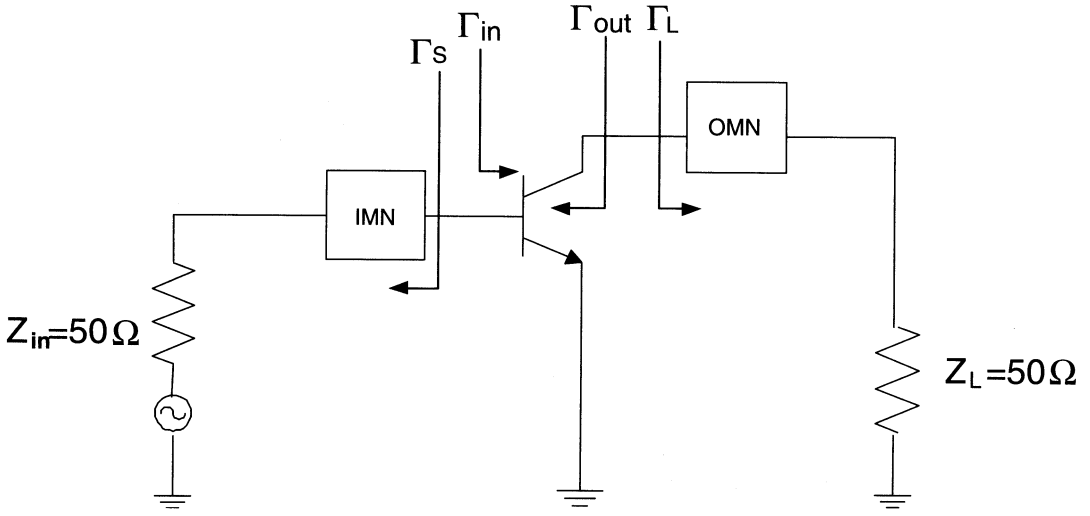


図 2.1: 小信号増幅器の構図

シレータになってしまったり、オシレータを設計したつもりが増幅器になったりする。増幅器の安定性は、Sパラメータを使って知ることができる。簡単にいうと、増幅器の入出力ポートで、ネガティブレジスタンスを得ないようにすれば、回路は安定する。そのためには、

$$|\Gamma_s| < 1 \quad (2.5)$$

$$|\Gamma_L| < 1 \quad (2.6)$$

$$|\Gamma_{in}| = \left| S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_L}{1 - S_{22}\Gamma_L} \right| < 1 \quad (2.7)$$

$$|\Gamma_{out}| = \left| S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_s}{1 - S_{11}\Gamma_s} \right| < 1 \quad (2.8)$$

を、満たさなければならない。これらの条件から、無条件安定の必要十分条件が次のように得られる。パラメータ  $K$  と  $\Delta$  を次のように定めるとき、

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|} \quad (2.9)$$

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \quad (2.10)$$

デバイスが無条件安定であるための必要条件は、

$$K > 1 \quad (2.11)$$

$$|\Delta| < 1 \quad (2.12)$$

である。

また、実際の小信号増幅器の設計では、雑音指数も考慮に入れなければならない。雑音指数は、入出力での SN 比の低下であり、

$$F = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o} \quad (2.13)$$

で表される。但し、 $S_i/N_i$  は入力での SN 比、 $S_o/N_o$  は出力での SN 比である [1]。

2 ポート増幅器の雑音指数は、

$$F = F_{min} + \frac{r_n}{g_s} |y_s - y_{opt}|^2 \quad (2.14)$$

で与えられる [2]。但し、 $r_n$  は正規化された等価雑音抵抗、 $y_s = g_s + jb_s$  は、正規化されたソースアドミッタンス、 $y_{opt} = g_{opt} + jb_{opt}$  は、雑音指数が最小になる時のソースアドミッタンスである。正規化されたアドミッタンスは反射係数を使って表せるので、 $\Gamma_{opt}$  を定めることができる。残念ながら、一般的に  $\Gamma_{opt} \neq \Gamma_{in}^*$  であるので、最小雑音指数と最大利得を同時に得ることはできない。したがって、求められる利得と雑音指数の両方を満たせる  $\Gamma_s$  をスミスチャート上で決定する。

小信号 S パラメータデータは、回路が線形性を保っている領域でのみ有効である。よって、小信号増幅器のバイアス点は A 級である。また、出力電力や利得によって S パラメータが変化しないくらい十分小さい信号レベルで使用する必要がある。

## 大信号増幅器

大信号増幅器は、文字通り大きな信号を扱う増幅器である。この種の増幅器のパフォーマンスを評価するのに使われるデータは、最大出力電力、利得、電力付加効率 (PAE)、3 次インターセプトポイント (IP3) などである。最大出力電力は、図 2.2 に示すように利得が低信号利得より 1 dB 落ち込む時点での出力電力で定義する。これを、1 dB 利得圧縮時出力電力 (P1dB) と呼ぶ。利得には、小信号で測定された小信号利得 (G) と、P1dB での利得の 1 dB 利得圧縮時利得 (G1dB)、つまり G-1 とがある。電力付加効率 (PAE) は、次式で与えられるパラメータである。

$$PAE = \frac{P_{out} - P_{in}}{P_{DC}} \times 100\% \quad (2.15)$$

PAE は、DC 電力に対する利得の割合である。3 次インターセプトポイント (IP3) は、図 2.3 のように周波数の近い二信号を増幅器に加えたときに発生する 3 次相互変調信号の電力と基本周波数の出力電力をプロットし、それぞれ直線の部分を延長したとき、交わる点である。この値は、増幅器の線形性を評価するのに役立つ。図 2.4 のように 3 次相互変調信号は基本周波数と同じ帯域にあり、フィルタを使って取り除くことができないので、この電力が大きくなってしまうと通信に問題が生じるのである。

このタイプの増幅器は、非線形回路であるので回路の設計ではデバイスの小信号 S パラメータを使用することはできない。市販のデバイスで、すでに非線形モデルが定められている場合は、そ

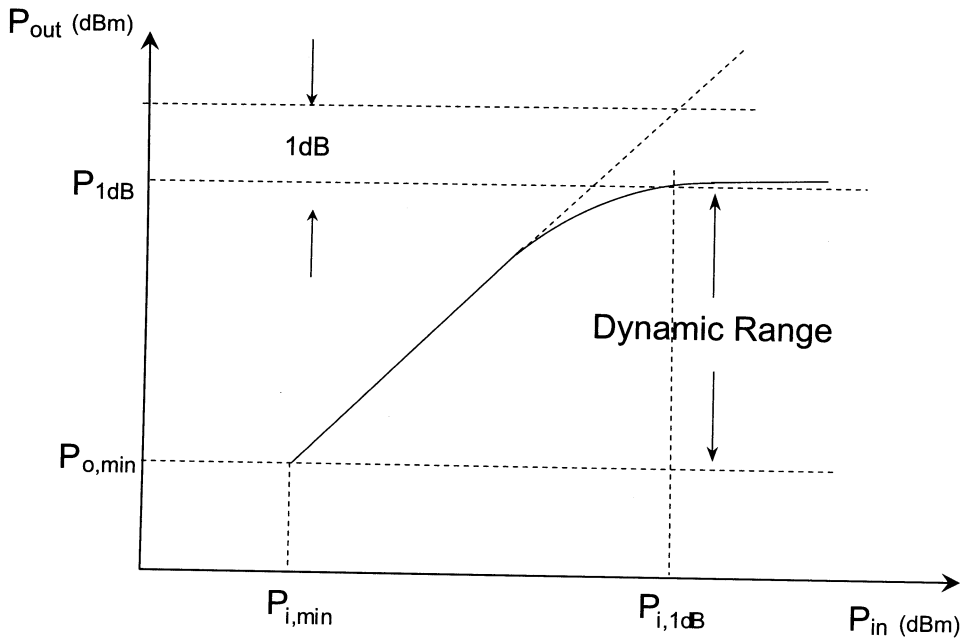


図 2.2: 1 dB 利得圧縮時出力電力

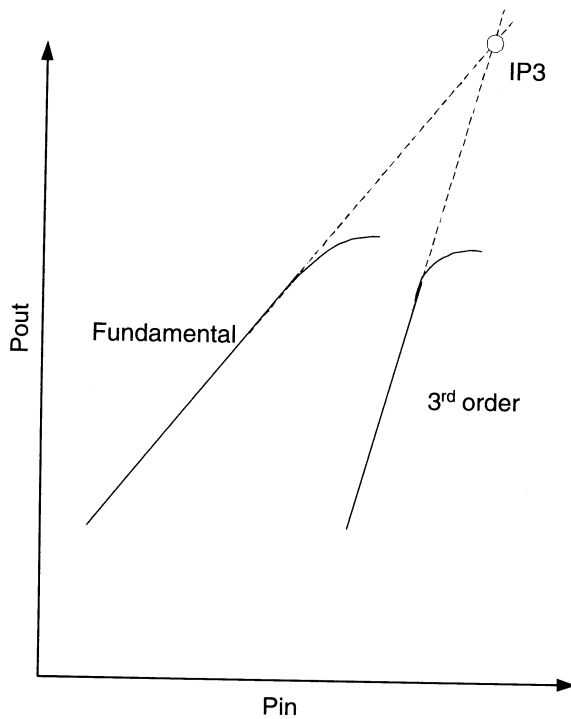


図 2.3: 3次インターセプトポイント