

# 後期実験9(前半) 無線通信を支える技術～アンテナと通信方式の 実践的理解～

学籍番号: 03240470

氏名: 井手陸大

December 7, 2024

## 1 ネットワークアナライザの動作原理と装置 の仕組み

ネットワークアナライザは、高周波回路やデバイスの特性を評価するための計測器であり、特に反射係数や伝送特性を測定する際に使用される。その中でも、ベクトルネットワークアナライザ (VNA) は、信号の振幅と位相の両方を測定できるため、より詳細な特性評価が可能である。

### 1.1 動作原理

VNA は、信号源から生成された高周波信号をデバイスアンダーテスト (DUT) に入力し、DUT からの反射信号や透過信号を測定する。これにより、DUT の S パラメータ (散乱パラメータ) を取得し、反射特性や伝送特性を評価する。S パラメータは、入射波と反射波、透過波の関係を示す複素数で表され、振幅と位相の情報を含む。

### 1.2 装置の仕組み

VNA は主に以下のコンポーネントで構成される:

1. 信号源: 広範囲の周波数で安定した高周波信号を生成する。
2. 信号分離器 (パワースプリッタ): 生成された信号を基準信号と DUT への入射信号に分離する。
3. 方向性結合器 (カプラ): DUT からの反射信号や透過信号を分離して検出する。
4. 受信機: 基準信号と DUT からの信号を受信し、振幅と位相を測定する。

測定された信号はデジタル処理され、スミスチャートや対数振幅、位相、群遅延などの形式で表示される。DUT の特性評価を精度良く行うためには、これらのデータが不可欠である。

### 1.3 校正

高精度な測定を行うため、VNA は測定系自身が持つ誤差成分を補正する校正を行う。一般的な校正手法として、オープン (開放)、ショート (短絡)、ロード (無反射終端器) を用いた SOLT 法がある。校正により、測定系の誤差要因である方向性、ソースマッチ、ロードマッチ、伝送周波数レスポンス、反射周波数レスポンス、アイソレーション (リークage) を補正し、高い測定精度を実現する。

## 2 実験課題 (2): 特性測定結果

### 2.1 実験条件

実験では、以下の条件下で特性インピーダンス  $Z_0$ 、位相定数  $\beta$ 、および減衰定数  $\alpha$  を求めた。基板の厚さ  $h$  を 1 mm、比誘電率  $\epsilon_r = 4.7$ 、周波数  $f = 1$  GHz とし、マイクロストリップライン幅の比  $W/h$  および  $\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}$  の組み合わせを次の通りとした:

| $\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}$ | $W/h$ |
|--------------------------------|-------|
| 1.85                           | 4.34  |
| 1.85                           | 3.19  |
| 1.90                           | 2.35  |
| 1.90                           | 1.89  |
| 2.00                           | 1.51  |

### 2.2 特性インピーダンスの計算

特性インピーダンス  $Z_0$  は以下の式で計算する:

$$Z_0 = \frac{377}{W/h + \frac{2}{\pi} \left(1 + \ln \left(1 + \frac{\pi}{2} W/h\right)\right)}$$

### 2.3 位相定数と減衰定数の計算

位相定数  $\beta$  は以下の式を用いて計算する:

$$\beta = \omega \sqrt{\epsilon \mu_0}, \quad \epsilon = \epsilon_0 \epsilon_{\text{eff}}, \quad \omega = 2\pi f$$

ここで、実効誘電率  $\epsilon_{\text{eff}}$  はストリップライン幅  $W$  に基づき次式で計算する:

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{-1/2}, \quad \epsilon_r = 4.7$$

減衰定数  $\alpha$  は以下の式で計算する:

$$\alpha \approx \frac{1}{2} \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}} \beta \tan \delta + \frac{\epsilon_{\text{eff}} R_s}{\zeta h}$$

ここで、 $\tan \delta = 0.02$ 、 $R_s = \sqrt{\frac{\omega \mu_0}{2\sigma_{\text{cond}}}}$ 、 $\sigma_{\text{cond}} = 5.8 \times 10^7$  S/m、 $h = 1$  mm.

基板の比誘電率が  $\epsilon_r = 4.7$  であることから、基板は FR-4 と仮定した。また、損失正接  $\tan \delta$  は FR-4 の典型値である 0.02 を採用した。導体金属は銅と仮定し、その導電率を  $\sigma_{\text{cond}} = 5.8 \times 10^7$  S/m とした。

## 2.4 計算結果

実験条件下での計算結果を以下に示す:

| $\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}$ | $W/h$ | $\alpha$ (Np/m) | $\beta$ (rad/m)     |
|--------------------------------|-------|-----------------|---------------------|
| 1.85                           | 4.34  | 281,984         | $1.409 \times 10^7$ |
| 1.85                           | 3.19  | 265,095         | $1.366 \times 10^7$ |
| 1.90                           | 2.35  | 251,540         | $1.331 \times 10^7$ |
| 1.90                           | 1.89  | 243,105         | $1.309 \times 10^7$ |
| 2.00                           | 1.51  | 237,347         | $1.293 \times 10^7$ |