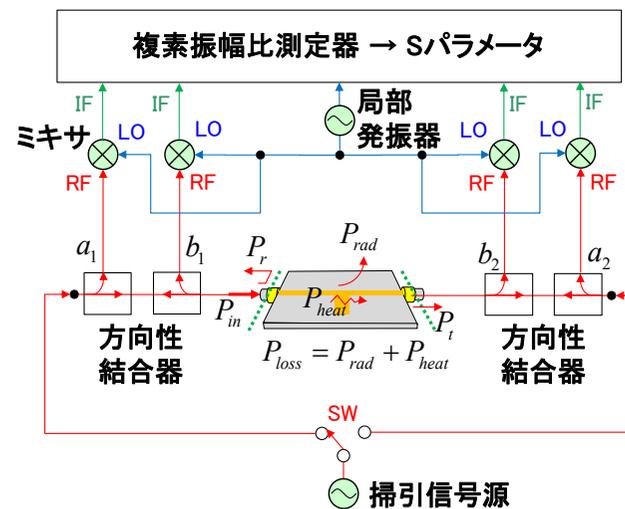


# 回路ネットワーク測定

1st. 2022/08/17

Lst. 2023/04/22

# ネットワークアナライザ



三輪進, 高周波の基礎, p.137, 東京電機大学出版局, 2001.

[https://www.minicircuits.com/WebStore/uvna\\_63.html](https://www.minicircuits.com/WebStore/uvna_63.html)

# 教育用ネットワークアナライザ



[https://www.minicircuits.com/WebStore/uvna\\_63.html](https://www.minicircuits.com/WebStore/uvna_63.html)

# 散乱マトリクス (S行列)

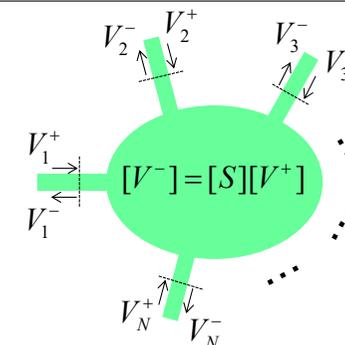
入射 反射  
電圧 電圧

$$\begin{cases} V_n = V_n^+ + V_n^- & \text{電圧} \\ I_n = \frac{1}{Z_{0n}}(V_n^+ - V_n^-) & \text{電流} \end{cases}$$

特性インピーダンスが一意に決まらない場合 (非TEMモードや、電圧/電流の測定が一意にできない場合) でも、反射量と透過量の振幅・位相は測定できる。S<sub>ij</sub>成分を求めるには、j以外のポートをすべて整合させる。

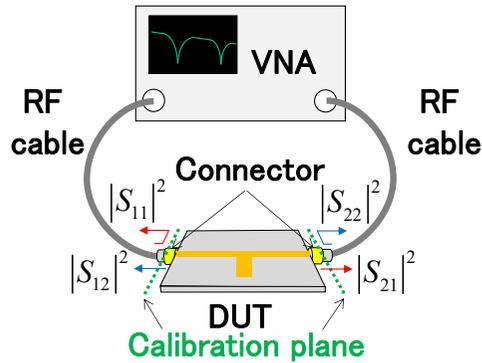
$$\begin{bmatrix} V_1^- \\ V_2^- \\ V_3^- \\ \vdots \\ V_N^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1N} \\ S_{21} & & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ \vdots & & S_{ij} & \vdots \\ S_{N1} & \cdots & \cdots & S_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^+ \\ V_2^+ \\ V_3^+ \\ \vdots \\ V_N^+ \end{bmatrix}$$

$$S_{ij} = \left. \frac{V_i^-}{V_j^+} \right|_{V_k^+ = 0 (k \neq j)}$$



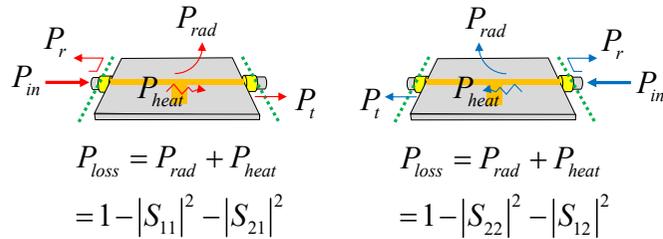
各ポートの特性インピーダンスが異なると物理的な意味を持たない

# Sパラメータと損失



$$\begin{cases} E_i H_i = E_i \frac{E_i}{\eta} = \frac{E_i^2}{\eta} \\ E_r H_r = \Gamma E_i \frac{\Gamma E_i}{\eta} = \frac{\Gamma^2 E_i^2}{\eta} = |S_{11}|^2 \frac{E_i^2}{\eta} \\ E_t H_t = T E_i \frac{T E_i}{\eta} = \frac{T^2 E_i^2}{\eta} = |S_{21}|^2 \frac{E_i^2}{\eta} \end{cases}$$

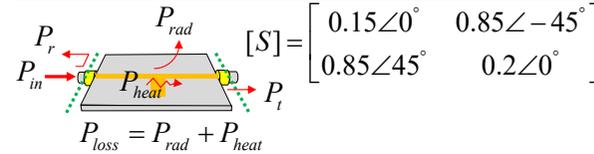
同軸ケーブル内の入射電力密度[W/m<sup>2</sup>]を  $E_i^2/\eta=1$  [W/m<sup>2</sup>]と考えれば、**反射電力密度**と**透過電力密度**は $|S_{11}|^2$ 、 $|S_{21}|^2$ で計算できる。



基板の熱損失(誘電損失)が $P_{heat}=0$ なら、左の計算式から放射電力を見積もることができる。

# 反射損失

【演習】2端子ネットワークの散乱マトリクスが次のように与えられている。(1) ネットワークが相反・無損失かを判定せよ。(2) ポート2が整合負荷で終端されている場合、ポート1における反射損失[dB]を求めよ。(3) ポート2が短絡されている場合、ポート1における反射損失[dB]を求めよ。



(1)  $P_{in}=1$  Wを入力すれば、  
 $P_{loss} = P_{rad} + P_{heat}$   
 $= 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2 = 1 - (0.15)^2 - (0.85)^2 = 1 - 0.745$   
 従って、 $P_{loss}=1-0.745=0.255$  Wが損失になる。

(2) ポート2が整合されていれば、反射係数は0.15になる。  
 $S_{11}[\text{dB}] = -20 \log_{10} |S_{11}| = -20 \log_{10} 0.15 = 16.5 \text{ dB}$

(3) ポート2が短絡されていれば、 $V_2^- = -V_2^+$ が成立する。従って、  

$$\begin{cases} V_1^- = S_{11}V_1^+ + S_{12}V_2^+ = S_{11}V_1^+ - S_{12}V_2^- \\ V_2^- = S_{21}V_1^+ + S_{22}V_2^+ = S_{21}V_1^+ - S_{22}V_2^- \end{cases}$$
  
 2番目の式より、  

$$V_2^- = \frac{S_{21}}{1+S_{22}} V_1^+$$
  
 1番目の式より、  

$$\frac{V_1^-}{V_1^+} = S_{11} - S_{12} \frac{V_2^-}{V_1^+} = S_{11} - S_{12} \frac{S_{21}}{1+S_{22}}$$
  

$$= 0.15 - \frac{(0.85e^{j(-45/180)\pi})(0.85e^{j(45/180)\pi})}{1+0.2}$$
  

$$= 0.15 - 0.602 = -0.452$$
  

$$S_{11}[\text{dB}] = -20 \log_{10} -0.452 = 6.9 \text{ dB}$$

D.M. Pozar, Microwave Engineering 3rd, p.179, Wiley.

# 一般化散乱マトリクス(GSM)

入射 反射  
電圧 電圧

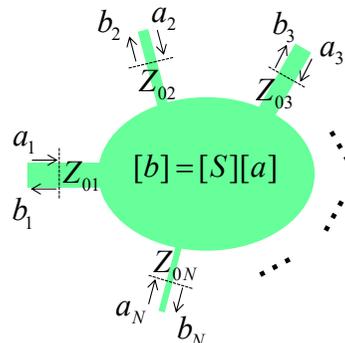
$$\begin{cases} V_n = V_n^+ + V_n^- = \sqrt{Z_{0n}}(a_n + b_n) \\ I_n = \frac{1}{\sqrt{Z_{0n}}}(V_n^+ - V_n^-) = \frac{1}{\sqrt{Z_{0n}}}(a_n - b_n) \end{cases}$$

電圧

$$\begin{cases} a_n = \frac{V_n^+}{\sqrt{Z_{0n}}} & \text{入射波} \\ b_n = \frac{V_n^-}{\sqrt{Z_{0n}}} & \text{反射波} \end{cases}$$

電流

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \vdots \\ b_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1N} \\ S_{21} & & & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ S_{ij} & & & \vdots \\ S_{N1} & \cdots & \cdots & S_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \vdots \\ a_N \end{bmatrix}$$



各ポートの特性インピーダンスが異なっても問題ない

$$S_{ij} = \left. \frac{b_i}{a_j} \right|_{a_k=0(k \neq j)} = \left. \frac{V_i^- \sqrt{Z_{0j}}}{V_j^+ \sqrt{Z_{0i}}} \right|_{V_k^+=0(k \neq j)}$$

# 一般化散乱マトリクス(GSM)

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{1}{2} \text{Re}[V_n I_n^*] = \frac{1}{2} \text{Re} \left[ \sqrt{Z_{0n}}(a_n + b_n) \frac{1}{\sqrt{Z_{0n}}}(a_n^* - b_n^*) \right] \\ &= \frac{1}{2} \text{Re} \left[ |a_n|^2 - |b_n|^2 + \frac{a_n^* b_n - a_n b_n^*}{\text{純虚数}} \right] \\ &= \frac{1}{2} (|a_n|^2 - |b_n|^2) \end{aligned}$$

入射電力 - 反射電力

$a_n^* b_n - a_n b_n^*$  の計算

$$\begin{cases} a_n = a_r + ja_i & \begin{cases} a_n^* = a_r - ja_i \\ b_n^* = b_r - jb_i \end{cases} \\ b_n = b_r + jb_i \end{cases}$$

と置くと

$$\begin{aligned} a_n^* b_n - a_n b_n^* &= (a_r - ja_i)(b_r + jb_i) - (a_r + ja_i)(b_r - jb_i) \\ &= a_r b_r + a_i b_i - ja_i b_r + ja_r b_i - (a_r b_r + a_i b_i + ja_i b_r - ja_r b_i) \\ &= j(a_i b_r - a_r b_i) + j(a_r b_i - a_i b_r) = 2j(a_i b_r - a_r b_i) \end{aligned}$$