

## 附 2：用 TRL 方法校准 12 项误差模型

通常测量系统可以简化为图 1 所示的 3 个网络相级联，其包含 12 项系统误差模型所对应的信号流图如图 2 所示，其中被测件的正向有 6 项，反向有 6 项。图 2 显示了正向误差项： $E_{11}$ （方向）、 $E_{22}$ （源匹配）、 $E_R$ （负载匹配）、 $E_{12}$ （反射跟踪）、 $E_T$ （传输跟踪）和  $E_X$ （串扰）。 $R$ 、 $A$ 、 $B$  分别代表网络分析仪参考端口， $A$  通道及  $B$  通道的信号， $RFin$  是信号源的输出。假设校准网络 A 是互易的，则有  $E_{12}=E_{21}$ 。

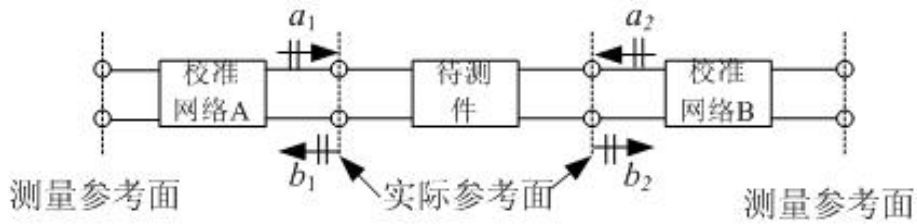


图 1 两端口网络 S 参量测试系统框图

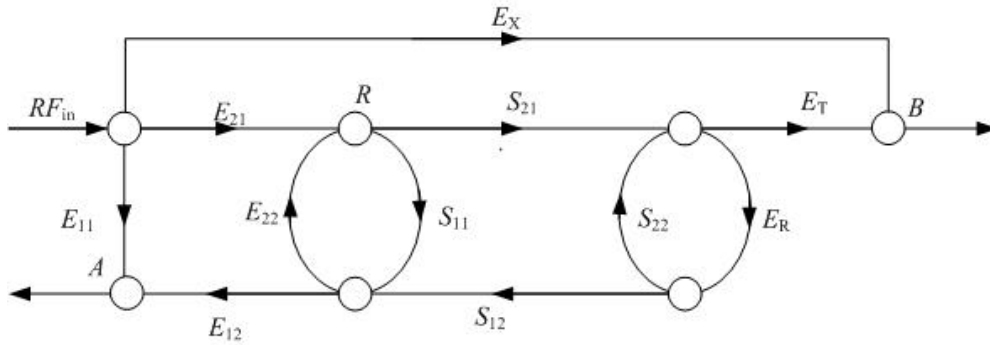


图 2 使用 12 项误差模型描述 S 参量测试系统的系统误差。

（此处为正向误差，反向误差的模型与之类似）

当采用直通-反射-传输线校准方法时，三种连接方式所对应的信号流图分别如图 3(a)、(b)、(c) 所示，对于直通状态是指将两测试端口直接接通，故  $S_{11}=S_{22}=0$ ， $S_{21}=S_{12}=1$ ，则

$$R_T = \frac{E_{12}}{1 - E_{22}E_R} \quad (1)$$

$$A_T = E_{11} + \frac{E_{12}^2}{1 - E_{22}E_R} E_R \quad (2)$$

$$B_T = E_X + E_T \frac{E_{12}^2}{1 - E_{22}E_R} \quad (3)$$

对于反射状态，是指将两端口都接同样的大反射负载（如短路），设两者的反射系数都为  $\Gamma$ ，且两端口之间无直接传输信号，故  $S_{11}=S_{22}=\Gamma$ ， $S_{21}=S_{12}=0$ ，则

$$R_R = \frac{E_{12}}{1 - E_{22}\Gamma} \quad (4)$$

$$A_R = E_{11} + \frac{E_{12}^2\Gamma}{1 - E_{22}\Gamma} \quad (5)$$

$$B_R = E_X \quad (6)$$

对于传输线状态,即在两端口之间接一根特性阻抗与校准网络相同的电长度为 $l$ 的标准空气线段,故 $S_{11}=S_{22}=0$ ,  $S_{21}=S_{12}=e^{-i\beta l}$ , 则

$$R_L = \frac{E_{12}}{1 - E_{22}E_R e^{-j2\beta l}} \quad (7)$$

$$A_L = E_{11} + \frac{E_{12}^2 E_R e^{-i\beta l}}{1 - E_{22}E_R e^{-i\beta l}} \quad (8)$$

$$B_L = E_X + E_T e^{-j2\beta l} \frac{E_{12}^2}{1 - E_{22}E_R e^{-j2\beta l}} \quad (9)$$

根据以上校准过程中得到的9个方程,可以解出 $E_{11}$ (方向)、 $E_{22}$ (源匹配)、 $E_R$ (负载匹配)、 $E_{12}$ (反射跟踪)、 $E_T$ (发射跟踪)和 $E_X$ (串扰)以及反射系数 $\Gamma$ 以及传输线参数 $e^{-i\beta l}$ 。

同样反向误差模型的相应误差参数也可通过同样的方法确定。

现代自动网络分析仪的扫频测量系统会在所设定的测量频带内,采样不同频点所对应的误差模型参数并作存贮,通过相应的程序自动计算出待测元件的准确 $S$ 参量。

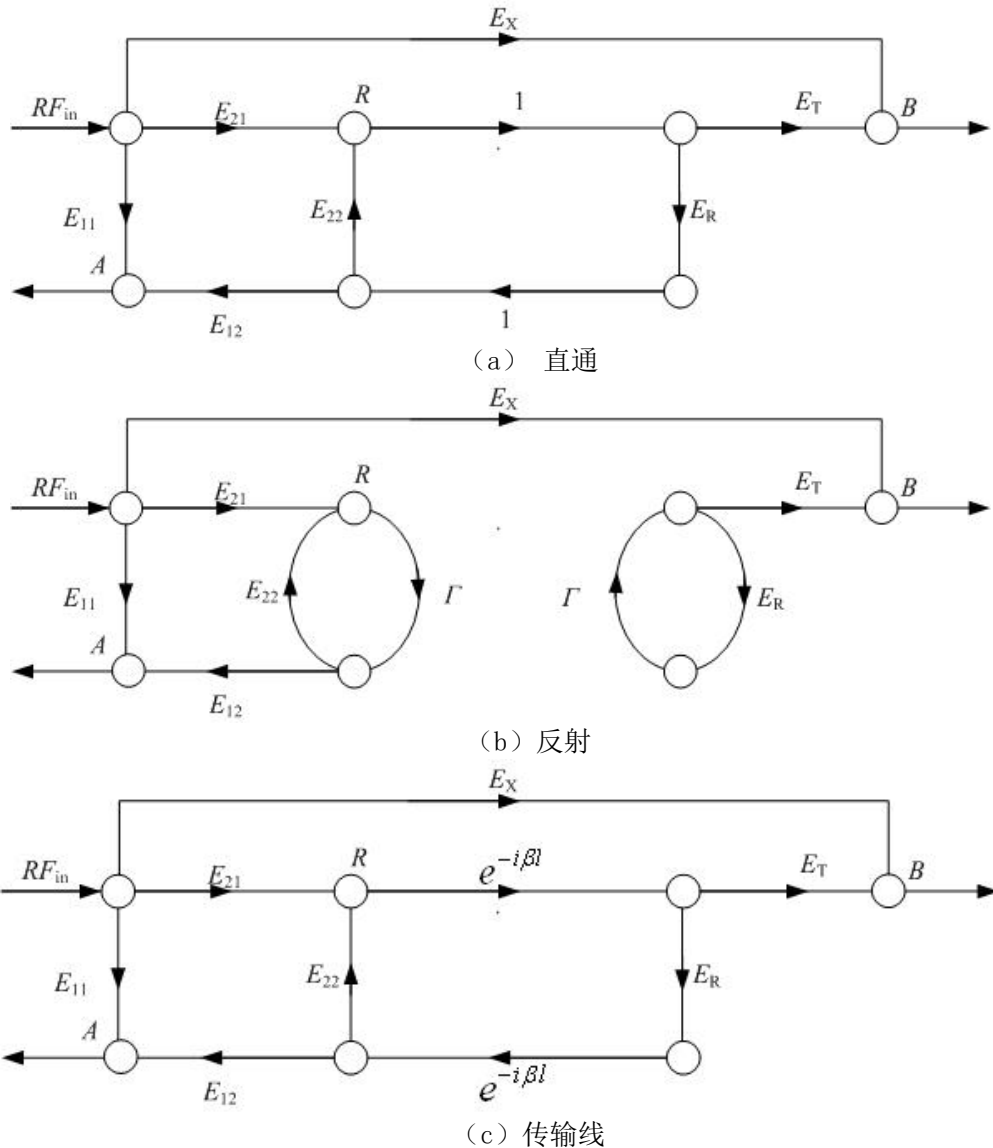


图4 直通-反射-传输线校准方法的信号流程图