

# 一篇文章了解S参数

原创 邓子平 [多物理场仿真技术](#)



在EDA仿真结果中，S参数是一个经常被提及的结果，关于S参数详细内容，其实不管是网上还是教科书都有较规范的介绍，但是大多数并不适用没有EDA背景的读者。

本文就S参数的相关应用背景，具体内容做一下介绍，[主要针对没有任何EDA行业背景的朋友，EDA工程师可忽略。](#)

S意为Scatter/Scattering，字面意思为散射。S参数也就是**散射参数**。

## 1.S参数计算方法

### 2.差分线和多端口

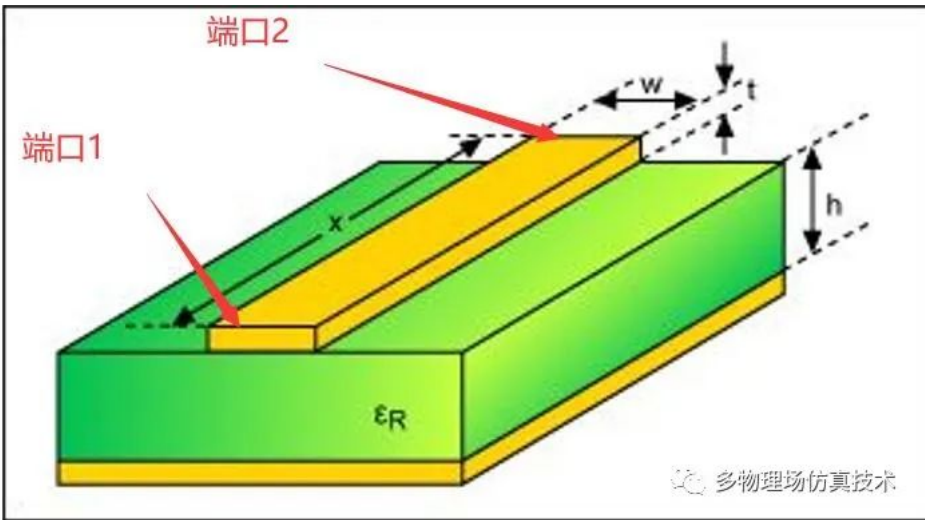
### 3.S参数文件

#### 1.S参数计算方法：

一般书上用电压，电流来描述信号，为了方便理解，这里用能量来描述。

如下图**微带线**，假设有100单位能量进入端口1，然后从端口2出来。在传输过程中种种原因，能量并不能全部到达端口2，部分会反射。

情形1：假设有5单位能量反射。



则S参数计算如下：

$$S_{11} = 5/100=0.05$$

$$S_{12} = 95/100 = 0.95$$

**S11**表示反射比例，学名**回波损耗(Return Loss)**，简写**RL**

**S12**表示传送到比例，学名**插入损耗(Insertion Loss)**，简写**IL**

对于对称网络：  $S_{11}=S_{22}$

$S_{22} = 5/100 = 0.05$   
 $S_{21} = 95/100 = 0.95$

---

情形2: 如果反射值为0.01, 则

$S_{11}=0.01/100=0.0001$   
 $S_{12}=99.99/100=0.9999$

因为这种计算数据跨度较大, 通常习惯取 $20*\log_{10}(S_{11})$ , 其中 $\log_{10}$ 表示取以10为底的对数, 也就是 $\log_{10}(10)=1$ , 单位dB

上述情形1:

$S_{11}=20*\log_{10}(0.05)=-26.021\text{dB}$   
 $S_{12}=20*\log_{10}(0.95)=-0.4455\text{dB}$

上述情形2:

$S_{11}=20*\log_{10}(0.0001)=-80\text{dB}$   
 $S_{12}=20*\log_{10}(0.9999)=-8.68\text{e-}3\text{dB}$

几组dB值对应百分比

S11 (dB)	S11
-26	95%
-13	80%
-10	70%
-6	50%
-40	99%

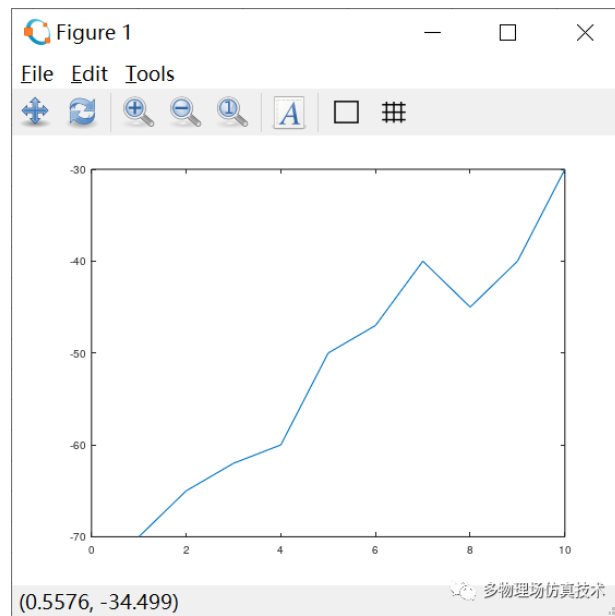
至此计算出的是一个频点的S参数值。我们通常要考虑频率范围内的S参数, 比如从1GHz-10GHz。方法是采样取一定频率值, 然后计算出每个频率的S参数, 再进行插值; 采样越多, 精度越高, 但计算量越大。

比如针对情形1, 我们从1G到10G取10个频率, 分别计算S参数

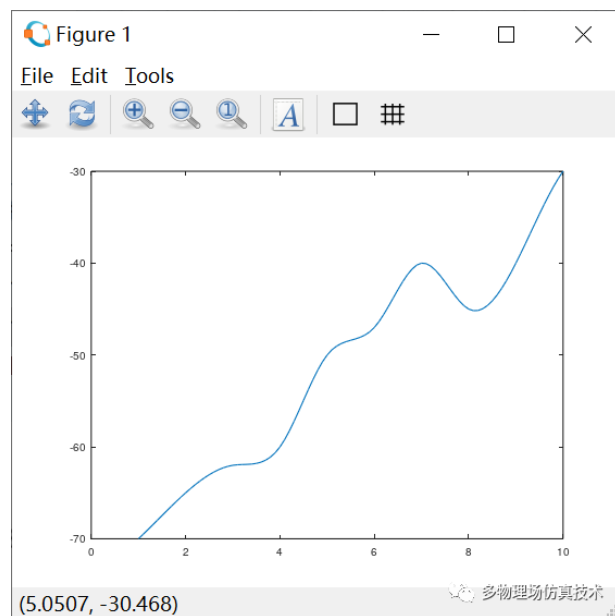
如下表

频率	S11值
(单位: GHz)	
1	-70
2	-65
3	-62
4	-60
5	-50
6	-47
7	-40
8	-45
9	-40
10	-30

基于上表我们就可以画出S11参数图了, 如下:



通常S参数是有连续性的曲线，在折线的基础上要再进行插值，插值拟合后的S11参数图类似如下图：



类似的，S12也可以画出。

采样计算S参数的操作也叫**扫频操作**

(Frequency Sweep)。

采样除了平均采样外，根据求解频率特点还有基于AWE

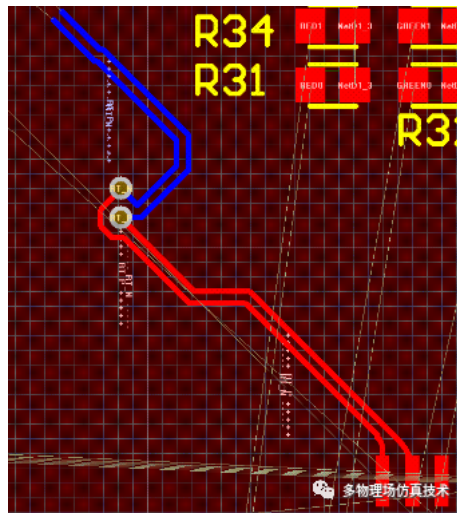
(Asymptotic Waveform Evaluation)和

ALPS(Adaptive Lanczos-Pade Sweep)

的**快速扫频**以及基于二分法的**插值扫频**。

## 2. 差分线和多端口

通常两根传输线如果间隔太近，互相会造成干扰，用两条平行的，等长的走线传输**相位差180°**的同一信号。即一根线传输正信号，一根线传输负信号。正信号减去负信号，得到2倍强度的有用信号。而两根线路上的干扰信号是一样的，相减之后干扰信号就没了。这是差分线。



一个差分对包括两条信号线四个端口，S参数包括：

S11 S12 S13 S14

S21 S22 S23 S24

S31 S32 S33 S34

S41 S42 S43 S44

可以看出4端口可以构成一个4\*4的矩阵数据。

进一步推广可以得知：N端口的数据可以构成一个N\*N的矩阵数据。

差分线的S参数涉及到近端串扰，远端串扰，差模，共模等处理，在信号完整性中是个单独的话题，作为S参数基础入门这里就不展开。

### 3.S参数文件

TouchStone文件是一种被用于各种仿真软件的标准格式的文件，仿真软件中调用此文件来代表一个器件或电路。TouchStone文件名都是以.snp为后缀名，n表示端口数，\*.s2p即表示一个2端口网络，\*.s4p表示4端口网络。

\*.snp文件是一个纯文本文件，可直接用记事本打开。

如下s2p文件为例

Frequency		S11		S12		S21		S22	
1	0.0000000000000000e+08	-9.001940368340566e-02	4.316771024687646e-02	9.843162034936026e-01	-1.586616722885495e-01				
2	0.0000000000000000e+08	-1.586616722885495e-01	8.922318834031495e-03	4.317986758179469e-02	-3.102892548834847e-01				
3	0.0000000000000000e+08	2.964251463981471e-02	8.032547671729004e-02	9.435878325011158e-01	-4.513337191645876e-01				
4	0.0000000000000000e+08	-3.102892548834847e-01	2.933666850932326e-02	8.042294382191158e-01	-5.791650966713732e-01				
5	0.0000000000000000e+08	6.038393537859088e-02	1.090110265259641e-01	8.792494338135959e-01	-4.513337191645876e-01				
6	0.0000000000000000e+08	-4.513337191645876e-01	5.974493094635180e-02	1.093316534403742e-01	-5.791650966713732e-01				
7	0.0000000000000000e+08	9.810059302113050e-02	1.267850940460432e-01	7.042843500497707e-01	-5.791650966713732e-01				

第一行中的

1.HZ表示频率的单位，可以是如下值：

HZ, MHZ, KHZ, GHZ

2.S表示参数类型，可以是如下值：

S--散射参数

Y--导纳参数

Z--阻抗参数

H/G--混合参数

以上参数可以相互转换

3. RI, 可以是如下数值

DB--角度

MA--幅度-角度

RI--实部-虚部

4.R 端口阻抗

R50表示匹配的参考电阻是50欧姆。

上例中, 2端口网络的S参数总共有  $1 + 2*2*2 = 9$  列,

按频率, 幅值S11, 相位S11, 幅值S21, 相位S21, 幅值S12, 相位S12, 幅值S22, 相位S22排列。

4端口网络的S参数总共有  $1 + 4*4*2 = 33$  列

以上对S参数做了简要介绍, 实际工程中可以通过S参数, 结合眼图, Smith圆图等工具, 得到更多的电路特性, 指导设计。

文中所有标红的字是跟S参数以及信号完整性相关的内容, 有兴趣的朋友可以自行查阅。

