

# 端口介绍

Ansoft HFSS，是 Ansoft 公司推出的三维电磁仿真软件；是世界上第一个商业化的三维结构电磁场仿真软件，业界公认的三维电磁场设计和分析的电子设计工业标准。HFSS 提供了一简洁直观的用户设计界面、精确自适应的场解器、拥有空前电性能分析能力的功能强大后处理器，能计算任意形状三维无源结构的 S 参数和全波电磁场。HFSS 软件拥有强大的天线设计功能，它可以计算天线参量，如增益、方向性、远场方向图剖面、远场 3D 图和 3dBa 带宽；绘制极化特性，包括球形场分量、圆极化场分量、Ludwig 第三定义场分量和轴比。使用 HFSS，可以计算：① 基本电磁场数值解和开边界问题，近远场辐射问题；② 端口特征阻抗和传输常数；③ S 参数和相应端口阻抗的归一化 S 参数；④ 结构的本征模或谐振解。而且，由 Ansoft HFSS 和 Ansoft Designer 构成的 Ansoft 高频解决方案，是目前唯一以物理原型为基础的高频设计解决方案，提供了从系统到电路直至部件级的快速而精确的设计手段，覆盖了高频设计的所有环节。现在最新的版本应该到了 Ansoft HFSS 14 了吧。

## 1. wave port 与 lumped port

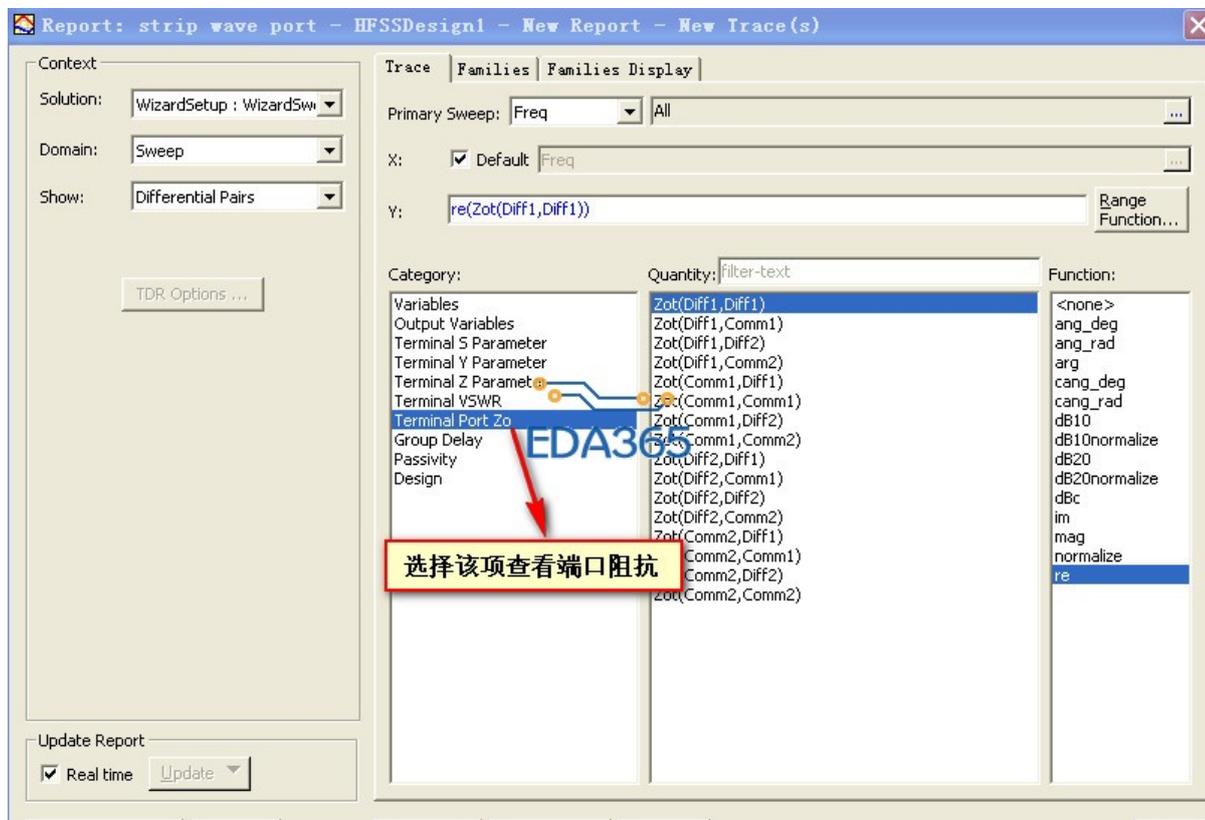
首先 wave port 与 lumped port 是 ansoft 自己定义的这么两个端口类型（也不知道 ansoft 为啥要定义这两种 PORT，其他 3D 仿真器应该也有这两个 PORT 的概念，只不过可能定义不太一样而已，类如 ADS\_EM 等。

PORT，顾名思义，就是端口的意思，正弦波从 PORT 口进入，经过无源器件后再从另一个 PORT 口（或者是从 PORT 进口）出来。我们所谓的 S 参数其实就是指是在 PORT 处测量信号的能量然后按照定义的公式计算得来的。电磁波遇到不连续点时会出现反射现象，也就是能量发生改变，这个大家都知道，所以在端口处不匹配同样会造成反射，这么看来 PORT 的值的的大小，肯定会影响测量的 S 参数了，这个咱们在第三章归一化里再详细说明。

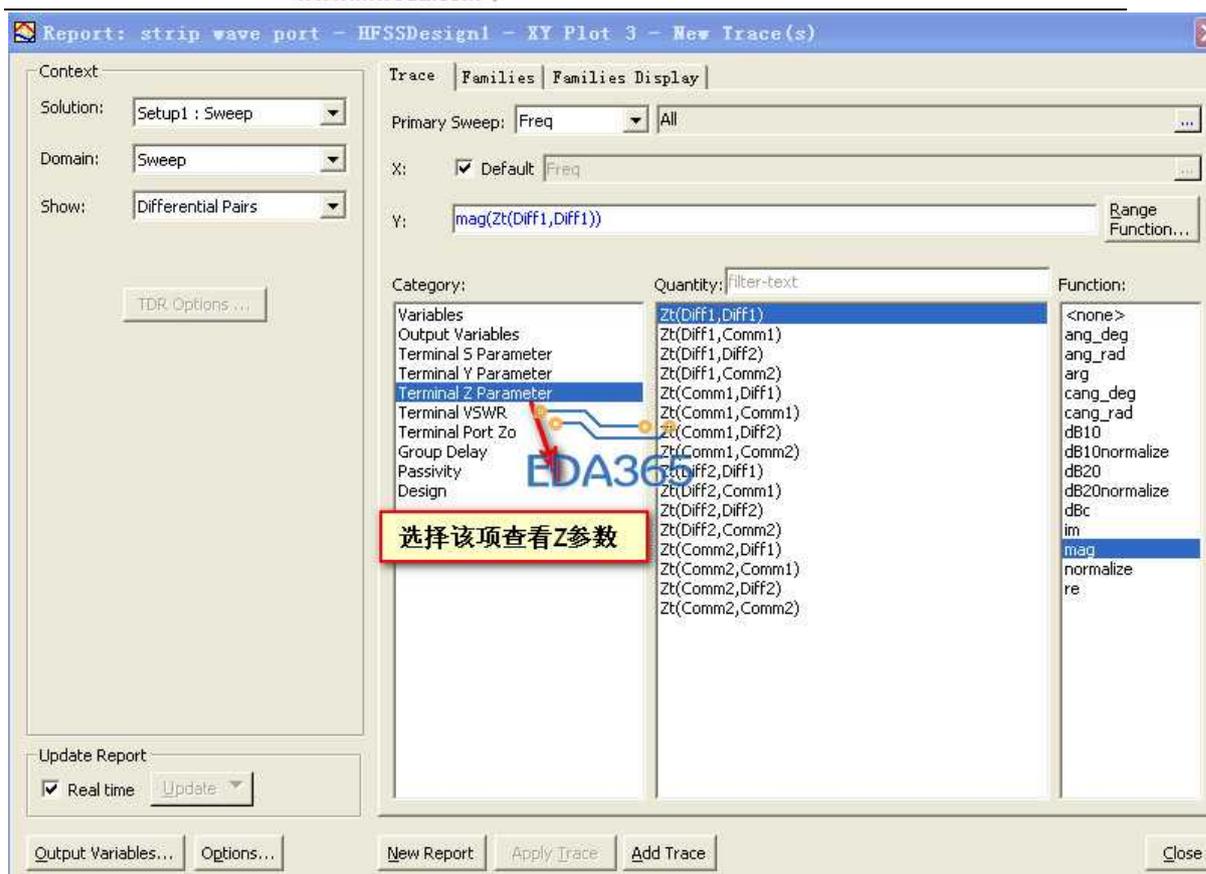
在说这两种 PORT 之前，我们先来说说端口阻抗 PORT，输入阻抗和特性阻抗，这三个和 Z 相关的量需要分清楚，不能弄混淆了，因为这个和两种类型 PORT 的自身特点还是有点关系的，下面我们简单介绍下，等介绍到 PORT 时再联系起

来详细说明。

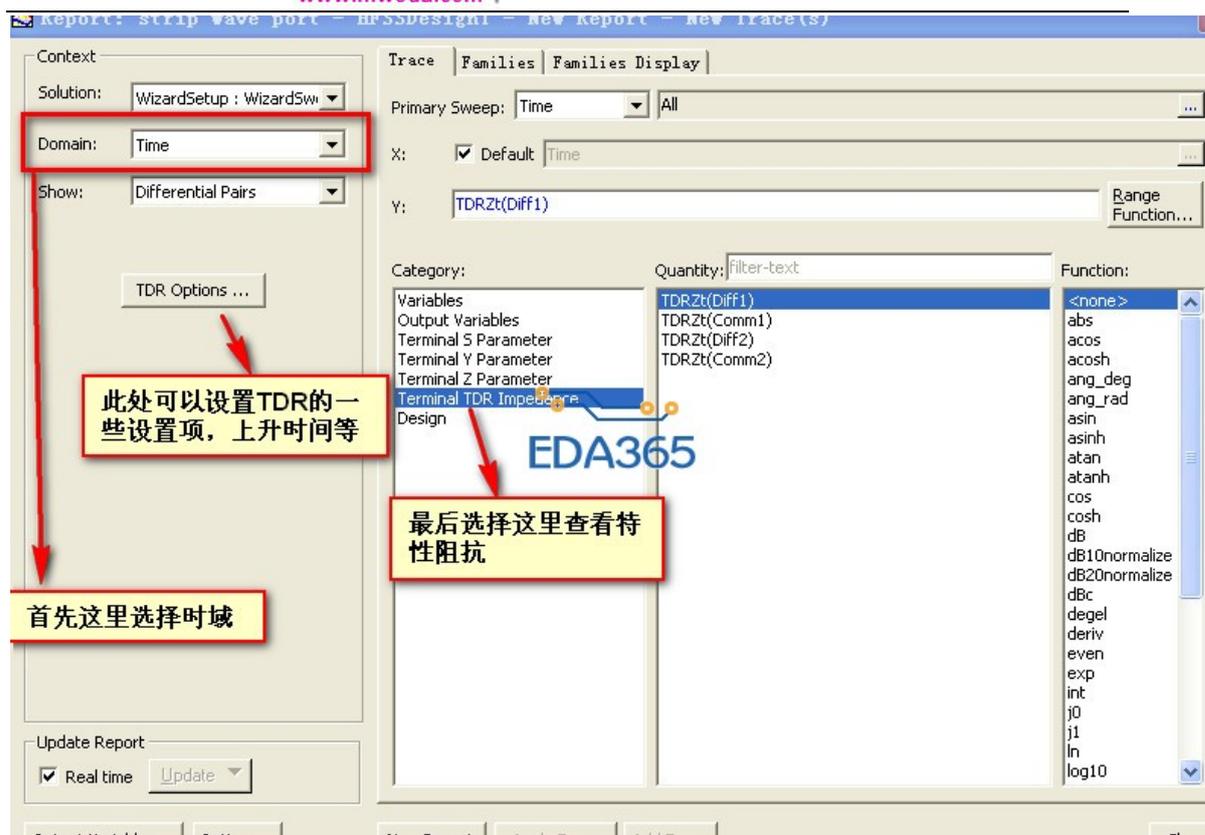
1. 端口阻抗 PORT，顾名思义，即端口处的阻抗，在 HFSS 里选择图 1 里的标注处可以查看。



2. 输入阻抗，即从端口处看向网络的阻抗，其实这个可以等同于一定条件下的  $Z$  参数，另外它不是一个常数，它是一个函数，和被测网络的传播延时，被测网络的阻抗不连续点和激励信号的频率有关系。可能很多人刚学  $S$  参数的时候会把输入阻抗和特性阻抗给弄混了。在 HFSS 里选择图 2 里的标注处可以查看。



3. 特性阻抗，相信大家对这个概念应该很熟悉了，虽然说它的值和信号的频率是有关系的，不过它变化不是很大，一般在工程上我们都把它看作是一个常数来用，在 HFSS 里选择图 3 里的标注处可以查看。



OK，底下我们正式进入 PORT 的世界，首先来看看 lumped port，lumped port 翻译过来就是集总端口，lumped port 的激励是以电压或者电流的形式，加在一个点或者一个单元上，本身 HFSS 是一个计算电磁波在空间分部的一个软件，波是矢量，电压电流则为标量，那为什么还要用 lumped port 呢，大家想下，如果频率很低或者激励加在足够小的区域上，“波”就可以用“电压”或“电流”来描述。lumped port 加的时候非常的方便，使用简单，尤其激励点附近存在几何或材料上的不连续区时只能选用 lumped port，比如给 package 加激励的时候。用 lumped port 时需要注意需要指定导体和参考平面，且端口阻抗 PORT 一般都设为纯电阻 50 欧，也就是说求解后观察端口 PORT 时它会一直是 50 欧不会变化。最后 lumped port 没有端口平移，也就是去嵌（deembedding）。其实这个 lumped port 在我看来和 SIWAVE 的 port 很是相似，大家可以比较一下。

接下来说说 wave port，wave port 翻译过来就是波端口的意思，wave port 的激励称作本征波，比如微带线馈源提供的准横电磁波 TEM 波，它加在一个横截面（剖面）上，wave port 有个很特别的地方就是它的端口阻抗 PORT，当加了 wave port 后对 PORT 进行做不归一化处理时，那么求解器在求解时把该端口看作

一个半无限长均匀传输线，该传输线具有与端口相同的截面和材料，利用 2D 特征模求解器可以求得对应模式的特性阻抗即等于端口阻抗 **PORT**，也就是说不管在哪个频率上求得的端口阻抗在端口处与被测网络是完全匹配的，信号在端口处不会发生任何反射。另外当我们假设导体模型为理想导体时，我们可以不需要建立地平面，也就是参考平面，软件会将介质边界处当做 **Perfect Conductors** 来处理，端口的设置中仅仅需要指定导体就 **OK**。如果我们需要研究导体铜的影响，我们可以将导体定义有限电导体边界(**Finite Conductors Boundary**)来仿真。再顺便插一句，其中铜箔粗糙度的仿真就在定义有限电导体边界这个对话框里有设置。最后 **wave port** 可以进行端口平移。

最后让我们简单总结下 **wave port** 与 **lumped port** 的区别：

**lumped port**：加在一个点或者一个面上；需要指定导体和参考平面；端口阻抗一般为设为 50 欧为一定值；可以加在材料不连续区域或者结构内部，没有端口平移操作。

**wave port**：加载一个横截面（剖面上）；在某些情况下不需要指定参考平面；端口阻抗可以设为归一化某个值或者非归一化；只能只应用于暴露在背景中的表面，可以进行端口平移操作。

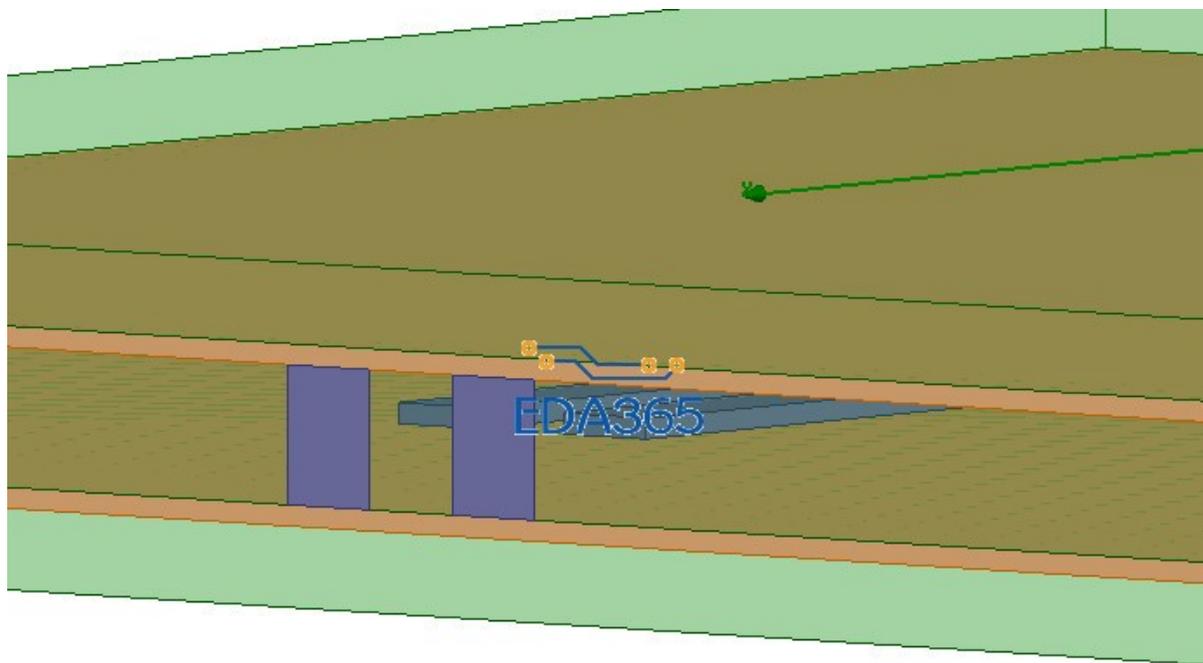
最后再啰嗦下，我个人觉得能用 **wave port** 就用 **wave port**，毕竟支持端口平移和端口阻抗计算，实在没法用的情况下再用 **lumped port**。另外 **lumped port** 只考虑单次模情况，忽略了可能会激发出来的高次模情况。

来一张表格，大家能看的对比很清楚些，图 4。

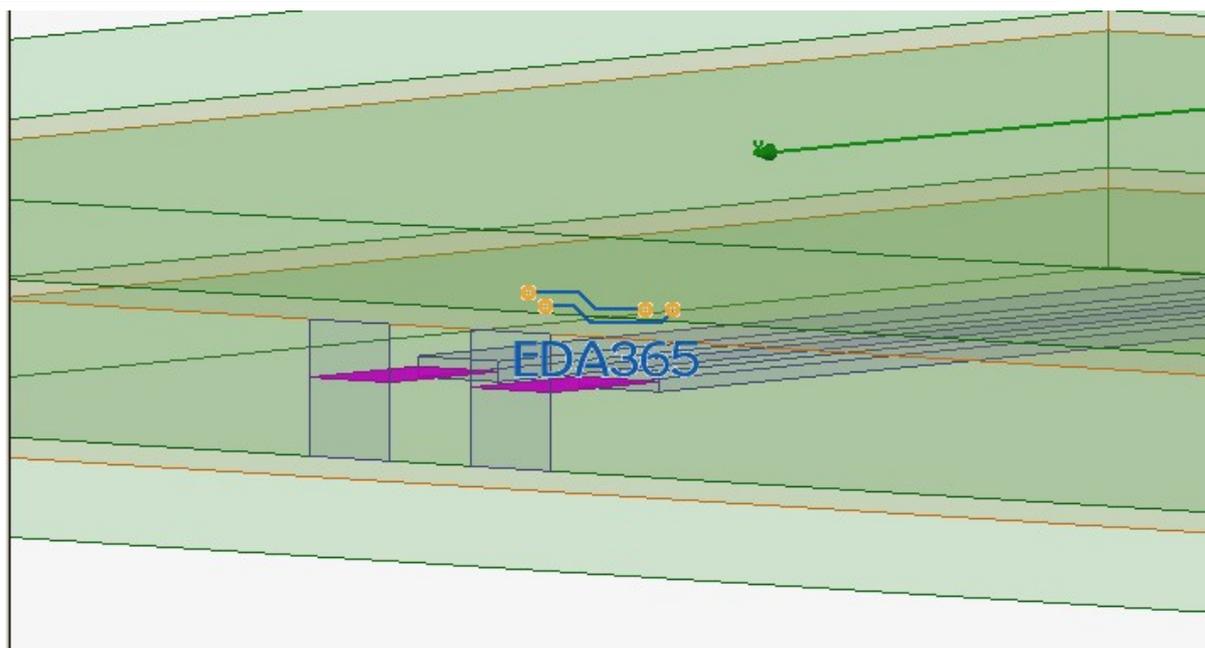
| <b>lumped port</b> | <b>wave port</b>     |
|--------------------|----------------------|
| 加在一个点或者一个面上        | 加载一个横截面（剖面上）         |
| 需要指定导体和参考平面        | 在某些情况下不需要指定参考平面      |
| 端口阻抗一般为设为 50 欧为一定值 | 端口阻抗可以设为归一化某个值或者非归一化 |
| 可以加在材料不连续区域或者结构内部  | 只能只应用于暴露在背景中的表面      |
| 没有端口平移操作           | 可以进行端口平移操作           |
| 基于电压电流求解，只考虑单模情况   | 基于模态求解，可以考虑激发出的高次模情况 |

#### 4.带状线下 lumped port

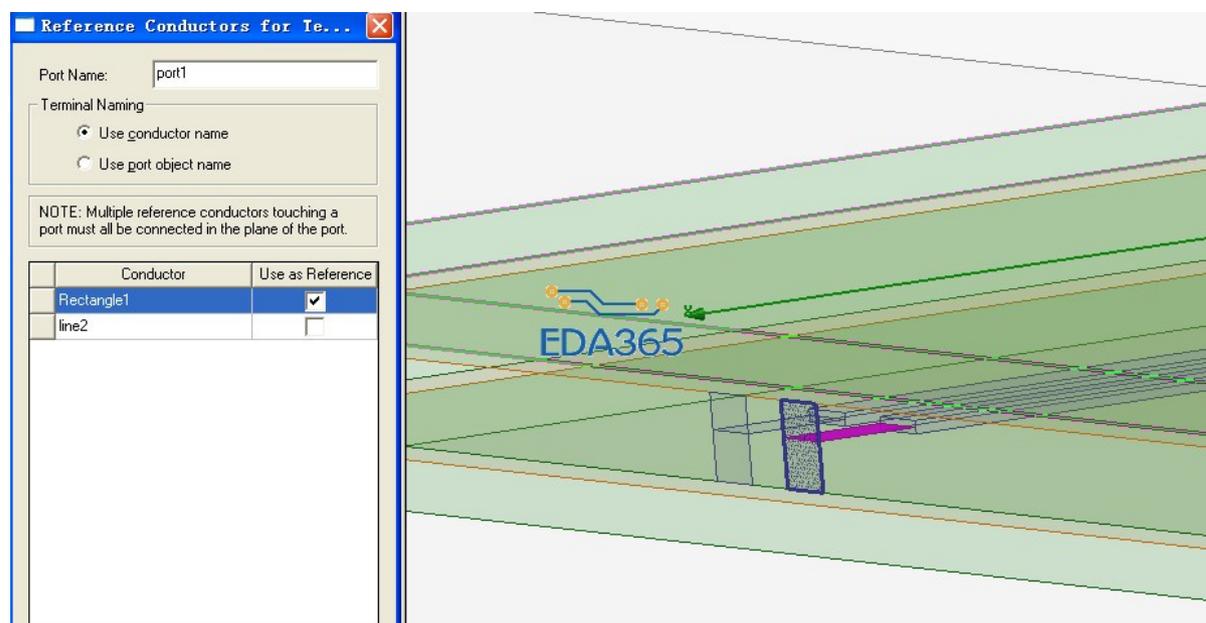
带状线下 lumped port 比较特殊点，因为有两个参考平面。最好下 port 之前将导体内缩一点以便下 port，也就是说导体的边界比参考平面稍微短一点，然后在参考平面间画一个 sheet，上下边必须要同时接触到两个参考平面，如图 11 所示，然后选中该 sheet 点右键选择“assign boundary”里的“Perfect E”设为理想电边界。



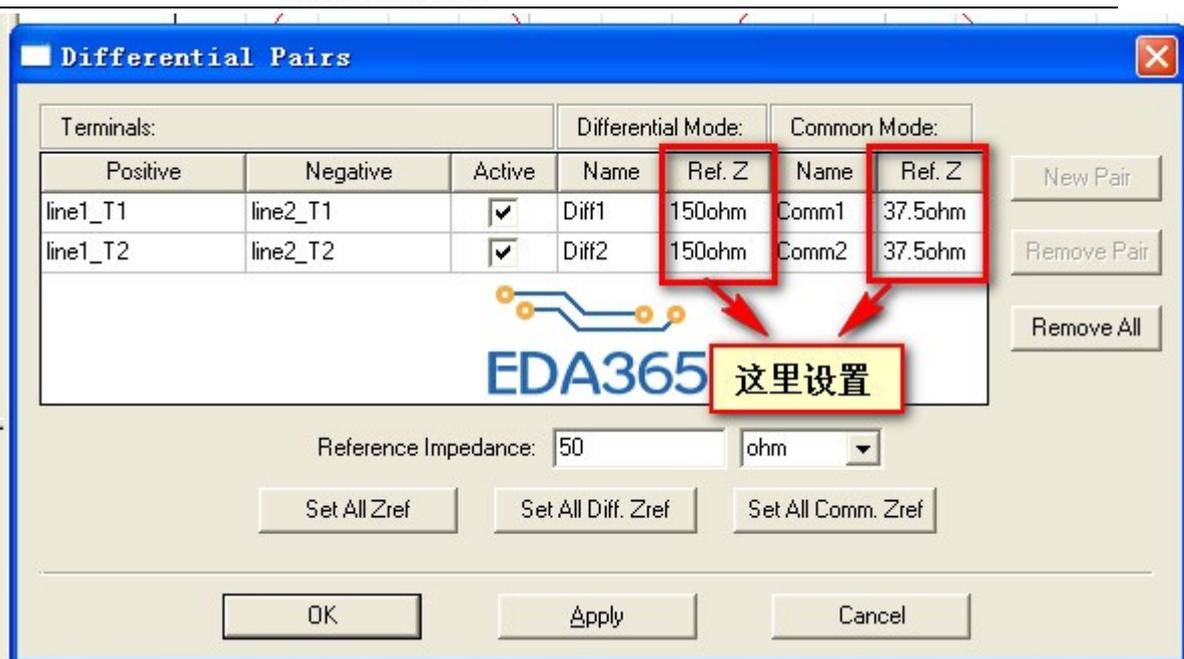
接着类似于微带线下 lumped port 的做法，再画一个 sheet，平行于参考平面，且垂直并接触导体和刚才设置的理想电边界，如图 12 所示。



选中刚才所画的 sheet，点右键选中则“assign excitation”里的“lumped port”然后在对话框里选好参考平面（刚才设置的理想电边界）就 OK 了，如图 13。



然后在图 21 所示的红框里修改差分阻抗和共模阻抗就 OK 了。



对于 lumped port 来说操作方法和 wave port 类似, 这里就不重复说明了。

总结一下归一化的内容:

- 1.S 参数的值会随着端口阻抗的变化而变化, 但是每一种情况下的 S 参数都可以正确的描述网络特性
- 2.S 参数归一化是为了满足某些特定场合的需求
- 3.wave port 非归一化时在整个频带内端口处都是匹配的, 得到的是没有端口间的相互作用的 S 参数。

## 微波 EDA 网视频培训课程推荐

微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))成立于 2004 年底,并于翌年与易迪拓培训合并,专注于微波、射频和硬件工程师的培养,现已发展成为国内最大的微波射频和无线通信人才培养基地。先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,成功推出了多套微波射频经典培训课程和 ADS、HFSS 等软件的使用培训课程,广受工程技术学员的好评,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。



### HFSS 中文视频培训课程套装

国内最全面和专业的 HFSS 培训教程套装,包含 5 套视频教程和 2 本教材,李明洋老师讲解;结合最新工程案例,视频操作演示,让 HFSS 学习不再难。购买套装更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,让您花最少的成本,以最快的速度自学掌握 HFSS... 【[点击浏览详情](#)】

### 两周学会 HFSS —— 中文视频教程

李明洋主讲,视频同步操作演示,直观易学。课程从零讲起,通过两周的课程学习,可以帮助您快速入门、自学掌握 HFSS,真正做到让 HFSS 学习不再难... 【[点击浏览详情](#)】

### HFSS 微波器件仿真分析实例 —— 中文视频教程

HFSS 进阶培训课程,中文视频,通过十个 HFSS 仿真设计工程应用实例,带您更深入学习 HFSS 的实际应用,掌握 HFSS 高级设置和应用技巧... 【[点击浏览详情](#)】

### HFSS 天线设计入门 —— 中文视频教程

HFSS 是天线设计的王者,该教程全面解析了天线的基础知识、HFSS 天线设计流程和详细操作设置,让 HFSS 天线设计不再难... 【[点击浏览详情](#)】

### PCB 天线设计和 HFSS 仿真分析实例 —— 中文视频教程

详细讲解了 PCB 天线的工作原理和设计方法、如何使用 HFSS 来设计分析 PCB 天线,以及如何借助于 Smith 圆图工作来调试天线的匹配电路,改善天线性能... 【[点击浏览详情](#)】

了解详情,请查看微波 EDA 网 ([www.mweda.com/eda/hfss.html](http://www.mweda.com/eda/hfss.html))

## 微波射频测量仪器培训课程套装合集



搞射频微波，不会仪器操作怎么行！矢量网络分析仪、频谱仪、示波器、信号源是微波射频工程师最常用的测量仪器。该培训套装集合了直观的视频培训教程和详尽的图书教材，旨在帮助您快速熟悉和精通矢网、频谱仪、示波器等仪器的操作…【[点击浏览详情](#)】

## Agilent ADS 学习培训课程套装

国内最全面和权威的 ADS 培训教程，详细讲解了 ADS 在微波射频电路、通信系统和电磁仿真设计方面的应用。课程是由具有多年 ADS 使用经验的资深专家讲解，结合工程实例，直观易学；能让您在最短的时间内学会 ADS，并把 ADS 真正应用到研发工作中去…【[点击浏览详情](#)】



### 我们的课程优势：

- ※ 成立于 2004 年，一直专注于射频工程师的培养，行业经验丰富，更了解您的需求
- ※ 视频课程、既能达到现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深专家主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学
- ※ 更多实用课程，欢迎登陆我们的官方网站 <http://www.mweda.com>，或者登陆我们的官方淘宝店 <http://shop36920890.taobao.com/>