

# 前言

Tune Matching 的方法有許多，有利用單獨供電給 PA，直接在 Active 情況下 Tune Matching 的方式[1]，但是這方法要有兩個條件：

1. 能够正常通话
2. 能进入非信令模式

然而 Tune Matching 的工作，多半都是在第一版 PCB 就要完成(因為第二版 PCB 就要直接送認證)，但是依個人經驗，通常第一版 PCB，軟體可能尚未 Ready，正常通話？进入非信令模式？再等等唄。

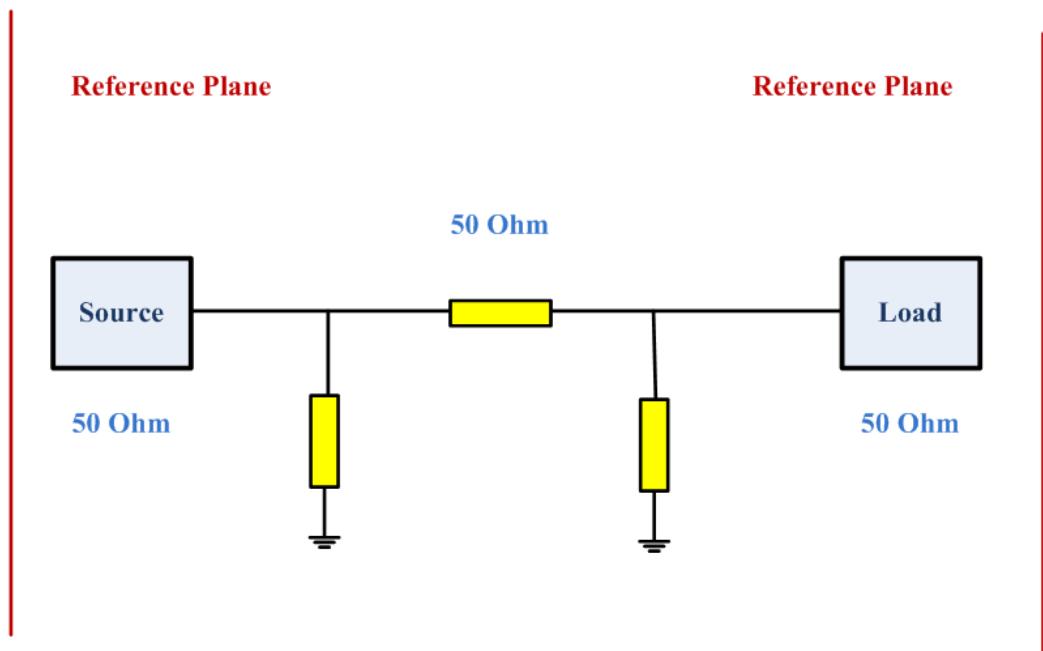
因此個人較偏好利用 Passive 方式 Tune Matching，你只要有板子就能進行，不必等到軟體 Ready。

由於 GSM 跟 WCDMA 是手機的核心，故個人以這兩個功能的 Tx/Rx Matching 來做說明。

## 基本原理：

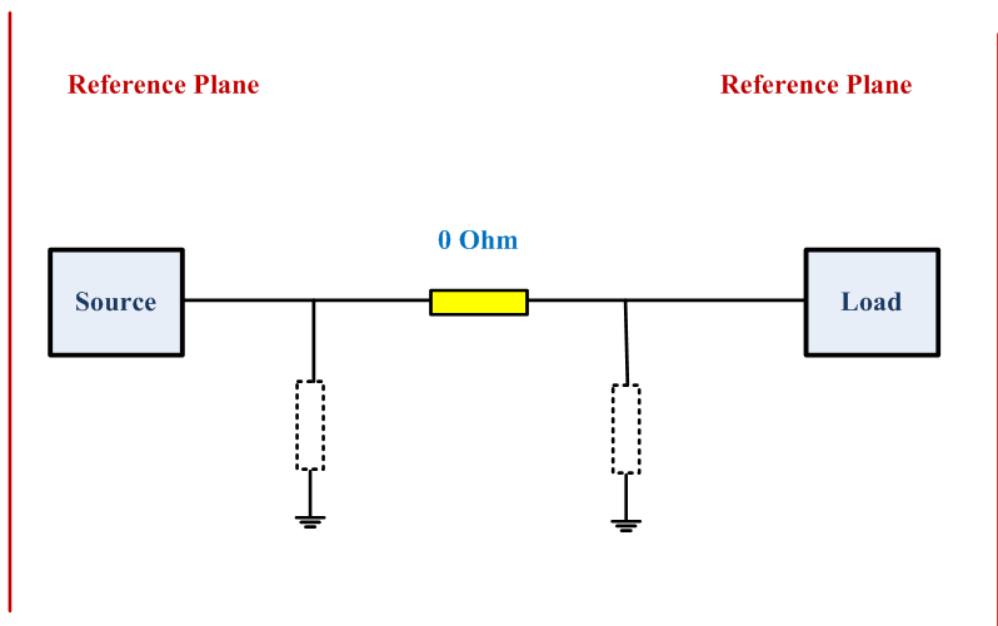
最理想情況，當然是希望 Source 端的輸出阻抗為 50 歐姆，傳輸線的阻抗為 50 歐姆，Load 端的輸入阻抗也是 50 歐姆，一路 50 歐姆下去，這是最理想的。

但是，板廠的製程，在 Trace 的線寬，以及對地間距，一定會有誤差，這導致 Trace 的阻抗，未必是 50 歐姆，所以要靠 Matching 把阻抗 Tune 到 50 歐姆。所以通常就算對於阻抗控制再有信心，也會留 Dummy pad，以備不時之需。



## Matching 步驟：

先把落地元件拔掉，串聯元件用 0 歐姆電阻，目的是要知道 PCB Trace 最原始的阻抗為多少，接下來才能利用 Smith Chart 跟 Matching 元件，把阻抗 Tune 到 50 歐姆。

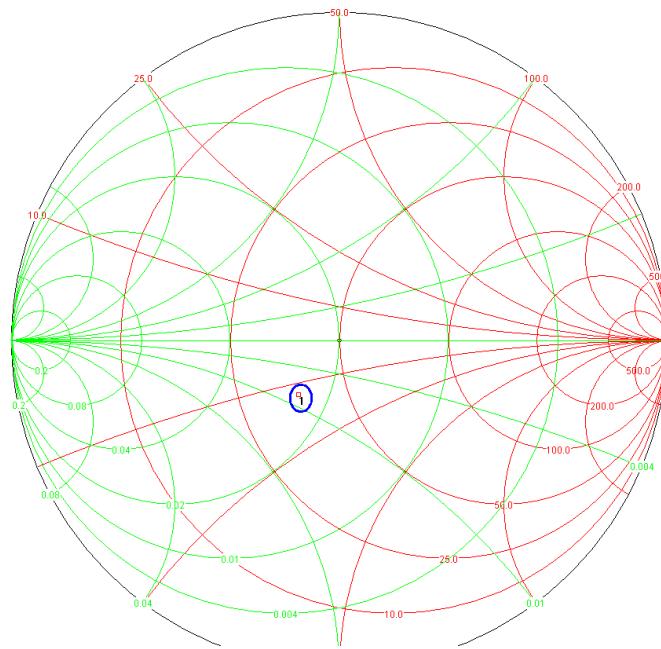


Q. 我可以直接用焊錫 Short，來代替 0 歐姆電阻嗎？這樣比較省事。

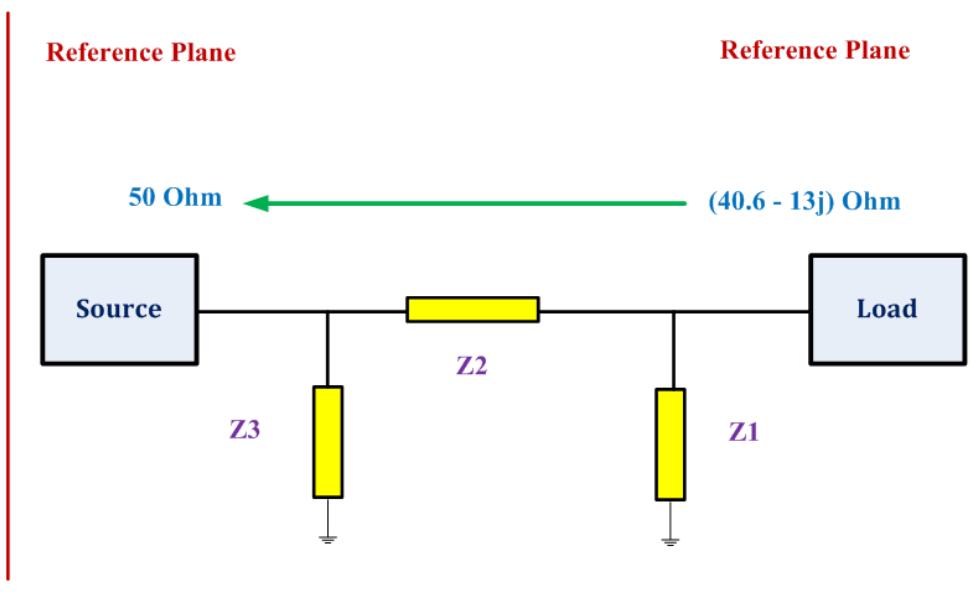
答案是不行，因為雖然以電路觀點，都是 Short，但是以高頻觀點，利用焊錫這種 Distributed 方式，會有寄生效應，連帶使得你量出來的阻抗會不準。

零件換好後，先把網路分析儀做校正，再將銅管作 Port extension，如此便可開始量阻抗。

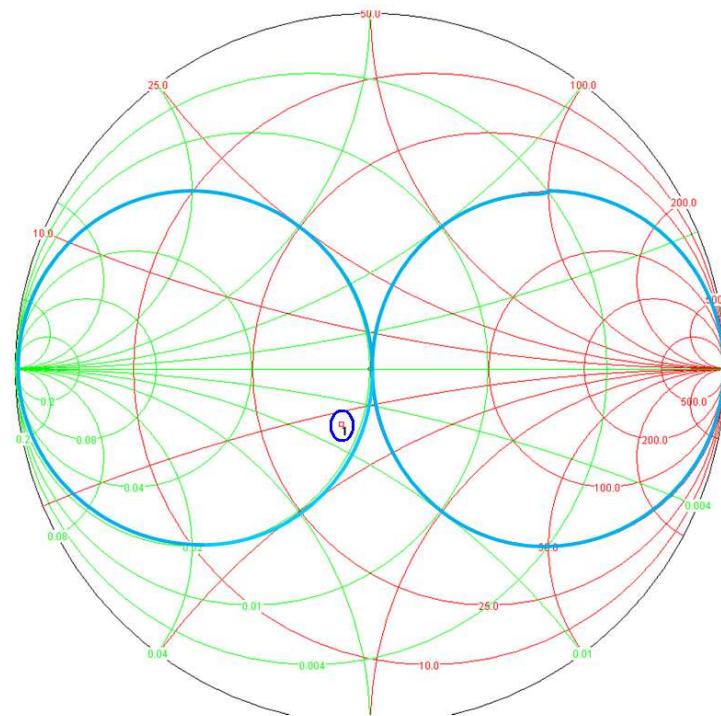
我們發現 PCB Trace 最原始的負載阻抗為  $(40.6 - 13j)$  歐姆，接下來就是利用 Smith Chart，將負載阻抗 Tune 到 50 歐姆。



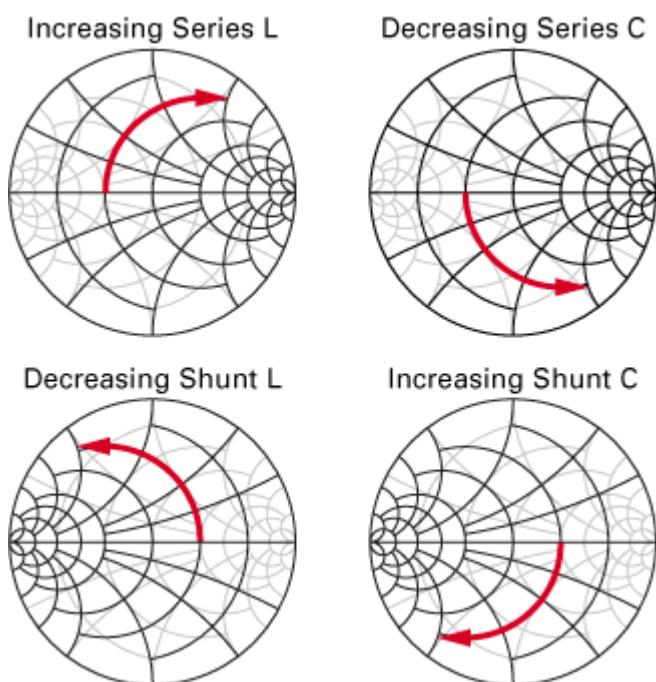
也就是要把負載阻抗，依序透過  $Z_1, Z_2, Z_3$ ，把阻抗由  $(40.6 - 13j)$  歐姆，Tune 成 50 歐姆。



首先要把阻抗，弄到通過 50 歐姆的 Z-plane/Y-Plane 圓周上，也就是下圖兩個藍色圈圈的圓周上，

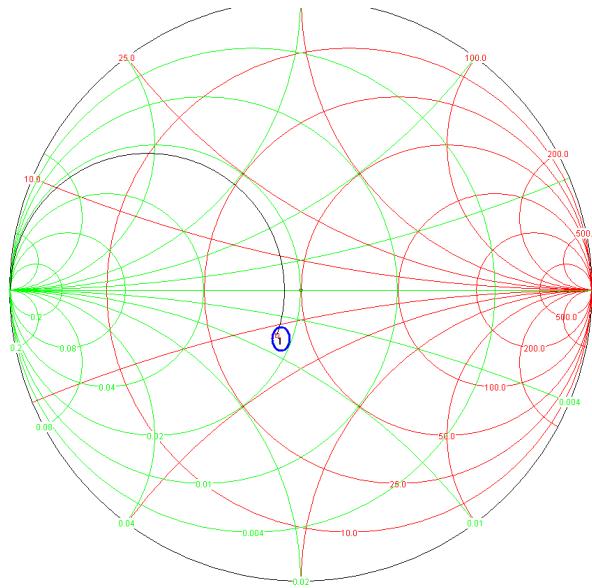


而下圖是串電感、串電容、並電感、並電容的軌跡。

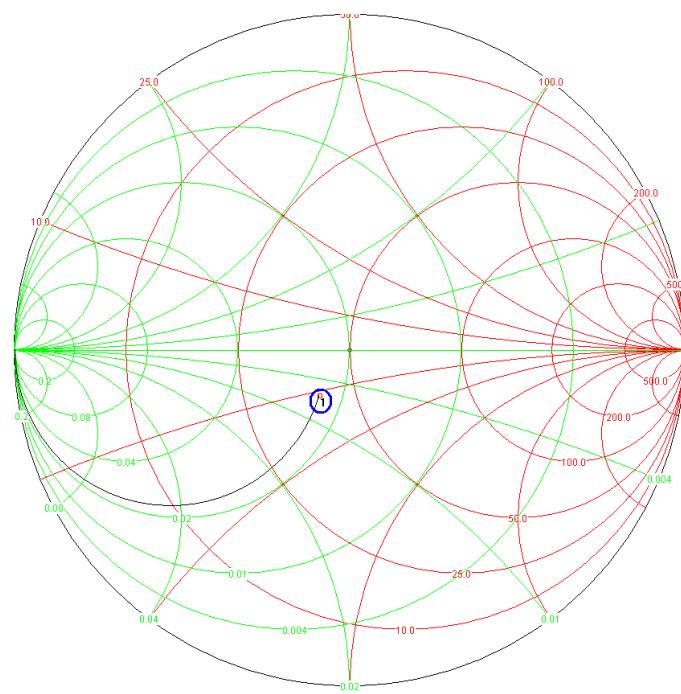


因為 Z1 是落地元件，所以透過並聯方式，將阻抗弄到通過 50 歐姆的 Z-plane/Y-Plane 圓周上。

但是我們發現，不管是並電感，

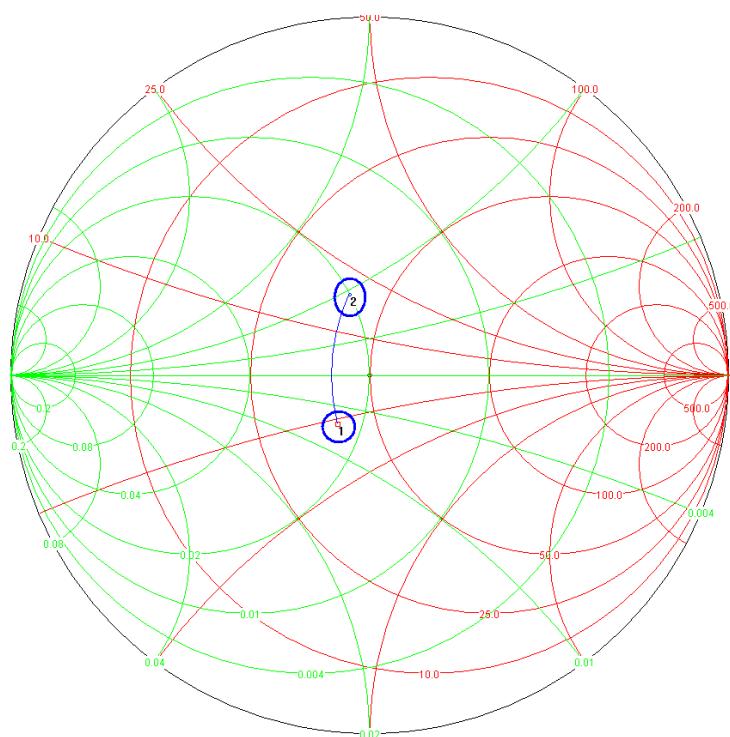


或是並電容，

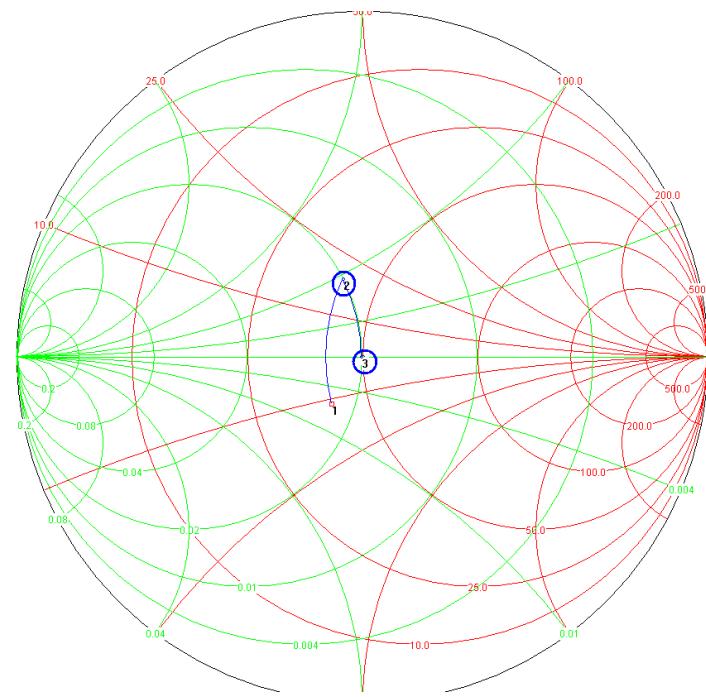


其阻抗都跑不到我們要的圓周上，因此 Z1 就直接 Dummy。依此類推，若往後遇到 T 型 Matching，Z1 為串聯元件，但串電容跟串電感都跑不到我們要的圓周上時，這時 Z1 就放 0 歐姆。

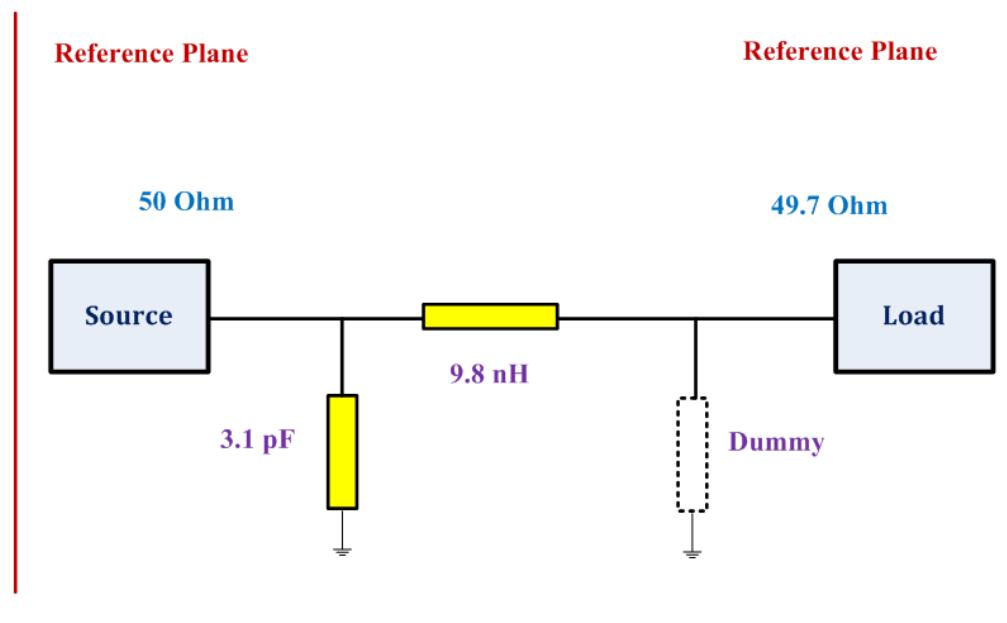
而 Z2 是串聯元件，利用串  $9.8\text{nH}$  的電感，將阻抗弄到了我們要的圓周上，此時阻抗為  $(40.4 + 19.3j)\text{歐姆}$ 。



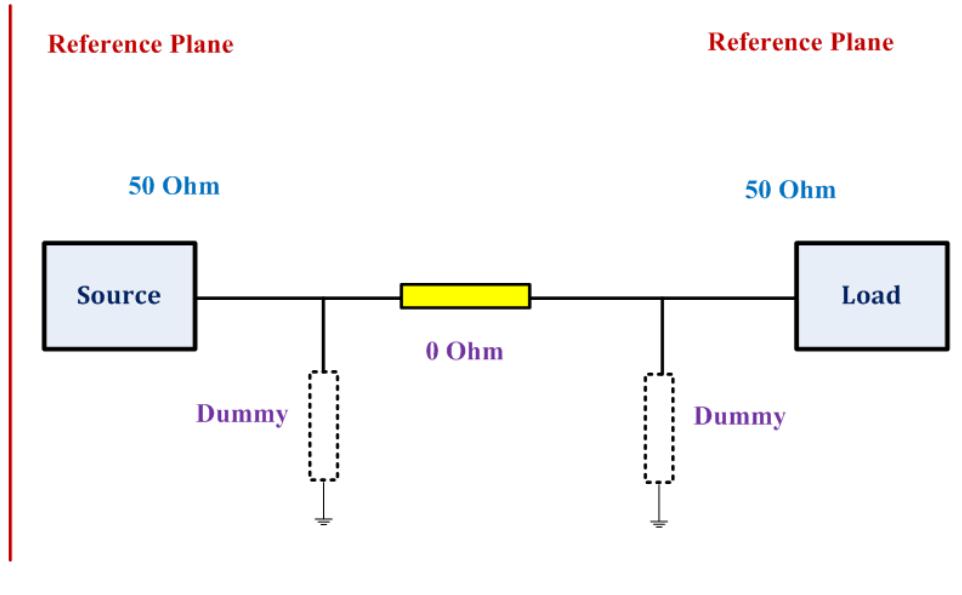
最後 Z3 又是落地元件，因此並一個 3.1pF 的電容，使阻抗跑到 $(49.7 + 0j)$ 歐姆。



因此我們利用串  $9.8\text{nH}$ ，並  $3.1\text{pF}$  的組合，將負載阻抗由原始的 $(40.6-13j)$ 歐姆，Tune 成了  $49.7$  歐姆。



Q. 如果我阻抗控制制作的相當好，不需任何 Matching 元件就有 50 歐姆，我可以  
在下一版 PCB 拿掉這些 Matching 元件嗎？



答案當然是可以，好處有三：

1. 減少零件，便可 Cost Down
2. 減少零件，降低 SMT issue 的風險
3. 減少零件，降低 Insertion Loss

第 3 點對於 GPS 尤其重要，我們由 Noise Figure 的公式：

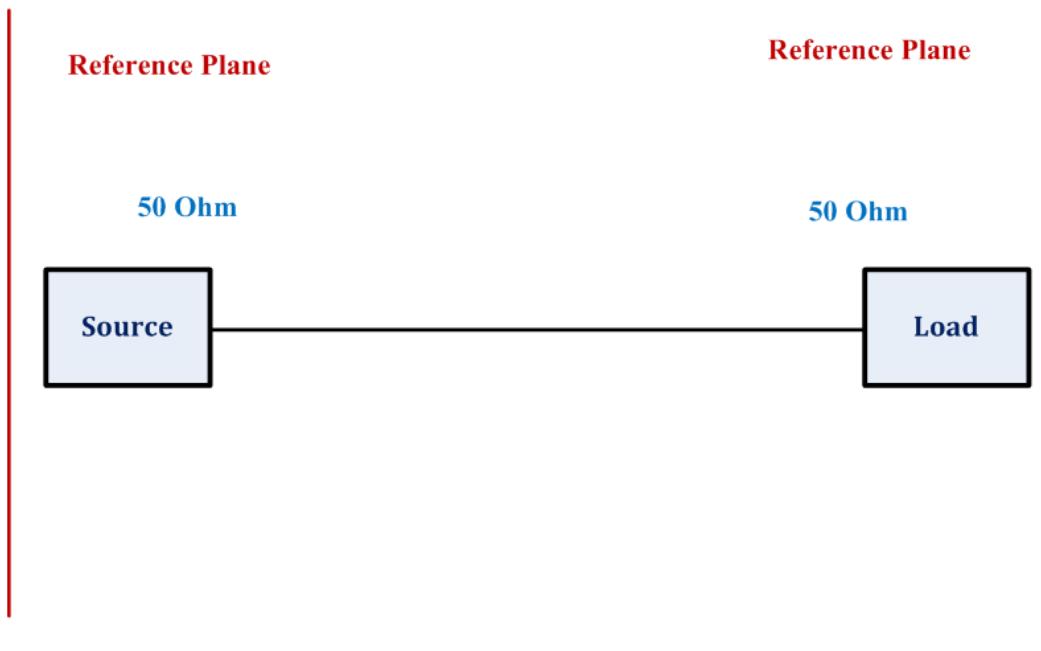
$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3} + \cdots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 G_3 \cdots G_{n-1}},$$

發現 GPS LNA 前的 Noise Figure，幾乎決定了整體電路的 Noise Figure。

換句話說，若 LNA 前的 Noise Figure 不好，那麼 C/N 值跟 Sensitivity，注定不會好，因此要想辦法將 LNA 前的 Loss 降到最低。而 Loss 來源有二：

1. Mismatch Loss
2. Insertion Loss

若阻抗控制得相當好，等同於幾乎沒有 Mismatch Loss，若能將這些 Passive 的 Matching 元件拿掉，便可更進一步降低 Insertion Loss。即便是 0 歐姆電阻，仍有些微的 Insertion Loss，更何況 GPS 接收的是-150 dBm 極微弱的訊號，些微的 Insertion Loss，對於 C/N 值跟 Sensitivity，已有相當的影響。因此若阻抗控制作的相當好，建議下一版 PCB 就直接用 Microstrip 連過去。



## Matching 原則：

至於 Matching 的原則，一般而言有五項：

1. 電感/電容值，不要過小
2. 落地電容值，不要過大
3. 電感/電容值，不要過於冷門
4. 盡可能設計成 Low Pass Filter
5. 整個頻帶的阻抗軌跡盡可能收斂

電感/電容值之所以不要過小，原因是維持 Matching 的穩定性，因為電感/電容值會有誤差，以電容為例子，差不多會有正負 0.1pF 的誤差，如果是一個容值為 0.3pF 的電容，則誤差高達 33%，其容值範圍為 0.2pF ~ 0.4pF，這可能會導致每片 PCB 的 Tx/Rx Performance 不一致，進而影響工廠量產時的良率。

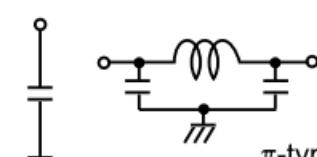
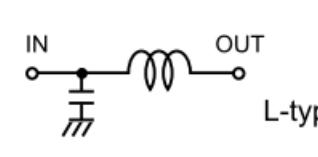
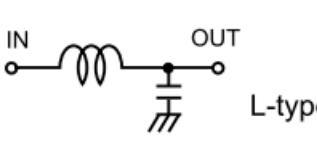
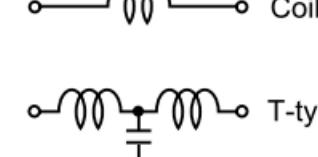
落地電容值之所以不要過大，是因為依照容抗公式：

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

電容值越大，容抗越小，因此落地電容值過大，則反而可能會讓訊號都流到 GND。

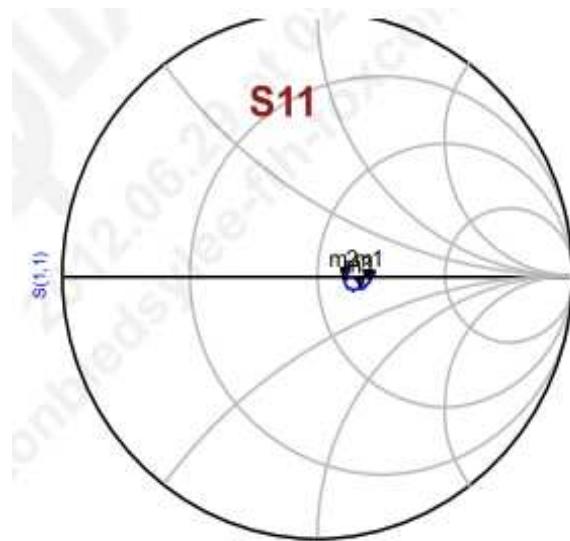
電感/電容值，不要過於冷門，原因是方便備料，因為若是常見的值，則所有廠家都會有，量產過程中，若 First Source 的廠家缺料，還可馬上找 Second Source 的廠家。

至於盡可能設計成 Low Pass Filter，原因是這樣可以抑制諧波。而 Low Pass Filter 的組合如下：

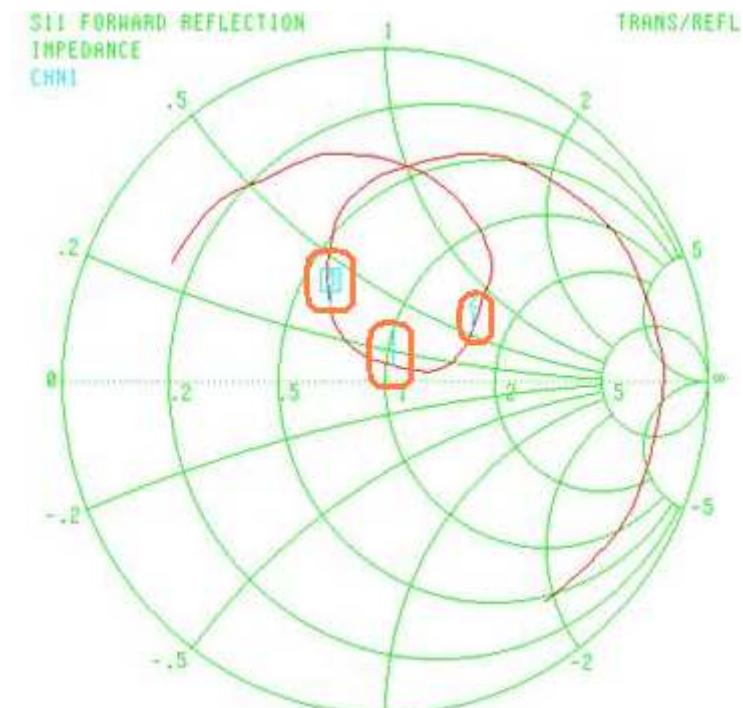
		Output impedance ( $Z_o$ )	
		High	Low
Input impedance ( $Z_i$ )	High	 Capacitor	 $\pi$ -type
	Low	 L-type	 T-type

第五項是最重要的原則，上述步驟，是以單一頻率點來做 Matching，但最後要看整個頻率範圍內的 Smith Chart 軌跡，才能決定該 Matching 值可否採用。

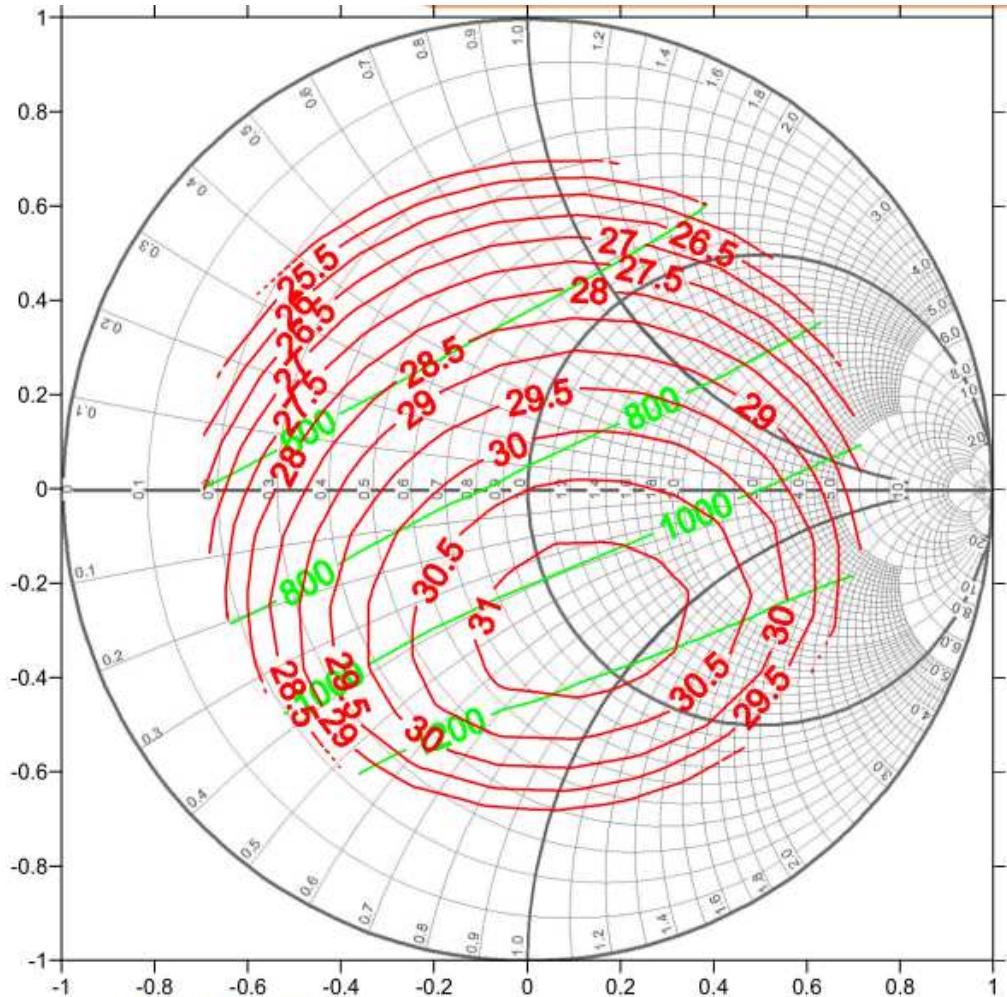
以 DCS band 為例，Tx 頻率範圍為 1710 MHz ~ 1785 MHz，因此作 Tx Matching 時，盡可能希望 1710 MHz ~ 1785 MHz 的阻抗，都能收斂在 50 歐姆附近。



而不要像下圖一樣，Low/Mid/High Channel 的阻抗，都不相同。



因為以 Load Pull 的觀點，不同的阻抗點，會導致不同的輸出功率。阻抗相差越多，則輸出功率也相差越多，造成輸出功率不平坦。



而以 Rx Matching 觀點而言，阻抗離 50 歐姆越遠，則 Mismatch Loss 越大，即 Sensitivity 越差，因此若無法 Low/Mid/High Channel 的阻抗，都收斂在 50 歐姆附近，則會導致 Sensitivity 不平坦。

所以 Tune Matching 時，可以先以 Mid Channel 的頻率點，作單一頻率點的 Matching，因為 Low/ High Channel，並不是每個測項都會測，但 Mid Channel 每個測項都會測，所以要先確保 Mid Channel 的阻抗有到 50 歐姆，再使 Low/High Channel 的阻抗，也收斂到 50 歐姆附近。

雖然 Matching 的組合，有 L 型、T 型、 $\pi$  型，但 T 型/  $\pi$  型的阻抗收斂效果，會比 L 型來得好，因此若 Low/High Channel 的阻抗，離 50 歐姆較遠，便可利用 T 型/  $\pi$  型的 Matching，把 Low/High Channel 的阻抗 Tune 到 50 歐姆。

**Q. 但以上面例子而言，一開始的 Z1 是落地元件，並不能幫我把原始負載阻抗 Tune 到 50 歐姆，因此若硬要用  $\pi$  型，可能 50 歐姆 Matching 的效果還不如 L 型來得好。**

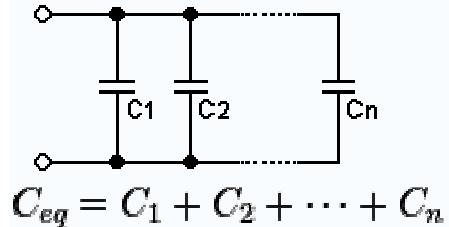
這問題分兩個層面探討，

首先，雖說 T 型/  $\pi$  型的阻抗收斂效果，比 L 型來得好，但不是說非用不可。如果用 L 型，其 Low/High Channel 的阻抗，已收斂到 50 歐姆附近，那當然沒必要多增加一顆元件去做 T 型/  $\pi$  型。更甚至如果 Low/High Channel 的原始負載阻抗已經很收斂，第二版 PCB 當然就如之前所說，直接 Microstrip 連過去，更沒必要硬用 T 型/  $\pi$  型。

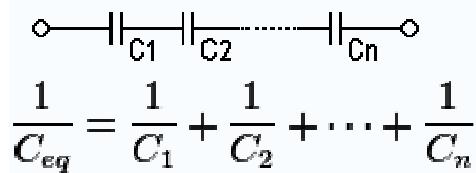
其次，如果 L 型在 Mid Channel 的 50 歐姆 Matching 效果比  $\pi$  型好，但 Low/High Channel 的阻抗卻不收斂，要如何在保有 L 型的 Matching 效果同時，還能進一步讓 Low/High Channel 的阻抗收斂呢？

先介紹四個簡單的電感/電容之串/並聯公式：

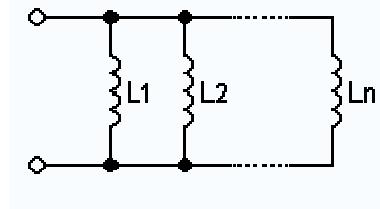
電容並聯：



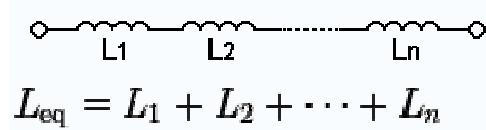
電容串聯：



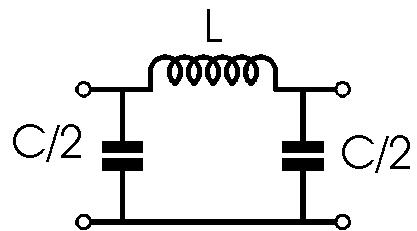
電感並聯：



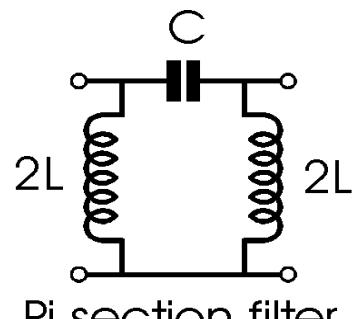
電感串聯：



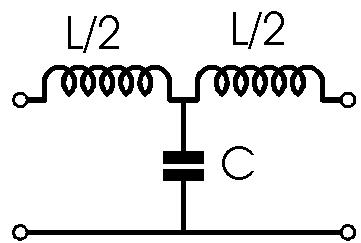
接著利用上述四個公式，將 L 型拆成 T 型/π 型。



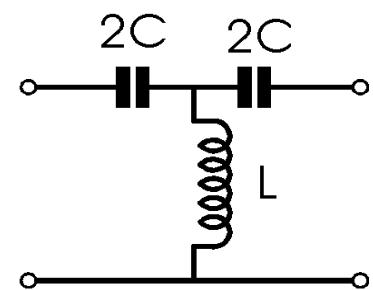
Pi section filter



Pi section filter



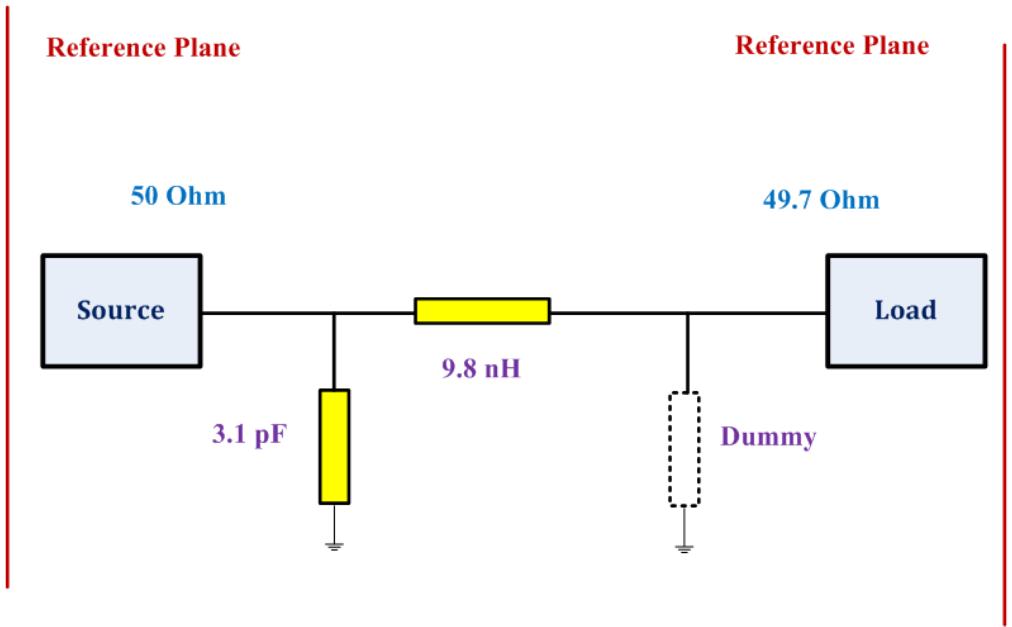
T section filter



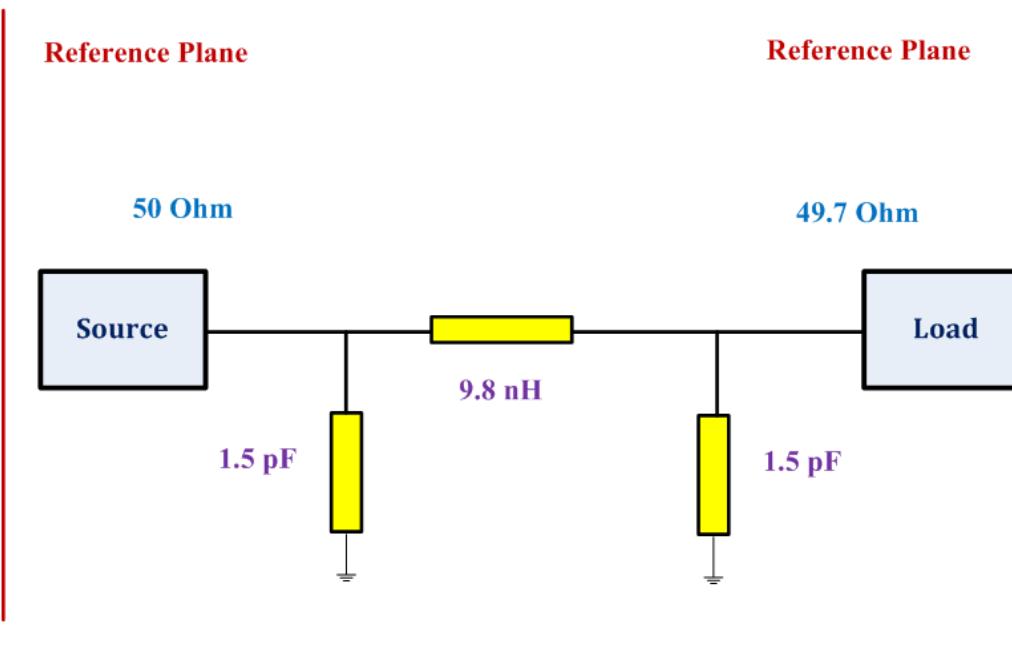
T section filter

在此注意電感不管是串聯還是並聯，都不要離太近，否則會因為互感，而使計算結果變得更將複雜，且不如預期。

因此若要將



拆成  $\pi$  型，則會變成：



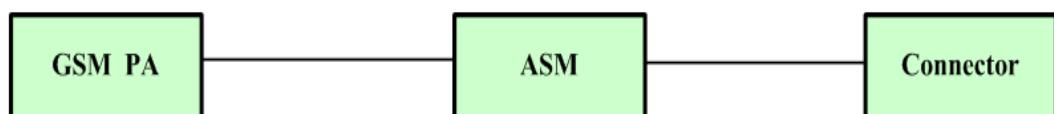
上述講到零件值不要太冷門，因為  $3.1\text{pF}$  是個很冷門的值，故真正採用時，會用  $3\text{pF}$ ，因此拆成  $\pi$  型，就變成兩個  $1.5\text{pF}$ 。

那要如何判斷零件值冷不冷門呢，簡單的判斷準則是找沒名氣的二線小廠商，跟他們要 Sample Kit，Sample Kit 裡面有出現的值，多半不會太冷門，可以不用擔心備不到料的問題。

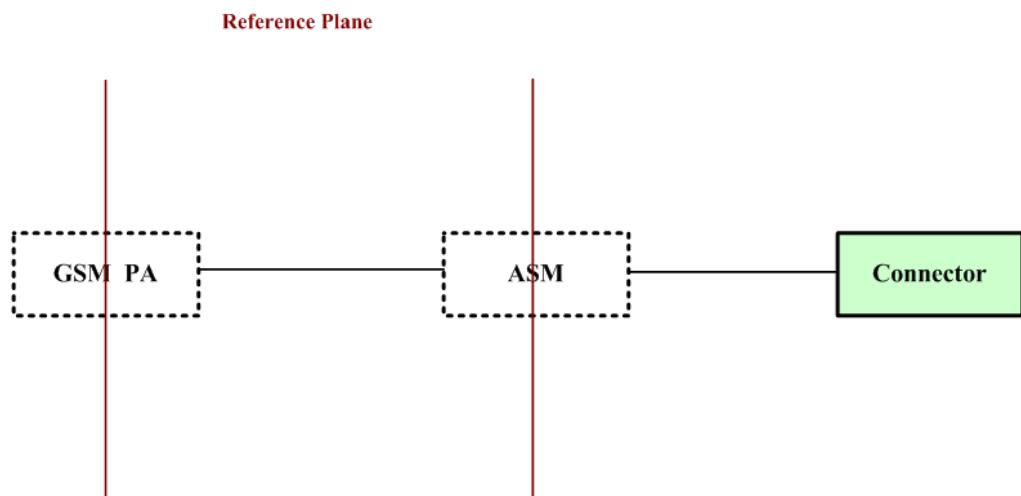
接下來，我們以 Block 的觀點，探討 GSM/WCDMA 的 Tx/Rx Matching。

## GSM Tx Matching

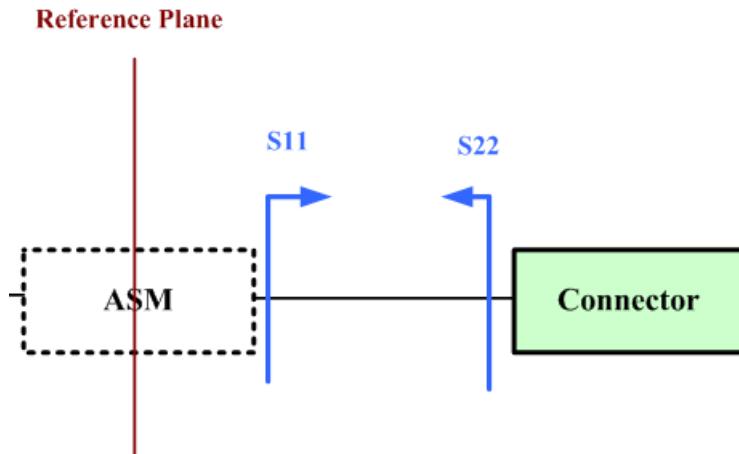
一開始板子會有這些零件，



然後，把 ASM 跟 GSM PA 拔掉。



Step 1. 把 Connector 跟 ASM 間的 S11 跟 S22 都盡量 Tune 成 50 Ohm



因為這段是影響 GSM/WCDMA 所有 Tx 跟 Rx，所以一旦有 50 Ohm，就直接 Fix 住，之後 Tune 其它 Band 或是 Rx，都不要動這段。

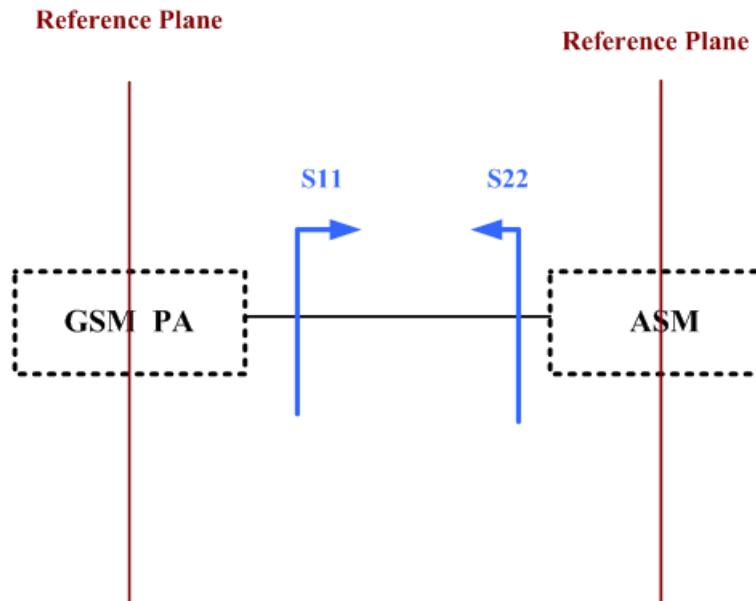
#### Q. 為啥 Connector 不用 Reference Plane ?

Ans :

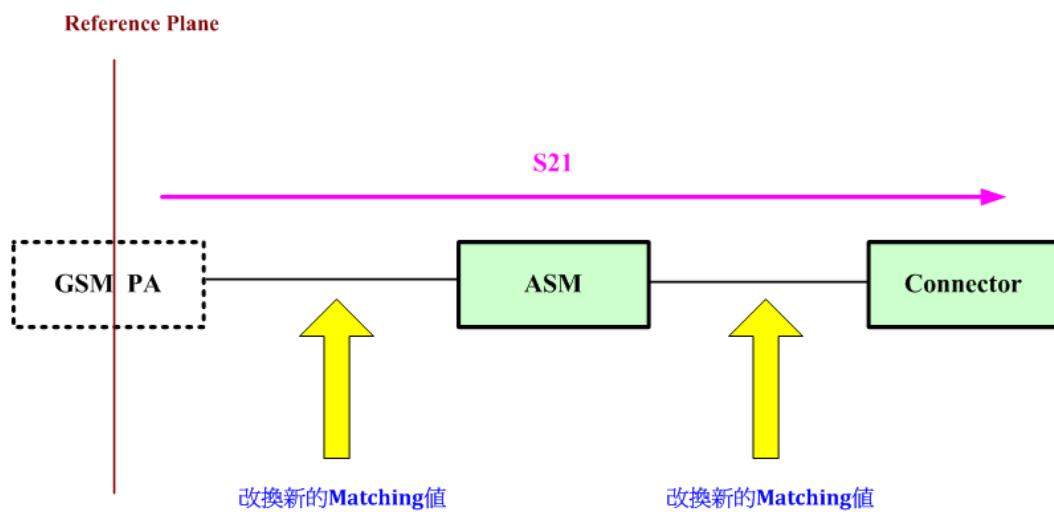
原因是當 Connector 端接上 RF Cable 時，其 Connector 與後面天線彈片間是 Open 的，此即為最佳的 Reference Plane 。



Step2. 再把 ASM 跟 GSM PA 間的 S11 跟 S22 都盡量 Tune 成 50 Ohm

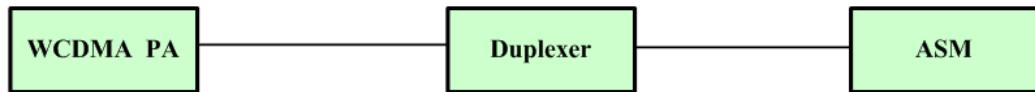


Step3. 拿另一塊板子，GSM PA 跟 ASM 都有 Mount 上去的，把 PA 拔掉，  
再把之前 Tune 的新 Matching 值換上去，並量測 GSM PA 到 Connector 的  
S21，這樣對於 PA chip out 到 Connector 會有多少 Loss，至少有個底。



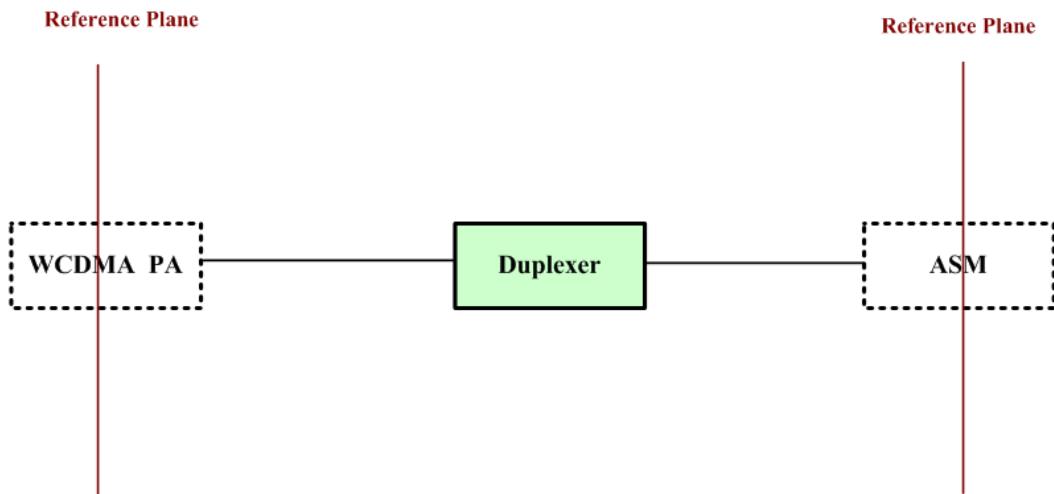
# WCDMA Tx Matching

一開始板子會有這些零件

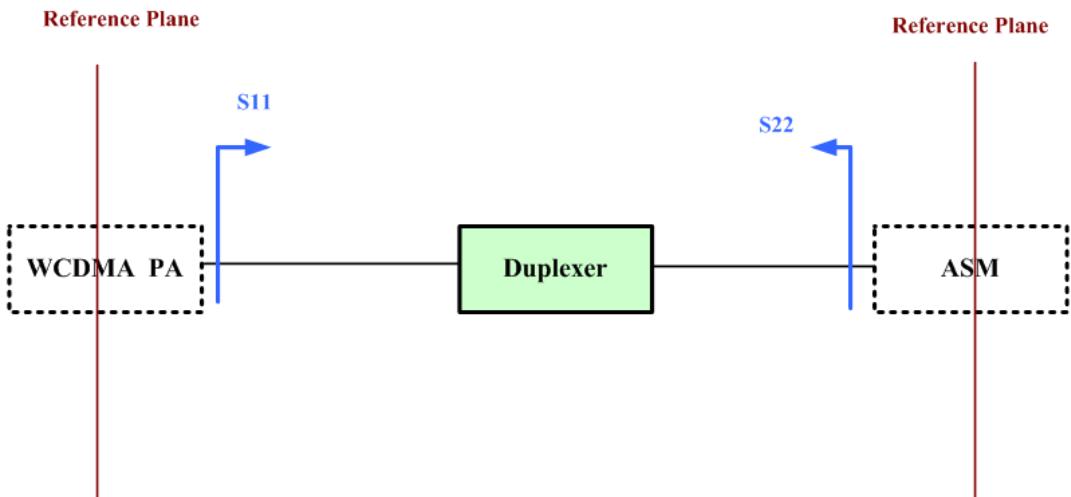


因為在 GSM 階段, ASM 到 Connector 已經 Tune 到 50 Ohm, 所以我們就 Fix 住,  
不再去動它

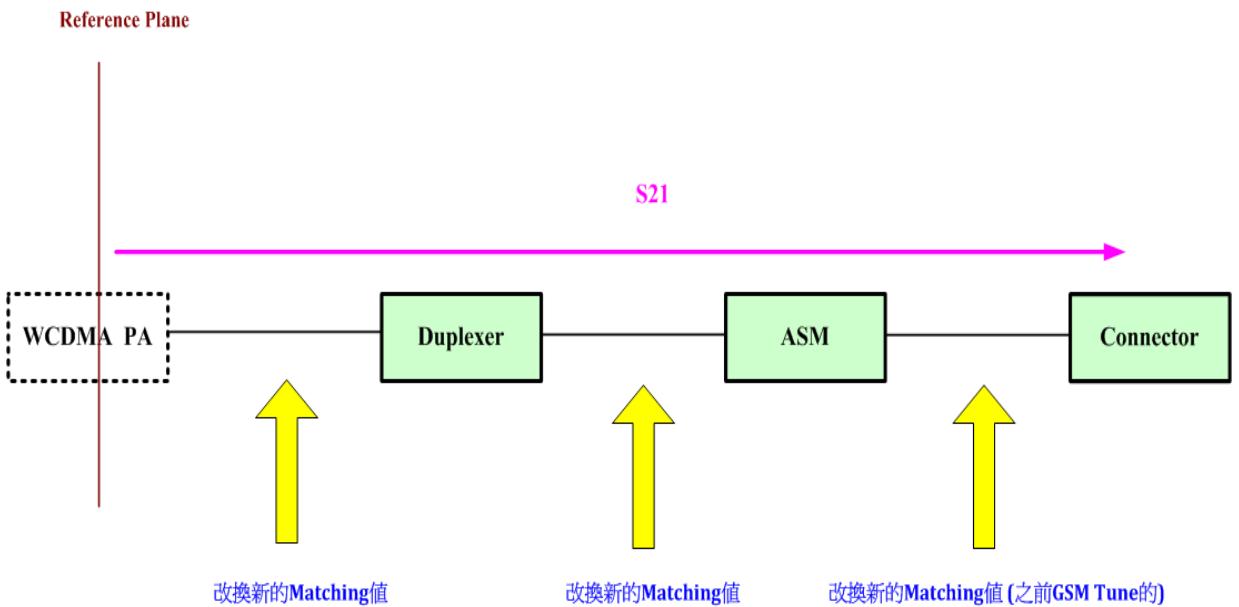
然後把 WCDMA PA 跟 ASM 拔掉



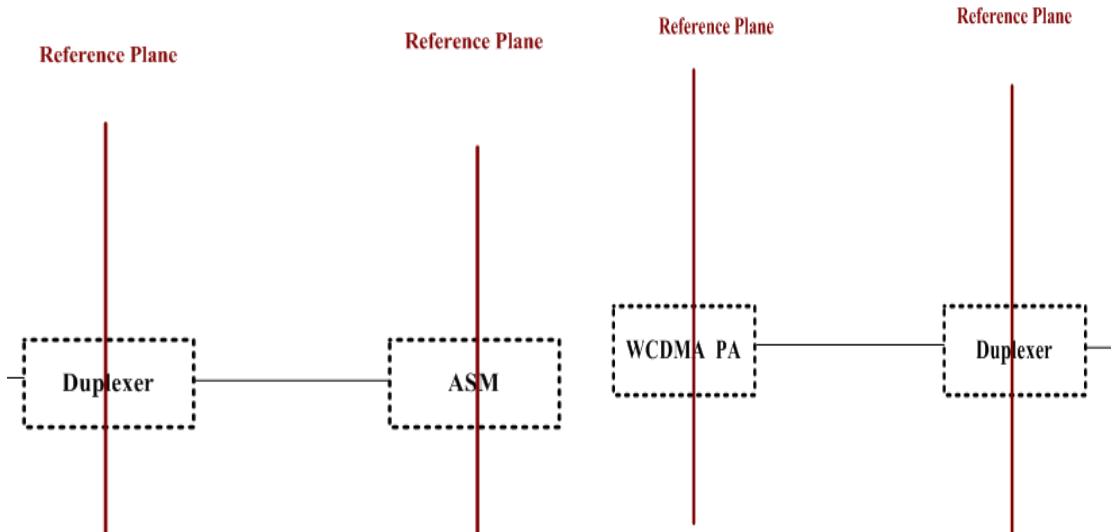
Step 1. 把 ASM 跟 WCDMA 間的 S11 以及 S22，盡量 Tune 成 50 Ohm



Step 2. 拿另一塊板子，所有零件都有 Mount 的，把 WCDMA PA 拔掉，  
並換上新的 Matching 值，然後量 WCDMA PA 到 Connector 的 S21，  
這樣對於 WCDMA PA Chip output 到 Connector 有多少 Loss，至少有個  
底。



Q. 為啥不是 ASM 到 Duplexer，以及 Duplexer 到 PA 分兩段作 Matching ?



Ans :

當然如果嚴謹一點，是必須這樣做。不過因為 Duplexer 本身也是 Passive 元件，同樣也是不必等軟體 Ready，有板子就能做 Matching，因此為節省時間，就直接 ASM 到 WCDMA 做一次 Matching 即可。

除非是發現 Matching Tune 不太動，因為 Duplexer 的 input & output 各有三顆元件，一共六顆元件，變數太多，這時就可以分段做 Matching，把變數先縮減為三個，以加速 Matching 進度。

## Q. 每個頻率點的 Load pull 都不同，為啥卻一律都 Matching 50 歐姆？

Ans :

因為方便省事。確實，對某些頻率點而言，50 歐姆的輸出功率未必最大，耗電流未必最小，諧波也未必最小。

但是，仔細觀察 Load pull 會發現，50 歐姆的輸出功率、耗電流、諧波，通常也不會差到哪裡去，就算不是最佳，也不至於差到無法接受。

除非是要對某個特性做最佳化，好比 Insertion Loss 太高（因為 Trace 線寬太細），希望有最大輸出功率。或是客戶對於通話時間很要求，希望有最小耗電流。又或者是 Harmonics 的 Performance Fail，希望有最小諧波。這時就必須專程把 Load Pull Tune 到特定的阻抗值。

## Q. 為啥 PA input 不做 Matching？

Ans :

也是為了方便省事。因為 PA 的 Load Pull，理論上是由 PA 的輸出阻抗決定，跟 PA 的輸入阻抗沒有關聯，就算有影響，其影響程度也很小，遠小於 PA 的輸出阻抗，除非在 Layout 上，PA 的 input 跟 output 靠太近，相互耦合，那麼 input 就會影響輸出阻抗，而能量大的 output，也會干擾能量小的 input。

再者，以 TQM6M4068 這顆 PA 為例 [2]，其 PA input 範圍為 0 dBm ~ 6 dBm，因此即便 PA input 不做 Matching，有 Mismatch Loss，但只要該 Loss 不至於讓 PA input 連低標 0 dBm 都沒有，那麼就不至於會有太大 issue。

**Q. 可是當 PA Mount 上去，且處於 Active 狀態時，PA output 看出去的 Load pull 還會是 50 歐姆嗎？會不會 Passive 時的 Load pull，跟真正 Active 時差很多？**

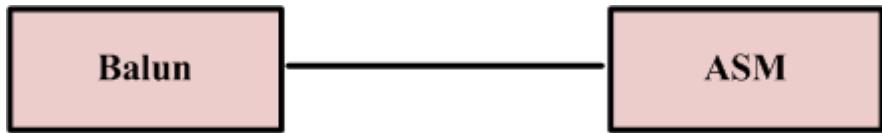
Ans :

坦白說，小弟並未比較過 Passive 與 Active 的 Load pull 比較，所以不知是否會差很多，但是依小弟經驗，如果 Passive 有 Tune 好，Active 時的 Performance 不至於差到哪去，就算有 Fail，也不太會是 Matching 因素。

況且，如果最後發現，該 Fail 真的與 Matching 有關，那麼再 Fine-tune 一下電感電容值即可（這時就直接硬 Tune 了，小弟只有在 Passive 時會看阻抗 Smith Chart，當軟體 Ready，可以 Active 時，就直接只看 Pretest 結果，Pass 就 Fix 住，Fail 就再繼續硬 Tune）。

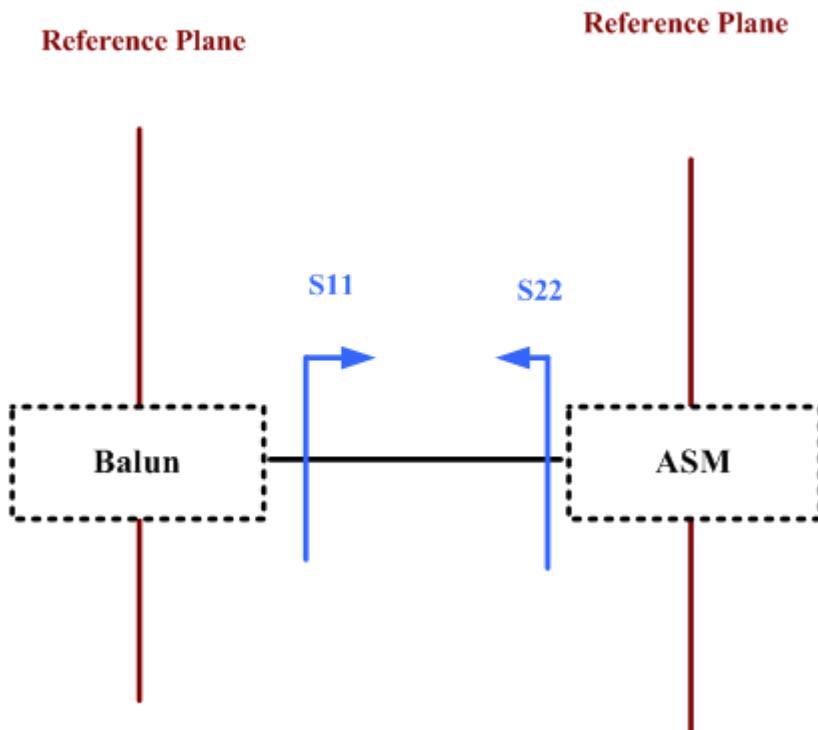
## GSM Rx Matching

一開始板子會有這些零件



前面說過了，ASM 到 Connector 的 Matching 已 Fix 住就不再動，故直接由 ASM 到 Balun 開始。

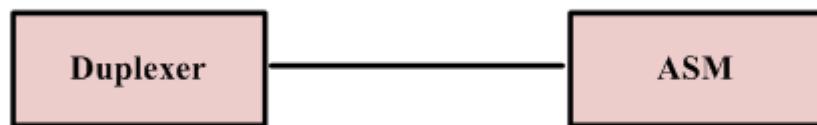
然後把 Balun 跟 ASM 拔掉，



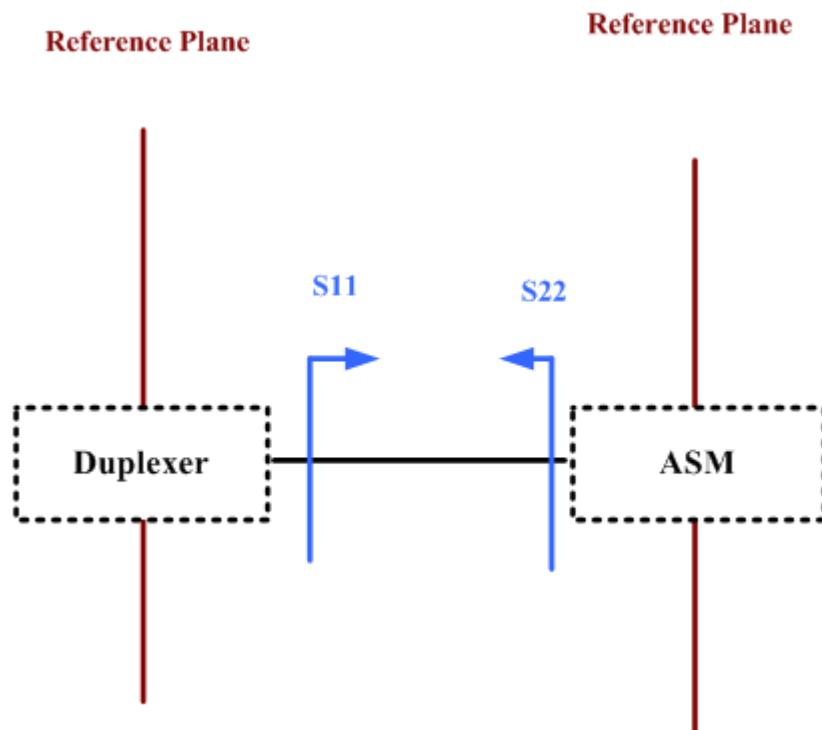
Tune 到 50 歐姆即大功告成。

## WCDMA Rx Matching

一開始板子會有這些零件



然後把 Duplexer 跟 ASM 拔掉，



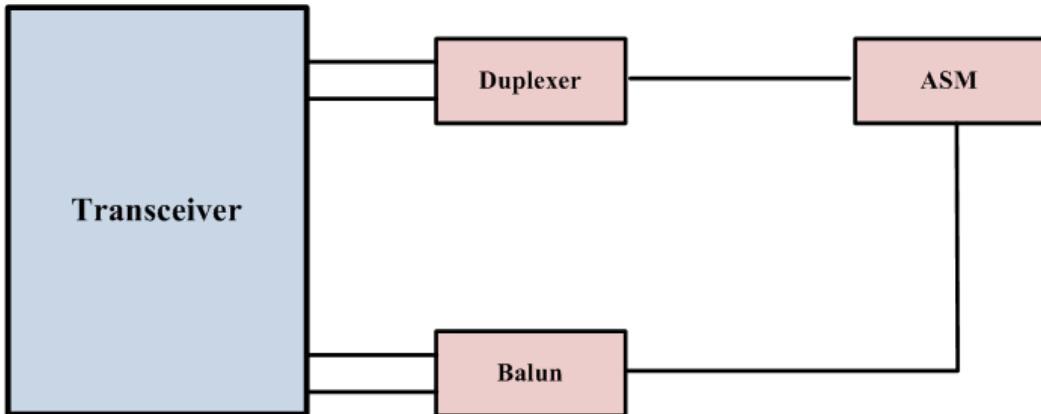
Tune 到 50 歐姆即大功告成。

**Q. Balun/Duplexer 到 Transceiver 這段不用 Tune 嗎？**

Ans :

當然要，因為這邊的 Matching 離 Transceiver 最近，對於 Sensitivity 有很大影響。

但是 Balun/Duplexer 到 Transceiver 這段，多半都是走 Differential，



因此若要 Tune Matching，不能像之前 Single-end 一樣，要先知道如何用 VNA 看 Differential 阻抗[3]，然後再 Tune Matching。過程比 Single-end 來得複雜，依個人經驗，小弟在完成 ASM 到 Balun/Duplexer 的 Passive Matching 後，接著等軟體 Ready，便直接硬 Tune 後端 Differential 的 Matching，直接只看 Sensitivity，若有達成目標，就 Fix 住，若沒有就繼續硬 Tune。

## Reference

- [1] 优化 RF3166 PA 效率之实例分析
- [2] TQM6M4068 Advance Data Sheet
- [3] Ordinary Vector Network Analyzers Get Differential Port Measurement Capability

## 射 频 和 天 线 设 计 培 训 课 程 推 荐

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并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，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。

易迪拓培训推荐课程列表：<http://www.edatop.com/peixun/tuijian/>



### 射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材；旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习，能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

### 手机天线设计培训视频课程

该套课程全面讲授了当前手机天线相关设计技术，内容涵盖了早期的外置螺旋手机天线设计，最常用的几种手机内置天线类型——如 monopole 天线、PIFA 天线、Loop 天线和 FICA 天线的设计，以及当前高端智能手机中较常用的金属边框和全金属外壳手机天线的设计，通过该套课程的学习，可以帮助您快速、全面、系统地学习、了解和掌握各种类型的手机天线设计，以及天线及其匹配电路的设计和调试…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/antenna/133.html>



### WiFi 和蓝牙天线设计培训课程

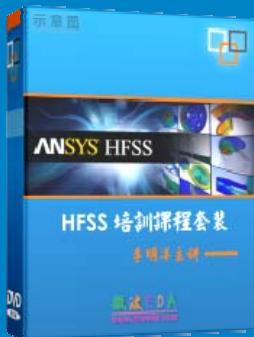
该套课程是李明洋老师应邀给惠普 (HP) 公司工程师讲授的 3 天员工内训课程录像，课程内容是李明洋老师十多年工作经验积累和总结，主要讲解了 WiFi 天线设计、HFSS 天线设计软件的使用，匹配电路设计调试、矢量网络分析仪的使用操作、WiFi 射频电路和 PCB Layout 知识，以及 EMC 问题的分析解决思路等内容。对于正在从事射频设计和天线设计领域工作的您，绝对值得拥有和学习！…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/antenna/134.html>

## CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出，是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装，所有课程都由经验丰富的专家授课，视频教学，可以帮助您从零开始，全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装，还可超值赠送 3 个月免费学习答疑…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



## HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程，是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装，可以帮助您从零开始，全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装，更可超值赠送 3 个月免费学习答疑，随时解答您学习过程中遇到的棘手问题，让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

## ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程，共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解，并多结合设计实例，由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS，迅速提升个人技术能力，把 ADS 真正应用到实际研发工作中去，成为 ADS 设计专家…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验，
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>