

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？進入非信令模式？再等等唄。

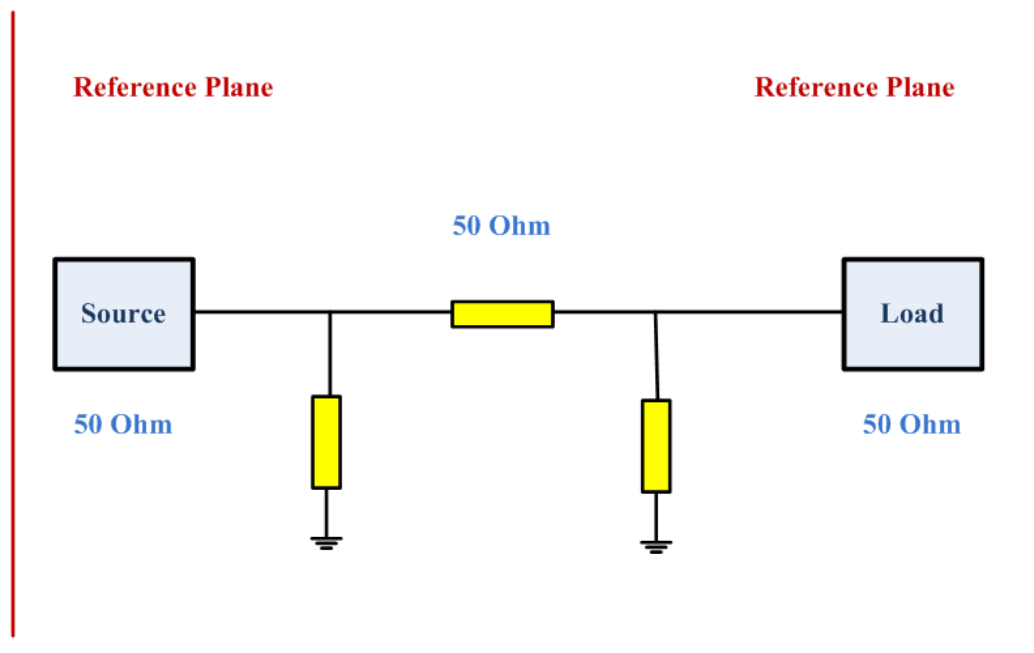
因此個人較偏好利用 Passive 方式 Tune Matching，你只要有板子就能進行，不必等到軟體 Ready。

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：

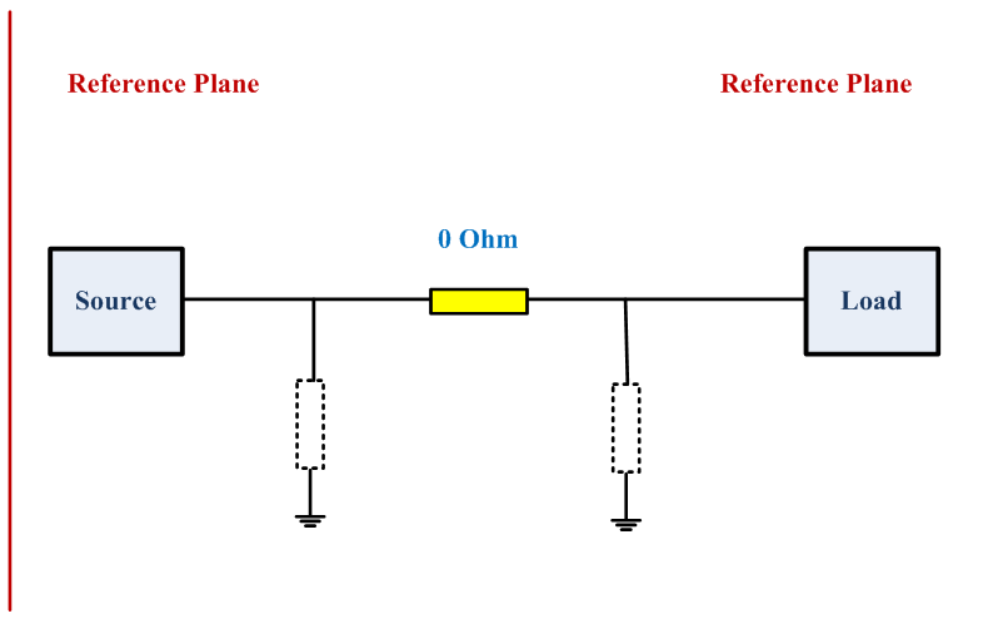
最理想情況，當然是希望 Source 端的輸出阻抗為 50 歐姆，傳輸線的阻抗為 50 歐姆，Load 端的輸入阻抗也是 50 歐姆，一路 50 歐姆下去，這是最理想的。

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。

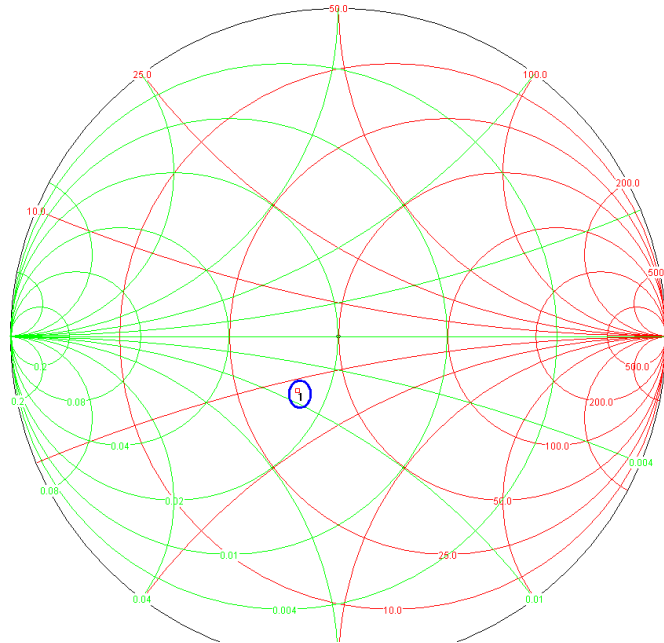


Q. 我可以直接用焊錫 Short，來代替 0 歐姆電阻嗎？這樣比較省事。

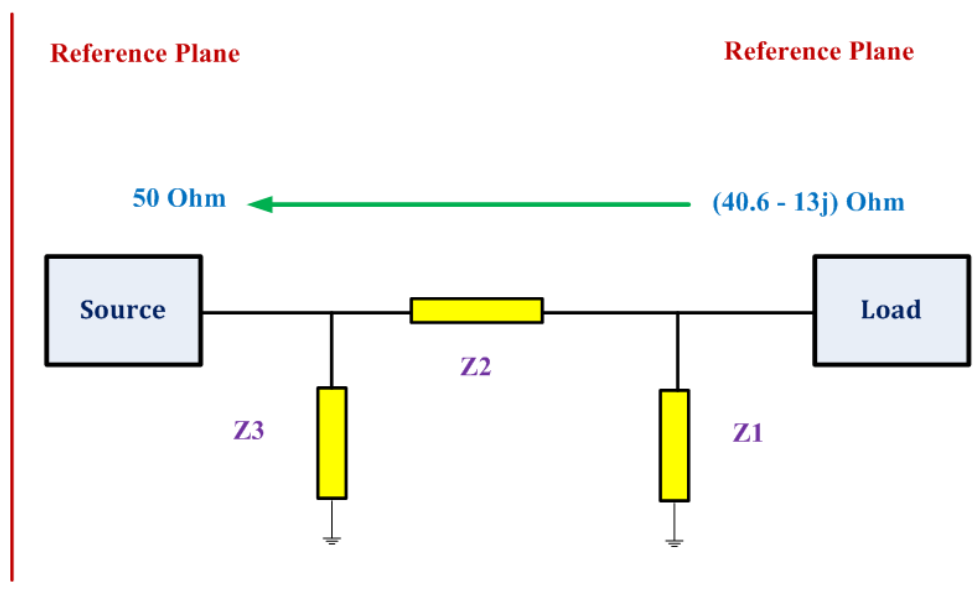
答案是不行，因為雖然以電路觀點，都是 Short，但是以高頻觀點，利用焊錫這種 Distributed 方式，會有寄生效應，連帶使得你量出來的阻抗會不準。

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。

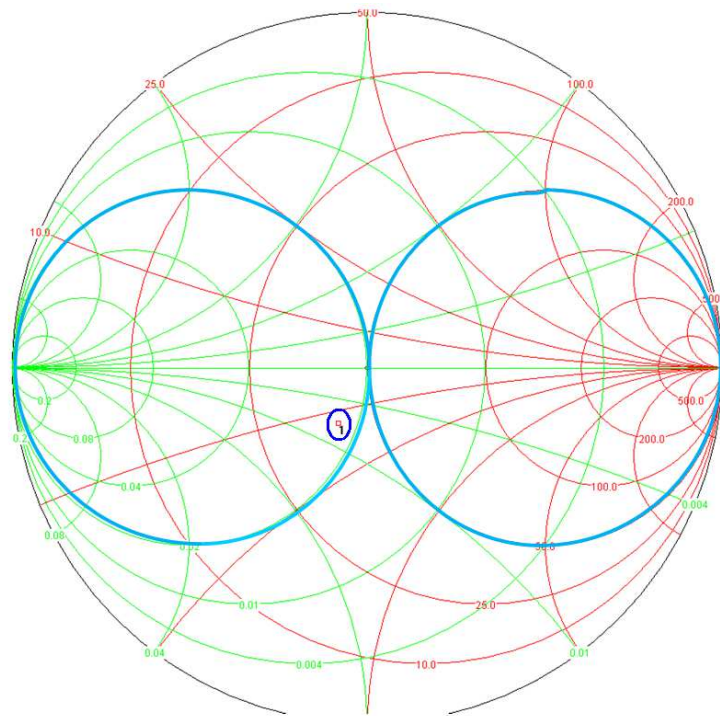
我們發現 PCB Trace 最原始的負載阻抗為 $(40.6-13j)$ 歐姆，接下來就是利用 Smith Chart，將負載阻抗 Tune 到 50 歐姆。



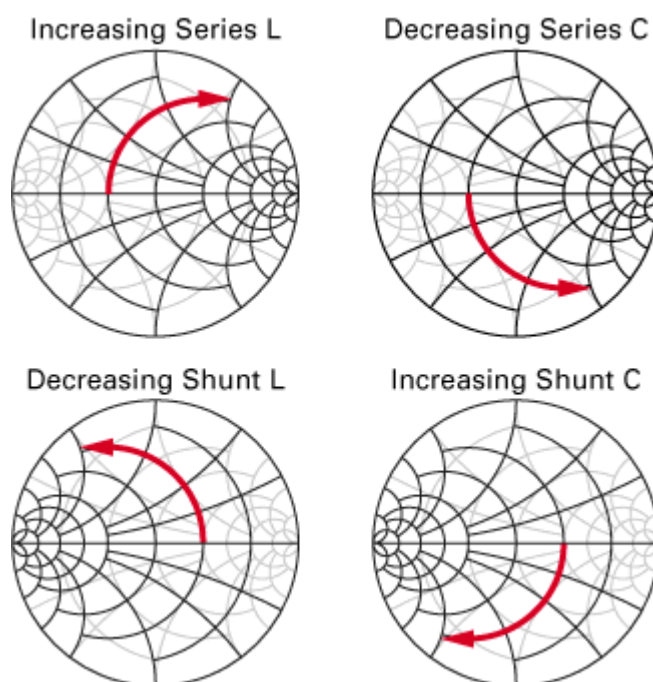
也就是要把負載阻抗，依序透過 Z1, Z2, Z3，把阻抗由 $(40.6-13j)$ 歐姆，Tune 成 50 歐姆。



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，

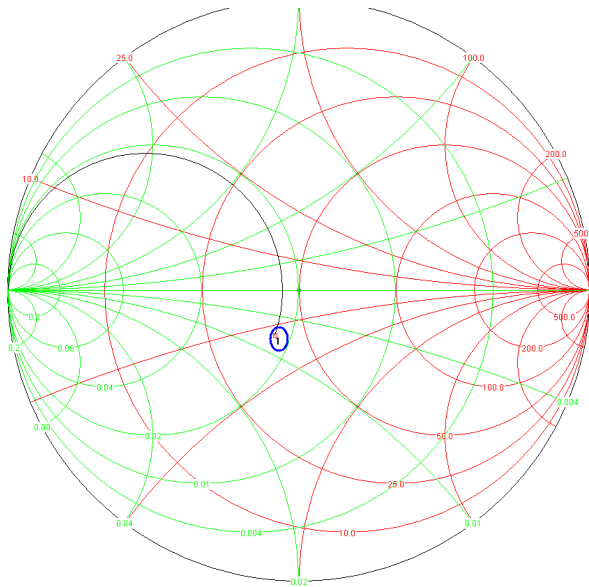


而下圖是串電感、串電容、並電感、並電容的軌跡。

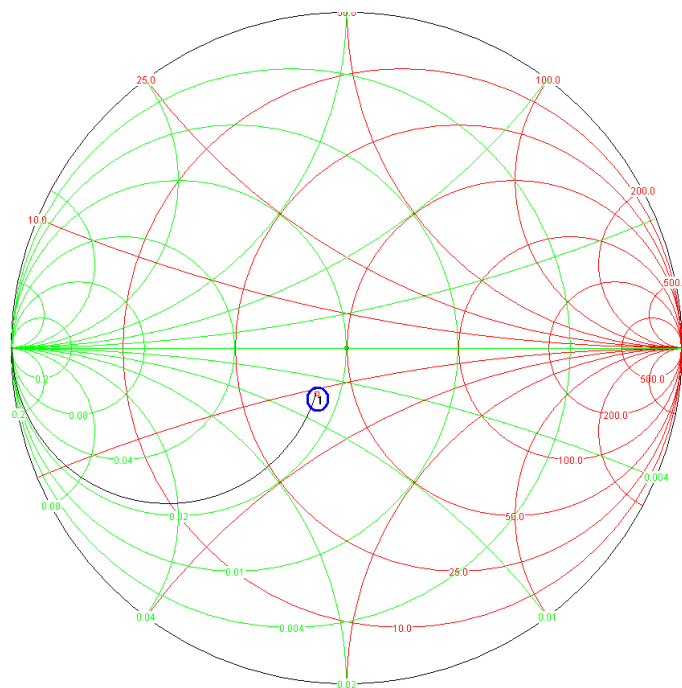


因為 Z_1 是落地元件，所以透過並聯方式，將阻抗弄到通過 50 歐姆的 Z-plane/Y-Plane 圓周上。

但是我們發現，不管是並電感，

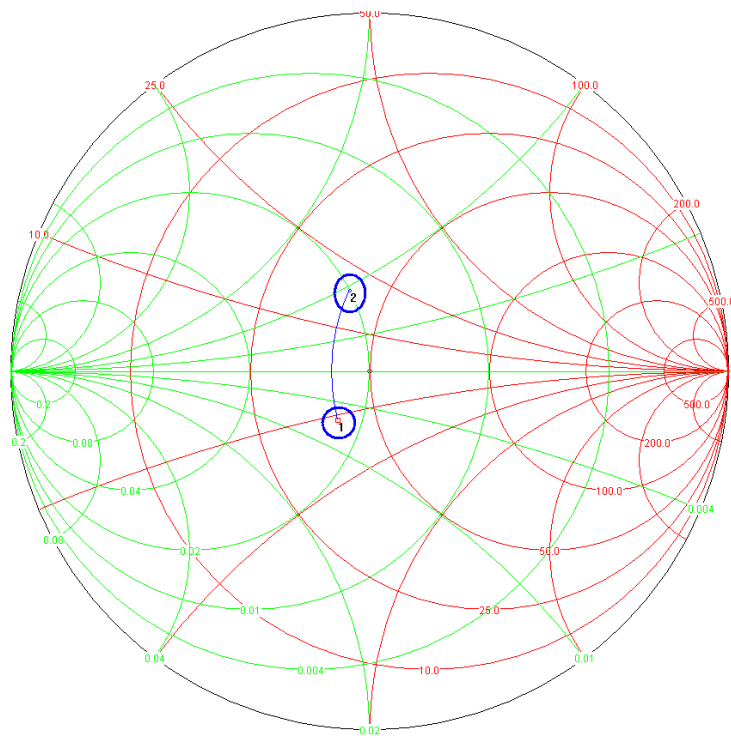


或是並電容，

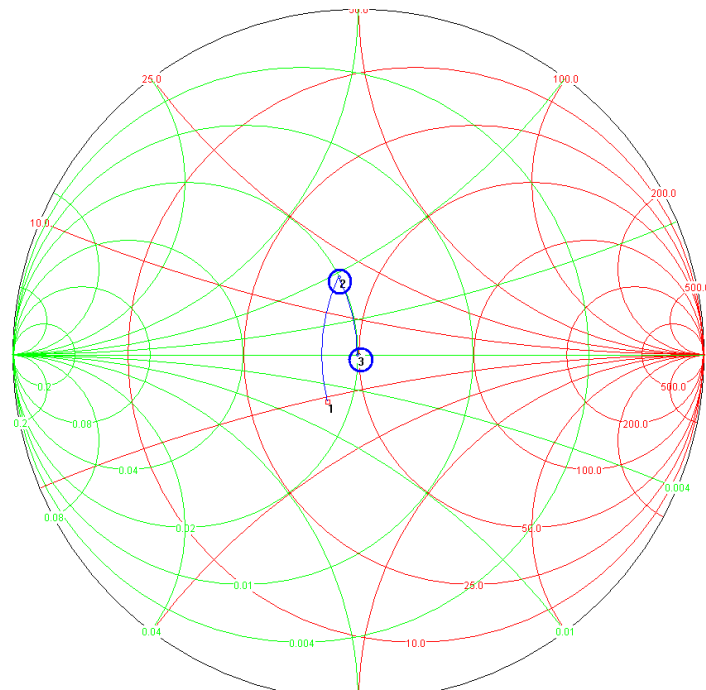


其阻抗都跑不到我們要的圓周上，因此 Z_1 就直接 Dummy。依此類推，若往後遇到 T 型 Matching， Z_1 為串聯元件，但串電容跟串電感都跑不到我們要的圓周上時，這時 Z_1 就放 0 歐姆。

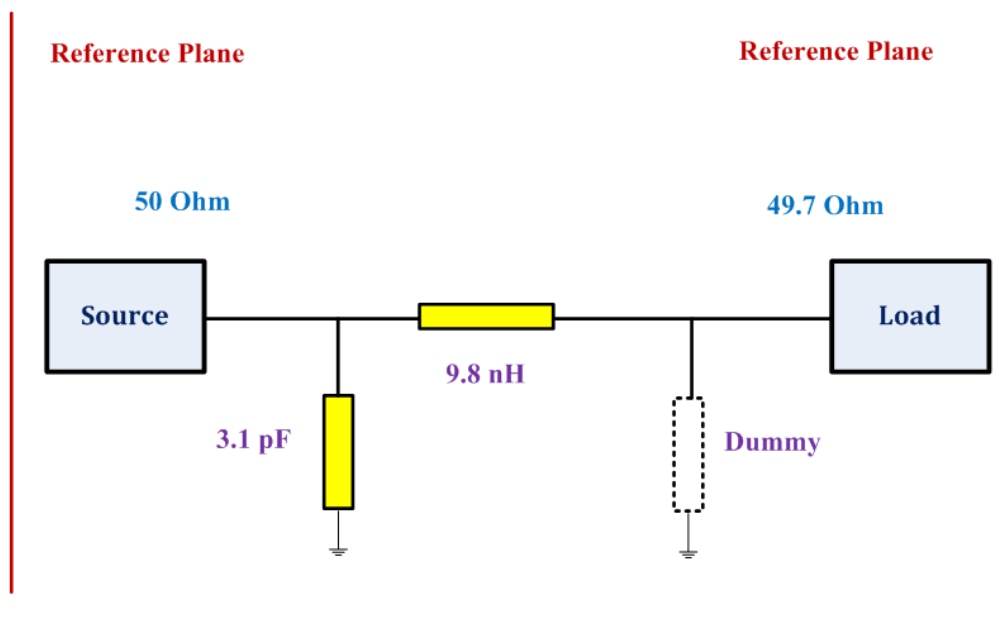
而 Z_2 是串聯元件，利用串 9.8nH 的電感，將阻抗弄到了我們要的圓周上，此時阻抗為 $(40.4 + 19.3j)$ 歐姆。



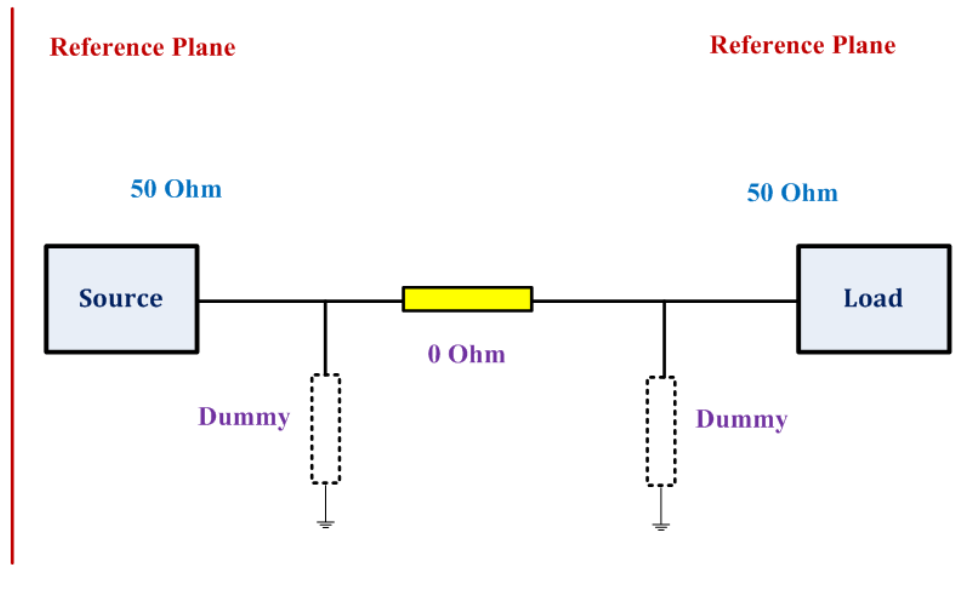
最後 Z_3 又是落地元件，因此並一個 3.1pF 的電容，使阻抗跑到 $(49.7 + 0j)$ 歐姆。



因此我們利用串 9.8nH ，並 3.1pF 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. 如果我阻抗控制做的相當好，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：

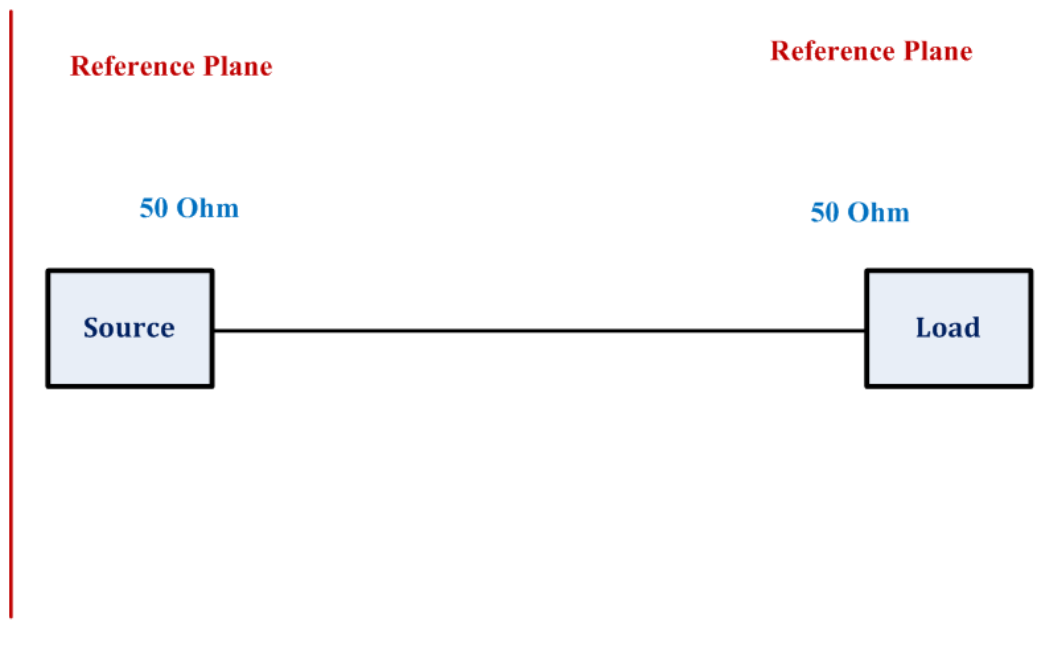
$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3} + \cdots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 G_3 \cdots G_{n-1}},$$

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，原因是要維持 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。

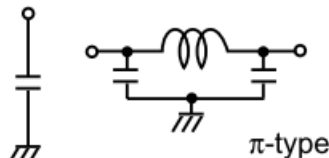
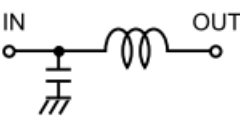
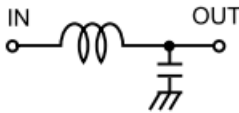
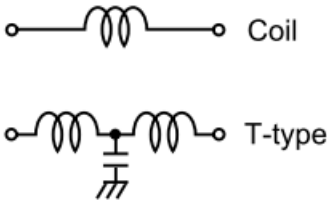
落地電容值之所以不要過大，是因為依照容抗公式：

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

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。

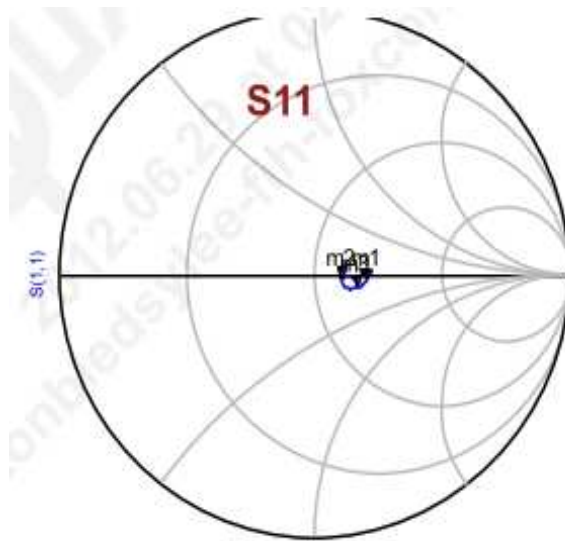
電感/電容值，不要過於冷門，原因是方便備料，因為若是常見的值，則所有廠家都會有，量產過程中，若 First Source 的廠家缺料，還可馬上找 Second Source 的廠家。

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：

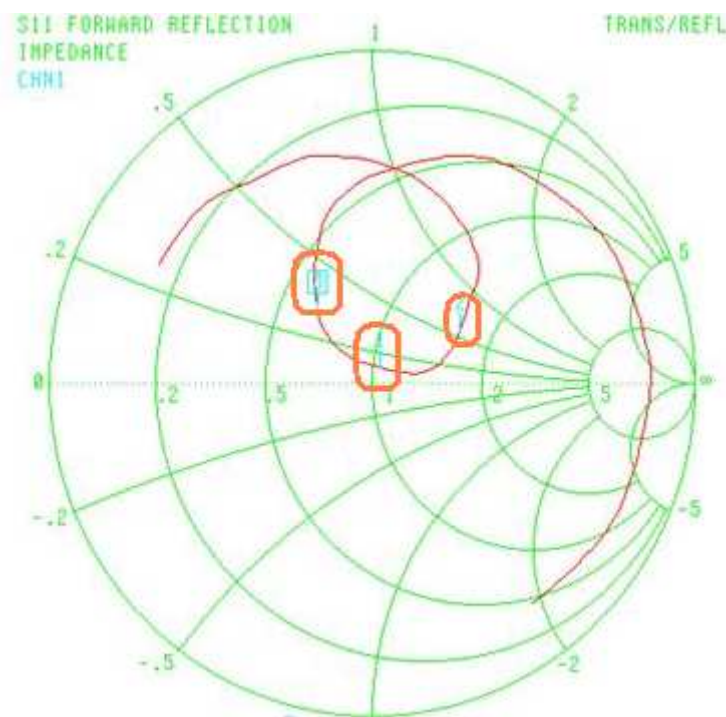
		Output impedance (Zo)	
		High	Low
Input impedance (Zi)	High	 Capacitor π -type	 IN OUT L-type
	Low	 IN OUT L-type	 Coil T-type

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。

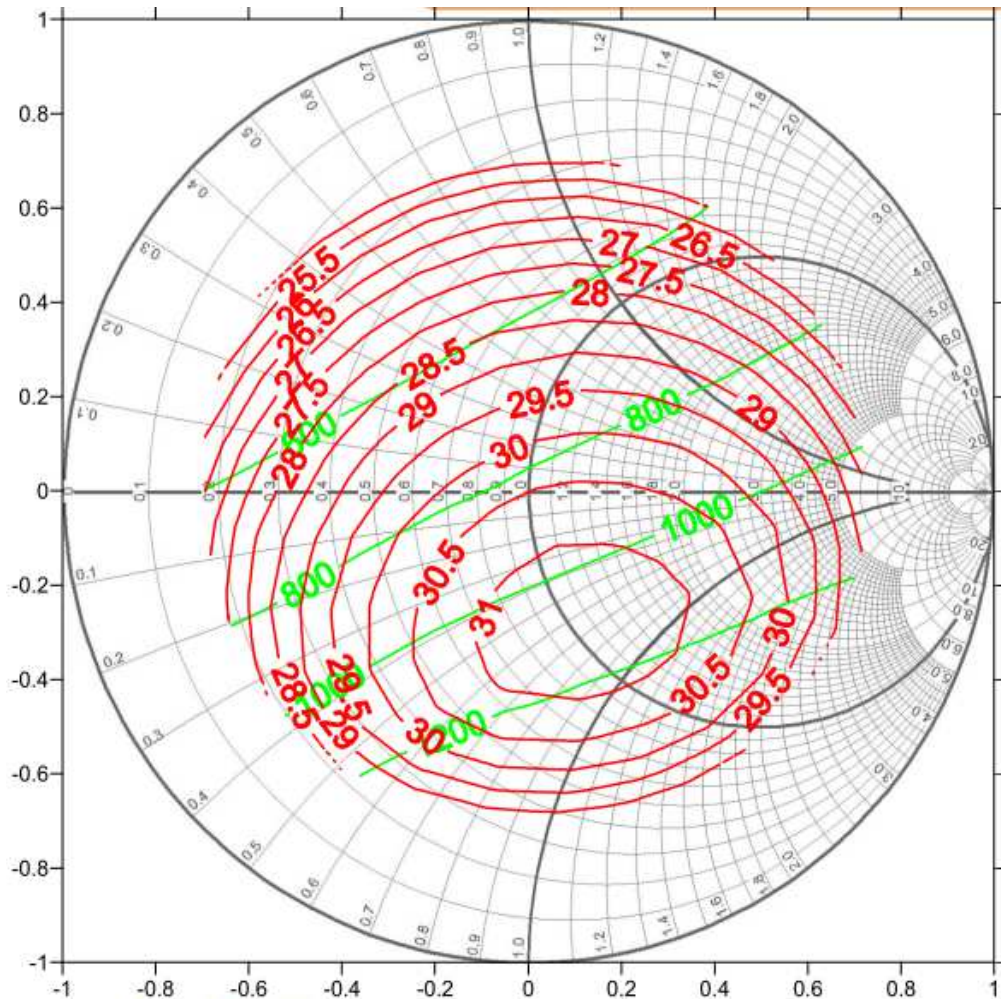
以 DCS band 為例，Tx 頻率範圍為 1710 MHz ~ 1785 MHz，因此作 Tx Matching 時，盡可能希望 1710 MHz ~ 1785 MHz 的阻抗，都能收斂在 50 歐姆附近。



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



因爲以 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、 π 型，但 T 型/ π 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/ π 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 π 型，可能 50 歐姆 Matching 的效果還不如 L 型來得好。

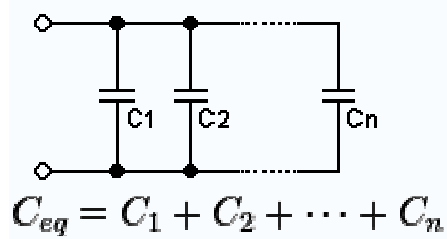
這問題分兩個層面探討，

首先，雖說 T 型/ π 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/ π 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/ π 型。

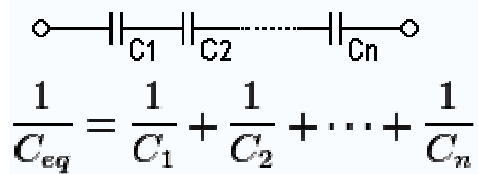
其次，如果 L 型在 Mid Channel 的 50 歐姆 Matching 效果比 π 型好，但 Low/High Channel 的阻抗卻不收斂，要如何在保有 L 型的 Matching 效果同時，還能進一步讓 Low/High Channel 的阻抗收斂呢？

先介紹四個簡單的電感/電容之串/並聯公式：

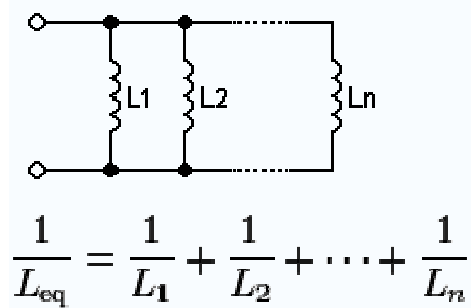
電容並聯：



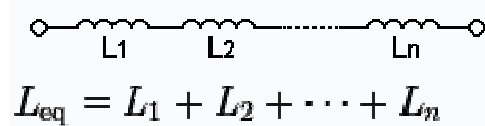
電容串聯：



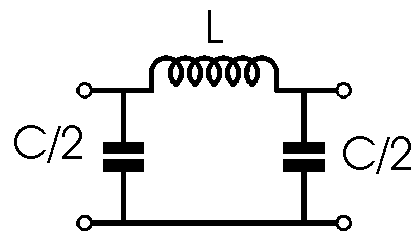
電感並聯：



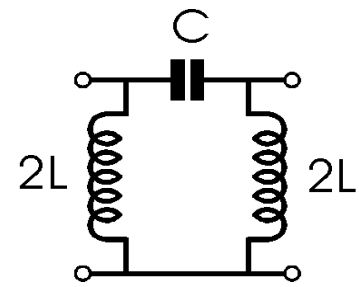
電感串聯：



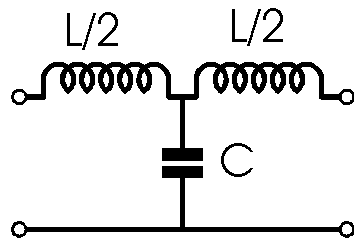
接著利用上述四個公式，將 L 型拆成 T 型/ π 型。



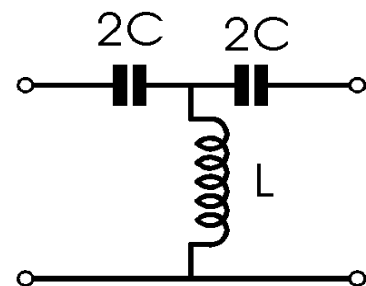
Pi section filter



Pi section filter



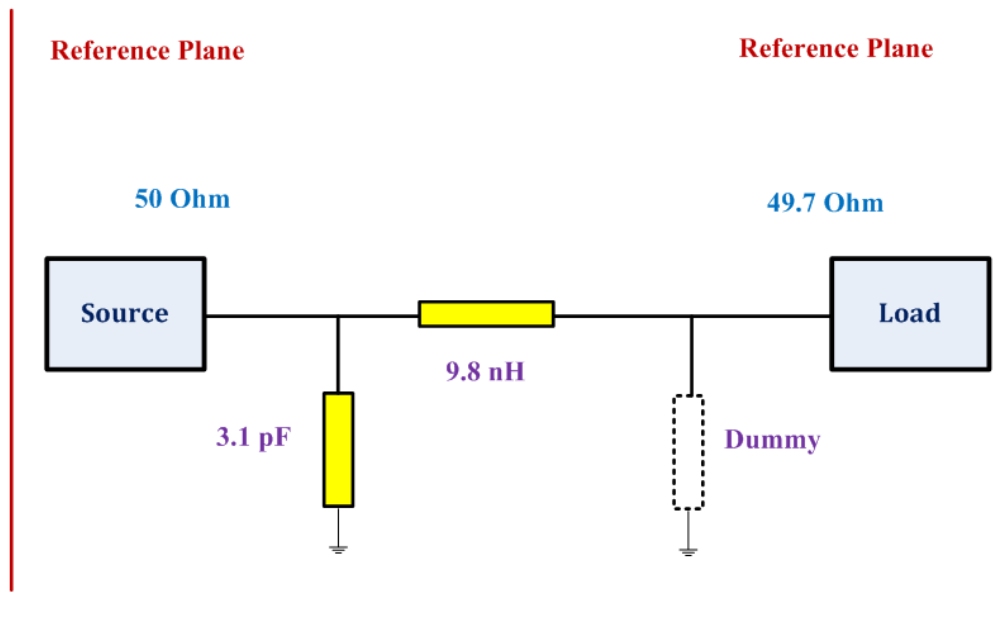
T section filter



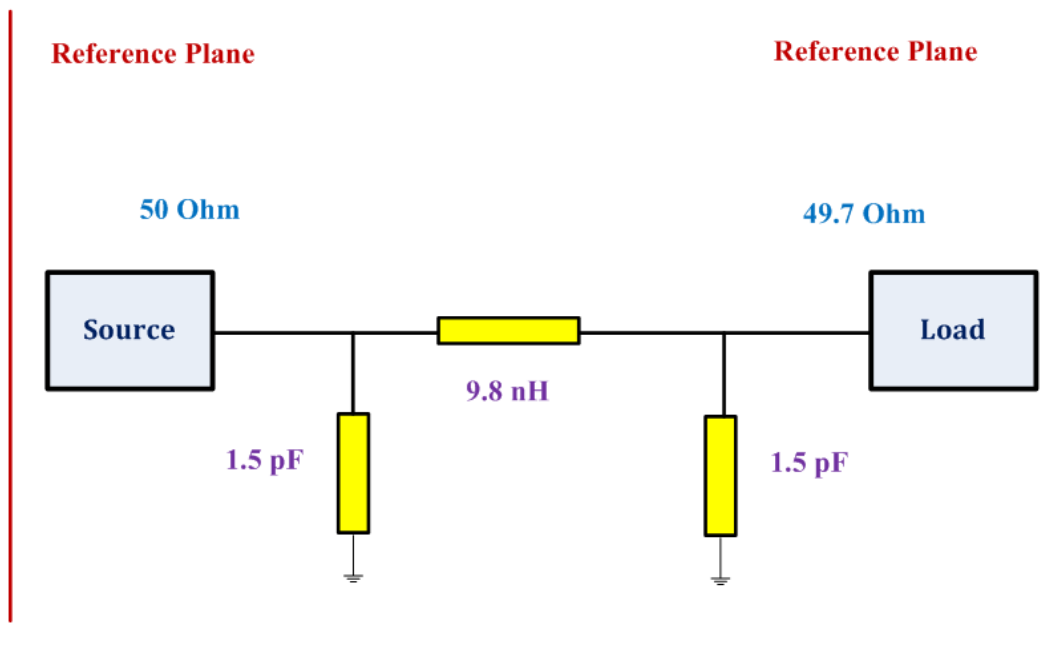
T section filter

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 π 型，則會變成：



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

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。

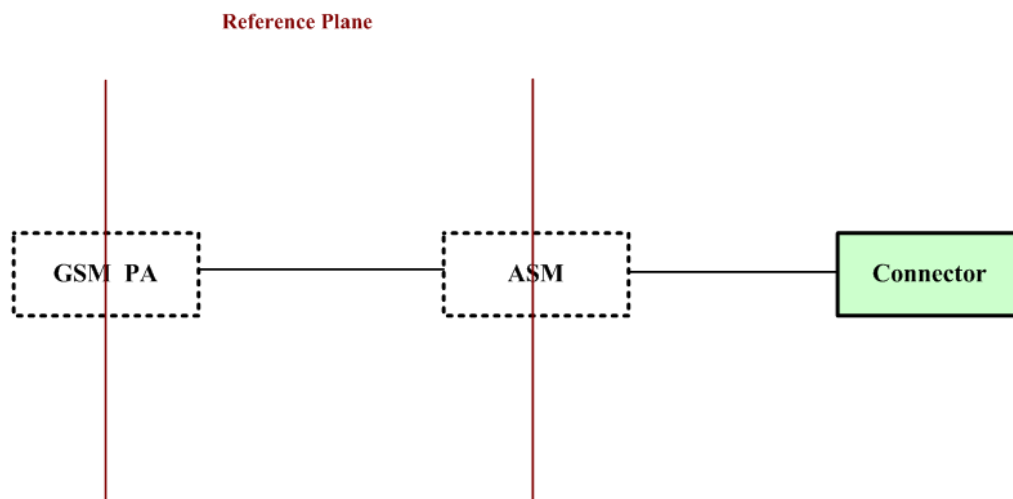
接下來，我們以 Block 的觀點，探討 GSM/WCDMA 的 Tx/Rx Matching。

GSM Tx Matching

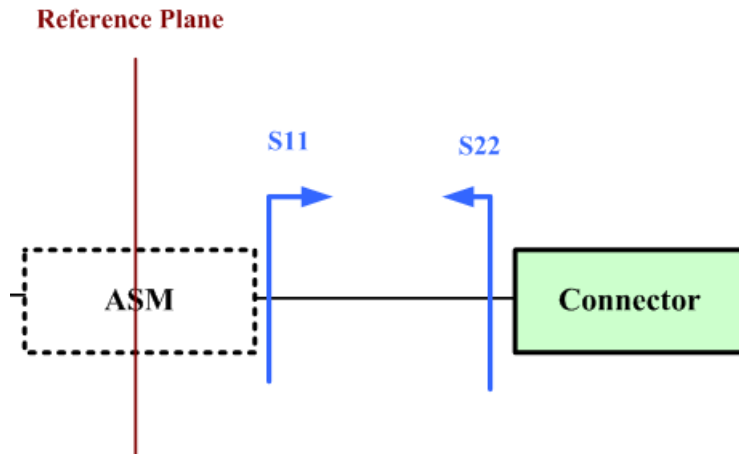
一開始板子會有這些零件，



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。

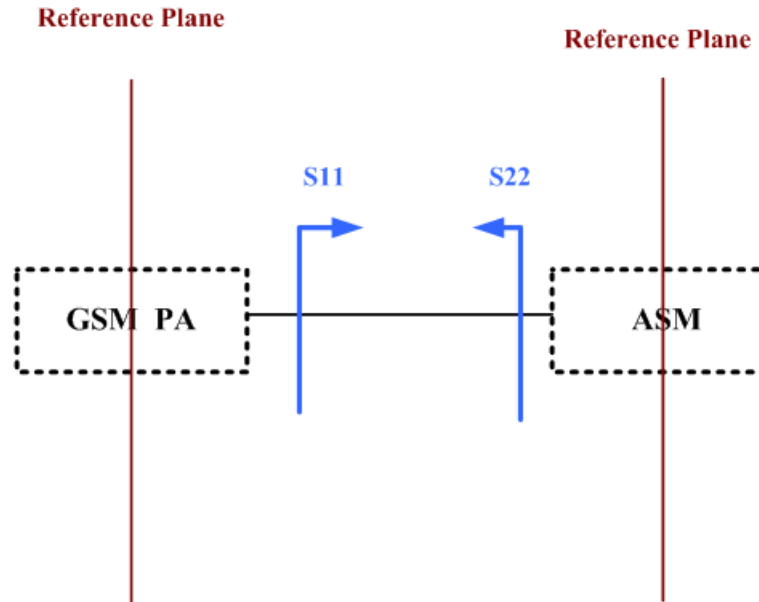
Q. 爲啥 Connector 不用 Reference Plane ?

Ans :

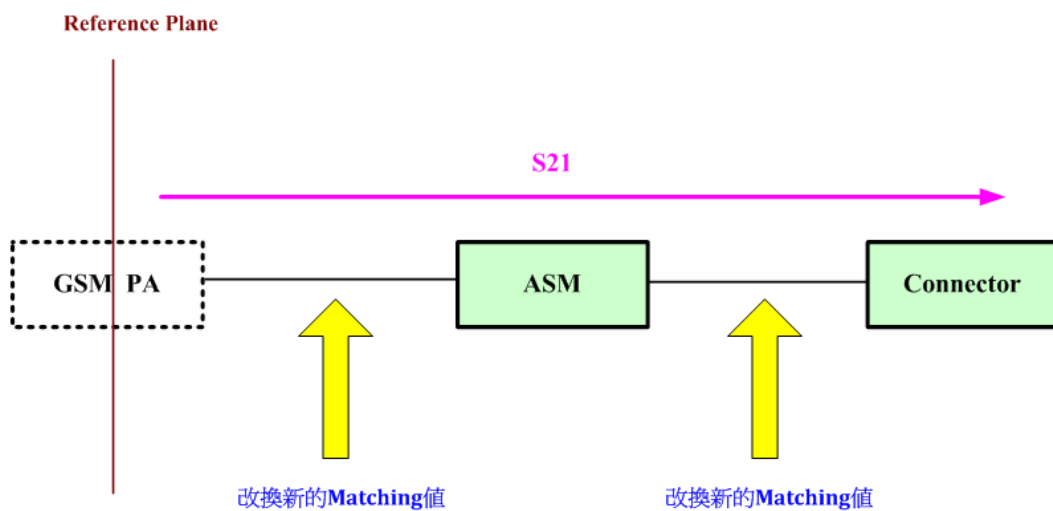
原因是當 Connector 端接上 RF Cable 時，其 Connector 與後面天線彈片間是 Open 的，此即爲最佳的 Reference Plane。



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

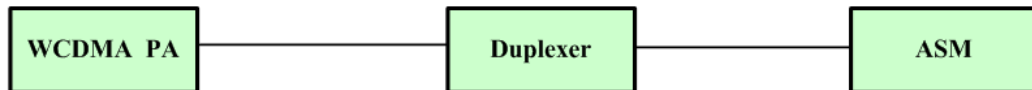


Step3. 拿另一塊板子，GSM PA 跟 ASM 都有 Mount 上去的，把 PA 拔掉，
再把之前 Tune 的新 Matching 值換上去，並量測 GSM PA 到 Connector 的
S21，這樣對於 PA chip out 到 Connector 會有多少 Loss，至少有個底。



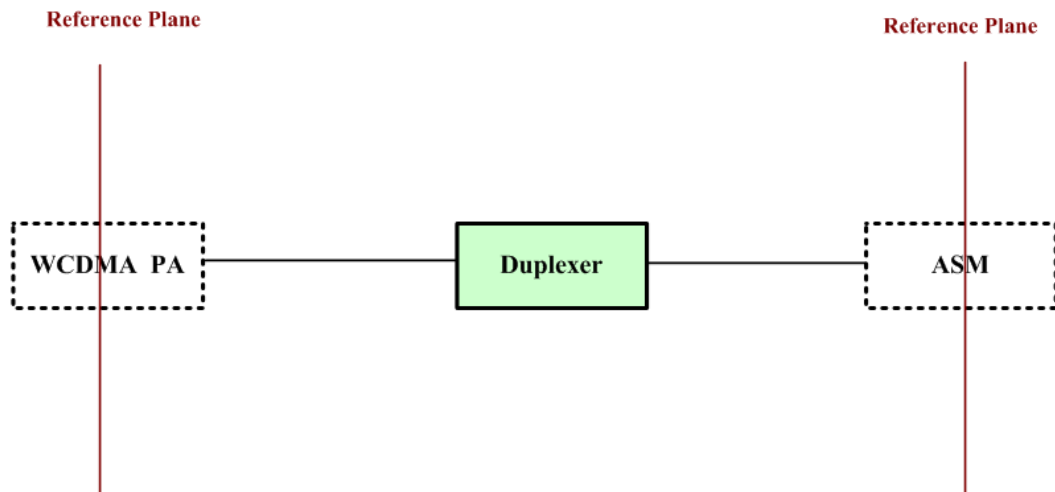
WCDMA Tx Matching

一開始板子會有這些零件

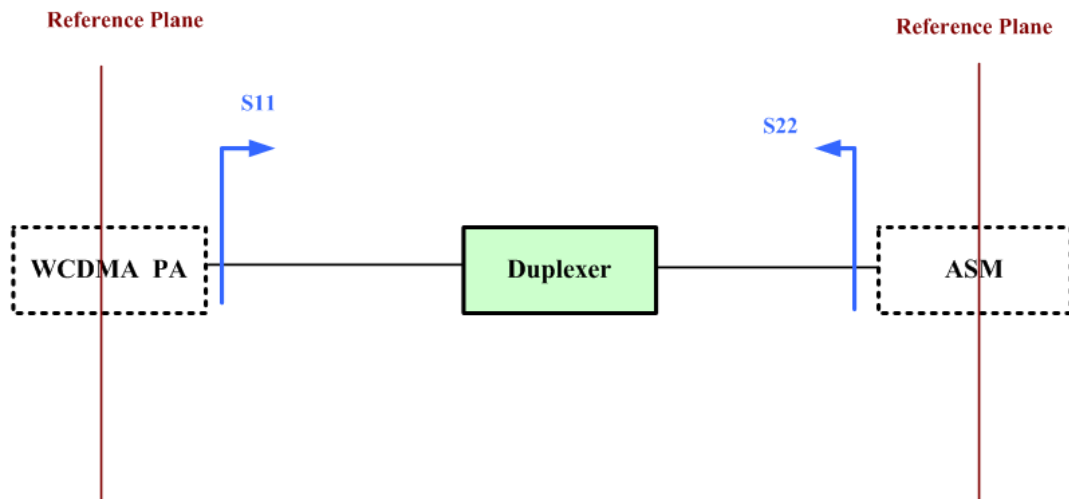


因為在 GSM 階段，ASM 到 Connector 已經 Tune 到 50 Ohm，所以我們就 Fix 住，不再去動它

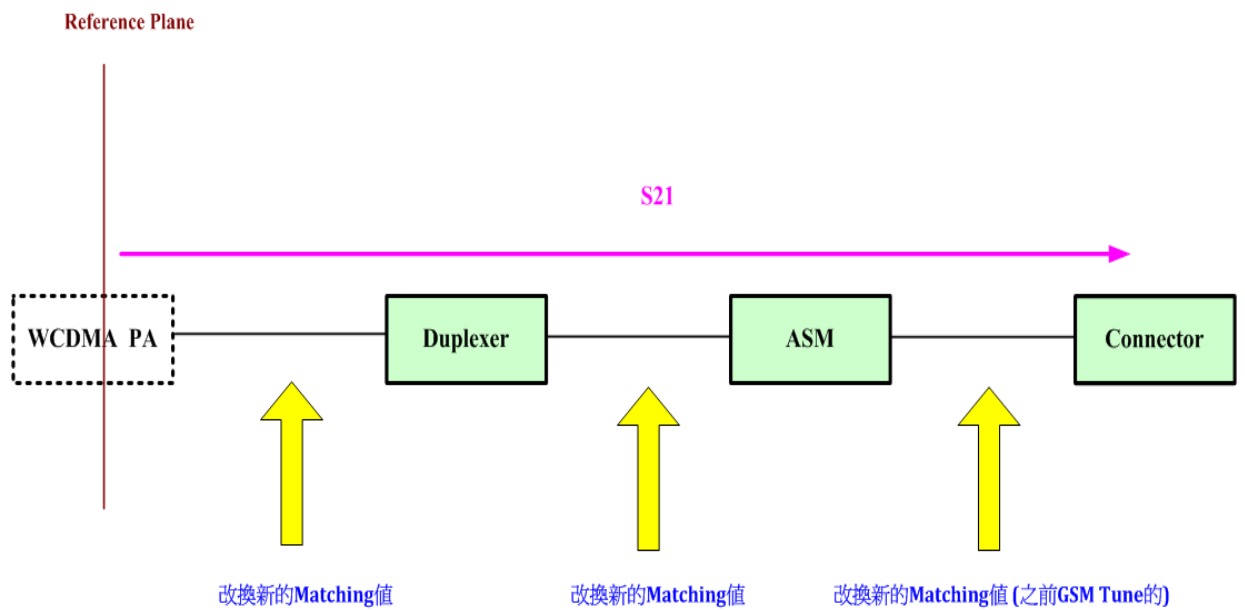
然後把 WCDMA PA 跟 ASM 拔掉



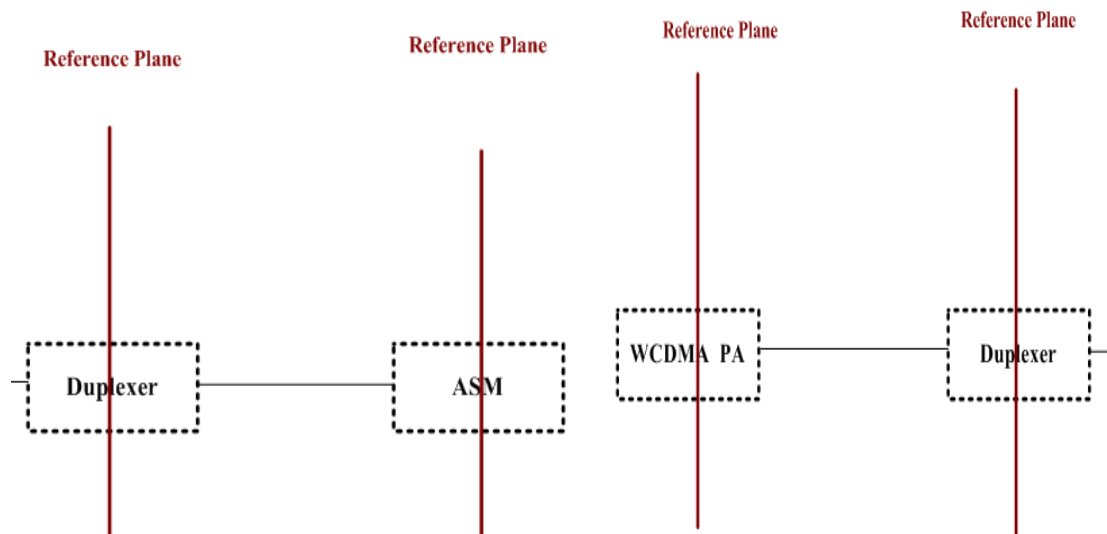
Step 1. 把 ASM 跟 WCDMA 間的 S11 以及 S22，盡量 Tune 成 50 Ohm



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. 爲啥不是 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。不過因爲 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，因此爲節省時間，就直接 ASM 到 WCDMA 做一次 Matching 即可。

除非是發現 Matching Tune 不太動，因爲 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，把變數先縮減爲三個，以加速 Matching 進度。

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

Ans :

因爲方便省事。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 (因爲 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. 爲啥 PA input 不做 Matching？

Ans :

也是爲了方便省事。因爲 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，其影響程度也是很小的，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 爲例 [2]，其 PA input 範圍爲 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？

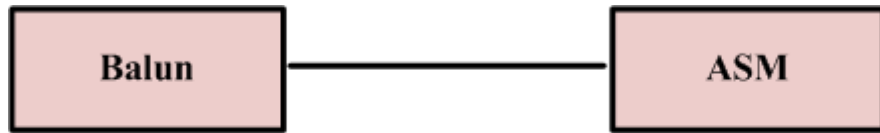
Ans :

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)。

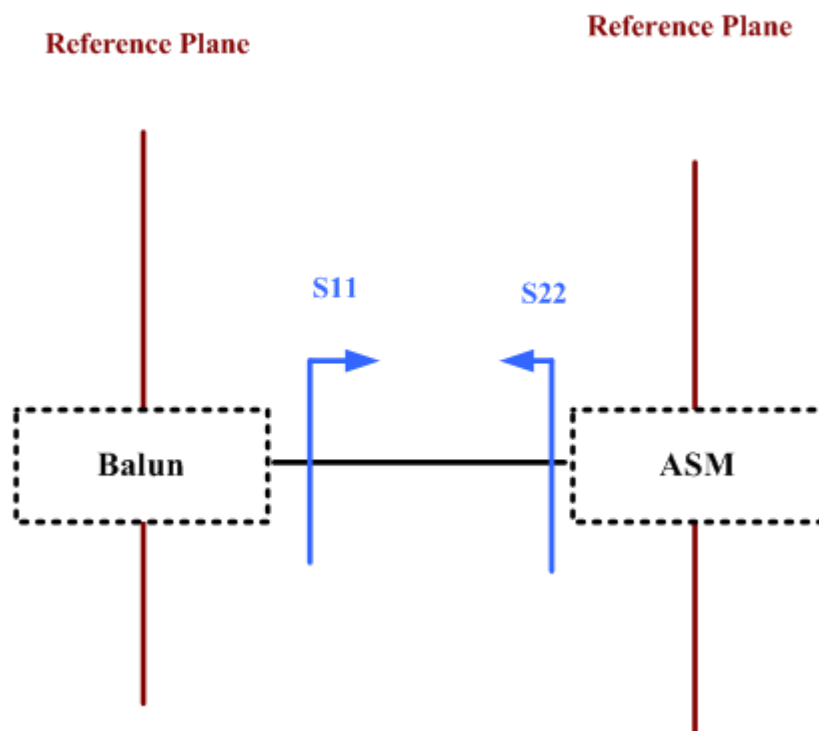
GSM Rx Matching

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。

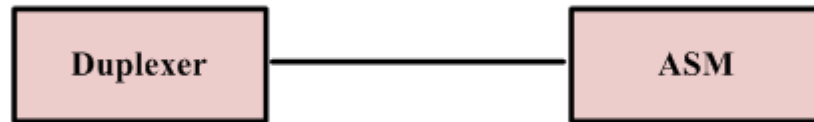
然後把 Balun 跟 ASM 拔掉，



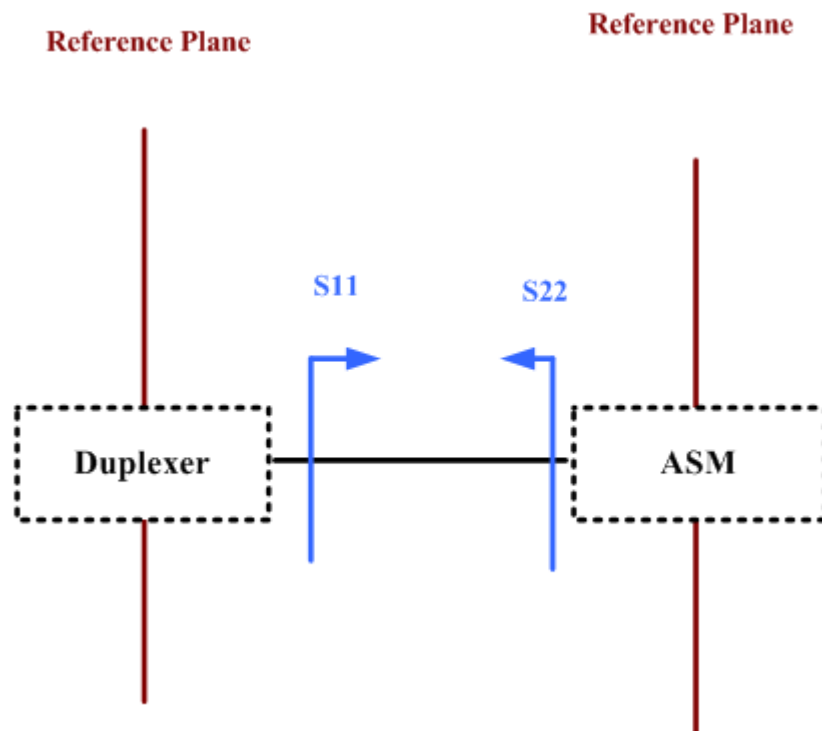
Tune 到 50 歐姆即大功告成。

WCDMA Rx Matching

一開始板子會有這些零件



然後把 Duplexer 跟 ASM 拔掉，



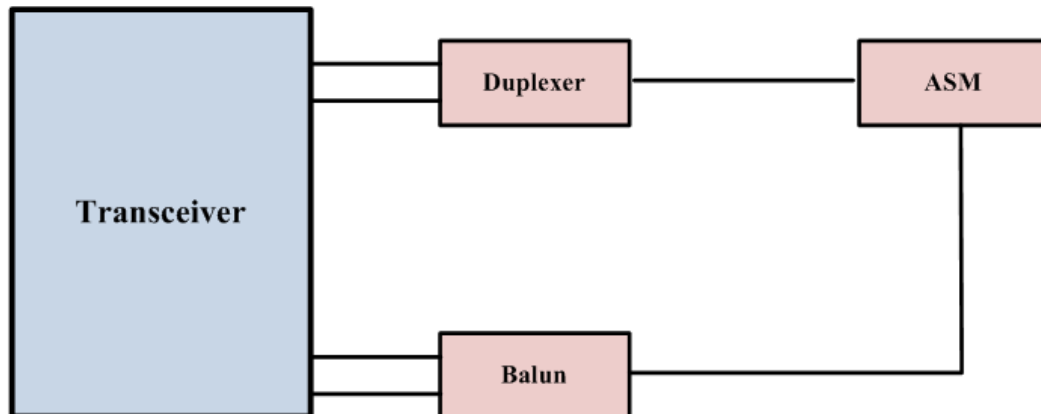
Tune 到 50 歐姆即大功告成。

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。

UNION RF



优联射频【网站】



优联射频【简介】



优联射频【课程之旅】



优联射频【优酷频道】

Welcome to RF world

电话#185 7646 3969

QQ群#495281476

ADDRESS#深圳宝安区西乡大道地铁C出口中央大道办公楼B座

GOAL#专注射频培训/打造开放平台