

實驗導論



微波訓練組件、轉接頭與微波安全

0-1 微波訓練組件

前言：

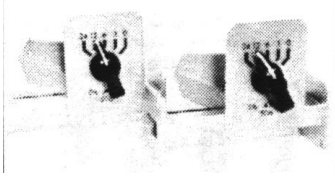
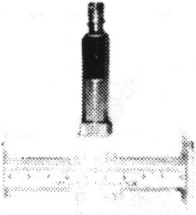
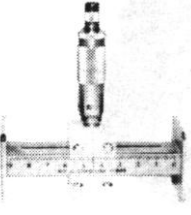
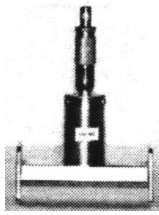
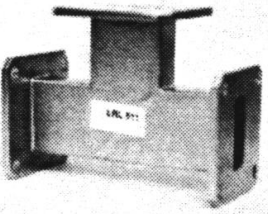
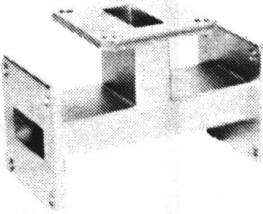
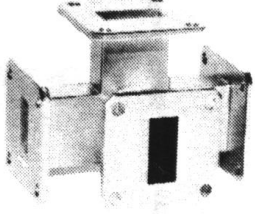
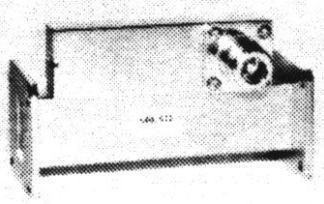
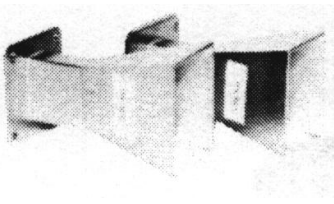
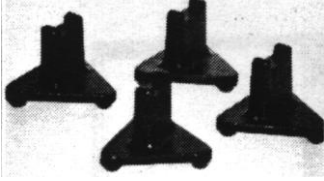
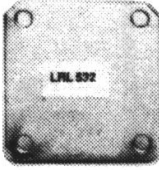
微波訓練組件(microwave training kit, MTK)為電磁波實驗室的重要儀器設備之一。該套設備主要包含各種不同用途的波導管，用於量測各項電磁波特性，如：電壓駐波比(VSWR)、頻率、阻抗.....等。

內容：

以下為本實驗課程所使用之 MTK 元件。

名稱	數量
轉接器 (#502 transition)	2
頻率量測器 (#504 frequency meter)	1
開槽線 (#505 slotted line)	1
固定式衰減器 (#513A/513B fixed attenuator)	2
可調式衰減器 (#506 variable flap attenuator)	1
終端器 (#507 terminator)	1
磁場平面 T 形管 (#511 H-plane tee)	1
電場平面 T 形管 (#516 E-plane tee)	1
電場-磁場平面 T 形管 (#521 E-H plane tee)	1
方向耦合器 (#512 directional coupler)	1
調諧探針 (#517 tuning probe)	1
波導管支座 (#523 waveguide stands)	4
號角天線 (#531 horn antennas)	2
短路終端板 (#532 shorting plate)	1

MTK Kit 中各元件圖片如下所示。

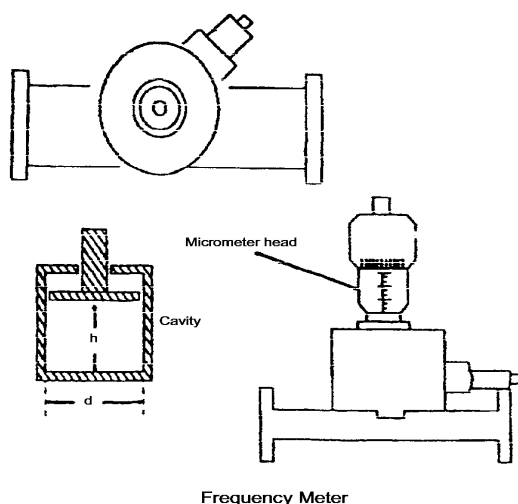
 #502 transition	 #513 fixed attenuators	 #506 variable flap attenuator
 #505 slotted line	 #517 tuning probe	 #504 frequency meter
 #511 H-plane tee	 #516 E-plane tee	 #521 E-H plane tee
 #512 directional coupler	 #531 horn antennas	 #507 terminator
 #523 waveguide stands	 #532 shorting plate	

組件原理與功能：

一、頻率表(frequency meter)

如圖一，頻率表係利用空腔(cavity)共振原理量測微波信號的頻率。於接妥波導管及空腔後，須適當調節空腔之高度（圖中的 h ），當調節至共振時，輸入之微波信號能量將大部分由波導管傳到空腔內。經由空腔壁的一小迴圈(loop)，部分共振能量則可經耦合，並傳輸至位於空腔外之晶體檢波器(crystal detector)。將檢波器接上電壓表，由電壓值之變化，則可知道是否產生共振，藉由共振時之空腔尺寸，則可由空腔共振公式計算該共振頻率。

空腔之高度係經一游標尺(micrometer)控制，其角度方向轉一小格為 1mil ($1\text{mil}=0.001\text{inch}$)，軸方向轉一大格(含四小格)為 100mil 。



圖一、頻率表。

通常來說，頻率表之空腔的共振模態(resonant mode)是 TE_{012} ，這個模態經由波導管開槽洩出的電場所激發，當調整空腔高度 h ，共振頻率將隨之變化。可利用空腔共振公式計算 TE_{012} 模態的共振頻率

$$(f_r)_{012}^{\text{TE}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \times \sqrt{\left(\frac{x'_{01}}{\pi}\right)^2 \times \frac{1}{d^2} + \frac{1}{h^2}}$$

其中， x'_{01} 是 $J'_0(x_{01})=0$ 的第一根，其值為 3.8317 ， J'_0 是零次 Bessel function 的微分。

空腔共振之品質因子(quality factor)為

$$Q = \frac{f_0}{w}$$

其中， w 為半功率頻寬， f_0 為中心頻率(center frequency)。通常空腔的品質因子大於 5000 ，因此在使用頻率表量測頻率響應時，需仔細操作，以免忽略其共振頻率。

二、開槽線或駐波檢波器(slotted line or standing wave detector)

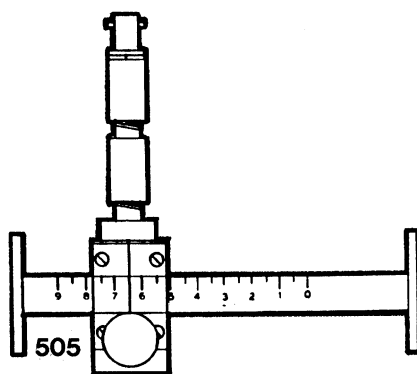
見圖二，本組件係由四部份所構成：一個探針 (probe)、一個 N-型同軸轉接頭(N-type coaxial connector)、一個晶體檢波器和一個調柄(handle)，可用以量測微波元件造成之駐

波波形以及其不匹配度(mismatching degree)、阻抗等特性。適當長度的探針經開槽線(slotted line)伸入波導管內，以感應波導管內之電場，經 N-型同軸轉接頭至晶體檢波器，晶體檢波器可將射頻電壓轉變為直流電流，由 BNC 接頭輸出至負載，利用電壓表或示波器即可直接讀取電壓值。調柄則用以移動晶體檢波器在滑槽上的位置，調柄上之量尺可顯示探針到負載之距離。如微波信號之傳輸模態為 TE_{10} 模態，則開槽線位於中央位置時，微波信號之電場最大。

晶體檢波器為平方定律檢波器(square-law detector)，其特性見附錄 A2，其輸出電流和輸入射頻電壓的平方成正比，即

$$i_{out} = k e_{in}^2$$

其中 k 為一常數。利用波導管開槽線，則可測量波導管之微波信號之 $VSWR$ 值及駐波波形等特性。



圖二、開槽線。

使用上述開槽線之量測步驟如下：

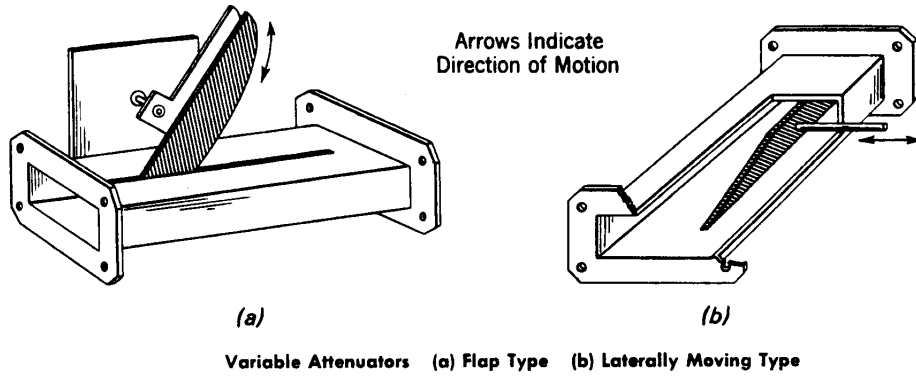
1. 裝置晶體檢波器至 N-型同軸轉接頭。
2. 注意：不可以手指直接接觸晶體檢波器之同軸中心線，以免身體之靜電損壞晶體檢波器。
3. 連接晶體檢波器之 BNC 輸出接頭至電壓表或示波器。
4. 轉動調柄使偵測器沿滑槽移動，檢查指示器可讀範圍。
5. 如果讀數太小或是太大時，適當調整電壓表或示波器之讀數範圍。
6. 注意：晶體檢波器之輸出為直流信號。

三、衰減器(attenuator)

在電磁波實驗中，將使用到兩種衰減器，分別為可調式衰減器及固定式衰減器。可調式衰減器有兩種，如圖三所示，其中(a)為上下移動型，在波導管中間，有一片平行於電場之電阻板。該片電阻板通常係以白金真空蒸鍍在一片雲母片或在酚醛樹脂片上，並塗上電阻材料而製成。其半月形外形，目的在於得到較好的阻抗匹配。可藉由調整電阻板伸入波導管的面積，決定微波信號之衰減量。而(b)所示為橫向移動型，與(a)不同之處在於電阻片已在波導管內，藉由橫向移動，可以改善電阻板在不同電場的位置，造成不同衰減量。如微波信號之傳輸模態為 TE_{10} 模態，則電阻板位於中央位置時，微波信號之衰減量最大。

固定式衰減器則是將導波管中之電阻板固定，因此無法改變其衰減量，常見衰減量為 3dB、

6dB、10dB 或 20dB 等。在微波傳輸應用中，衰減器可作為緩衝器(buffer)，終端器(terminator)，或用以控制功率值。



圖三、可調式衰減器。

假設電阻板之單位面積表面電阻為 R ，在電阻板表面之電場強度為 E ，則被吸收的每單位面積平均功率為

$$P_w = \frac{E}{\sqrt{2}} \frac{E/\sqrt{2}}{R} = \frac{E^2}{2R}$$

在長方形波導管裡，其 TE_{01} 模態電場可表示為

$$E = E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right), \quad 0 \leq x \leq a$$

故

$$\begin{aligned} P_a &= \int_s P_w ds = \int_s \frac{E_0^2}{2R} \sin^2\left(\frac{\pi x}{a}\right) ds \\ &= \frac{E_0^2}{2R} \int_0^b dy \int_0^a \sin^2\left(\frac{\pi x}{a}\right) dx \\ &= \frac{E_0^2}{2R} b \frac{a}{2} = \frac{E_0^2}{4R} ab \end{aligned}$$

所以衰減量 α (dB) 為

$$\alpha = 10 \log\left(\frac{P_o}{P_o - P_a}\right)$$

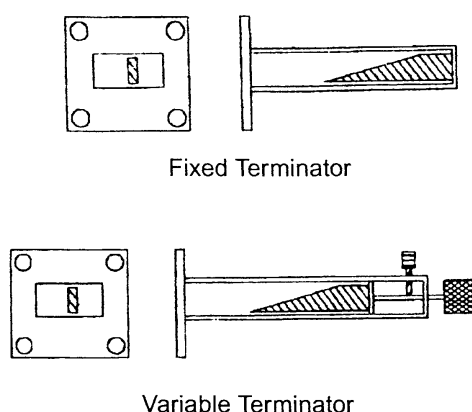
其中

$$P_o = \frac{E_0^2}{2Z_{TE_{01}}}。$$

四、終端器(terminator)

終端器為一單埠(one-port)元件，常連接於波導管元件之端點，用以吸收入射之微波能量。其結構可使反射之微波能量很小，故亦可視為一匹配負載，其阻抗值為該波導管的特性阻抗

Z_0 (characteristic impedance)。



圖四、終端器。

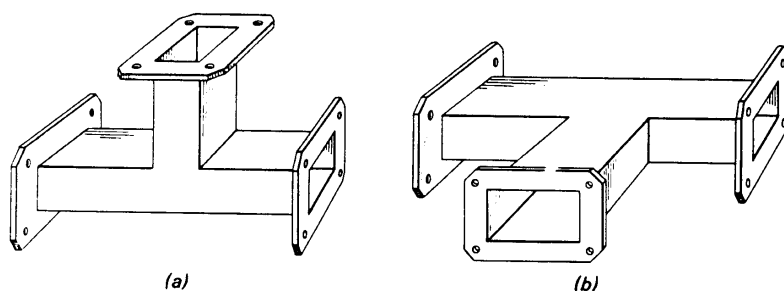
如圖四所示，終端器內有一個漸變吸收體(tapered absorber)，形狀如前述橫向移動型衰減器之電阻板，通常該吸收體長度為四分之一波長的奇數倍，因此造成反射波之相位和入射波之相位差為 180° ，呈現相位相反狀態，彼此相互抵消，使反射能量最小。

固定式終端器，其吸收體固定於波導管內。為了獲得更好的吸收效果，亦可使用可調式終端器。但須注意的是，最佳之吸收位置係隨頻率而改變。

終端器主要吸收的能量為歐姆損失(ohmic loss)，這些能量將會轉變為熱，而其他的人射能量則會被吸收體的介電質所吸收。

五、T 形管(tee)

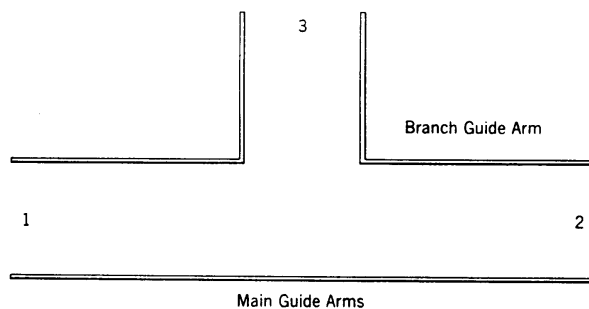
在導波管電路中，通常係使用 T 形管以進行功率分配。



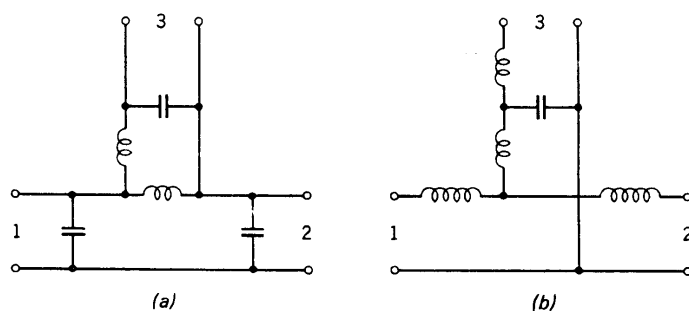
圖五、T 形管(a) 電場平面 T 形管，(b) 磁場平面 T 形管。

如圖五所示，其中(a)之 T 形管分支在電場平面，故稱為電場平面 T 形管(E-plane T)。而(b)之 T 形管分支在磁場平面，故稱為磁場平面 T 形管(H-plane T)。圖五中之 T 形管，皆有三個分支(或稱支臂)，即三埠(three-port)元件，可概要的以圖六表示。電場及磁場平面 T 形管等效電路如圖七所示。

通常有兩種方法使用如圖六之 T 形管。第一種將『1』當成輸入端，『2』與『3』作為輸出端。第二種將『3』當成輸入端，而『1』與『2』作為輸出端。



圖六、T 形管概略圖。

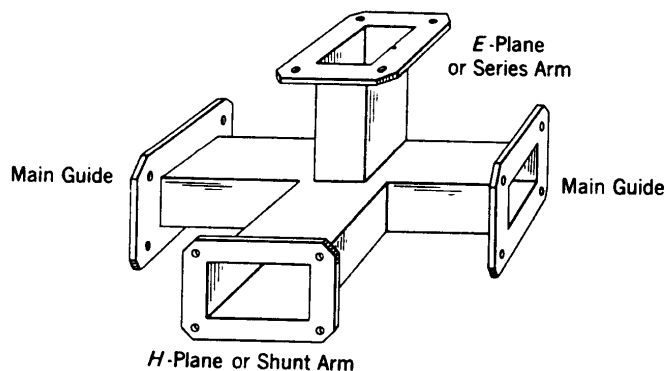


圖七、T 形管等效電路 (a)電場平面 T 形管 (b)磁場平面 T 形管。

由於主臂(main guide)『1』與『2』皆對稱於支臂(shunt arm)『3』，故由『3』輸入時，只要提供相等負載，將從輸出端『1』與『2』釋出等量功率。

其次，需要考慮輸入埠與輸出埠間的相位關係。在電場平面 T 形管，從支臂『1』與『2』所輸出的微波信號，其相位差為 180° ；而磁場平面 T 形管，從『1』與『2』輸出的微波信號，其相位差為 0° 。

另一種有趣的 T 形管稱為『混成』(hybrid)或『神奇』(magic)T 形管。如圖八所示，這種 T 形管結合了電場平面 T 形管與磁場平面 T 形管。



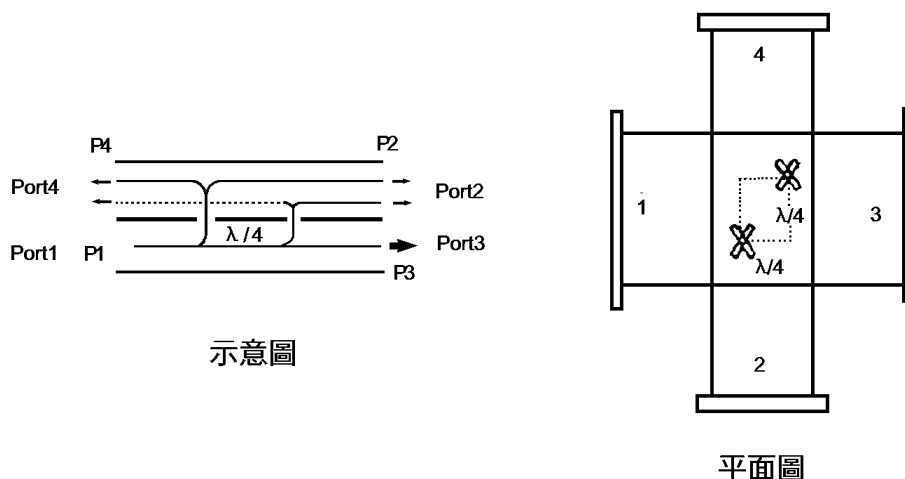
圖八、神奇 T 形管。

當輸入信號接至磁場平面支臂時，該輸入信號功率會均分於兩個主臂，且同相輸出，而在電場平面支臂無信號輸出。若以電場平面支臂為輸入端，輸出信號功率則會均分於兩個主臂，但反相輸出，而在磁場平面支臂無信號輸出。

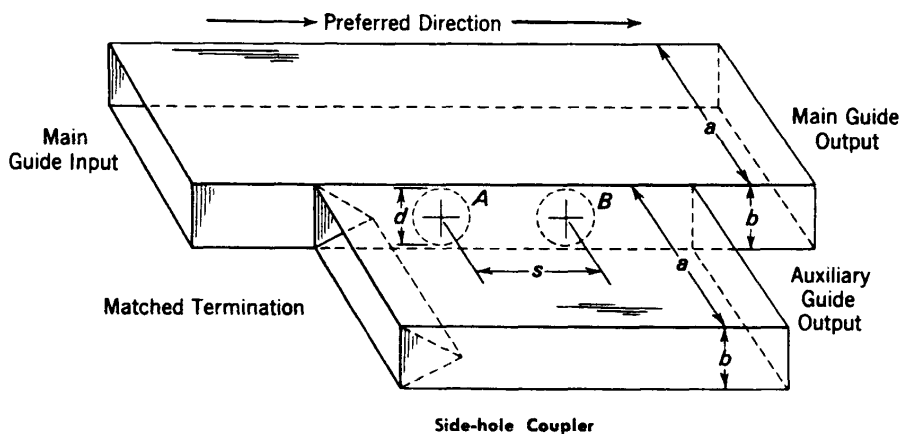
如果每個主臂輸入相同信號，則在磁場平面支臂的輸出為此兩信號之和，而在電場平面支臂輸出為兩信號之差。

六、方向耦合器(directional coupler)

如圖九所示，方向耦合器內部有兩個小孔，其距離為四分之一波長的奇數倍，若於埠 1 輸入微波信號，將於埠 2 得到同相輸出信號，於埠 4 則為反相輸出信號。



圖九、方向耦合器的示意圖與平面圖。



圖十、側洞耦合器。

微波訓練組件中之方向耦合器為側洞耦合器(side-hole coupler)，如圖十所示。當微波信號源接上耦合器的輸入端時，該微波信號會沿合適的方向進行，通過洞 A 及 B 時，有一些信號會傳輸到相鄰的空室內，且會傳輸至輔助輸出端(auxiliary guide output)。

輔助輸出信號功率和主要輸入信號功率的比值定義為耦合率(coupling factor)，係以 dB 表示，其公式為

$$k = 10 \log \frac{P_{Main}}{P_{Aout}}$$

其中 P_{Main} 為主要埠輸入之功率， P_{Aout} 為輔助埠之輸出功率。耦合器洞的大小，與耦合率有關。若是將耦合器反向裝置，微波信號由主輸出埠進入，則所有的功率將由耦合器之匹配終端吸收，在輔助輸出埠則無功率輸出。

上述為方向耦合器之理想情況，實際上，當逆向功率流過時，耦合器之輔助輸出埠仍有功率輸出。可定義正向裝置輔助輸出埠之功率，與逆向裝置輔助輸出埠功率比值，為方向耦合器的指向性(directivity)，以 dB 表示，其公式為

$$D = 10 \log \frac{P_{Aout}}{P_{A'out}}$$

其中 D 代表指向性， P_{Aout} 是正向裝置時輔助輸出埠之功率， $P_{A'out}$ 是逆向裝置時輔助輸出埠之功率。

若量測正向功率 P_F 及逆向功率 P_R ，則可將反射係數(reflection coefficient)表示為

$$\Gamma_w = \frac{P_R}{P_F}$$

而電壓係數和功率係數之關係為

$$\Gamma_r = \sqrt{\Gamma_w}$$

因此其駐波電壓比(VSWR)可表示為

$$VSWR = \frac{1 + \Gamma_r}{1 - \Gamma_r} = \frac{1 + \sqrt{\Gamma_w}}{1 - \sqrt{\Gamma_w}} = \frac{1 + \sqrt{P_R / P_F}}{1 - \sqrt{P_R / P_F}} = \frac{P_F + 2\sqrt{P_R P_F} + P_R}{P_F - P_R}。$$

七、波導管支座(waveguide stands)

其功能為支撐波導管。

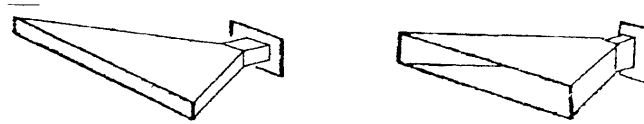
八、號角天線(horn antennas)

天線是一種能有效地將電磁能量輻射至空間中的裝置，電磁波實驗係使用號角天線。號角天線主要可分為電場平面號角天線(E-plane flare horn antenna)、磁場平面號角天線(H-plane flare horn antenna)及金字塔形號角天線(pyramidal-horn antenna)三種，如圖十一所示。

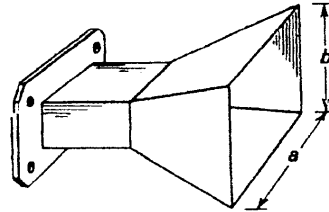
電場平面號角天線將平行電場的面展開，同理，磁場平面號角天線將平行於磁場的面展開，而金字塔形號角天線則是在電場及磁場的方向都展開。金字塔形號角天線，因為在磁場平面及在電場平面大小不一樣，所造成的輻射場型將不會在兩個平面上有相同的寬度，而與其平面的大小成反比。

九、短路終端器(shorting plate)

在微波電路中，阻抗無限大之開路負載，因寄生效應(fringing effect)，不易製作。但阻抗為零之短路負載，亦可達成與開路負載相同之反射係數，只是其相位相差 180° ，故常採用短路終端器，而不用開路終端器。短路終端器為一金屬平板，連接於波導管末端。



E-plane flare horn antenna H-plane flare horn antenna



Pyramidal horn antenna

圖十一、各種號角天線。

參考資料：

- [1] *Manual of LRL Model 550B-SS Microwave Training Kit*, 2nd Edition, Electronics Research Labs.
- [2] Robert E. Collin, *Foundations for Microwave Engineering*, 2nd Edition, New York: McGraw-Hill, pp.832-837, 1992.

0-2 接頭與轉接頭

前言：

在微波量測中，常因操作頻率、應用範圍及連接儀器不同，須使用各種不同接頭（connector）及轉接頭（adaptor）。而各種接頭及轉接頭，在設計上亦有其特殊考量，瞭解各式接頭及轉接頭之使用情況及應用範圍，將更能善用其接頭特性，減少微波量測之不必要困擾及信號損失。

內容：

一、接頭的種類及應用範圍：

常見的接頭依其設計上的不同，可以分為以下幾類：

型式	說明	用途
BNC (baby NC)	1. designed at nominal impedance 50Ω and additionally available at 75Ω impedance. 2. mating by 2-stud bayonet lock coupling. 3. 50Ω impedance for application up to 4GHz and 75Ω impedance for application up to 1GHz.	commonly used at RF & IF frequencies.
TNC (Threaded BNC)	1. Versions of BNC types with threaded coupling. 2. Their characteristics, configurations, accommodated cables and cabling procedures are very close to those of BNC types.	
TWIN	Used with twin-conductor cables (RG-22B/u etc.)	Mostly for the connection of computer systems.
N-type	1. Designed for nominal impedance 50Ω and can be used in considerably high impedance matching. 2. They are available for characteristics impedance 75Ω, although not interchangeable with standard 50Ω models.	
M (UHF)	M-type and UHF type are very close to each other in structure and in efficiency, but are not interchangeable without adapters due to difference of screw in part of connection.	Popular and economical connectors, used in case the impedance matching is not required.
F	F-type connectors are of low price.	Developed for NTSC TV antenna.
PAL		Developed for use of PAL system, TV antenna receiving etc.
SMB(C05)	Developed in response to a tendency of small	Used for RF transmissions having

	scale, light weight and high performance application.	push-on type connections.
SMA	1. Subminiature units providing high electrical performance for microwave at the wide frequency range from 0 to 16 GHz. 2. Connectors are available in stainless steel materials and excellent in durability and mechanical strength.	The most frequently used microwave connectors today, and usually used with Teflon-filled braided or semi-rigid cables.

					
BNC (公)	BNC (母)	N-type (公)	N-type (母)	SMA (公)	SMA (母)

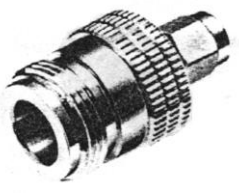
二、接頭與轉接頭的選用

選用接頭時，應考慮其頻率響應、工作環境、裝卸方式及價位等因素。而轉接頭之選擇，則須先檢視欲連接電路或儀器之接頭型式，再依各種不同應用做適當選擇。不同型式之接頭，往往因尺寸或公母不相容，無法直接相連接，此外要慎用扳手，以免傷害接頭或轉接頭之螺紋。用板手順時針方向旋轉為轉緊接頭，反之，逆時針方向旋轉為轉鬆接頭，當旋轉不順時，應立即退出，以免接頭或轉接頭不當卡緊，造成損傷。

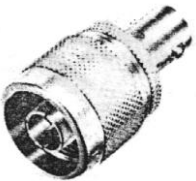
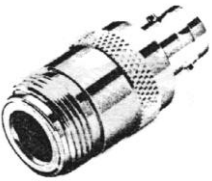
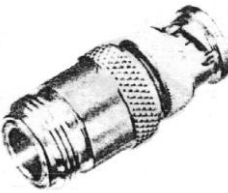
三、各種型式轉接頭的實例

(一) 本實驗較常使用部份

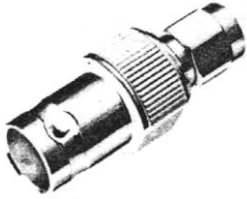
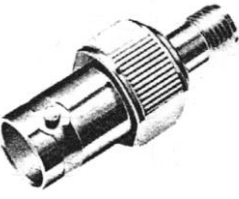
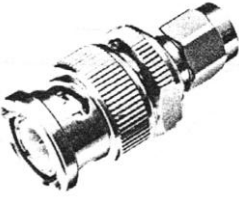
N-type ↔ SMA

			
N-type (母) 轉 SMA (公)	N-type (母) 轉 SMA (母)	N-type (公) 轉 SMA (公)	N-type (公) 轉 SMA (母)

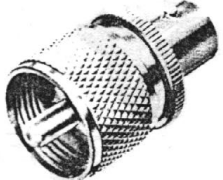
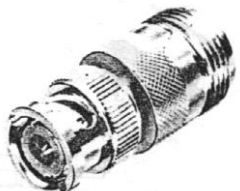
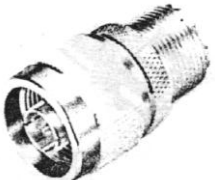
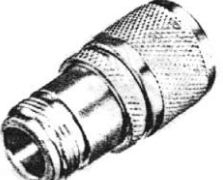
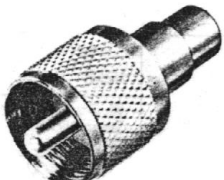
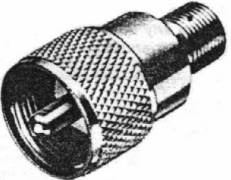
N-type ↔ BNC

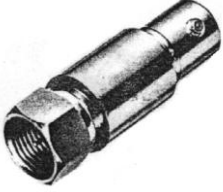
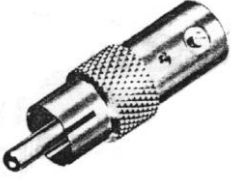
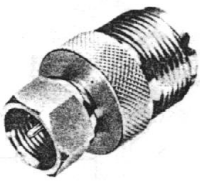
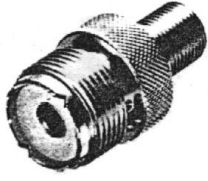
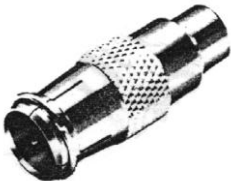
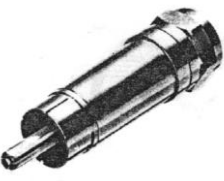
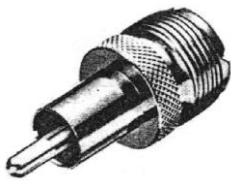
		
BNC (母) 轉 N (公)	BNC (母) 轉 N (母)	BNC (公) 轉 N (母)

SMA ↔ BNC

			
BNC (母) 轉 SMA (公)	BNC (母) 轉 SMA (母)	BNC (公) 轉 SMA (母)	BNC (公) 轉 SMA (公)

(二) 其他接頭

			
BNC (母) 轉 M (公)	BNC (母) 轉 M (母)	BNC (公) 轉 M (母)	BNC (公) 轉 M (公)
			
N (公) 轉 M (母)	N (母) 轉 M (公)	RCA (母) 轉 M (公)	F (母) 轉 M (公)

			
BNC (母) 轉 F (公)	BNC (母) 轉 F (母)	BNC (公) 轉 F (母)	BNC (公) 轉 F (公)
			
BNC (母) 轉 RCA (公)	BNC (公) 轉 RCA (母)	F (公) 轉 M (母)	F (母) 轉 M (母)
			
F (母) 轉 RCA (公)	F (公) 轉 RCA (母)	F (公) 轉 RCA (公)	M (母) 轉 RCA-Antenna (公)
			
BNC (公) 轉 TPC (母)	BNC (母) 轉 TPC (公)	M (母) 轉 TPC (公)	N (母) 轉 TPC (公)

參考資料：

[1] Charles A. Harper, *Handbook of Wiring, Cabling, and Interconnecting for Electronics*, McGraw-Hill, 1972.

0-3 認識微波傷害

內容：

微波與我們的日常生活關係密切，從微波爐、行動電話、到醫療系統，微波的應用極廣。近幾年來，微波對人體的影響，漸漸受到重視，相關的研究不斷得發表出來，當我們在享受微波對人類的各種服務之餘，亦須瞭解微波對人體各種潛在的影響，以免受到傷害。

在研究微波傷害中，我們最關心的是波長與人體器官共振波長大小相似的部份，因為此部份最易被人體所吸收。根據一般的微波安全規定，在頻率由 30MHz 至 300GHz，微波照射功率強度，以不超過 10 mW/cm² 為安全，亦即是真空中電場強度不超過 200V_{rms}/m，磁場強度不超過 0.5A_{rms}/m。對於在長時間曝曬於上述的功率強度下，以不超過 0.1 小時為安全，即能量強度以不超過 1mWh/cm² 為安全。

下表所列是美國與俄國所訂立的微波輻射安全標準。

Type	Frequency(GHz)	Radiation limit	Exposure time
<i>United States</i>			
Occupational and general public (ANSI 1982)	and 0.01-100	10 mW/cm ²	6 min
OSHA	0.01-100	10 mW/cm ²	6 min
Occupational (Army and Air Force 1965)	0.01-300	10 mW/cm ²	6 min
Occupational and general public (ANSI proposed)	and 0.0003-0.003	100 mW/cm ²	6 min
	0.003-0.03	100-1 mW/cm ²	6 min
	0.3-1.5	1-5 mW/cm ²	6 min
	1.5-100	5 mW/cm ²	6min
<i>Russia</i>			
Occupational (1977)	0.01-0.3	20-5 V/m	1 working day
	0.3-300	0.01-1 V/m	1 working day
General public	0.6-300	0.001 V/m	1 working day

一般說來，具有高能量密度的微波較易造成病變，而低能量的微波會影響人與動物的神經與免疫系統功能，微波對生物的影響可分為下列幾種：

一、微波白內障現象：

微波輻射已被證實會對人類視覺造成傷害，傷害的程度在於輻射的波長與曝照的方式，傷害的範圍依輻射強度、能量密度與曝曬時間而不同。報告指出，長時間的職業性曝曬，在微波功率密度不超過 10mW/cm² 下，並不會造成人眼的病變，但是重覆暴露在超過 10mW/cm² 的環境下，

則會造成人眼的誘導性白內障。

二、微波誘發性畸形：

任何環境的因素造成懷孕期間胎兒的成長異常皆稱為畸形，對於小型動物微波曝曬所造成的畸形已被證實，但對人類懷孕期間胎兒的影響則尚在研究。可以確定的一點是"微波輻射會造成畸形的效果"，至於畸形的成因主要來自微波的熱或是其他的機制，則尚未確定。

三、微波與 BBB (blood-brain barrier) 關係：

哺乳動物的 BBB 在解剖學與生理學上的定義，是指調理大腦中液體環境的系統。根據報導，BBB 的改變是以物理、化學與生理形式的小擾動而決定的，而微波對於大腦循環的改變，在功率密度低於 $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 的部份，則尚未有定論。

四、微波導致耳鳴的效果：

當人類暴露在脈衝激發的微波輻射中，耳朵會聽到好像從頭部附近發出的聲音，這聲音隨不同的脈衝寬度、脈衝頻率而改變，有些聽起來嗡嗡的，有些像鐘的滴答聲，有些像鳥啁啾的叫聲。有人曾做過這樣的實驗，脈衝寬度為 $1\mu\text{s}$ 到 $32\mu\text{s}$ ，頻率為 2.45GHz ，受試者聽到不同的滴答聲，從頭內發出或忽然由頭後發出，這可能是因為微波的脈衝能量，在人腦組織內產生熱彈性的壓力波，使內耳的接收器與耳小骨動起來所造成。

五、微波引發神經內分泌的效果：

內分泌的功能在微波的曝曬下會有很大的改變，微波會很敏銳的影響腦下垂體的功能，而增加腎上腺皮質的分泌，減少甲狀腺的分泌，並減少成長荷爾蒙的分泌，詳細的原因至今不明。

0-4 注意事項

1. 拆裝任何波導裝置前，須先關閉微波信號源之射頻開關，以免因微波在波導元件間之反射，造成微波信號源之輸出無適當負載而受損，或可先關閉所有儀器之電源，在完成波導元件裝置後，經檢查無誤再啟動電源，並注意須使用三孔延長線連接儀器，以免因儀器漏電而產生危險。
2. 微波信號源因須預熱，以使其輸出信號之頻率及功率穩定，除安全必要，實驗中不要任意開關電源，而應使用射頻開關。
3. 當微波信號源的電源打開時，切勿以肉眼直視波導管內部，以免造成眼睛受到微波傷害。
4. 實驗所需的各種電源線、探針、鱷魚夾、螺絲起子與板手皆分別放在實驗室的適當抽屜中，請自行取用，用畢須歸回原位。
5. 做完實驗後，須將所有的儀器歸回原位，並關閉電源開關。
6. 實驗室內嚴禁飲食、喧嘩。
7. 個人書包、衣物及實驗無關物品，勿放置於實驗桌上。