

超高频技术初步

沈 肇 熙 編 譯

人民邮电出版社

超 高 頻 技 術 初 步

沈 肇 熙 編 譯
嚴 忠 鐸 校 訂

人 民 郵 電 出 版 社

內 容 提 要

本書敘述超高频技術中的某些基本問題，例如超高频的傳播，諧振腔，波導管，空腔諧振器，天綫以及各種型式的超高频電子管等。敘述時着重基本的物理概念和應用技術，沒有高深的數學。書中還介紹了一些實用公式，並用淺顯的例子說明它們的使用方法。對於具有中等無線電基礎而希望進一步研究電視，雷達和微波通信技術的同志，是一本很好的參考書。

超 高 頻 技 術 初 步

編譯者:	沈	肇	熙
校訂者:	嚴	忠	鐸
出版者:	人 民 郵 電 出 版 社		
	北京東四區6條胡同13號		
印刷者:	人 民 郵 電 出 版 社 南 京 印 刷 廠		
	南京太平路戶部街15號		
發行者:	新	華	書 店

統一書號: 15045·無111 1956年8月南京第一版第一次印刷1-7,000冊
787×109 $\frac{1}{2}$ 1/27 156 頁印張11 $\frac{1}{2}$ $\frac{5}{7}$ 插頁6 字數219,000字定價(9)1.40元

★北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號★

序 言

本書係根據編者在國外實習期間，在工廠所得的一些超高頻技術資料，以及當時另外搜集到的一些專門訓練超高頻中級工程人員的教材，編譯而成。內容深入淺出，使初學者容易得到明確的概念；實用計算公式較多，而數學的演證較少，使一般僅有無綫電基本知識的讀者，先會聯系實際問題，做些簡單設計，對超高頻技術上的概念更具體化。這些內容，可以作為更進一步鑽研電視、雷達、微波通信和航空無綫電等技術的良好基礎。

編者在超高頻方面知識淺薄，雖編後再三校訂，謬誤之處在所難免，如有發現，請寄人民郵電出版社轉編者為感。

在編寫過程中，一部分原文曾請王先華、林葆劉兩同志代為譯校，全稿並經北京鐵道學院嚴忠鐸教授審查，提出很多寶貴意見，謹誌謝忱。

沈肇熙 1956年7月於北京

目 錄

緒 論

第一章 超高頻的傳播

1. 接收場強及電力的計算..... (6)
2. 通訊距離和天綫高度..... (10)
3. 天綫陣的接收功率..... (12)
4. 綜合實例..... (14)

第二章 諧振綫

1. $\frac{\lambda}{4}$ 諧振綫的 Q (17)
2. 短路方法..... (21)
3. 平行導綫及共軸綫上的集膚作用..... (21)
4. 短於 $\frac{\lambda}{4}$ 的短路諧振綫的阻抗..... (22)
5. 諧振綫充電阻變換器..... (24)
6. 諧振綫充振盪槽路..... (27)
7. 諧振綫充高頻放大級輸入槽路的條件..... (30)
8. 匹配問題..... (31)
9. 環圈耦合法..... (37)
10. 電壓昇高問題的討論..... (39)
11. 墊配綫段..... (39)
12. 綜合實例..... (41)

第三章 波導管

1. 場的概念..... (48)
2. 波導管概說..... (53)

I 圓形波導管.....	(54)
II 長方形波導管.....	(60)
III 高型波.....	(64)
IV 斜波概念.....	(68)
V 波導中的衰減.....	(77)
VI 同軸電纜的用途.....	(82)
VII 阻抗的概念.....	(84)
VIII 截面漸變的波導.....	(92)

第 四 章 空腔諧振器

1. 半波諧振腔.....	(95)
2. 空腔諧振器的一般特性.....	(97)
3. 空腔諧振器的並聯電阻.....	(98)
4. 空腔諧振器的Q 值.....	(99)
5. 空腔諧振器的形狀.....	(99)
6. 空腔諧振器的計算公式.....	(100)
7. 空腔諧振器的應用.....	(105)
I 波長表.....	(105)
II 波的激發和接收.....	(106)
III 電抗同軸綫段.....	(107)
IV 多路傳輸.....	(109)
V 接收系統.....	(109)
VI 像頻衰減.....	(111)
VII 環狀交連檢波的設計.....	(103)
VIII 波導管和空腔諧振器的耦合.....	(115)
8. 綜合實例.....	(118)

第 五 章 輻射器

1. 輻射天綫陣.....	(124)
---------------	---------

I	天綫陣的基本作用	(124)
II	反射器	(126)
III	天綫陣的用途	(131)
2.	偶極天綫	(132)
I	偶極天綫的尺寸大小	(132)
II	頻帶寬度的問題	(132)
III	對偶極天綫匹配的方法	(134)
3.	空筒輻射器	(138)
I	$TE_{0,1}$ 分佈情況下的輻射	(138)
II	$TE_{0,2}$ 分佈情況下的輻射	(139)
III	輻射圖形的計算	(140)
4.	號角輻射器	(145)
I	原理	(145)
II	月牙號角	(147)
	(I) 實例	(151)
	(II) 激勵的方法	(152)
	(III) 月牙號角的輻射	(154)
	(IV) $TE_{1,0}$ 型傳播	(159)
III	角錐形號角輻射器	(161)
IV	雙圓錐形號角	(162)
	(I) 功率增益	(164)
	(II) 設計曲綫	(165)
	(III) 激勵的方法	(167)
V	多單位的號角組合	(169)
5.	反射器	(172)
I	拋物面反射器	(172)
II	加裝第二反射器	(174)

III 拋物面的大小	(175)
IV 反射面內的電流	(175)
V 拋物面反射器的能量輻射	(176)
VI 反射面設計	(177)
VII 圓柱拋物面反射器	(180)
6. 綜合實例	(182)

第 六 章 超高頻電子管放大混頻和雜音問題的分析

1. 輸入負荷的分析	(186)
I 放大級的增益	(186)
II 柵屏極間的電容量	(187)
III 陰極引綫的電感量	(189)
IV 減低陰極引綫電感量影響的方法	(190)
2. 雜音問題	(191)
I 電阻器雜音	(191)
II 電子管雜音	(195)
III 電子管的等效雜音電阻表	(198)
3. 信號雜音比的計算	(198)
I 輸入負荷感應雜音	(198)
II 信號雜音比	(198)
III 收訊機的雜音數據	(202)
4. 混波問題	(203)
I 混波管的特性	(203)
II 二極變頻管	(205)
III 高次諧波混合	(206)
5. 臨界頻率的討論	(207)
I 經過高頻放大再混頻	(210)
II 直接混頻	(213)

- 6. 接地柵極放大器..... (214)
 - I 負柵極電子管的缺點..... (214)
 - II 輸入總阻..... (215)
 - III 輸出總阻..... (216)
 - IV 總阻匹配..... (216)
 - V 增益的計算..... (218)
 - VI 有無放大級的比較..... (220)
 - VII 信號雜音比..... (221)
- 7. 綜合實例..... (222)

第 七 章 超高频電子管問題的分析

- 1. 電子渡越時間影響..... (232)
 - I 二極管..... (233)
 - II 三極管..... (234)
 - III 渡越時間負荷..... (235)
 - IV 屏極渡越時間..... (236)
 - V 渡越時間的其他影響..... (237)
 - (I) 電子管常數..... (237)
 - (II) 各極電壓的大小..... (237)
- 2. 收訊電子管..... (240)
 - I 榜質管..... (240)
 - II 燈塔管..... (242)
 - III 脈衝工作..... (245)
 - IV 金屬超高频三極管..... (246)
- 3. 發訊電子管..... (248)
 - I 各極引綫電感量的分析..... (248)
 - II 諧振綫的採用..... (249)
 - III 引綫感應量的減少..... (250)

IV 玻璃的封口	(251)
V 電子渡越時間對發訊管功率的影響	(251)
VI 玻璃壁上的電子衝擊	(253)
VII 功率輸出管的一般問題	(253)
(I) 推挽式的優點	(254)
(II) 簾柵管和束射管	(256)
(III) 中和問題	(257)
(IV) 大型水冷管的構造	(258)
(V) 其他	(259)
(VI) 氣冷和水冷的比較	(260)
4. 綜合實例	(261)

第 八 章 特型超高頻電子管

1. 感應輸出管	(264)
I 原理	(264)
II 構造	(268)
2. 調速管	(271)
I 原理	(271)
(I) 調速管的基本作用原理	(273)
(II) 調速管放大器	(276)
(III) 調速管的運用特性	(277)
II 調速管充振盪器	(282)
III 可調調速管	(289)
IV 反射調速管	(291)
V 調制方法	(292)
3. 磁控管	(292)
I 原理	(292)

(I) 電場與磁場的共同作用.....	(294)
(II) 運動的分析.....	(294)
II 分瓣陽極磁控管.....	(296)
III 高次諧波的振盪.....	(298)
IV 陰極的加熱.....	(299)
V 磁控管的優缺點.....	(299)
4. 綜合實例.....	(300)

緒 論

超短波的領域，在現代已經是一個特別重要的領域。它所佔的頻帶範圍的用途，將逐漸擴展，也是毫無疑問的了。但這不意味着超短波帶在應用上將代替其他較低頻帶，它們還將是相輔而行的。

的確，在許多方面採用超短波的理由，是因為中、長波帶及一般短波帶已經實際上完全被利用了的原故。人們不得不向更高的頻帶發展。在最初對超短波探討和試用的階段，已經發現它是雖有優點，也有不少嚴重缺點的；但人們能以無比迅速的進度，將理論和實際相互配合起來，儘量減低了超短波帶應用上的困難。目前，由於蘇聯先進的科學家們所做的一系列的試驗和研究工作，已獲得了輝煌的成就，對限制超短波發展的主要困難之一——傳輸距離一般不能超過視線距離的問題，已經找到了完全可以獲得解決的道路。蘇聯的技術條件，已經可以在陸地上裝置數量不少的串聯微波接力站，在空中利用飛機裝置超短波轉播站，大大地擴展了超短波的通信和廣播的距離。蘇聯的偉大科學家們，爲了研究宇宙現象，正在創造人造的衛星，將來這些衛星，將同樣可以用作電波反射器，那時超短波的傳播，將更不受到地理上的限制。

“超短波”這個名詞，常用來表示頻率在30兆週以上的無線電波。仔細的劃分，還可以列爲三個頻帶如下表：

頻 率 範 圍	波 段 範 圍	頻帶和波帶名稱
30— 300兆週	10—1公尺	極高頻和極短波
300— 3000兆週	1公尺—10公分	特高頻和特短波

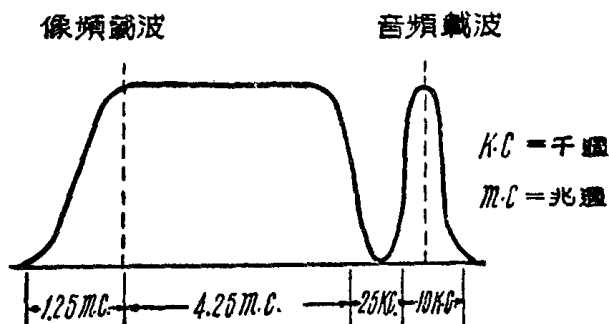
3000—30000兆週 10公分—1公分 最高頻和微波
這樣的劃分，雖對實際分析問題是有幫助的。但本書內不強調名稱上的區別，它們在實際上所表現的區別，將通過具體數字的計算和討論來自然地加以說明。

我們試將0—30兆週的頻帶範圍和30—30000兆週的範圍比較一下，它們的比值是：

$$\frac{30000-30}{30-0} \approx 1000$$

即30—30000兆週這個“超短波”範圍，比起全部中、長和短波段的總和接近大一千倍。可見超短波的領域確實是極端廣闊，這就是最初向超短波發展的基本原因。

除了整個頻帶較寬的原因外，在調頻的音樂廣播和受像頻調制的電視廣播技術的發展上，都需要寬頻帶的調制和輻射。例如有一電視廣播台，其載波頻率為51.25兆週，它受4.25兆週寬的像頻的調制，產生上邊帶和下邊帶，各佔頻帶為由載波起到 $51.25+4.25=55.5$ 兆週（上邊帶）和 $51.25-4.25=47$ 兆週（下邊帶）。如果加用了適當的寬頻帶濾波裝置，幾乎消除整個下邊帶而不影響上邊帶。結果一個電視廣播台所佔頻帶可示如下圖：



圖上同時繪出了音頻載波和音頻調制所產生的上下邊帶。這樣寬一

個頻帶需要被收發信天綫接收和輻射，還可能需要在接收機的高頻放大級內加以放大。

設像頻載波不是51.25兆週而是2兆週。最低的像頻邊帶頻率將為： $2 - 1.25 = 0.75$ 兆週；而最高的像頻邊帶頻率將為： $2 + 4.25 = 6.25$ 兆週。在由0.75到6.25兆週這樣寬的頻帶內，天綫的輻射電阻的變動是極大的。把天綫當成一種2兆週的傳輸綫來看，設它的長度恰是 $\frac{1}{4}$ 波長，在0.75兆週時，就變為 $\frac{3}{4} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{3}{32}$ 波長；而到了6.25兆週，又變為 $6.25 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{25}{32}$ 波長。一付天綫的長度已經固定，很難在 $\frac{3}{32} - \frac{25}{32}$ 波長的範圍內都產生諧振。天綫以2兆週為中心對頻率的均勻響應，寬度超過40千週是不容易做到的。

但用了51.25兆週的載波，改用 $\frac{1}{2}$ 波長的天綫，頻帶寬度現在是由 $51.25 + 4.25 = 55.5$ 兆週到 $51.25 - 1.25 = 50$ 兆週。天綫的長度就相當於由 $\frac{55.5}{51.25} \times \frac{1}{2} = 0.542$ 波長到 $\frac{50}{51.25} \times \frac{1}{2} = 0.485$ 波長。雖有些變動，但長度始終接近 $\frac{1}{2}$ 波長，不難保持天綫的諧振。

這個例子簡單地說明了一切寬頻帶的調制，都必須用超短波的載波。像許多種的脈衝調制的信號，所佔的頻帶都很寬，通常也都是用超短波來傳送的。

我國的民用航空事業，正在迅速發展中，現在所用的飛行的方法，是所謂“歸航制”，即飛機對準一個地上的中波導航塔飛行，難免隨着風向和風速的不同，不能走最近的距離。有時因估計側面風的速度有錯誤，在多山地區，容易發生危險。將來需要用無線電在空中佈置固定的導航綫，即所謂“航路飛行制”。這種看不見的無線電航綫，最初的試驗和實用，都是採用接近300千週的長波來佈置，經

驗證明長波還有產生航路彎曲和假航路的危險，若改用接近100兆週的超短波“航路飛行制”，就可以使飛行更安全，許多國家已經採用。

有些時候，在大霧的天氣裏飛行，不得不利用無線電儀器的輔助，進行盲目降落。理論和實際已經證明：水平偏振波被地面反射時，受地面情況變化的影響比較小，而垂直偏振波所受影響比較大。因此水平偏振波所指示的下滑弧綫就比較可靠，不隨冰、雪、雨、霜、等情況而有顯著變化。但水平偏振波須用水平天綫來輻射、爲了要它指出滑下弧綫，它的輻射角度要高，因爲飛機是由高空下來的。要一付天綫有較高的仰角，它離地面的距離就需要有好幾個波長。若不用超短波，這樣天綫的架設幾乎是不可能的；而且架起以後，對飛行的安全還是有妨礙的。相反的，用了超短波，就可用拋物面反射器或號角形輻射器，能夠對準一定的方向，輻射出一束電波，根本避免了地面的反射和冰、霜、雨、雪的影響。

超短波的傳播距離，一般既不超過視綫距離，那末兩個電台（例如調頻音樂廣播、電視台或超短波接力站）相隔，超過兩倍視綫距離，就可用同樣頻率工作，不相干擾。所以航空和廣播方面，更可以充分利用超短波來服務。特別是收聽調頻廣播的接收機，對外來信號有自動挑選強信號的特性，因此由於鄰近地球的空氣層不十分穩定所造成的電波折射現象，雖有可能使超短波的傳播有時超過視綫距離，但這種信號一般較弱，所以同頻率的調頻廣播的相互干擾是幾乎完全可以免除的。

超短波設備的零件小巧，超短波的天綫也容易製造。極複雜的天綫陣所佔面積也並不太大，而輻射能量十分集中，等於增加了發信機的功率輸出和收信機的靈敏度。用於電視廣播的天綫，容易將輻射的圖形“壓成”薄圓錐形，貼近地面的輻射功率大。若在其他頻

帶廣播，要水平面輻射大，其他仰角的輻射小，困難就大得多了。

不過，正因為超短波零件小，數值不穩定，很短的一根連接綫對綫路有很大的影響或相當於傳輸綫的作用。電子管內的連接綫和電極支持柱也要儘量縮短，使得各種電子管都比較小，功率輸出受到了限制，一般不超過十瓦。雖然可用脈衝調制的辦法，使峯值輸出可高到上萬瓦，但平均輸出還是有限的。這雖是比較重要的限制，但先進的蘇聯的及若干人民民主國家的電子管製造工業，正以無比迅速的進度繼續打破這種限制。

隨着超短波輻射功率的增加，它的用途將更廣泛，除了在多路通信和電視廣播方面的迅速發展外，遠程測距和探索目標方面的應用，將有顯著進步。過去用雷達探測月球和用無線電望遠鏡接收由太陽及比太陽更遠得多的星系輻射的電磁波的經驗，已經證明這種探測，方向和距離上都很準確，而且證明了星際的空間，對超短波帶的電磁波的吸收作用不大，是有利於超短波在探測宇宙方面的充分利用的。同理，不久的將來，用超短波來控制星際飛行的火箭，將會實現。

在這裏，作者謹向一切開始從事探討實用超短波知識的技術工作者們，樂觀地指出他們的事業將有無比遼闊的日新月異的遠景，他們將給人類帶來關於宇宙的更豐富的知識。他們既從事這方面的技術工作，將來對天綫和電磁波的理論，對麥克斯韋以及其他先進的學說，還需要逐步了解。但在更深入的鑽研超短波技術知識以前，對一些基本概念和應用技術常識，能夠通過深入淺出的方式，具體掌握，將是一個良好的基礎。本書介紹了一些實用公式，着重以淺顯的例子說明它們的使用方法，儘可能免除比較複雜的數學證明；其他內容，能夠利用普通無線電和電學常識加以解釋的，都儘量用文字敘述，闡明其物理意義，其目的就在於此。

第一章

超 高 頻 的 傳 播

1. 接收場強及電功率的計算

頻率在30兆週以上的電磁波，穿過上空電離層，不能折回地面，若沿着地面行進，因能量的消耗，在地面上是和電磁波的頻率成正比，故衰耗極速。除非距離極近，是無法利用的。主要傳播是賴直綫輻射及大地反射的兩種方式，稱為空間輻射波，或簡稱空間波。

圖1—1表示相距為 d 的發訊及收訊天綫，其高度各為 h_t 及 h_r 。當 d 的值遠較 h_t 及 h_r 大時， α 角極小。由於地面對電磁波的作用，並不是相當於一個純電阻，而係相當於一個阻抗，所以被地面反射出來的電磁波，不僅所含能量比投入時減少，同時它的相角也有變動。在講電磁波傳播理論的書籍中證明了這種相角的變動是與投射角 α 的大小有關係。當投射角 α 在0至90°之間變動時，反射出來的電磁波的相角的變動是從180°至0°。當 α 角的大小恰好使反射出來的電磁波在相位上比投射到地面的電磁波差90°時，我們稱這個投射角 α 為“偏振角”。如果 α 小於偏振角，反射出來的電磁波相位的變動就接近180°。

現在，我們的 α 角極小，所以電磁波由大地反射時，相位角被改變180°。圖中 AC 為直射綫， ABC 為反射綫，因二者長度上有差別，又使後者對前者的相角改變超過180°，因此兩波相遇，不能完全相消，而產生二者的矢量和。若 h_t 及 h_r 的高度增加至反射綫與直