

无綫电多路通訊

上 册

陈明正編

—內部資料—

北京科学教育出版社

961.8.

無線電多路通訊

上 冊

內 部 資 料



陳 明 正 等 編

北京科学教育出版社出版

西 安 五 三 七 工 厂 印 刷



开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张 $13 \frac{1}{4}$ 字数327千字

1961年8月第一版

1961年8月第一次印刷

印数1-3730册 本册定价1.54元

統一書号4509

內 容 提 要

本書主要敘述各種無線電多路通訊的基本原理，系統設計以及一些重要部件的計算與設計，全書共分四篇，計十四章。第一篇共有五章，分別討論行波管放大器，微波鐵氧體器件，低噪聲電路，固體放大器，超高频滤波器的計算與設計。第二篇的內容為調頻制微波多路通訊，共分三章(6-8章)。內容有：各種現有調頻制微波多路通訊系統的簡單介紹，它的系統設計及終端機。第三篇共分三章，內容包括脈沖調相制多路通訊的系統的系統設計及其終端機設計，最後對分層(量化)脈沖調制亦作了概括的介紹。第四篇主要介紹各種其他通訊技術。全篇共分三章，第十二及十三章分別介紹最近幾年來蓬勃發展的單邊帶通訊及散射通訊。對於其他幾種通訊技術如：同步通訊，寬頻帶波導通訊，紅外綫通訊及快速通訊等則在第十四章作扼要的敘述。

本書適合於高等學校無線電通訊機專業作為教材之用，或其他有關專業作為教學參考書。對於從事無線電通訊事業的工程技術人員亦有參考價值。

上册目录

緒 論

第一篇 超高频通讯机部件設計

第一章 行波管放大器

1-1	行波管的特征和简单工作原理	12
1-2	波与电子的相互作用	17
1-3	行波管放大器的主要特性分析	19
1-4	在行波管中防止振荡的衰减	28
1-5	行波管的工作频带	31
1-6	行波管的噪声問題	31
1-7	行波管电子束的聚焦	32
1-8	行波管之结构	34
1-9	行波管成为自激振荡器	37
1-10	周期性不均匀慢波系統的一般特性	40
1-11	利用周期性不均匀的慢波系統 作成反波管超高频振荡器	42

第二章 微波铁氧体器件設計

2-1	引 言	45
2-2	铁氧体的微波特性	47
2-3	铁磁谐振现象分析	56
2-4	旋磁介体的去磁作用	71
2-5	法拉第旋轉效应	95
2-6	铁氧体薄片在矩形波导中的谐振现象	110

2-7	矩形波导中的相移和场移现象·····	134
2-8	铁氧体器件及其在微波技术上的运用·····	139
第三章 噪声与低噪声电路		
3-1	概 說·····	149
3-2	放大器及接收机各种噪声参数的定义·····	154
3-3	多级放大器的合成噪声参数·····	162
3-4	电子管的初级噪声参数·····	163
3-5	阴地式、栅地式、钹地式单级放大器·····	166
3-6	三种型式单级放大器的综合比较·····	177
3-7	阻抗变换网络·····	189
3-8	低噪声电路的设计·····	197
第四章 固体放大器		
4-1	固体放大器的种类与应用·····	216
4-2	非线性电抗元件的分析方法·····	219
4-3	负阻式参量放大器·····	248
4-4	变频式参量放大器·····	276
4-5	行波式参量放大器·····	294
4-6	铁氧体参量放大器·····	307
4-7	隧道二极管放大器·····	313
4-8	量子放大器·····	321
第五章 超高频滤波器的设计		
前 言		
5-1	滤波器的综合设计方法 及其在超高频段的实现·····	338
5-2	常用微波滤波器的设计·····	373

緒 論

最近十几年来，超高频技术有了迅速的发展，在这个基础上，通讯系统也得到了迅速的发展。因为通讯系统的发展过程就是不断提高通讯效率与可靠性的过程，利用同轴电缆，有线电通讯可以可靠地同时傳送几百路話路；但是在有綫綫路很难架設或根本无法架設的地点还必须依賴无綫电作为主要通訊。在无綫电通訊中，又往往由于多路通訊需要增大傳輸頻帶而变得无法实现。因而只有在超高频通訊技术基础上，才得到了迅速的发展和广泛的应用。或者可以說不断提高通訊容量的要求是超高频通訊技术迅速发展的重要原因之一。

本課程主要講授在超高频($f > 30$ 兆赫)範圍內的多路通訊系統，如上所述，它是在有綫电通信(明綫和電纜通信)和无綫电通訊(长、中、短波)的基础上发展起来的。它与上述兩種通訊比較起来有着非常显著的优点：

1. 适用于多路通訊：因为頻帶与中心頻率之比 $\left(\frac{\Delta F}{F}\right)$ 愈大，在設計制造部件时愈困难，所以通頻帶之值有一定的限度，对长、中、短波而言， F 值較微波約低百倍，所以能做到的頻寬 ΔF 值也小得多。当終端机無論是采用时划分制或頻划分制时，在一对天綫上同时能傳送数群每群話路約 2000 之多的電話，則所能傳送的話路数在微波中可达約 10,000 路以上(指用載波机作为終端設備时)，而用短波則只有四路，用同軸電纜也可達約 2,000 路，用时划分脉冲調制作終端机时，用微波机达 48 路，至于用短波等方法基本上难于傳送，以致沒有使用这个方法，所以在多路无綫电通訊中，只有采用超高频通訊技术。

2. 在某些關鍵部件上較其他方法起同样作用的部件設計要

简单得多;例如在同軸電纜或平衡電纜通訊中,最难設計制造的部件是其“自动增益調節器”(APY)它的任务是要在 12~252 千赫的頻率範圍內进行增益調節,由于電纜的頻衰曲線在如此寬的頻率範圍內不是平的,所以該調節器也要能补偿在各种温度下的頻衰响应,故結構很复杂,是由复杂網絡构成,当路数更多时,更是复杂,因此是整个系統中最难的部份,但如采用微波机(例如微波調頻机)发送时,則在路途中所需頻帶寬度約为 2 兆赫,如

果中心頻率在 1,000 兆赫以上时,这时相对頻寬 $\left(\frac{f + \frac{1}{2} \Delta f}{f - \frac{1}{2} \Delta f} \right)$

很小,自动增益調節只需在微波机中中頻放大器內加简单的自动电平調節就行了。因为相对頻寬狹,所以頻率响应基本上是平的,因而用不着用 LC 組成的可变校正網絡,这样,它的終端机內非常难做的自动增益調整就被省去了。

3. 微波集束性强(即天綫方向性强),故抗外来干扰强,别处不易收到,增加保密性能。

4. 在两个接力站間电磁能傳輸的衰落衰耗要較之短波通訊利用电离层反射的衰落現象要小得多。根据測量結果,大部份工作時間的衰落是非常小的,衰落深度在 10 分貝以下,只有持續時間短暫的較深的衰落。但在設計机器时可以不考虑,因为在这短暫的時間內(例如在 0.01% 的工作時間內)联络是不会中断的。所以通訊稳定可靠。

但微波通訊也存在一些缺点,某些微波器件如微波三极管,波导等精密昂貴,并且設備复杂,技术性高,維護不易等等,但随着技术的发展,这些缺点也逐渐在克服着。

在利用超高频进行远距离多路通訊时,我們采用的方法就是轉发信号,也就是利用接力綫路来进行远距离的多路通訊,由于超

短波、微波的傳播特性，它不能被电离层反射到地面上来，只能利用地面波及直射波傳播，通常仅限制在視線区域内，在視線范围之外，由場强度随距离增加而迅速减小，通訊就不可靠。所以每隔五十公里就需一个接力站，但多路信号經過多次轉发直接影响着通訊的可靠性，并有可能引入較大的串話干扰。

尽管如此，由于超高频通訊有着別种通訊难以代替的优点，所以很多国家都在积极地发展它。尤其在我国，幅員广闊，人口众多，无綫电多路通訊更是不可缺少的一个部門，預料不久，即将得到异常迅速的发展和广泛的应用。

无綫电多路通訊还广泛的在軍事上获得应用，它在軍事上应用的特点是：

1. 建立联络迅速；便于机动；通訊稳定可靠，不易受時間季节变化的影响。

2. 由于使用无綫电接力通訊的結果节省了大量綫路器材，并不易遭受敌方炮火的破坏而中断通訊連絡。

3. 保密性較好，不易被敌方截收。

4. 可以代替有綫电綫路跨越河川，海洋等建立联络。

在現代战争中，由于各种新式武器的使用(特别是核武器及彈道火箭等)，战争是在寬广正面、深远的縱深内高速度进行的，因而軍队的指揮大大的复杂了，这就不仅要求建立指揮用的通訊联络須迅速及时，稳定可靠，而且还要作到不泄密。为此，有綫电通信联络在若干場合就难以滿足上述要求，而无綫电通訊工具虽然基本上可以达到上述要求，但由于指揮任务的复杂，在每个通訊方向上只建立极少的无綫电通訊往往难以滿足指揮需要。因此为了通訊联络組織的稳定可靠，就有必要使用无綫电接力通訊以建立稳定的、多路的、保密性較好的通訊綫路以补有綫电和无綫电通訊的不足。在軍事通訊上，使通訊設備的体积日益縮小，使用日益方便，这也是一个很重要的研究任务。

多路通訊系統基本上分为兩種制度：頻率划分和時間划分。但也有時根据需耍采用頻分时分組合制的。在多路無線电通訊系統中，用頻分制可以得到比时分制数量多得多的訊路，这已在前面談到了。

在多路無線电通訊系統中，对于原始信号至少需要通过二次調制才发送出去，第一次調制是在复用設備中进行的（例如載波机和脉冲終端机）。第二次調制是在复用設備輸出的各路信号的总和通过調制改变性能参数以利于傳輸，所以通訊机的种类可按調制方式来分类：

属頻划分的有：

1. 单边帶——調頻制 (OB—FM)
2. 单边帶——調頻——調頻制 (OB—FM—FM)
3. 单边帶——調幅制 (OB—AM)，或单边帶——单边帶制 (OB—OB)

各种调制制度的特点

调制型式	所需频率 (兆赫)	噪声最大那路的低频率信号噪声比 (设只有热噪声, 电子管噪声)	特点
OB	0.15	7.29奈培	因为不象FM及PM等型可以使用調幅器, 所以APV要求严格, 否则会严重失真, 且部件穩定度要求高, 一般在微波波段不使用。
OB-4M (当 $\eta=2\%$)	1.2	7.25奈培	抗干扰性較好, 路數多, η 取用大些时抗干扰性能更好, 但部件制造調整复杂些 路途做輸發耗變化对其質量的影响也小 (因用了限幅器) 其終端可用現成的載波机。
OB-4M (当 $\eta=24.7\%$)	8.0	8.82奈培	同上

續表1.

調 制 型 式	所需頻率 (兆赫)	噪声最大那路的低頻信号噪声比 (設只有熱噪声, 电子管噪声)	特 点
ВИМ	8.0	9.37奈培	抗干扰性好, 終端設備簡單(不需用大量的 滤波器)个别波道易于在总的波道中分出, 但由于所需頻帶寬, 故路數較少。
КИМ	1.4	6奈培以上, 但距离无限增 加, 只需增加增音站, 低頻 信号噪声比不增加。	在每个增音站可以将脈冲重复产生, 所以 理論上說可以增至无穷远, 对高频信噪比 的要求也低(只需1.5~2奈培), 只要能不 錯誤的激发脈冲就行, 所需頻帶較寬, 路數 与ВИМ相仿, 設備較ВИМ复杂些。
ОБ-ЧИМ-ЧИМ	> 8	10奈培以上	所需頻帶太寬, 在多路电话中未被采用, 常用于需要抗干扰性极高且信号頻段窄, 路數少的場合, 如遙測等。

屬時划分者，

4. 脉冲調時——調幅制 (ВМ—АМ)，常說成脉位調制 (ФМ—АМ)。

5. 脉冲編碼制 (КМ—АМ—ОБ)

屬頻分时分組合的有：

6. 脉冲調幅——調頻制 (АМ—ЧМ)

現將各種制度的优缺点列入表 I 中，它是將各種不同調制制度的多路系統按同樣天綫間傳輸損耗、同樣發射功率、同樣路數、同樣接收機靈敏度計算出來的，其條件為：

衰耗四端網絡 = 10.10 奈培 (指一個增音段)

發射功率 $N_s = 10$ 瓦

路數 $k = 24$

接收機靈敏度 kT_0 值， $n = 10$

從表中特點一項可以看出 ОБ—ЧМ 及 ВМ 制度在傳輸電話信號中很有利，所以目前使用最多，КМ 制度也在發展中，所以本課程講授內容也偏重于此。

在頻划分时分划分組合制中，多路信號先后划分兩次，例如先按時間划分，再按頻率划分。因此在复用設備中信號要經過兩次調制或解調，在某些情況下，需要兼用时分制及頻分制的優點，取長補短，即可採用這種方法。例如可以將 96 個話路中每 12 個話路按時間划分成 8 個群路，在 8 個群路間再按頻率划分組合起來對主載波調制。這樣一方面保持了脈沖調制的某些優點，同時也解決了时分制容量不大的問題。

在廣泛使用與研究超高頻技術中，發現了超短波可以被對流層、電離層及流星余迹所散射而超越地平綫傳播數百公里甚至一、二千公里以上。在 1950 年以後陸續研究出了利用這些傳播方式建立可靠通信聯絡的方法與設備。這對於遠距離通訊的進一步發展，有着重大意義。例如在對流層散射通訊綫路上可以同時

傳輸120路電話及一路電視信號，直接傳輸距離可達600公里。

由於它有着無可比擬的優點，單邊帶調制方式作為有線載波通信及短波通信已用了很久。在各種調制制度中，它占用的頻帶最窄，需要的發射功率較小，並且單邊帶制不象調頻制那樣有門檻值效應，因此特別適用於接收低信號噪聲比的弱信號。這些對散射通信的設備來講，有着特別重要的意義。因此，隨着散射通信技術的不斷發展，今天已趨向於更多的採用單邊帶制。設計製造單邊帶散射通信設備的主要困難在於它要求設備具有高度直線性的振幅特性以及高度的頻率穩定度。目前已設計製造出了直線性很高的大功率速調管，採用晶体不連續頻譜激勵器的穩頻系統也能够在超高频段上得到滿意的頻率穩定度。所以，可以想象單邊帶制在今後的大容量多路散射通訊系統中必會得到日益廣泛的應用。

在這裡還應該提到同步通訊制（抑制載波的双邊帶調幅制）。在占用頻帶方面，它雖不如單邊帶制，但是在設備複雜程度及抗干擾性方面，它却有着單邊帶制不能代替的優點。因此，在容量不很大的線路上，它顯然也同樣地是一種適應散射信號特點的制度。

最近幾年中，又研究出了一種更新型的超高频多路通信方式——波導管通訊。利用 H_{01} 型波導管在毫米波段進行遠距離通訊，其通訊容量大大超過上述各種通訊方式。其傳輸帶寬可高達四萬兆赫，可以在這樣波導管中傳輸幾十萬路電話或幾百路電視節目，這種傳輸方式已引起各國的廣泛注意與研究。目前還主要處在實驗線路階段。但這種線路容量大，抗干擾性高，畸变小，衰耗低，極適合於傳輸寬頻帶多路信號，有廣闊發展前途。

在紅外線的波長範圍內（ $\lambda=0.8$ 微米到3.5微米）亦可用作通訊聯絡用。這在軍事上作為短距離聯絡通訊是非常適合的。

最近幾年來，在超高频技術的迅速發展下，一些新型的微波

器件正在实验室内不断地研究制出来，并且正得到日益广泛的发展和利用。例如行波管放大器，微波铁氧体器件，固体放大器等。这些器件的得到应用，就为微波中继通讯带来了无可比拟的优越性，使多路通讯系统达到更完善的境地。

因此，本课程内容将分成下面几个部份来进行：

1. 部件设计：包括一些最新发展的器件的成就与应用，以及一些特殊的部件（一般的部件设计已在接收、发送等有关课程中述及）如微波滤波器等；
2. 调制多路通讯；
3. 脉冲调制无线电多路通讯系统；
4. 其它通讯：包括单边带通讯，散射通讯，以及其他一些特种通讯如同步通讯、宽频带波导通讯等等。



第 一 篇

超高頻通訊机部件設計

在本篇討論超高頻通信机一些主要部件的基本原理和設計方法。超高頻机中的有些部件如一般中頻放大器，混頻器及脉冲調制設備等已在有关接收和发送书中較詳細的談到，所以不再重复。在本篇中主要談到下面的几种部件：在第一章中討論通訊机所用到的各种行波管的工作原理和基本計算公式。第二章談到通訊机中所用微波鉄淦氧元件的工作原理，性能，和这类部件的設計原則，偏重在隔离器，环形器。第三、四章都是討論关于超短波及微波的低噪声放大电路。第三章偏重在基本原理及电子管低噪声电路，其中举有設計的实例。第四章則談到微波固体放大器的工作原理及其应用，包括各型参量放大器，隧道二极管放大器等。最后第五章討論超高頻通訊机中所用的各种濾波設備的設計原理，并說明用网络綜合原理設計最平型及契比西夫型微波濾波器的方法。

第一章 行波管放大器

1-1 行波管的特性和簡單工作原理

I. 特征

在速調管中我們应用了速度調制的办法，把直流电子束变为交流(电子束被密度调制)，并且使电子束与高频諧振腔中的电磁場直接相互作用，从而克服了因频率提高后电子渡越時間的影响。但速調管还存在某些缺点：

1. 在速調管中电子与諧振电磁場相互作用还不够十分有效，因为电子在諧振腔栅栏之間的渡越時間相对的說还是很大，所以不能保証所有的电子都把能量給高频場。

2. 速調管噪音級相当高，由于电子束电流大，故起伏噪声影响大。

3. 放大速調管在超高频設備中不能保証寬广的通頻帶。由于采用了諧振腔(相当于調諧回路)設法改善速調管的效能，即利用較窄的空間产生大的交流电压，然后使大的电子流通过此狹窄的空間。为了产生大的交流电压，就需要采用高 Q 的諧振腔，在利用了 Q 值高的諧振腔之后，就不可避免地会把頻帶縮窄，另一方面在电子通过栅极时将产生栅极損耗。一般即使电場較弱，只要电子流速度能与电場的某一分量的相速度相等，电場与电子流在同步情况下作用的时间足够长，则电子流与高频的电場間仍能交換比較多的能量，这就可以制造工作效率高、频率范围寬的电子管。为了使变化非常迅速的电場和电子流同步，发生作用的时间足够长，可以造成在某一方向运动的速度同电子流差不多的行波，使它同电子流发生作用交換能量，从而使訊号能够放大。