

超高频通信技术

民主德国 G·梅格拉 著

黄 足 沙 踪 等 译

人民邮电出版社

超 高 頻 通 信 技 術

民主德国 G. 梅格拉著

黃 足 沙 踪等譯

人 民 郵 電 出 版 社

GERHARD MEGLA
NACHRICHTENÜBERTRAGUNG MITTELS
SEHR HOHER FREQUENZEN
FACHBUCHVERLAG LEIPZIG 1954

超 高 頻 通 信 技 術

著 者：民主德國 G. 梅 格 拉

譯 者：黃 足 沙 踪等

出版者：人 民 郵 電 出 版 社

北京東四六條13號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號)

印刷者：北 京 市 印 刷 一 廠

發行者：新 華 書 店

開本850×1168 1/32

印張9 1/2 頁數157

印刷字數264,000

印數1—2,700 冊

1958年9月北京第一版

1958年9月北京第一次印刷

統一書號：15045·總817—第208

定價：(10)1.50元

序 言

如果我們回想一下，还在五十年前，远距离通信只有应用粗的明綫才有可能，那么今天我們可以說，在最近几年中，电信技术有了長足的进步。在第一个阶段中由于使用加感綫圈与电子管而使綫路的傳輸性能得到改进，大大地減小了衰耗，同时增加了通信距离。第二个巨大的进步是綫路的多路利用。这点是由于应用濾波器和变频器制成了多路載波机而达到的。它使得几百路通話可以同时經過一对电綫来傳輸。

在最近十年內又产生了一种新的傳輸方法——無綫电接力通信技术——它有效的补充了現在的有綫电通信。当特高频技术能用在無綫电接力綫路以前，無綫电的主要任务是在有綫綫路很难架設或根本無法架設的地点建立無綫电通信綫路，例如：必須很快建立的通信联络，移动的通信者之間或与移动的通信者的通信，無綫电广播，越过海洋的通信（越洋短波業務）。由于超短波应用到無綫电接力綫路上，無綫电技术現在已經进入过去仅限于用明綫和电綫的通信范围。

本書將論述特高频無綫电技术最重要的基础。这里主要是指高于 100 兆赫的頻率。因为它的聚束性好和傳輸的頻帶寬，所以只有在这样高的頻率才能够实现一个經濟的、能满足国际要求的（国际電話諮詢委员会的建議）电信傳輸。

本書在把無綫电接力設備的技术作一基本的介紹后，与一般有綫电技术一样，將深入地論述發送与接收之間的衰耗四端網絡。在这里新的傳輸介質不再是电綫而是自由空間，对这种新的傳輸介質將專門加以討論。

接着將詳細地論述可能达到的高頻与低頻的信号噪声比，以及与它有关的調制方式的問題。为了表征这种傳輸系統的应用范围，將深入地說明綫路的設計，尤其是綫路設立的方式。

在第二部分要論述技術設備和對於電信工作者來說是新的技術。

最後敘述分米波與紅外線範圍內的、移動式和固定式的、小的和最小的定向無線電機，並且概括地指出紅外線範圍內特殊的傳播現象。

電信工作者現在必須更多地從事於無線電通信傳輸的問題。為了使他們便於閱讀起見，我將尽可能應用電信工程師特別熟悉的概念。

為了看懂本書的內容，需要有初等數學、電工與物理的基礎知識。

弗立次(Fritzsche)工程師，路比(Robbi)工程師和威而凱(Wilke)先生，在本書的脫稿和校對中曾給予莫大的幫助，在此我謹向他們表示感謝。關於科拿(Kunath)小姐的抄寫工作和報得(Port)夫人清楚的繪圖以及出版社對本書優良的裝訂，熱心地滿足我的請求，我也表示謝意。

G. 梅格拉

萊得堡，1953 年底

表 格 索 引

序号	頁数	
I a		矩形波导管的尺寸
I b		圓形波导管的尺寸
II		几种最重要的天綫的天綫放大率(以球形辐射体为标准)
III		第 n 視通橢圓体的短半軸 b_n
IV		衰落的測量
V		各种調制方法的一些数据
VI		調制方式及增益
VII		圖 65 及圖 66 之电平值
VIII		分米波和厘米波范围的頻率分配计划(大西洋城, 1947 年)
IX		不同路数所需的电子管平均值
X		在分米波和厘米波波段內的混頻放大率 V_m 和 $k T_0$ 值 n
XI		常用的寬頻帶五極管数据
XII		無綫电接力通信机的数据
XIII		一些物体的散射横截面积和有效面积
XIV		几种光电池的灵敏度
XV		各种接收器件所需的輸入功率
XVI a		奈貝換算表
XVI b		分貝換算表
XVII		單位長度衰耗的各种單位換算表
XVIII		串話衰耗及串話單位
XIX		以 600 欧上 1 毫瓦为标准时絕對电压电平 P_{sp} 的奈貝数
XX		無綫电接力通信用波長及頻率范围
XXI a		按 1947 年大西洋城會議的頻率名称
XXI b		按德国工業标准 40015 的頻率名称
XXII		常用長度及面积單位換算表

公式用符号及略語表

AM	調幅		b_z	傳輸綫衰耗 βl	奈貝
α	半輻射功率寬度	度	β	衰耗常數	奈貝/公里
α'	半場強寬度	度	β_{Ab}	吸收衰耗	奈貝/公里
B	帶寬	赫, 千赫, 兆赫	β_H	波導管衰耗	奈貝/公里
$-b_A$	天綫增益	奈貝	β_K	同軸綫衰耗	奈貝/公里
b_a	控制範圍	奈貝	β_L	長度衰耗	奈貝/公里
b_D	發射輸出及接收輸 入間的衰耗	奈貝	β_Q	截面衰耗	奈貝/公里
b_F	失配衰耗	奈貝	C	电容	微微法
b_k	低頻信路的信号噪 声比	奈貝	C	信息容量	阶/秒
b_K	同軸電纜衰耗	奈貝	d	距离	厘米, 米, 公里
b_s	綫路衰耗	奈貝	db	分貝	
b_{schw}	衰落衰耗	奈貝	D	直徑	厘米, 毫米, 米
b_{sE}	兩基本偶極子間的 綫路衰耗	奈貝	D_t	水滴的直徑	毫米
b'_{sE}	兩基本偶極子間距 离 $d=1$ 公里的 綫路衰耗	奈貝	δ	主波瓣寬度	度
b_{sK}	兩球形輻射体間的 綫路衰耗	奈貝	E	接收增益	奈貝
b'_{sK}	兩球形輻射体間距 离 $d=1$ 公里的 綫路衰耗	奈貝	E_R	有效噪声电压	伏
b_{St}	信号噪声比	奈貝	EAM	單边帶傳輸調幅	
b_T	分段綫路的信号噪 声比	奈貝	E_{max}	極大的場强	伏/厘米
b_{wv}	分路器的衰耗	奈貝	ϵ	介电常数	
			$\mathcal{E}_d$	直射射綫場强	伏/厘米
			$\mathcal{E}_r$	反射射綫場强	伏/厘米
			η	調制指数	
			η_{ii}	傳輸效率	
			f	頻率	赫, 千赫, 兆赫
			Δf	信路頻寬	赫, 千赫
			f_B	圖像重复頻率	赫
			f_i	脈冲重复頻率	千赫
			f_{max}	最大調制頻率	赫, 千赫, 兆赫

F_e	接收天綫的有效 面积	厘米 ² , 米 ²	N_d	連續功率	瓦
F_E	基本偶極子的有 效面积	厘米 ² , 米 ²	N_e	接收机輸入功率	瓦
F_K	球形輻射体的有 效面积	厘米 ² , 米 ²	N_n	电源功率	瓦
FM	調頻制		N_R	基准噪声功率	瓦
F_s	發射天綫的有效 面积	厘米 ² , 米 ²	N_s	發射功率	
$F_{\square}$	方形開口天綫的 有效面积	厘米 ² , 米 ²	N_{s12}	接收机輸入端的信号功率	瓦
F_o	圓形開口天綫的 有效面积	厘米 ² , 米 ²	N_{s24}	接收机輸出端的信号功率	瓦
G	定向天綫的增益	奈貝	NF	低頻	
h_u	地球曲面的凸起高度	米	ν	距离加大比	
H	頻率偏移	赫, 千赫, 兆赫	p	大气压	毫米汞
HHF	最高頻率		P	峰值电平	奈貝
k	話路数目		P_k	每一路电平	奈貝
k	波茲曼常数 1.38×10^{-23}	焦耳/度	P_R	噪声电平	奈貝
k^*	折射数		P_s	發射电平	奈貝
l	長度	厘米, 米, 千米	P_{stB}	在接收机輸出端的噪声 电平	奈貝
λ	波長	微米, 厘米, 米	P_{stk}	信路的噪声电平	奈貝
λ_{gr}	極限波長	微米, 厘米, 米	P_{stir}	噪声电平	奈貝
λ_0	在自由空間中 的波長	微米, 厘米, 米	P_{su}	总电平	奈貝
m	幅度比		PAM	脈冲幅度調制	
m	調制度		PCM	脈冲电碼調制	
n	諧波数量		PFM	脈冲頻率調制	
n	折射指数		PLM	脈冲寬度調制	
n	以 kT_0 为單位的接收机灵敏度		PPM	脈冲相位調制	
N_D	降水密度	毫米/小时	q	面积利用因数	
			q	垂度	米
			r	半徑	毫米, 厘米, 米
			r_h	噪声振幅(高頻方面)	
			r_n	噪声振幅(低頻方面)	
			r_v	在接收机輸出端上的 信号噪声功率比	
			R	电阻	欧

R'	地球等效半徑	公里	T_0	絕對溫度(273+ $t^{\circ}\text{C}$)	凱氏度
R_a	外半徑	毫米,厘米	TF	載頻	
R_{aqu}	等效噪声电阻	欧	τ_i	相同信路上兩脈冲間距离	
R_E	輸入阻抗	欧	τ	溫度梯度	$^{\circ}\text{C}/100\text{米}$
R_i	內半徑	毫米,厘米	$\text{tg}\delta$	損耗因數	
R_o	損耗电阻	欧	U_E	輸入电压	伏
$R_{\text{ö}}$	电子管		U_{max}	最大电压	伏
s_h	信号振幅(高频方面)		U_{min}	最小电压	伏
s_n	信号振幅(低频方面)		U_{Su}	总电压	伏,毫伏
S	电子管互导	毫安/伏	V	放大因數	
S	發射增益	奈貝	V_A	天綫放大	
S^*	單位面积上的功率	瓦/平方米	V_E	以基本偶極子为标准	
S_T	信号噪声比(功率比)			的天綫放大	
σ	导电率	1/欧姆·厘米	V_K	以球形輻射体为标准	
σ	散射橫截面	厘米 ² ,米 ²		的天綫放大	
t_{fl}	脈冲升起時間	微秒	ψ	螺絲上昇角	
t_i	脈冲持續時間	微秒	ξ	考虑脈冲交叉的安全系数	
t_s	脈冲間隔時間	微秒	z	分段數目	
T	調制時移	微秒	Z	波阻抗	欧
T_A	天綫噪声溫度	凱氏度			

常用注脚符号

•	接收机	min	極小值
E	基本偶極子	NF	低頻
HF	高频	R, r	噪声部份
i	脈冲	s	發射机
k	球形輻射体, 同軸電纜	□	正方形的
max	極大值	○	圓形的

內 容 提 要

本書討論超高頻通信技術的重要基礎。全書分兩部分，第一部分包括傳播、天綫、調制方式、電平關係及綫路設計等內容。第二部分介紹技術設備，包括收發設備、接力設備、電源設備及光波通話機等。本書適于從事本專業的實際工作的工程技術人員及大專學校無線電系的師生閱讀。

本書由黃足、沙蹤、徐燕生、吳朔平、李一鳴、柳浦生、王懷亮、虞征、柴人奇、孫淑慧、孫仁琦、駱如楠和李波十三位同志集體翻譯，由陳進光同志校閱。

目 录

公式用符号及略語表

第一部份 一般原理

第 一 章 緒 論	1
第 二 章 無綫电接力通信原理	3
第 三 章 發射机輸出端及接收机輸入端之間的衰耗四端網絡 的計算	5
3.1. 導 言	5
3.2. 傳輸綫衰耗	6
3.2.1. 同軸電纜	8
3.2.2. 波導管	12
3.2.3. 單綫傳輸綫(波導綫)	15
3.2.4. 能量的無綫饋給	19
3.3. 失配衰耗	24
3.4. 特高頻分路器的衰耗	25
3.5. 天綫增益	26
3.6. 綫路衰耗	39
第 四 章 衰落衰耗	43
4.1. 導 言	43
4.2. 干涉衰落	44
4.3. 折射影响	59
4.4. 吸收衰耗	69
4.4.1. 大氣損耗	71
4.4.2. 地面損耗	73
4.5. 散射衰落	76
4.6. 測量結果	76
4.6.1. 陆地上的傳播測量	78
4.6.2. 海面上的傳播測量	78

4.7. 衰落衰耗的減小	80
第 五 章 干 擾 源 及 接 收 機 靈 敏 度	82
5.1. 內部干擾源	83
5.2. 外部干擾源	89
5.2.1. 宇宙干擾	89
5.2.2. 外部干擾	91
第 六 章 高 頻 信 號 噪 聲 比	93
6.1. 信號噪聲比和發射功率	93
6.2. 計算舉例	99
第 七 章 調 制 方 法 和 低 頻 信 號 噪 聲 比	101
7.1. 導 言	101
7.2. 頻帶寬度	104
7.3. 發射增益	111
7.4. 接收增益	114
7.5. 通信距離的加大	125
7.6. 低頻信號噪聲比	126
7.7. 電平圖	132
7.8. 帶寬及信號噪聲比	133
第 八 章 電 平 關 系	138
8.1. 用戶電平	139
8.2. 交接電平	145
第 九 章 綫 路 設 計	148
9.1. 工作波長的選擇	148
9.2. 調制方式的選擇	155
9.3. 綫路段橫截面	156
9.3.1. 橫截面構圖	156
9.3.2. 舉例	165
9.4. 頻率分配	168
9.5. 站的建筑物和天綫支架	172
9.6. 經濟方面	177

第二部份 机器设备技术

第十章 調頻制無線电接力通信設備	181
10.1. 發射部分	181
10.2. 接收部分	188
10.3. 綫路举例	196
10.3.1. 多路傳輸用的調頻接力机	196
10.3.2. 傳輸視頻用的調頻接力机	201
10.4. 实例	205
第十一章 脉冲相位調制的無線电接力通信	209
11.1. 發射机和接收机	209
11.2. 綫路举例	212
11.2.1. 調制部分	212
11.2.2. 解調部分	220
11.3. 实例	221
第十二章 接力站	223
12.1. 有源接力站	223
12.2. 無源接力站	231
第十三章 安全及監視設備	237
13.1. 导 言	237
13.2. 調整設備	238
13.2.1. 工作頻率的自动調整	238
13.2.2. 电平調整及电平檢查	241
13.2.3. 电源电压的自动調整	242
13.3. 勤务信路	242
13.4. 檢查設備	243
13.4.1. 失真因数的檢查	243
13.4.2. 發射功率及天綫功率的檢查	243
13.4.3. 工作頻率的檢查	244
13.4.4. 頻率偏移的檢查	244
13.4.5. 接收机輸入电压的檢查	244

13.4.6. 中心頻率的檢查	245
13.4.7. 陰極示波器的顯示	245
13.4.8. 聲光警報設備及信號設備	245
13.5. 备份机或备份組件	246
13.6. 备用电源	250
第十四章 分米波小型無線电机	254
14.1. 应用的可能性	254
14.2. 有效距离和可懂度	255
14.3. 便携式和固定式分米波机器	259
14.3.1. 結構部分	259
14.3.2. 机器实例	264
第十五章 光波通話机	271
15.1. 导 言	271
15.2. 綫路衰减与傳播	272
15.3. 紅外綫輻射器	274
15.4. 接收器	276
15.5. 信号噪声比	278
15.6. 实 例	280
附 录	286
公式彙集	293
参考書目	299

第一部份 一般原理

第一章 緒 論

由于超短波技术的迅速发展以及新调制方法的研究和技术上的改进,在最近几年内,我們开始能够采用無線电作为可靠的通信联络。短波無線电首先应用在船只、汽車和飞机上以及在一般商用电信上作为远距离通信。超短波与短波相反,特別在分米波与厘米波的范围,(以下根据德国工业标准 DIN 40015 亦称为特高频范围^①)可以把它看作优良的电纜代用品。在应用分米波与厘米波以后,关于信号噪声比(和它的稳定度)的要求,才能达到国际电话諮詢委员会对于电纜通信的建議。还在十年前特高频设备的应用主要仅限于沼地、湖泊和海口的通信,但是今天它已用来补充和扩大现有的电纜網,并且正如在技术上高度发展的国家里,在大的通信網的计划和成就上所証实的,今天应用定向通信綫路已不是解决临时性的問題,而是作为在架設新綫路时和架設与原有电纜通信平行的綫路时作为优良的电纜代用品。

使用电纜时,信号电平降低是由于綫路的衰耗所引起的,同时电压随距离的增長而按指数下降,至于無線电的傳輸,由于它在自由空間傳播,电場强度是依照另外的規律下降的;它与距离成反比。約在 50 到 60 公里的距离内,应用分米波时,接收的变化小得可以忽略。当頻率在約 4000 兆赫以下,大气中的水点,如雨、霧、雪等等不会引起显著的电平变化。虽然已經观察到,当頻率高于 300 兆赫时,在地平綫以外有时也有优良的接收情况,但是因为工作可靠性太小,这种通信是不能用于商用业务的。在米波范围内

^① 參看附表 21b

($f < 300$ 兆赫)，才有可能在地平綫以外建立比較可靠的通信（參閱第 66 頁）。

在一定的相對頻寬內，特高頻由於絕對頻寬比較大，當然比較低頻率可以傳輸更多的信路。

應用這種無線電接力綫路時，如果在高地上設立天綫塔，也可以為其他業務（例如氣象、電視、超短波廣播等）所利用，則可以更為經濟些。無線電通信的技術設備，在今天發展的基礎上，在最近的將來主要是完成下列題目：

I、擴大調頻無線電接力通信的傳輸頻帶，使它具有尽可能多的話路。至今在民主德國應用的調頻無線電接力設備的最大帶寬為 120 千赫，利用載波機可以傳輸 24 個信路。將來用載波機 V60，必須把帶寬擴大至 360 千赫。下一步，為了能夠傳輸 600 個信路，頻帶必須擴大到 2.6 兆赫。為了尽可能經濟起見，此外必須設計頻率分路器，使得 1000 個或更多的話路可以經過一個天綫來傳輸。

II、應用脈沖相位調制 (PPM) 的少信路（最多 24 路）接力通信設備要繼續加以研究，使它在使用上完善無缺。

III、關於用來傳輸視頻信號的電視傳輸綫路，應改進現有的帶寬為 6 兆赫的調頻設備。音頻傳輸綫路同樣也應加以改進，使它能傳輸 30 赫到 15 千赫的頻帶而失真極小。

IV、為了能用試驗來確定脈碼調制制度是否具有理論上所預期的優點，是否任意的分段可以串接起來，必須繼續研究脈碼調制設備。

V、為了使無線電接力制度能夠接入電纜網內，要繼續加以改進，使得就是經過很遠的距離後信號噪聲比和非綫性失真因數也符合於國際電話諮詢委員會的建議。

VI、對於特殊的应用範圍，生產便利的單工工作的或雙工工作的單路小型機。它的使用方法必須簡便，對於非專門人員的要求條件必須尽可能的少。

第二章 無線電接力通信原理

無線電接力通信負有在兩給定地点間傳遞信號的任務。由於它能够傳送很寬的頻帶（工作頻率非常高），這種綫路主要用來傳送多路電話、多路電報、測量數據（多路無線電接力系統）或電視節目（電視綫路）。圖1示一最簡單的無線電接力通信的方塊結構圖。如圖所示，它在發射方面至少由調制器、發射機及發射天綫構成。在接收方面則由接收天綫、接收機及解調器構成。待傳遞的信號在調制器(M)中被調制成很高的頻率；所產生的已調頻譜送到發射機(S)，通過發射天綫(A_s)發送到接收天綫(A_e)並且到達接收機(E)。在解調器(D)的輸出端重新出現原來的低頻信號。

不是都像圖1所示的那樣，在調制器與發射機間或解調器與接收機間能嚴格分開來的。常常一個元件，譬如一個電子管既屬於調制器也屬於發射機。圖1僅僅是

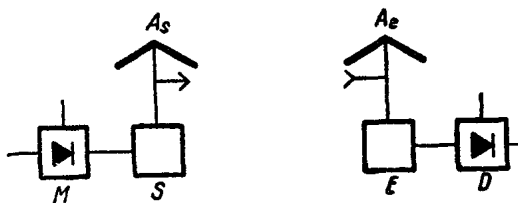


圖1 無線電接力通信綫路原理圖
 M 調制器， S 發射機， A_s 發射天綫， A_e 接收天綫， E 接收機， D 解調器

示意地將必要的過程加以划分。

在雙工通信時採用頻率分路器，就能使收信及發信合用一個定向天綫；即發射天綫用作接收天綫，反過來接收天綫也用作發射天綫。當然這要求兩方向的工作頻率稍有差別。

用分米波或厘米波工作時，發射天綫及接收天綫間不容許有障礙物存在；人們把這種要求稱為是 需要“似光學視通”（參看第四章）。

因此，按地形情況的不同這種無線電接力通信的通信距離可以超過100公里。但是在實際上由於衰落深度隨距離的增大而增加，