

无线电中继线路

С. В. 鲍罗基奇 著
苏联 А. И. 卡里宁
楊千里等譯

人民邮电出版社



73.4593
951
12

无 綫 电 中 繼 綫 路

(苏联) С. В. 鮑 罗 基 奇 著
A. И. 卡 里 宁
楊 千 里 樊 昌 信 譯
叶 树 亮 沈 振 元

人 民 郵 電 出 版 社

С. В. БОРОДИГЧ
А. И. КАЛИНИН
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК
ПО ЭЛЕКТРОСВЯЗИ
VII
РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ ЛИНИИ
СВЯЗЫЗДАТ 1956

內 容 提 要

这本书是根据苏联邮电出版社1956年出版的“电信工程技术手册”第7册譯出的。原书虽是一本手册，但在編排次序及內容方面很适合教学使用。书中有系統地讲述了无綫电中继通信綫路的基本知識，多路載波設備，无綫电設備，質量指标，傳輸标准以及測試設計等等。还有一些設計計算实例，可供从事无綫电中继通信工程的技术人員及电信系师生參考。

无 綫 电 中 继 綫 路

著 者：〔苏联〕С. В. 鲍罗基奇, А. И. 卡里宁
譯 者：楊千里 樊昌信 叶树亮 沈振元
校 者：楊 千 里
出版者：人 民 邮 电 出 版 社
北京东四6条13号
(北京市书刊出版业营业登记证出字第047号)
印刷者：邮 电 部 北 京 邮 票 厂
发行者：新 华 书 店

开本 787×1092 1/32
印张 5 12/32 頁数 172
印刷字数 130,000 字

1958年5月北京第一版
1962年6月北京第四次印刷
印数 5,301—9,120 册

統一书号：K 15045·总756-无182

定价：(10) 0.90 元

0415/09
序 言

无綫电中繼綫路是現代化的新型通信工具，是用頻率容量很大的超短波波段进行通信的。因此，它可以用来組織为传送电视信号等需要很寬通頻带的无綫电路。

电视在我們国内的广泛发展，提出了在各大文化中心之間交換电视节目的要求。另外，还需要設法扩大电视中心的作用半径。而解决这两个任务的主要工具就是建立无綫电中繼綫路。同时，无綫电中繼綫路也可能用来組織从几路到几百路的长途多路电话网。

苏共第廿次代表大会上，在关于苏联从1956—1960年发展国民經济的第六个五年計划的指示中預定，第六个五年期間內要建立不少于10,000公里的无綫电中繼綫路。

为了完成这个任务，除了采取其它措施之外还必須以无綫电中繼通信方面的技术书籍来武装我們的工程技术干部。电信工程技术手册的主編（К.Н.謝尔盖依楚克，А.Д.福尔图申柯，Б.С.格利戈尔叶夫）組織了这个适合于訓練用的关于无綫电中繼通信的专集。由于这种通信方式的新穎，目前这本手册不可能企图詳尽地敘述所有的材料。无疑地，近2—3年在建立和維持无綫电中繼通信中积累的經驗需要在本书新版中完全补充进去。

主 編

目 录

序言

第一章 无綫电中繼通信的一般概念	(1)
1.1 无綫电中繼綫路的工作原理及用途	(1)
1.2 无綫电中繼綫路的組成	(3)
第二章 无綫电中繼綫路的复用	(6)
2.1 复用方式	(6)
2.2 頻率复用	(8)
2.3 時間复用的无綫电中繼綫路(脈冲无綫电通信)	(20)
第三章 无綫电中繼綫路的高頻設備	(29)
3.1 无綫电中繼設備的主要特点	(29)
3.2 振盪回路及电子管	(30)
3.3 頻率复用无綫电中繼綫路的高頻設備	(37)
3.4 頻率复用中繼綫路設備的推荐参数	(52)
3.5 時間复用无綫电中繼綫路的高頻設備	(55)
3.6 頻率分配制度	(57)
3.7 天綫及饋綫	(63)
第四章 无綫电中繼綫路的輔助設備	(69)
4.1 公务通信	(69)
4.2 自动控制	(72)
4.3 电源	(77)
第五章 无綫电中繼通信的話路質量指标及傳輸标准	(81)
5.1 通用話路的主要电特性	(81)
5.2 无綫电中繼綫路系統對話路主要电特性的影响	(84)
5.3 話路主要質量指标的标准和建議	(89)

5.4	电视通路主要质量指标的标准和建议	(94)
5.5	国际电话諮詢委员会关于电话和广播通路特性的 新建议	(96)
第六章	无线电中继线路的计算	(99)
6.1	频率复用的多路线路的计算	(99)
6.2	传送电视的无线电中继线路的计算	(111)
6.3	无线电中继线路的计算举例	(112)
第七章	超短波 (YKB) 传播	(118)
7.1	基本特点	(118)
7.2	自由空间的超短波传播	(118)
7.3	超短波在对流层的折射	(121)
7.4	在“照明”区内衰减因子的计算	(122)
7.5	在“阴影”区内衰减因子的计算	(135)
7.6	在视线距离上衰减因子的计算	(140)
7.7	在超短波波段中减小信号衰落程度的方法	(142)
7.8	超短波的对流层传播	(148)
第八章	频率复用无线电中继线路的维护测试和预防	
	多测试	(150)
8.1	测试的主要种类	(150)
8.2	罩路系统特性测试	(151)
8.3	设备主要参数的测量	(157)
参考文献		(163)

第一章 无线电中继通信的一般概念

1.1 无线电中继线路的工作原理及用途

无线电中继通信是以信号的多次转发为基础的新型超短波无线电通信。和波长较长的无线电通信比较起来，超短波无线电通信有许多特点和优点。在超短波波段无线电收发信机的通频带可以做得很宽，这样就能够在超短波线路上传送宽频带消息，例如，同时传送很多路电话或电视节目。超短波通信具有很高的稳定性，它基本上和昼夜季节无关，同时，实际上也没有大气和工业干扰。在这个波段建造强方向性天线也不很困难，因为辐射面积一定时，波长越短天线的方向性也越强。使用了高增益天线就能在发射机功率不大的情况下保证可靠的、抗干扰性能强的通信联络。

超短波波段非常宽阔，相当于波长从10米到1厘米的广阔频带，包括了29970个兆赫（从30到30000兆赫）；在这个波段内可以有大量的无线电台同时工作而互不干扰，尤其是如果考虑到使用方向性天线及在超短波无线电通信的有限距离之后则更是如此。

无线电通信距离受到限制的原因，可以用超短波传播的特性来解释。超短波不从电离层反射，并且几乎不能绕过凸形的地表面。概略地说，超短波无线电通信限制在收发两电台天线之间的视线区域。在视线范围之外，电场强度随距离的增加而迅速减小，结果通信就不可靠了。

由于电波传播的这个特点，超短波远距离通信只能用信号

的轉发来实现，也就是說用轉发綫路或中繼綫路。

无綫电中繼通信綫路是一連串的收发无綫电台，它們之間按照相邻电台的天綫在視綫內的原則配置。終端站发出的信号被第一个中間站接收，在这里放大并轉发給第二个中間站，如此繼續，一直到达綫路另一端的終端站为止。

无綫电“中繼”通信这个名詞是来自英文 relay，原意是替換（驛馬的替換，接力賽跑中的替換等等）。因此，这个名詞反映了信号是在无綫电中繼綫路的每个中間站上被恢复，仿佛是以新的强信号来代替这个电台收到的微弱信号，繼續发向下站。

无綫电中繼綫路上的中間站配置通常是彼此相距40—60公里，天綫安装在杆上或塔上，它們的高度須選擇得使相邻两电台天綫之間能以視綫相联。依照不同的地形，塔高可以从几公尺到70—80公尺。中間站的設備安装在一个不大的专门房舍中，在房舍附近豎立装天綫的金属塔或杆子。有时为了縮短連接天綫和无綫电机的高頻饋綫的长度，每一个站往往建筑一个特殊的混凝土塔楼，在最上面一层安装机器，在塔頂上装天綫。塔楼的下层則用来放置輔助設備（电源等）及作维护人員的住房。

在山区架設天綫通常不需要塔，而且当条件有利时两站距离可增到100—150公里。

无綫电中繼綫路主要是用在长途电话电报通信上，也可傳送广播和远距离电视節目（城市間电视節目的交換）。此外，无綫电中繼綫路也广泛地用于各种业务通信，传递遙控信号和遙測信号。因此，无綫电中繼綫路也常用于石油管、瓦斯管和动力系統中。

和任何其他通信綫路一样，无綫电中繼綫路也可以复

用，也就是可以同时用来进行好几路通信。由无线电中继线路组成的通信电路比起架空明线甚至电缆线路（同轴电缆线路除外）其频带都要宽得多，所以在无线电中继线路上可以有很多通信路数复用。

就本身的电气性能而言（同时传送消息的数量，传送距离及通信质量指标），无线电中继线路甚至不比同轴电缆这样现代化的有线通信方式为差。同时消耗于建设无线电中继线路的有色金属比电缆线路要少得多，当路数不多时，它的建设费用和电缆线路差不多，而当路数增加时就相对地低了。此外，无线电中继通信有很大的灵活性，而且还可以在那些电缆线路难于通过或不能通过的地方组织通信。

无线电中继线路的缺点是中间站比较复杂，和电缆线路比较消耗电能也较多。但后面这个缺点没有很大的意义，因当总距离相等时无线电中继线路上中间站的数量要比电缆线路上的增音站数量少。

1.2 无线电中继线路的组成

无线电中继通信使用包括米波、分米波、厘米波的超短波段。随着技术水平的发展，无线电中继通信趋向使用更短的波长，因为波长越短就越容易使无线电具有更宽的频带和更高的天线增益系数。但是无线电中继通信不使用比3厘米短的波长，因为气象情况会影响它的传播。最常用的是从5—20厘米的波段。

在大容量的干线上常用两个波段：1700—2300兆赫（平均波长15厘米）及3600—4200兆赫（平均波长7.5厘米）。在有些情况下也使用米波，主要是用在通过有山或水障碍的线路上，以便使线路的特性稳定及站之间的通信距离较大，在这种

綫路上使用厘米波或分米波是不穩定的，由於直射波與從地面或水面的反射波的干擾呈現頻繁而嚴重的衰落，因為它們所經的距離可能相差到好幾個波長。當距差小於1個波長時通信是穩定的，所以為了提高通信的穩定性通常使用較長的米波。

現代無線電中繼通信的設備是許多很複雜的機器的綜合體，由下列部分組成：終端站和中間站的無線電收發信機，天綫及饋綫設備，复用設備，電源設備和輔助設備（公務通信設備，自動控制和信號設備，監聽測量設備）。

對無線電中繼設備的收發信機有很嚴格的要求，這些要求都是為了保證由很多站組成的整個綫路有很高的可靠性及質量指標。無線電中繼綫路上所用發射機的特点是功率不大（約几瓦），而接收機則需要很高的靈敏度和很小的固有噪聲電平。用無線電中繼機組成的通信電路應該是質量很高的（綫性和非綫性失真很小），因為它要傳送多路信號及電視節目。

現代的無線電中繼綫路已經可以同時傳送600路電話或一路電視節目。干綫通常是做成多用的，既可以進行多路通信也可以傳送電視節目。為了提高通信容量可以在一條綫路上採用好幾個所謂“高頻波道”。每個高頻波道由一連串的收發無線電機組成，而且實際上是一個獨立的綫路。在每個站上安裝了和高頻波道相應數量的成套無線電機。這些機器的工作波長不同，但是卻用一付天綫。由好幾個高頻波道組成的無線電中繼綫路示於圖1.1。利用專門的隔離濾波器 Φ 在一付公共天綫上接入了好幾個工作頻率不同的發射機或接收機。

在目前的綫路上有多到6個高頻波道的，一個備用，其餘用來進行多路通信或傳送電視節目。

大多數情況下無線電中繼綫路都使用象電纜綫路上所用的复用設備（即載波機——譯註）。有些容量不大的綫路上也使

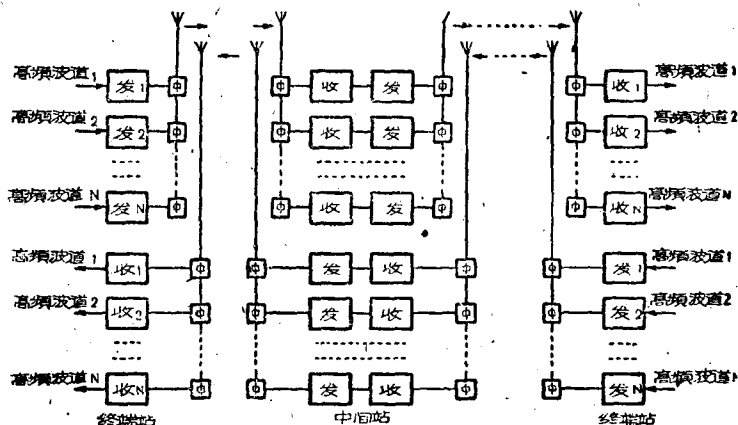


图 1.1 由 N 个高频波道组成的无线电中继线路方框图

(图中 Φ —分离滤波器)

用进行脉冲调制的专门复用设备。

无线电中继线路上各站的电源通常由本地交流市电供给，而为了提高通信的可靠性也装设自给的备用电源站。中继线路上的各电台用公务电话保持联系，公务电话可以用中继线路本身或用另一条无线电中继线路甚至用电缆线路。

在无线电中继线路上广泛地使用自动控制。大部分中间站是没有维护人员而自动工作的。当正在使用的设备发生故障时，这个站就自动地接入备用设备并用公务电路向最近的维修站发出规定的信号。对无人管理站的预防性检查和修理是由专门的修理小组进行的。

第二章 無線電中繼綫路的复用

2.1 复用方式

所謂复用就是指通信綫路的多路利用，也就是利用一條綫路同时进行好几路通信。与此相反，单用綫路就是沿着它传送的只有一路信号（例如：一路電話），这种綫路非常不經濟，尤其是长距离綫路更是如此，因为它的造价很高。因此所有的长距离綫路，包括無線電中繼綫路在內通常都是建造得同时能传送很多消息（电报、電話及其他）。

無線電中繼綫路的复用是借專門的終端复用設備来实现的，它裝置在綫路的終端站。复用的無線電中繼綫路方框图示于图 2.1。各路的話音信号电流經与长途交換台联結的綫路送入終端站 A，在复用設備（AY）的发送部分混合成总合信号，这个总合信号加到 A 站的发射机并且調制高频振盪。在綫路的另一端高频信号被終端站 B 的接收机收下并进行检波。接收机輸出端輸出的总合信号加到复用設備的接收部分，在这里再分成各路的話音信号电流。这样利用复用設備就将組成中繼綫路的寬頻带信路分成彼此独立的互不干扰的窄頻带信路，利用这些窄頻带信路传送電話、电报或其它信号。

在中繼綫路的中間站可以分出一部分話路。为此需在中間站（如图 2.1 中的中間站 2）安装一个接在接收机和发射机之間的話路分离設備（AB）。利用这个設備分出一部分从終端站 A 来的話路，同时插入新的話路通向 B 站。

通信綫路复用的方式有两种：不同話路用不同頻率传送的

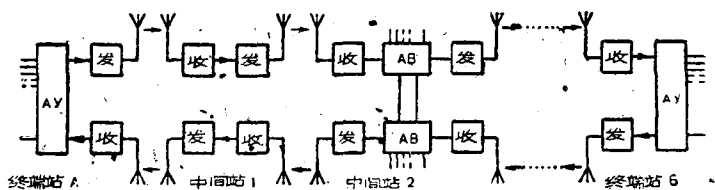


图 2.1 复用的无线电中继线路方框图

频率复用，以及不同话路用不同时间传送的时间复用。无线电中继线路的复用方式不仅决定终端复用设备的型式和构造，并且也决定收发设备本身的构造和整个通信体系的主要性能。按频率复用和按时间复用的无线电中继线路，无论是在本身的特性和维护的方法上都有很显著的区别。

因为在有线长途通信上只用频率复用，所以在频率复用的无线电中继线路上就用长途通信型式的复用设备，而时间复用就要专门的脉冲调制的终端设备。所以频率复用的无线电中继线路可以和有线电缆线路直接联接起来，因为它们的方法相同。只有在全部话路都按低频转发（转发的）情况下，时间复用的无线电中继线路才可以和电缆线路相联接，为此，在联接点需要装置两套终端复用设备（一是频率复用的，另一是时间复用的）。这种联接方式是不经济的，维护也不方便同时还降低了通信质量，因为它是按低频转发联接的。

当无线电中继线路用频率复用时可以得到比时间复用数量多得多的话路。例如按现代技术的可能性在无线电中继线路的一个高频波道上利用频率复用可以得到几百个话路，而按时间复用时只能勉强得到几十个话路。在已知的时间复用的无线电中继通信体系中话路数目还没有超过 24 路的*。此外频率复用

*现在可以达到 60 路——译者注。

的無線電中繼綫路可以用來進行多路通信和傳送電視節目，而時間復用的綫路實際上是不适于傳送電視的。

所以現代的無線電中繼綫路幾乎只用頻率復用的型式。時間復用法可在話路數目不多的綫路上採用，并且也不和電纜綫路直接联接。

在頻率復用的無線電中繼綫路上使用的無線電機，通常都採用將多路總合信號對高頻載頻進行頻率調制，因為這種調制能保證很高的抗干擾性和滿意的中繼綫路系統的直綫性。

在時間復用的體制中多半是用各路信號脈沖的總合對載頻振盪進行振幅調制。當這樣調制時無線電中繼綫路的發射機只有在有脈沖來的時候產生振盪，而在間隔時就截止。

2.2 頻率復用

頻率復用原理 按頻率來復用通信綫路是基於頻率變換的可能性及不同頻率的電流有可能利用電氣濾波器將它們分開。

頻率復用的原理可以用圖 2.2 來說明。從輸入端進來的話音電流，例如第一路的就從 K_1 加到調制器 M_1 ，在這裡同時加上從振盪器 P_1 來的頻率為 f_1 的電流。話音電流在調制器中對頻率 f_1 的載頻振盪進行振幅調制。調制器的綫路設計使得在它的輸出端僅僅得到邊帶電流而載頻被抑制。當經過話路的帶通濾波器 Φ_1 之後在綫路上就只有一個邊帶的電流了（例如：下邊帶），而另一邊帶及由於調制器非綫性引起的其它成分電流都被濾波器阻止。其它話路的話音電流也經過同樣的變換，不過是利用另外的載頻 $f_2, f_3, \dots, f_N$ 等等。送到綫路上的電流頻譜也示於圖 2.2。

在綫路的另一端，第一路的接收系統內只有在綫路上传送的第一路邊帶電流能通過話路帶通濾波器 Φ_1 ，因為濾波器 Φ_1

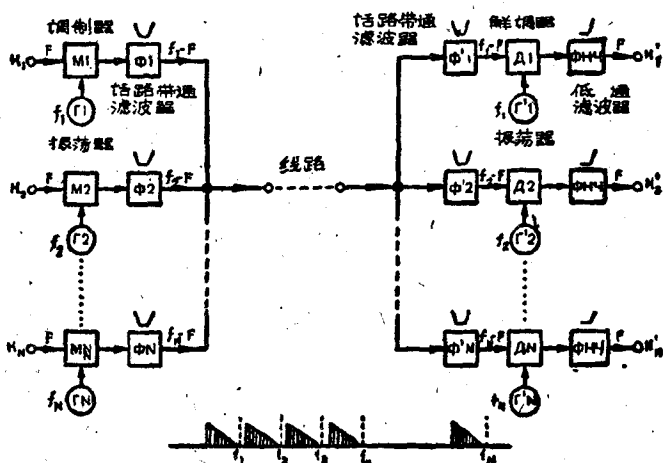


图 2.2 线路频率复用原理

不让其他几路的电流通过。在解调器 Δ_1 中第一路的话音电流被恢复成原来的形状，为此在解调器上要加入来自本地振荡器 Γ'_1 的电流，其频率应该和第一路载频 f_1 完全一样。由于变频而恢复的第一路话音电流经低通滤波器 Φ_{H1} 滤出加在话路输出端 K'_1 。其它几路的接收也是类似的。

接收端和发送端载频振荡器的频差引起传送消息的频率失真。当传送话音时如果频差超过50赫这种失真就很显著了。因此通常是在发送端和接收端都用晶体稳定的载频振荡器。

这样，在频率复用的终端设备中是用载频抑制和单边带传送的振幅调制。普通的不抑制载频的调幅制是不采用的，主要原因是由于线路上会白白地荷载了很大的载频功率，反而引起各路的互相干扰。

十二路组 现代的频率复用设备为了简化生产和降低造价都把它标准化，使不同型式的终端设备（为路数不同的架空明

綫和電綫綫路复用的)，都由一套套单独的标准的12路的設備組成，这种标准設備叫12路組。12路組的簡化方框图示于图2.3。由长途台方面来的用戶話音电流經過音頻振鈴設備 TB 加到差分裝置 AC 上，在这里将发送和接收的电路分开。差分裝置对于从接收支路进入发送支路的电流有很大的衰耗，使得在回路中不可能产生振鳴。在发送支路中話音电流經過差分裝置及監听和測試用的四綫插孔 YK ，进到同时有載頻輸入的調制器 M ，在調制器中用振幅調制的方法变換話音电流的頻率并利用話路濾波器 $K\Phi$ 分出下边带。在接收支路中由話路濾波器 $K\Phi$ 分出的該路电流在解調器 A 中变成話音电流，这个电流在通过低頻放大器 YHY 之后經插孔 YK 加到差分裝置 AC 上。

話路的調制器与解調器共用一个振盪器供給載頻。4千赫倍数的載頻由專門的諧波振盪器得到，它的最低頻率是64千

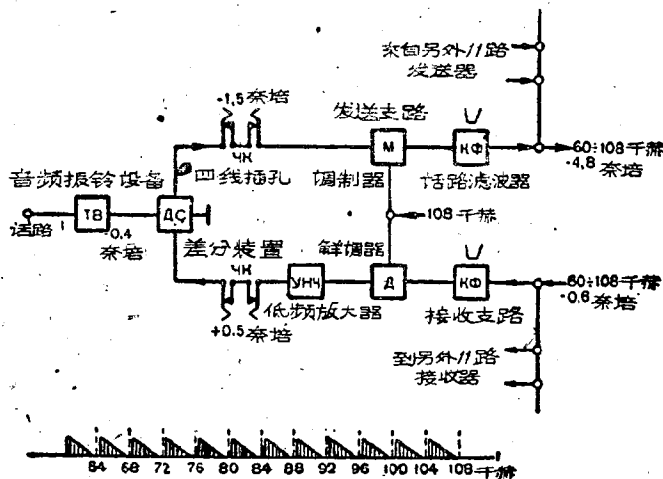


图 2.3 十二路組

赫，最高頻率是 108 千赫，調制器和解調器是氧化銅整流器，它接成環形電路以便抑制載頻。12 路組輸出端的頻帶分布也示于圖 2.3。

通常用晶體濾波器作 12 路組的話路濾波器，它能保證區分開載頻間隔為 4 千赫的相鄰話路，而每個話路的有效傳輸頻帶是 300—3400 赫。用了晶體濾波器就限制了对 12 路組工作波段的選擇，因為只有當晶體濾波器的頻率不低于 50—60 千赫時其帶寬才能很好地傳輸話音電流。

話路四綫部分的标准測試電平等于：在發送支路 -1.5 奈培，在接收支路 $+0.5$ 奈培（在 600 歐電阻上）。

電纜綫路的終端复用設備由标准的 12 路組構成，而對于任意綫路上的設備則用羣變頻的辦法。用了羣變頻就可以利用标准 12 路組構成更多的路數，但必須是 12 的整數倍。

K—12 終端設備 對稱電纜的 12 路電話复用采用 $K-12$ 型設備。由于電纜的衰耗隨頻率的增加而增加，因此复用頻帶應選擇得儘可能低，約在 12—60 千赫。這樣就要在 $K-12$ 型終端設備中采用一級羣變頻，以便把标准 12 路組的 60—108 千赫頻帶變到 12—60 千赫的範圍。

$K-12$ 型終端設備的羣路部分簡化方框圖示于圖 2.4。

由 12 路組發送支路輸入的電流經過帶阻濾波器 3Φ 加到羣調制器 IM ，在這里用 120 千赫的羣載頻把 60—108 千赫的頻帶變到 12—60 千赫， 3Φ 是用以抑制和導頻相同的載頻洩漏電流的。低頻濾波器 $\Phi-64$ 只許下邊頻（12—60 千赫）電流通過，下邊頻被羣發送放大器 $IV1$ 放大到相對電平（對每路） $+0.5$ 奈培（按功率）。

綫路來的電流經羣接收放大器 $IV2$ 放大到相對電平（對每路） $+0.5$ 奈培。從接收羣放大器輸出端出來的電流經過衰耗