

全国“星火计划”丛书

农电通讯工

杨春发



NGDIAN DONGREN PEIXUN JIAOCAI

水利电力出版社

内 容 提 要

本书共分四章。第一章扼要地介绍了目前农电通讯概况及电话通讯基本原理。为了便于初学者学习，在第二章中较为系统地介绍了通讯技术基础知识以及通讯设备各种部件的工作原理，这样，对于学习后面的具体电路就不会感到生疏难懂。在第三、四章中，选用了两种具有代表性的电力线载波机和超短波无线电通讯整套设备进行了讲解。书中不但讲解了每种设备的电路工作原理，而且还介绍了它们的安装、调试以及常见故障的排除方法等。

本书除作为具有初中以上文化程度的农电通讯工的培训教材外，也可作为其他部门从事通讯工作的工程技术人员参考书。

农电工人培训教材

农电通讯工

杨 春 发

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 13.125印张 292千字 3插页

1989年6月第一版 1989年6月北京第一次印刷

印数00001—12750册 定价5.35元

ISBN 7-120-00679-0/TM·152



前 言

近年来，我国农村电气化事业发展很快，农电工人队伍迅速壮大，为提高农电工人的技术业务素质，做好技术培训工作，农电司和水利电力出版社共同组织编写了这套“农电工人培训教材”，作为全国各农电部门培训农电工人的基本教材。这套书适用于培训具有初中文化水平的农电工人，同时也可作为他们自学参考书。对于教材的内容要求和编写大纲，是同有关省（市）农电负责同志经过几次会议共同研究确定的。该教材由九个省的有关同志分工编写，林虔同志任主编。

这套教材共十二种，分别是《电工与电子基础》、《变电运行工》、《变配电设备检修工》、《外线工》、《内线工》、《电气试验工》、《继电保护工》、《电气仪表工》、《电度表工》、《装表接电工》、《营业管理与营业工》、《农电通讯工》。

各地在使用该教材过程中，可根据学员的文化技术水平作适当的增删，对这套教材有何意见和建议，请及时函告水利电力出版社，以便再版时改正。

水利电力部农电司

1986年11月

作者的话

随着农电事业的蓬勃发展，许多农电部门相继建立了自用通讯网，收到了很好的使用效果。但是，由于各地使用时间、通讯方式和机种的不同，加之农电系统通讯技术人员的缺乏，技术水平不一，影响了通讯设备的正常使用，甚至个别单位通讯设备投运不久就停用，直接影响了农村电网的安全、经济运行。为了改变农电通讯的落后面貌，培养一支适应农电发展需要的通讯队伍，根据水利电力部农电司和水利电力出版社的要求，本人编写了《农电通讯工》一书。

本书是为具有初中文化水平的二至四级农电通讯工学习通讯技术而编写的。在编写过程中，作者力求内容由浅入深，循序渐进，使没有学过通讯知识的读者也能看懂此书。对于各种名词术语和概念的解释，力求通俗易懂，简明扼要，特别是数学推导，尽量从简，并且注意理论联系实际。在每节的后面都列有大量习题，读者可通过习题来检验对本节重点内容的掌握程度。

在本书编写过程中，国营711厂和锦州通讯设备厂有关同志提供了部分资料。徐承璋工程师和秦国屏副教授先后审阅了全稿，并提出了宝贵意见。纪柄枢同志为全书画了插图。作者对上述同志表示衷心的感谢。

限于作者水平，加之时间仓促，书中错误和不妥之处，在所难免，欢迎广大读者不吝指正。

作者

1986年2月

目 录

前言

作者的话

第一章 概述	1
第一节 农电通讯概况	1
复习题	4
第二节 电话通讯的基本原理	5
复习题	14
第三节 农电通讯的发展	15
复习题	19
第二章 通讯技术基础	20
第一节 传输电平	20
复习题	27
第二节 滤波器	27
复习题	41
第三节 正弦波振荡器	42
复习题	50
第四节 衰耗器	51
复习题	57
第五节 差分器	57
复习题	69
第六节 调制器	69
复习题	103
第七节 解调器	104
复习题	117
第八节 限幅器	118

复习题	123
第九节 集成电路	123
复习题	155
第十节 故障处理方法	155
复习题	165
第三章 电力线载波通讯	166
第一节 电力线载波通讯的基本原理	166
复习题	168
第二节 ZDD-13型电力线载波机	168
复习题	198
第三节 高频通道	199
复习题	213
第四节 安装与维护	214
复习题	225
第四章 超短波无线电通讯	226
第一节 无线电通讯的基本原理	226
复习题	233
第二节 JDD-2型超短波调频电台	234
复习题	291
第三节 YWD-2型通讯总机	293
复习题	332
第四节 YWD-2型通讯分机	333
复习题	349
第五节 YWD-2型电源	350
复习题	369
第六节 天线	369
复习题	385
第七节 组网	386
复习题	412

第一章 概 述

第一节 农电通讯概况

农电通讯是随着农电事业的发展而兴起的。在农电发展的初期，由于受客观条件的限制，一般农电部门都没有能力投资建立专用通讯网，只得依赖地方邮电部门的公用电话。这种电话，一般有接续时间长、费用高等缺点。个别变电所（站）甚至连地方邮电公用电话也没有，只能通电，不能通话，信息交换是靠人工传递，停、送电约时进行，严重影响了电网的安全和经济效益，妨碍了农电事业的发展。这就使许多人逐渐认识到：只有把与电网相关的信息准确、及时、可靠地互相传送，才能确保农村电网的安全、经济运行，提高对电网的管理水平。为此，在发展农村电网的同时，也必须相应地发展农电通讯网。近年来，许多有条件的农电部门在水利电力部农电司的资助下或自筹资金，积极发展农电通讯网，并已收到明显的效益。

由于我国幅员辽阔，各地的经济状况和地理条件不尽相同，因而农电通讯的发展也很不平衡。据了解，目前我国2000多个县级农电局中，约有30%的农电部门仍没有自己的一条电话线路和一台通讯设备。调度指挥和行政上电话联系，至今仍使用地方邮电电话。所以，为了适应农村电网的发展需要，建立专用农电通讯网的任务还很艰巨，投资额也较大，在短时间内不可能彻底解决。在那些有了自己的专用通讯网的单位，由于使用的通讯设备的生产厂家以及购置时

间的不同，造成这些设备的机型很杂，通讯方式也各异，概括起来，主要有以下三种通讯方式：

一、有线通讯

有线通讯是电话通讯的最早一种通讯方式，距今已有百余年的历史。它是我国邮电部门的主体通讯方式，也是电力部门最早使用的通讯方式之一。这种通讯方式的话音信号需要在架空明线或专用电缆中传输，虽然通话双方的端机都不复杂，维护技术也很简单，但是用于架设线路或敷设电缆的费用却很高，每公里需要几百元至上千元。线路越长，费用越高，而且线路的维护量也大，特别是架空明线，由于暴露在外面，当遇到风、雨、雹、雪等自然灾害时，容易发生倒杆断线故障，常常在救灾的关键时刻，通讯也中断，所以此种通讯方式除了在农电发展的初期，或通讯距离较远的地方使用外，现在已不再提倡发展使用了。

二、电力线载波通讯

电力线载波通讯是电力系统所独有的通讯方式。这种通讯方式的话音载波信号是在输电线路上传输的，由于输电线路结构牢固，绝缘程度高，所以一般不易发生由于线路故障而造成通讯中断。载波通讯对话音的载波信号衰减也少，线路不需专门维护，费用几乎和通讯的距离无关，通讯距离越远，越能显示出这种通讯方式的优越性，因而在主电网中使用十分广泛。但是，如果将主电网中的电力线载波机直接搬到农村电网中使用也不合适，这是因为，一是造价高，一台载波设备需用资金上万元，一般农电部门负担不起；二是农村电网线路短，分支多，信号衰减大，这就增加了在农

村电网开通电力线载波通讯的困难。所以，生产出适合农村电网使用的物美价廉的载波机也是生产厂家研究的新课题。近几年，电力系统的有关科研部门针对上述情况，对农村电网进行了技术考察，听取了各方面意见，吸收了主电网所使用载波机的优点，试制成功了适合农村电网使用的新型载波机。此种载波机的技术性能和中档载波机ZDD-5型相当，而价格却与农村电网目前使用较多的电子管简易载波机ZS-3型相当，并采用了集成电路，耗电情况和常用的晶体管载波机ZDD-13相当，可以做到交直流两用，现在正在逐步推广使用。

电力线载波通讯方式的不足之处是：由于通讯载波信号是在输电线路上传输的，所以为了保障设备和人身安全，必须增加外部结合设备和加工设备，以分开通讯载波弱信号和强大的工频电流，这样就势必会增加建立通讯网的费用；另一方面，也由于通讯载波信号是在输电线路上传送的，所以当停电作业、或发生线路断线、短路故障时，通讯信号也就无法再传送到对方，使通讯联络也随之中断。

三、超短波无线电通讯

随着电子技术的发展，民用电台的使用越来越广泛。从1984年开始，在我国进行了超短波无线电通讯新技术的推广使用工作。仅两年时间，已有近400个县使用这种通讯方式，收到很好的使用效果。现在，此项推广工作还在进行，以便及早结束我国部分农电部门至今没有专用通讯网的历史。

超短波无线电通讯的载波信号是射频信号，可以用电磁波的形式在自由空间内传播。由于它不用通讯线路，所以建网速度快、费用较低，维护量也少。它的另一个优点是使用

方便、灵活，野外作业可以使用移动通讯机。耗电量也少，交流电停送后，可使用备用电源，因而可保证通讯联络在任何时候都不会中断。

但是，这种通讯方式也有其问题。由于民用电台的使用并非农电系统一家，其他部门也有使用，而国家无线电委员会公布可使用的民用无线电波段又有限，所以申请使用较晚的农电部门，可能不被批准，这就失去使用这种通讯方式的机会。也由于超短波民用电台使用的部门较多，所以空间频谱十分拥挤，容易发生互相干扰，影响正常通话。另外，还由于超短波无线电波的波长较短，几乎没有绕射能力，只能直线传播，所以在地形条件较差的地方组网，直接通话可能不会成功，只能采用中继转接的办法，这就使通讯网的费用有所增加，维护量也增大。

由以上介绍可知，目前在农电系统所使用的三种通讯方式，除了有线架空专线不再提倡发展使用外，其余两种通讯方式仍在继续发展应用，仍是今后农电通讯发展的主体通讯方式。不能简单地肯定一种通讯方式，而否定另一种通讯方式。它们各有所长，也各有所短，使用单位应该根据自己的实际情况，因地制宜地合理选用其中一种或两种通讯方式，确保农电通讯的畅通无阻。

复 习 题

1. 为什么要积极发展农电专用通讯网？
2. 目前，在农电系统中使用的通讯方式主要有几种？各有什么优、缺？

第二节 电话通讯的基本原理

在第一节里，扼要地介绍了目前在农电系统中使用的三种主要通讯方式及其优缺点。但是，不管采用哪种通讯方式，其最终目的都是将发送端的语音变成电的形式（电磁波也是由电产生的）传送到很远的对方后，再将电信号还原成原来的语音信号的，因而可以统称为“电话”。电话是怎样将语音变成电信号，又怎样将电信号转变成语音的呢？为了说明这个问题，在这一节里，将简要介绍一下电话通讯的基本原理。

一、语音的传播

人们在讲话时，首先声带发生了振动，再由口腔的不同限制，发出了抑扬顿挫的声音。这声音振动了周围的空气，会使空气发生忽疏忽密的变化，不停地向四周传播，就形成了声波。当声波传到入耳后，使耳膜也跟着振动，听觉神经兴奋，将感觉传到大脑中去，这样就可听到语音了。语音的传播示意，如图1-1所示。



图 1-1 语音传播示意图

二、听觉的特征

用收音机收听音乐广播时，虽然大家都无法看到歌唱团的实际演唱情况，但是却可以清楚分辨出是男声演唱，还是女声演唱。这是什么原因呢？原来不同的声音是由不同的频率组成的。男人的声带较厚，振动的频率较低，发音低沉；而女人的声带较薄，振动频率较高，发音尖锐。所以，虽然没有看到演唱者的面目，但从声音中可以区别他们的性别。

人的耳朵也不是能听见所有频率的声音，大量的实验证明，人耳只能听到频率约在 $16\sim 16000\text{Hz}$ 的声音。而且也不是对在听觉范围内的所有频率感觉都同样灵敏，人耳只对 $1000\sim 3000\text{Hz}$ 的声音感觉最灵敏。并且声强既不能过大，也不能过小，声强过大，耳朵会震痛；声强过小，无法听清。要想效果好，声强的大小要适宜。

三、电话的频宽

人的语音最高频率约能达到 8000Hz 左右。在电话传输过程中，如果将所有语音频率都传到对方，这必然要提高对通讯设备的技术要求，增加电路的复杂程度，甚至无法达到。因此就要根据需求来决定传送语言的频率宽度。现在一般是这样规定频率范围的：高保真度立体声广播，声音的频率范围可以达到 $40\sim 10000\text{Hz}$ 左右，而一般广播只能做到 $100\sim 5000\text{Hz}$ ，电话传输能达到 $300\sim 3400\text{Hz}$ ，有的甚至只能达到 $400\sim 2000\text{Hz}$ 。虽然传送语言频率范围缩小了很多，但是并不影响听懂语言的内容，也会得到较好的清晰度。人耳的听觉特征及电话的频宽，如图1-2所示。

清晰度是衡量能够正确收听对方传送音节的百分数。如

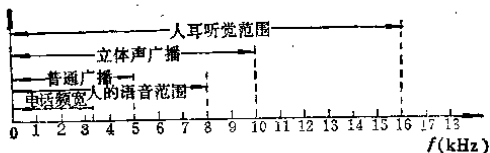


图 1-2 人耳听觉特征及电话频宽

果发送端传输100个无连贯意义的音节，在接收端能正确收听95个音节，这时清晰度就为95%。如果清晰度达到70%以上，能听懂全部意思，通话效果就比较满意。如果清晰度低于50%，通话效果较差，往往需要多次重复，听起来很吃力。

实践证明，去掉3000Hz以上的语音对清晰度几乎没有影响，而去掉500Hz以下语音，清晰度只下降5%。这就说明在电话传输过程中，没有必要将所有频率的语音都传出去，只要保证传输300~3000Hz以内的语音，就能够保证有足够的清晰度。因而国际上也确认，电话语音通信的频率范围为300~3400Hz。这样给电路的设计带来了许多方便，节省了很多费用。

四、声电的转换

语音声波的功率都是很小的，一般高声呼叫，功率才能达到 10^{-6} W（微瓦），而且传播速度也很慢。声音在空气中传播的速度约340m/s（米/秒），要传送100km（公里）的距离，大约需5min（分钟）时间。因而直接用语音进行远距离传播是根本不可能的。所以，古战场上采用了擂鼓进军，鸣金收兵的办法进行信息传递。尽管这样，声音还是传不远的，进而采用了原始的光通信——利用烽火、狼烟进行

通信联络。可是传送的距离还是有限的。直到1876年伟大的科学家贝尔发明了有线电话，将语音信号转变成电信号，再通过导线传送到很远的地方去，这个问题才得到最终的解决。

有线电话是由送话器、受话器，线路、电源等几部分组成的，如图1-3所示。

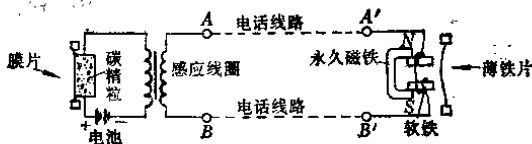


图 1-3 电话通讯示意图

送话器是由电池、碳精盒和感应线圈串联组成的，见图1-3。碳精粒的外面装有膜片，人讲话时，周围空气发生振动，也使送话器的膜片发生了振动，使盒里的松散碳精粒的疏密情况发生了变化。当膜片向内压时，碳精粒被挤紧，接触电阻变小，话音电流变大；当膜片向外张时，碳精粒又松散，接触电阻变大，话音电流变小。显而易见，话音电流的变化规律和语音（语音）的变化规律完全相同，话音电流由于感应线圈的互感作用，被送到电话线路去，传到对方。

受话器有一块U形永久磁铁，在S、N极各装一块软铁，在软铁上绕有线圈，离线圈一定距离放一块薄铁片。当由线路传来的话音电流送到感应线圈的初级，在它的次级也会产生电流，这电流通过受话器线圈时，使永久磁铁的磁场随着话音电流的大小而增强或减弱，这样对薄铁片的吸引力就忽大忽小，使薄铁片产生了振动，发出了声音。因为振动片的

振动规律和话音电流的变化规律是一致的，所以就将话音电流还原成声音。

由上面叙述可知，在传输线路中的电流的变化规律和原来话音的变化规律相同，完全模拟原来话音的变化情况，因而这种通讯方式通常称为模拟通信。送话器能将话音变化转变成话音电流，所以送话器可称为声—电元件；受话器能将话音电流转变成声音，所以受话器可称为电—声元件。这样，就可以把电话通讯简述为声—电—声转换的工作过程。

上述电路只能进行单向通讯，即一方讲，另一方听，没有实用价值。而实际使用的电话，要求每一方不但能听，而且同时也能讲，所以通话的双方必须都要各自具有送话器和受话器，才能达到双向通话的目的。

五、载波多路通讯

上面介绍的音频电话虽然能够解决远距离通话问题，但是它有一个缺点，就是在一条线路上只能在同一个时间内进行一对用户的讲话，如果再有一对用户讲话，就会发生互相干扰。这种音频的电话线路的利用率很低。而有线电话随着通讯距离的增加，架设外线的费用将比两端的电话设备的费用高出许多倍。能否在一条线路上，甚至也可以不用线路在同一时刻进行多路通信，以减低通讯设备的费用呢？科学工作者经过长期不懈的努力，终于解决了这个问题。

人们在向远方同一地点运送货物时，为了防止货物混类，常常把同一类货物装在一辆汽车上运到目的地，然后再根据车别的不同，以区别不同的货物。这就使人们联想到，可以设法将多路音频电流也象运送货物一样装在不同的运载工具上，在一条线路上传送到对方，使对方可根据运载工具

的不同，来区别是否是自己的通话对象。这样，就可以解决在一条线路上能同时进行多路通话的问题。

音频电流的运载工具并不是汽车，而是频率高出音频几十倍以上的高频电流。因为这高频电流只起着运载工具的作用，所以常称为高频载波。这种将不同音频信号加到不同的高频载波频率上进行多路通信的方式，叫做频分制载波通信。

频分制载波通信（通讯）实际上是用语音信号去控制高频载波的幅度，使它随着语音信号的变化规律而变化。这个工作过程，叫做调幅。语音信号叫做调制信号。能使高频载波的幅度随着语音电流而变化的部件，叫做调制器。能产生高频载波的部件，叫做载频振荡器。已被调幅的高频载波通过线路传送到接收端后，需要对高频载波的频率进行区别，是自己的通话对象的高频载波可以顺利通过；反之，拒之以外。这个能区别不同频率的部件，叫做滤波器。经过滤波器的输出信号仍是高频载波信号，它超出人耳听觉范围，这就需要设法从高频载波上卸下原来的语音调制信号。这个工作过程叫做解调或检波。能完成解调功能的部件就叫做解调器。在解调时，也需要有能产生和原载频频率相同的解调振荡器。多路有线载波通信的基本电路，如图1-4所示。

以上介绍的基本电路虽然解决了多路通话问题，但是只能进行单向多路通话，而实用电话要求既能听又能讲。为了解决这个问题，要在每路载波电话上设有收发设备。然而，由于线路只是一对线，如果将这些收发设备直接并联在一起，就会发生收来的信号通过发送设备又发送出去，如此往复，就会发生电路振鸣故障，破坏了正常通话。为了防止这个问题的发生，首先要在载波通信机的音频终端接一个差动

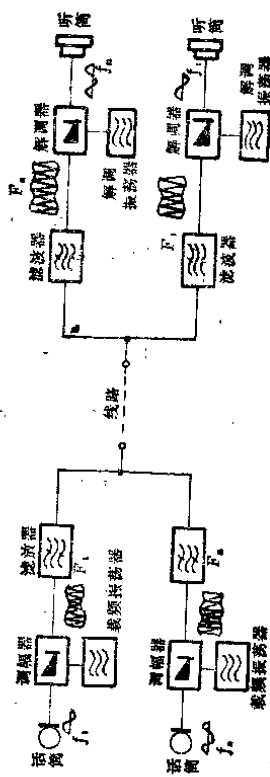


图 1-4 多路载波通讯的方框图