



1065  
Y-399

高等学校教学用书

# 高频电路及其在 矿山上的应用

于洪珍 武增 编著

中国矿业大学出版社

777174

(苏)新登字第010号

### 内 容 提 要

本书阐述高频电路的基本原理和分析方法，内容新，结合实际并有计算实例和习题。围绕无线通讯、控制及矿山中所用的发射机、接收机，着重介绍了谐振电路、小信号调谐放大器、谐振功率放大器、振荡器、振幅调制及其解调、倍频器、变频器等电路的原理、计算和调试。本书为高等院校矿山通讯和自动化专业教材，也可供从事矿山通讯和电子技术的其他有关人员参考。

责任编辑 何其华

技术设计 冀锦蓉

高等学校教学用书  
高频电路及其在矿山上的应用  
于洪珍 武增 编著



中国矿业大学出版社出版  
新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷  
开本 787×1092 毫米 1/16 印张 23 字数 541 千字  
1993年1月第一版 1993年1月第一次印刷  
印数 1—2000册

ISBN 7-81021-768-2

TP·31 定价：5.90元

## 序 言

《高频电路及其在矿山上的应用》是在朱建铭教授编著的“矿用载波技术”的基础上，根据通讯工程专业对高频电路的要求和矿山遥控通讯的新发展，修改编写而成的。

本书的编写提纲是在朱建铭教授的指导下讨论制定的，根据提纲要求于1985年编写了“矿用高频电路”讲义，在我校工业自动化与通讯工程专业以及外校有关专业应用。1990年在讲义的基础上，我们扩展了部分内容，充实了集成电路及一些通讯专用器件，并结合我们教学、科研体会修改编写成此书。

本书既重视理论的系统性严密性，又充分考虑矿山应用的先进性，它具有如下特点：

一、在教材体系的安排上我们既保留了高频电路的基本内容、基本体系，又使各章有相对的独立性，以便于其它同专业，不同教学时数选用；

二、在教材的内容上，我们既重视高频电路的基本典型电路理论、设计计算，又注意新理论、新型器件的应用，诸如低噪声放大器设计、频率合成、锁相技术等；

三、教材贯穿了矿山应用的特点，并注意把矿山通讯的特点有机地贯穿在全书各章节，在理论教学方面编入了大量的矿山应用线路的例题和综合设计举例；

四、教材深入浅出，既重视理论分析，又注意讲清物理概念，分析计算较为详细，便于自学。

本书共包括11章，即概述、谐振电路、小信号调谐放大器、高频调谐功率放大器与倍频器、LC正弦波振荡器、振幅调制及其解调、角度调制及其解调、变频器、锁相环路及其它反馈控制电路、电噪声、高频电路在矿山上应用举例。

本书内容具体执笔分工如下：于洪珍，第一、三、五、七、九、十一章，武增，第二、四、六、八、十章。

该书承蒙东南大学莫纯昌教授在百忙中审阅，提出了有益建议与意见，在编写过程中，中国矿业大学出版社何其华副教授提出了宝贵的建议与意见，同时也得到中国矿大电子教研室有关同志大力支持，在此表示衷心的感谢。

编者

1990年12月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	( 1 )
1.1 关于通信系统的概念.....	( 1 )
1.2 简单的通信系统.....	( 1 )
1.3 调制的通信系统.....	( 2 )
1.4 传输信道的概念.....	( 2 )
1.5 干扰与噪声.....	( 7 )
<b>第二章 谐振回路</b> .....	( 9 )
2.1 谐振回路的基本特性.....	( 9 )
2.2 谐振回路的选频性能.....	( 12 )
2.3 有损耗 $L$ 、 $C$ 元件对回路谐振特性的影响.....	( 22 )
2.4 负载和信号源内阻对谐振回路的影响.....	( 27 )
2.5 谐振回路信号源和负载的接入方式.....	( 30 )
2.6 松耦合双谐振回路.....	( 40 )
<b>第三章 小信号调谐放大器</b> .....	( 55 )
3.1 概述.....	( 55 )
3.2 单调谐放大器.....	( 56 )
3.3 调谐放大器的级联.....	( 61 )
3.4 松耦合双调谐回路放大器.....	( 65 )
3.5 晶体管的混合 $\pi$ 型等效电路及频率参数.....	( 72 )
3.6 晶体管的 $Y$ 参数等效电路.....	( 76 )
3.7 高频调谐放大器的稳定性.....	( 83 )
<b>第四章 高频调谐功率放大器与倍频器</b> .....	( 93 )
4.1 概述.....	( 93 )
4.2 调谐功率放大器的工作原理.....	( 93 )
4.3 调谐功率放大器的折线近似分析法.....	( 95 )
4.4 功率和效率.....	( 100 )
4.5 调谐功率放大器的动态特性和负载特性.....	( 102 )
4.6 调谐功率放大器的实用电路.....	( 109 )
4.7 功率晶体管的高频效应和安全工作区.....	( 118 )
4.8 调谐功率放大器的设计和调整.....	( 123 )
4.9 倍频器.....	( 131 )
4.10 宽带高频功率放大器.....	( 132 )

<b>第五章 LC 正弦波振荡器</b> .....	(143)
5.1 概述.....	(143)
5.2 反馈型正弦波自激振荡器基本原理.....	(143)
5.3 三点式 LC 振荡器.....	(148)
5.4 改进型电容三点式电路.....	(155)
5.5 振荡器的频率稳定问题.....	(158)
5.6 石英晶体谐振器.....	(161)
5.7 石英晶体振荡器电路.....	(167)
5.8 陶瓷振子和陶瓷振子振荡电路.....	(170)
5.9 负阻振荡器.....	(172)
<b>第六章 振幅调制与解调</b> .....	(179)
6.1 概述.....	(179)
6.2 振幅调制.....	(179)
6.3 调幅波产生原理的理论分析.....	(187)
6.4 普通调幅波的产生电路.....	(196)
6.5 普通调幅波的解调电路.....	(209)
6.6 抑制载波调幅波的产生和解调电路.....	(219)
<b>第七章 角度调制与解调</b> .....	(227)
7.1 引言.....	(227)
7.2 调角波的性质.....	(228)
7.3 调频信号的产生.....	(234)
7.4 调频电路.....	(235)
7.5 调频波的解调.....	(251)
7.6 限幅器.....	(268)
7.7 调制方式的比较.....	(270)
<b>第八章 变频器</b> .....	(274)
8.1 概述.....	(274)
8.2 平衡混频器和环形混频器.....	(276)
8.3 晶体三极管混频电路.....	(279)
8.4 变频干扰.....	(289)
8.5 场效应管混频器.....	(293)
8.6 用模拟乘法器构成的混频电路.....	(295)
<b>第九章 锁相环路及其它反馈控制电路</b> .....	(297)
9.1 锁相环路 (PLL).....	(297)
9.2 CC 4046、J691 锁相环.....	(303)
9.3 锁相环路的应用.....	(306)
9.4 自动增益控制 (AGC) 电路.....	(311)
9.5 自动频率控制 (AFC) 电路.....	(316)
9.6 静噪电路.....	(317)

<b>第十章 电噪声</b> .....	( 320 )
10.1 概述.....	( 320 )
10.2 电阻热噪声.....	( 320 )
10.3 接收天线噪声.....	( 324 )
10.4 晶体管的噪声及其等效电路.....	( 324 )
10.5 噪声度量.....	( 326 )
10.6 级联网络的噪声系数和接收机的灵敏度.....	( 331 )
10.7 噪声系数的测量原理.....	( 333 )
<b>第十一章 高频电路在矿山上应用举例</b> .....	( 336 )
11.1 脉宽调制载波多路遥讯装置.....	( 336 )
11.2 XZBH 型载波扩音电话和控制装置.....	( 344 )
11.3 YDK-1P 型遥控机.....	( 349 )
11.4 AYJ-1 型瓦斯遥测警报仪.....	( 354 )

# 第一章 绪 论

## 1.1 关于通信系统的概念

传输信息的系统称为“通信系统”。一个完整的通信系统应包括信号源、发送设备、传输信道、接收设备和收信装置五部分。传输信道的种类视具体情况而定，它可以是平行线（如架空明线等）、电缆、光缆，也可以是传输无线电波的自由空间。

本书介绍发送设备和接收设备的工作原理和组成，着重讨论构成发送、接收设备的各种单元电路的工作原理、典型电路和分析方法。具体介绍谐振回路、小信号调谐放大器、调谐功率放大器、LC 正弦波振荡器、变频器、振幅调制及检波电路、频率调制及鉴频电路以及高频电路在矿山上的应用实例。

## 1.2 简单的通信系统

下面举一个矿山上的实例，说明简单的通信系统。如果我们要将井下某工作面的采煤机组、转载机和运输机三部机器的开停情况反映到地面调度室。目前最普遍的方式如图 1-1 所示。在井下发信端装三个不同频率的载波发信机（如 36kHz、43kHz、52kHz），每一对触点控制一个发信机，在井上接收端装三个接收机，其频率和发信机相对应，每个接收机带一个信号指示灯，收和发两处之间用一对公用的传输线联结起来。当某一机器开动，则相应的触点（例如  $K_1$ ）闭合，该发信机（36kHz）即工作，发出 36kHz 的载波信号，通过传输线送到地面调度室。井上的三台接收机都收到这个信号，但由于接收机有选频作用，只有 36kHz 的那台接收机能动作，使所带的指示灯 1 明亮。

由于载波设备的选频特点，只要我们所用的载波频率与动力电或电话的频率差得远，

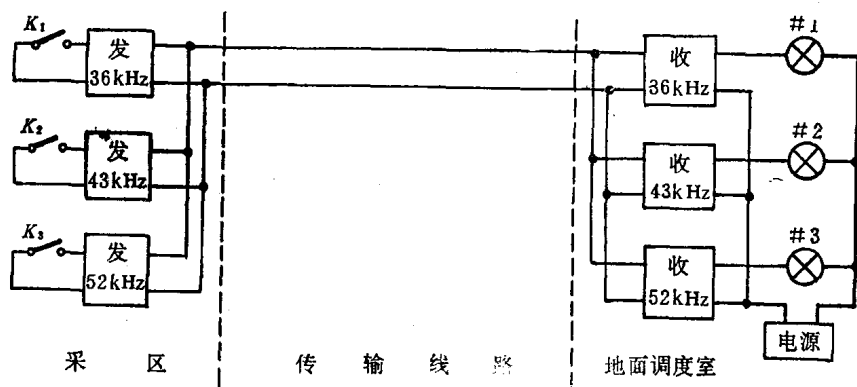


图 1-1 载波调度信号



则还可以利用现成的动力线或电话线来传送载波信号,而不怕这些线上的动力或电话的干扰。这就可以完全省去专用的载波信号线。这种特点在某些工作条件下,非常可贵,因为井下条件较差,敷设和维护一条线路不易,特别是在工作面上,机械设备需经常挪动,线路容易损坏,线路多了还容易搞错,利用现成的动力线、照明线或电话线传送载波信号,不仅节省投资费用,而且可减少线路损坏事故,减少维护工作量,并提高工作的可靠性。

上述通信系统的特点是一个载频代表一个信号。这个信号的含意比较单纯,只表示机器设备的开(或停),某种情况的发生(或不发生)等等。这种通信系统比较简单,便于现场使用和维修,故目前应用很普遍。所用的频率数目和范围,典型的有12个,自11kHz至96kHz(11, 14.5, 17, 20.5, 25, 30, 36, 43, 52, 64, 78, 96kHz)。但也有扩大到几百千赫的。

### 1.3 调制的通信系统

在实际工作中需要传送的信号是多种多样的。例如代表语音的信号就是由许多不同频率的低频信号组成;又如风压风速、水位、瓦斯含量等测量数据的信号,应能反应出不同的数量,面对这些问题,简单的通信系统将不能胜任。解决的方法是采用调制的通信系统。

所谓调制就是在传送信号的一方(发送端),用我们所要传送的对象(例如语音信号)去控制载波的幅度(或频率),使载波的幅度(或频率)随要传送的对象信号而变,如图1-2所示。这里对象信号本身称为“调制信号”,调制后形成的信号称为“已调信号”。调制使幅度变化的称“调幅”,使频率变化的称“调频”。实际上,在调制的通信系统中,载波只起一个装载和运送信号的作用,相当于“运载工具”,而调制信号才是真正需要传送的对象。

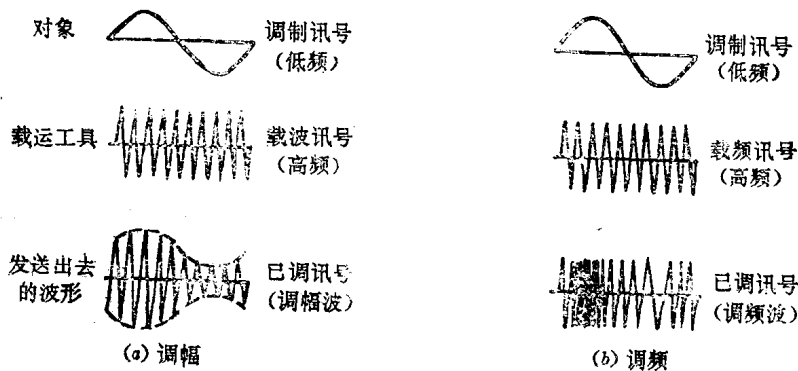


图 1-2 调制的波形

所谓解调,就是在接收信号的一方(接收端),从收到的已调信号中把调制信号恢复出来。调幅波的解调叫“检波”,调频波的解调叫“鉴频”,解调是其统称。

调制的通信系统,在矿山上广泛用于载波电话,也开始用于生产调度信号和测量数据的传送,以及工作面机械的控制。

### 1.4 传输信道的概念

电信号的传送都要通过一定的媒介。载波传输线、感应线以及传播电磁波的空间都

是传送信号的媒介,称为通道。

由于煤矿井下环境的特殊性,煤矿的通道也有其特殊性,目前基本上是利用现成的电话线或动力线,很少敷设专用通道线。而对于无线电波在井下传播时也比在地面空间要困难得多,因为井下自由空间小,电波的传播会遇到很大阻碍。

关于煤矿井下通道,国内外还都缺乏系统的研究,是煤矿通信系统的一个薄弱环节。

现就一些资料所涉及的内容,摘要作一介绍。

### 一、关于长线的概念

什么叫长线? 区别传输线的长与短,不在于其几何长度而在于其电气长度。所谓电气长度,就是线长用“波长”来衡量的长度。我们知道,任何电信号的传送,实质上是电磁波的传播。电磁波的波长为

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

式中  $\lambda$ ——电磁波的波长,单位为 m 或 km;

$v$ ——电磁波的波速,单位为 m/s 或 km/s;

$f$ ——电磁波的频率,单位: Hz。

在自由空间里, $v = 3 \times 10^8 \text{ km/s}$ ,在不同  $f$  下的  $\lambda$  如表 1-1 所示。

表 1-1

$f$	50Hz	500Hz	1kHz	10kHz	100kHz	1000kHz	1MHz	10MHz	100MHz
$\lambda$	6000km	600km	300km	30km	3km	300m	30m	3m	0.3m

当传输线长远小于波长 (即  $\frac{l}{\lambda} \ll 1$ ) 时,算作短线;而  $l$  与  $\lambda$  相比,或长、或可相比拟,就应按长线处理。例如  $l = 10 \text{ km}$  的线路,对于 50Hz 工频而言,  $\frac{l}{\lambda} = \frac{10}{6000} = \frac{1}{600} \ll 1$ , 视为短线;而  $l = 1 \text{ km}$  的线路,对于 100kHz 载频而言,  $\frac{l}{\lambda} = \frac{1}{3}$ , 就可视为长线。即长线和短线是一个相对概念,均相对电磁波波长而言。所以长线并不意味着线的几何长度就很长,而短线也并不是几何长度就一定短。

在用电缆传送信号时,由于电缆绝缘材料的介电系数(用  $\epsilon$  表示)比空气大,电波的速度  $v$  要比自由空间的小( $v$  与  $\sqrt{\epsilon}$  成反比),故  $\lambda$  也要相应地缩短。例如,设橡胶电缆的  $\epsilon$  比空气大 4 倍,则电磁波在橡胶电缆中的波长约为自由空间的  $\frac{1}{\sqrt{4}} = \frac{1}{2}$ 。按此估计,则上例中 100kHz 载频在橡胶电缆中的波长大约只有 1.5km。

在井下,传输信号的距离,少则数十~数百米,多则一二十公里。在这样的距离内,对于 50Hz 工频而言,传输线的影响往往可以忽略不计。因为在低频电路中,常忽略元件的分布参数效应。认为电场能量全部集中在电容器中;磁场能量全部集中在电感器中;只有电阻元件消耗电磁能量;连接元件的导线是既无电阻又无电感的理想连接线。所以,从来不考虑传输导线的长短对电参数( $U$ 、 $I$ 、 $Z$ )大小和相位的影响,把导线看成只起传输电流的

作用。象这样的电路叫集中参数电路。严格地讲,参数绝对集中的电路是不存在的。当信号通过导线时,导线也要呈现一定的电阻,电感,电容和电导。只有当传输导线远远短于信号工作波长时,导线的分布参数效应才可忽略,从而近似认为是集中参数电路。所以在上述传输信号的距离内,在 50Hz 工频时,传输线只需要用一个串联的  $RL$  (代表导线的电阻和电感),必要时再加一个并联的  $CG$  (代表线间电容和绝缘漏电导)来等效,采用熟知的电路分析方法即可,如图 1-3, 图 1-4 所示。因为  $CG$  的阻抗一般比负载电阻  $R_L$  大得多,而  $RL$  的阻抗比  $R_L$  小得多,故负载端的  $U_L, I_L$  近似等于馈电端的  $U_0, I_0$ , 通常我们可以认为,在负载不太重且没有分支的情况下,从馈电端到负载端,传输线上各点的电流、电压是基本相同的。

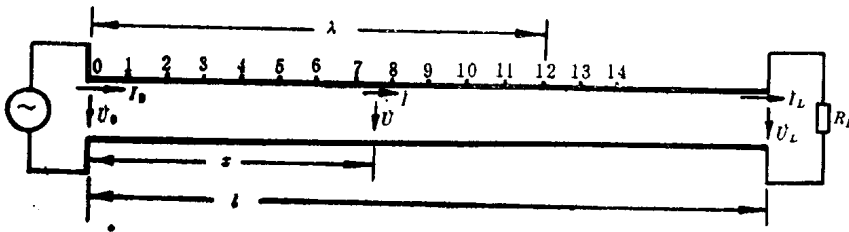


图 1-3 传输线的实际电路

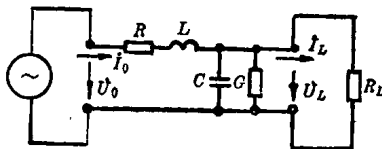


图 1-4 传输线的工频等效电路

对于载频信号,传输线不能简化成图 1-4 所示只有几个元件组成的简单电路,这是因为载频的频率比工频高得多,就必须用长线和电流、电压波的概念进行分析。

对于长线,传输线不能用集中的  $R, L, C, G$  参数来等效。因为当高频信号通过传输线时将产生如下一些分布参数效应:由于电流流过导线将使导线发热,这表明导线本身具有分布电阻;由于导线间绝缘不完善而存在着漏电流,这表明导线间处处有漏电导;由于导线中通过电流时周围将有磁场,因而导线上存在分布电感;又由于导线间有电压,导线间便有电场,于是导线间存在分布电容的效应。所以,在高频情况下,传输线是具有分布参数的电路。线上任一小段  $dz$  都分布有一定数量的电阻  $Rdz$  和电感  $Ldz$ , 任一小段  $dz$  的线间都分布有一定数量的电容  $C_1dz$  和电导  $G_1dz$ 。这里  $R, L, C$  和  $G$  分别表示传输线单位长度的分布电阻、分布电感、分布电容和分布电导,它们的数值与传输线的尺寸、导线材料及所填充的介质参数有关。

如果长线的分布参数是沿线均匀分布的,不随位置而变化,则称为均匀长线或均匀传输线。

对于均匀传输线,就可取一线元  $dz$  来讨论。将每个长线划分为许多个微分段作为集中参数电路处理,并将它等效为一个  $\Gamma$  型网络。网络串联支路的电阻为  $R_0dz$ , 电感为  $L_0dz$ ; 并联支路的电导为  $G_0dz$ , 电容为  $C_0dz$ 。均匀长线的等效电路如图 1-5 所示。显然

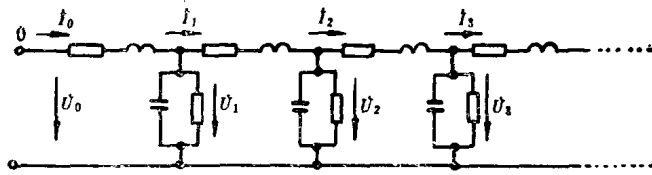


图 1-5 均匀长线的等效电路

线路上各点的电流  $I_1, I_2, I_3, \dots$  及电压  $U_1, U_2, U_3, \dots$  的幅值和相位都不同。

## 二、载波信道

它是借用动力电缆、电话电缆、电机车架线以及专用明线为传输信号的信道。发送与接收设备采用具有带通滤波特性的输入、输出电路直接或通过电容耦合。工作频率多在 200kHz 以下。目前煤矿基本上是利用现成的电话线或动力线，很少铺设专用通道线。这种载波线，线路的阻抗变化大，传输的衰减大，干扰大，对于传输信号很不利。

## 三、感应信道

感应式信道是借助于感应线来传输信号的。这种感应传输方式只要求发射、接收机与传输线有感应耦合，而不需直接连接，故比载波方式灵活而安全。在感应线局部中断的情况下，借助于其它导体(电缆、钢丝绳、金属管道等)还可以在在一定程度上维持信号的传输(但效果较差)。和无线传输比较，则受地形影响较小，可以拐弯，用较小的功率可以传播较远的距离。这是感应式传输的优点。其缺点是需要拉一条感应线，在工作面上容易被砸断；易受动力线的感应干扰，接收和发射机的天线不能离感应线太远。

感应式传输可用于蓄电池机车、斜井人车以及某些流动人员和移动机械的通信和控制。

感应式传输的原理可用图 1-6 说明。图中  $CD$  是感应线，线的两端通过终端阻抗  $Z_T$  接地 ( $Z_T$  也可开路或短路)。感应线与大地合起来组成一个感应电流的回路。在发送端  $A$ ，发射天线  $L_r$  (线圈面积  $S_r$ ，匝数  $N_r$ ) 与感应线通过互感  $M_r$  耦合。当通入  $L_r$  的电流为  $I_r$  时，在感应线中感应出电势  $E_s$ ，从而在感应线与大地中造成电流。在接收端  $B$ ，接收天线  $L_s$  (线圈面积  $S_s$ ，匝数  $N_s$ ) 通过互感  $M_s$  与感应线耦合。当感应线中在  $B$  处的电流为  $I_s$  时，在  $L_s$  中感应出电势  $E_s$ ，从而起到了感应传输信号的作用。

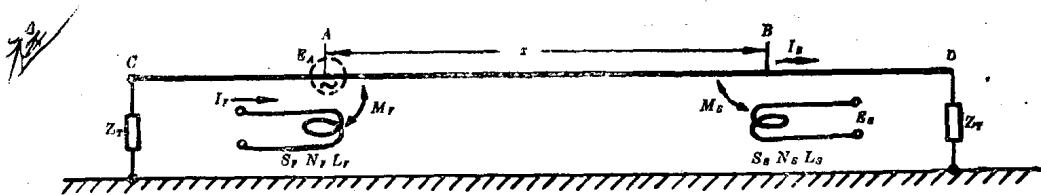


图 1-6 感应式传输的原理

频率过低，则感应的效果差；频率过高，则感应线传输的衰减大，故这种传输方式所用的频率不宜过高或过低，通常在 100kHz~500kHz 的范围。

在实际工作中，还需注意以下几点：

1. 感应线应与大地绝缘，并最好不要紧贴顶底板；

57

2. 为了避免干扰, 感应线应尽可能远离动力线。例如在巷道中, 若巷道的一壁铺设了动力线, 则感应线应置于另一壁;

3. 感应线的终端也可与固定式接收机或发射机直接连接。为了提高接收效果, 宜采用匹配变压器, 以使接收机的输入电路与感应线匹配;

4. 天线可以采用环形或磁性天线。使用时, 一般不要让天线紧贴金属体(保持 100 毫米以上的距离)。以防止天线效率降低;

5. 在蓄电池机车和斜井人车上使用时, 可根据车的长度, 使用长的天线(5~6m 长), 天线应与车体绝缘, 与感应线平行。

近年来, 随着甚高频与超高频无线电话在井下的使用, 也开始研究可与超高频无线电结合使用的感应传输。但是在甚高频与超高频段内, 由上述感应线与大地组成的系统传输衰减太大。为了减小传输衰减, 采用了同轴电缆作传输线。但由于同轴电缆外导体的屏蔽作用, 感应作用很差。为了提高感应作用, 采用了以下方法:

1. 每隔一定距离, 在同轴电缆的外皮上开一缺口;

2. 特制一种有辐射作用的同轴电缆(称为漏泄电缆), 有的是将电缆外铜皮上打很多小孔; 有的是将电缆外皮制成有起伏的波纹管形状, 然后将上面突起的地方刨去一层, 形成一系列开口槽。通过这些孔与槽, 同轴电缆内部与外部的电磁场可以互相耦合, 从而可以实现同轴电缆与发射机、接收机间的耦合。

#### 四、无线电通信道——空间信道

空间信道是利用电磁波在空气中的传播。

无线电波在井下传播时, 比在地面空间要困难得多。这是因为

1. 巷道四周都是岩石或煤, 它们吸收电磁波的能量, 使无线电波在传播中强度很快减弱;

2. 无线电波是按直线传播的, 而井下巷道往往是曲折的, 经过一次曲折, 电波要减弱很多。

由于这些原因, 井下无线通信和控制受到了限制。但近年来研究表明, 在较短的距离内, 无线通信还是可能的。例如 YDK-1P 型遥控机是一种甚高频无线电调频控制设备, 它用在采煤工作面, 其有效控制距离为 15m。

适合于井下无线电波传播的, 有两个频段, 一低一高, 两个频段的电波传播特点是不同的。

1. 在频率较低的情况, 传输效果与距离、频率和巷道壁的组成结构均有关。当收、发两天线间的距离比波长小得多时, 可把收、发两天线看作有互感耦合, 而周围的巷道壁, 则形成一个大的导电环, 把发射机的一部分能量吸收去, 从而减小了接收天线中的感应电势。

而频率的影响比较复杂, 因为这与巷道中岩石的频率特性有关。总的趋势是,  $f$  升高, 则岩石的介质损耗增大, 故对电磁波能量的吸收也增大。据国外某矿的实测数据, 在 250kHz 以下, 吸收影响很小; 在 250kHz~1MHz 之间, 吸收情况基本不变; 而  $f > 1.5\text{MHz}$  时, 吸收急剧增加。从这点看, 以采用较低的频率为宜。但频率太低时天线体积大而效率低, 也不利。所以两者应兼顾。

在直巷道内, 无线通信距离比在巷道弯曲时距离要远; 而当巷道中有金属管道、钢丝

绳、溜槽等导体时,传输距离将增加。

2. 在甚高频和超高频段内,巷道可看作一个大截面的波导管。所谓波导管,就是一个引导电磁波前进的四壁封闭的导体管道,借助于导体对电波的反射作用,使电波在管道内一面反射,一面前进,从而实现引导电波按一定路径传播的任务,如图 1-7 所示。

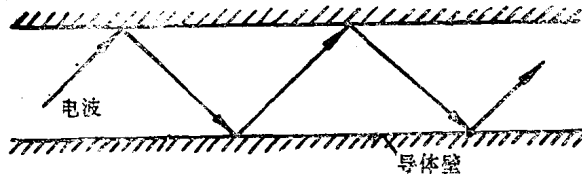


图 1-7 电波在导体壁间的反射传播

根据波导管的理论,只有波长小于波导管截面尺寸某一比值的电磁波才有可能在管中传播。故巷道作为波导管,也只能传播波长小于某一临界值(也即频率高于某一临界值)的电磁波。

图 1-8 表示不同频率的超高频电磁波在一煤巷中传播的衰减情况(实线:实测值,虚线:理论值),煤巷断面尺寸:  $2.1\text{m} \times 4.2\text{m}$ 。该曲线表明,在  $300\text{MHz}$  以下,信号急剧衰减,而频率增加时,衰减下降,约在  $800\text{MHz}$  附近达最低点。但  $f$  继续升高时,由于煤壁在超高频下的损耗增加,衰减又增大。

临界波长与截面尺寸成正比。因此巷道愈小,则可以传播的波长愈短,即所需的频率要高。

据试验,在一条直的巷道内,用两部  $30\text{MHz}$  的短波步话机,通信距离只有数十米,  $150\text{MHz}$  的甚高频段内,可达一二百米,而  $450\text{MHz}$  则可达  $500\text{m}$ 。

巷道有转角时,衰减显著增大,一个巷道转角的衰耗约  $58\text{dB}$ 。假如在直巷道内的通信距离为  $460\text{m}$ ,则通过一个  $90^\circ$  的转角,通信距离将减到  $150\text{m}$  左右。

在井筒内进行试验的情况表明,在  $27\text{MHz} \sim 46\text{MHz}$  范围内的无线电波,可以得到较好的传输效果。

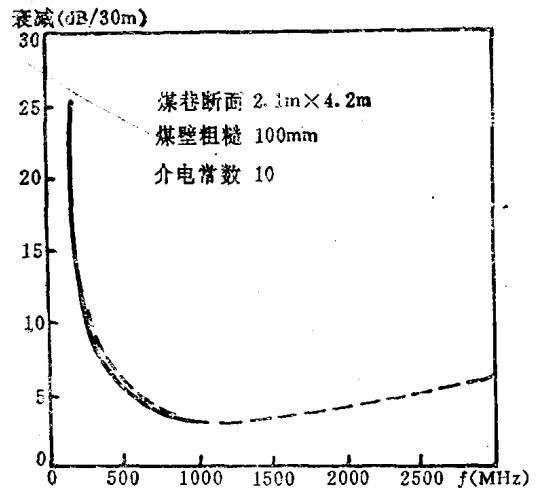


图 1-8 超高频电磁波在煤巷中传播的衰减

## 1.5 干扰与噪声

通信系统的基本任务是传送消息。理想通信系统所接收到的消息应该和原来的发送消息完全相同,但实际接收到的消息由于在传输过程中伴随一定程度的失真或混入一些干扰等原因或多或少和发送消息有些差别。所谓干扰,一般是指叠加(混杂)在被传送的信号之中的各种有害的电振荡。干扰的种类很多,有的是从设备外部来的,常见的有工业

干扰、天电干扰和宇宙干扰等等。有的则是设备内部产生的噪声。

工业干扰是由各式各样的电气设备所产生的。如电力线、电车、电源开关、点火系统、高频电炉等,这类干扰来源分布很广泛,无论是城市还是农村,内地还是边疆,各地都有工业干扰存在。我们平时收听广播时,如果有人打开电灯的开关,接收机就可以听到“喀啦”的声音,就是这种干扰。此外象电动机以及拖拉机的点火系统所产生的电火花等,都是工业干扰的来源。工业干扰信号的频谱很宽,它从极低的频率开始,一直延伸到几十甚至几百 MHz 的超高频波段中。

天电干扰是指大气中的各种电扰动所引起的干扰。雷电所产生的强大电磁波辐射是我们熟悉的天电干扰。打雷时收音机也可听到很大的“喀啦”声。天电干扰的频谱主要在波长较长的波段,在波长短于超短波的波段,这种干扰实际上已很微弱。

宇宙干扰是指来自宇宙间各种天体的电磁辐射。太阳就是一个强大的具有很宽频谱的辐射源。它的频谱,从米波、分米波一直延伸到可见光以外的波段(例如紫外线)。

另外还有电台干扰,它是指其它无线电发射设备所产生的干扰。目前由于对无线电通信的需要日益增加,而短波段的频带又比较窄,能容纳电台数目较少,所以短波段内电台间的相互干扰比较严重。

有的干扰则是从设备内部产生的。例如,收音机或扩音器中常常可以听到一种“沙沙”声,这种噪声在广播停顿的间隙更为明显;又如在电视图象的背景上,经常可以看到一些象雨点般的黑白斑点。这些沙沙声、黑白斑点等等,是接收机内部产生的干扰,通常称为内部噪声。内部噪声的频谱很宽,几乎是从零频率开始一直到几万 MHz 以上的极高频段都存在。

通常,有用信号比设备内部噪声大得多,这时噪声有害影响很小,可以不予考虑。但在某些情况下,有用信号可能十分微弱,相比之下,噪声强度大大超过有用信号,这时就必须考虑噪声的影响。例如在卫星通信系统中,从遥远的人造卫星发回的信号,一般都很微弱。这时接收机的内部噪声可能比有用信号大得多,如果不想办法把它减小,不但会影响通信的质量,有时甚至使通信中断。

所以应降低干扰和噪声的影响。

## 第二章 谐振回路

谐振回路是高频电路的基本组成部分。它是由电感和电容组成。按电感、电容和信号源联接方式的不同,可分为串联和并联谐振回路两种类型。

谐振回路的主要特点是具有选频特性,当输入信号含有多种频率成分时,经过谐振回路只选出某些频率成分,对其他频率成分有不同程度的抑制作用。它的这一特性,在通信技术中有极其重要的用途,这是本章讨论的重点。

谐振回路中电感、电容的损耗、信号源的内阻以及它所带的负载,都对回路的选频特性有很大的影响。需要进行深入的探讨。同时,为使它带的负载得到最大功率,必须研究回路的各种联接方式,进行阻抗变换,达到阻抗匹配以期获得最有效传输信号的要求。

在实际应用中,有时单谐振回路不能满足选频和传输的要求,需要把两个或几个单谐振回路相互耦合,联接成“双谐振”或“多谐振”回路。本章重点研究双谐振回路。

### 2.1 谐振回路的基本特性

#### 一、串联谐振回路

串联谐振回路如图 2-1 示。 $L$  和  $C$  分别表示电感和电容, $r_0$  表示它们的损耗电阻。实际上,电容损耗比电感线圈的损耗小得多, $r_0$  近似为电感线圈的损耗电阻。但它不是线圈的直流电阻而是线圈在回路谐振时的等效损耗电阻。

##### 1. 回路的等效阻抗

为分析方便,回路暂不考虑信号源内阻和负载电阻。

根据电路理论知道,回路等效阻抗为

$$Z = r_0 + j \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \quad (2-1)$$

写成指数形式为

$$Z = |Z| e^{j\varphi} \quad (2-2)$$

式中  $|Z|$ ——为等效阻抗的模,  $\Omega$ ;

$$|Z| = \sqrt{r_0^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (2-3)$$

$\varphi$ ——为阻抗角, rad.

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{r_0}; \quad (2-4)$$

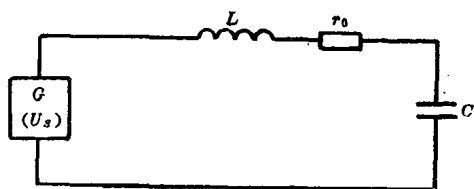


图 2-1 串联谐振回路



$\omega$ ——为输入信号的角频率, rad/s。

由式可知, 阻抗和阻抗角是输入信号频率的函数。其阻抗特性如图 2-2(a)、(b)所示。

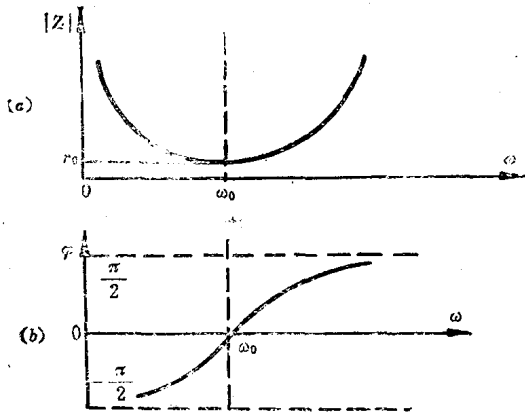


图 2-2 串联回路的阻抗特性

图中表明, 当输入信号频率使得

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \text{ 时, 即}$$

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2-5)$$

或

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2-6)$$

此时回路对信号源呈现为纯电阻, 数值最小,  $|Z| = r_0$ 。回路处于这种状态时称做谐振, 谐振时的信号频率叫回路的谐振频率, 以  $\omega_0$  或  $f_0$  表示。当  $\omega \neq \omega_0$  时, 相

对于谐振状态称做失谐。失谐时, 回路阻抗特性的特点是: 在  $\omega$  小于  $\omega_0$  时,  $\frac{1}{\omega C} > \omega L$ , 回路呈容性,  $\varphi$  角为负值; 在  $\omega$  大于  $\omega_0$  时,  $\omega L > \frac{1}{\omega C}$ , 回路呈感性,  $\varphi$  角为正值。

## 2. 回路品质因数

如上所述, 已知回路谐振时,

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \frac{\sqrt{LC}}{C} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2-7)$$

$\sqrt{\frac{L}{C}}$  是谐振回路的特性阻抗。在无线电技术中, 常用回路特性阻抗与回路电阻的比值来描述谐振回路的性能, 此比值用  $Q$  表示, 即

$$Q = \frac{\omega_0 L}{r_0} = \frac{1}{r_0 \omega_0 C} = \frac{1}{r_0} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2-8)$$

$Q$  称做回路的品质因数, 是无量纲量。

$Q$  值包含了回路三个元件的参数 ( $r_0, L, C$ ), 反映了三个参数对回路特性的影响, 是描述回路特性的综合参数。下面进一步分析回路阻抗和阻抗角与  $Q$  的关系。已知,

$$\begin{aligned} Z_1 &= \sqrt{r_0^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \\ &= r_0 \sqrt{1 + \left(\frac{\omega_0 L}{r_0}\right)^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2} \\ &= r_0 \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)^2} \end{aligned} \quad (2-9)$$

$$= \text{tg}^{-1} Q \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right) \quad (2-10)$$