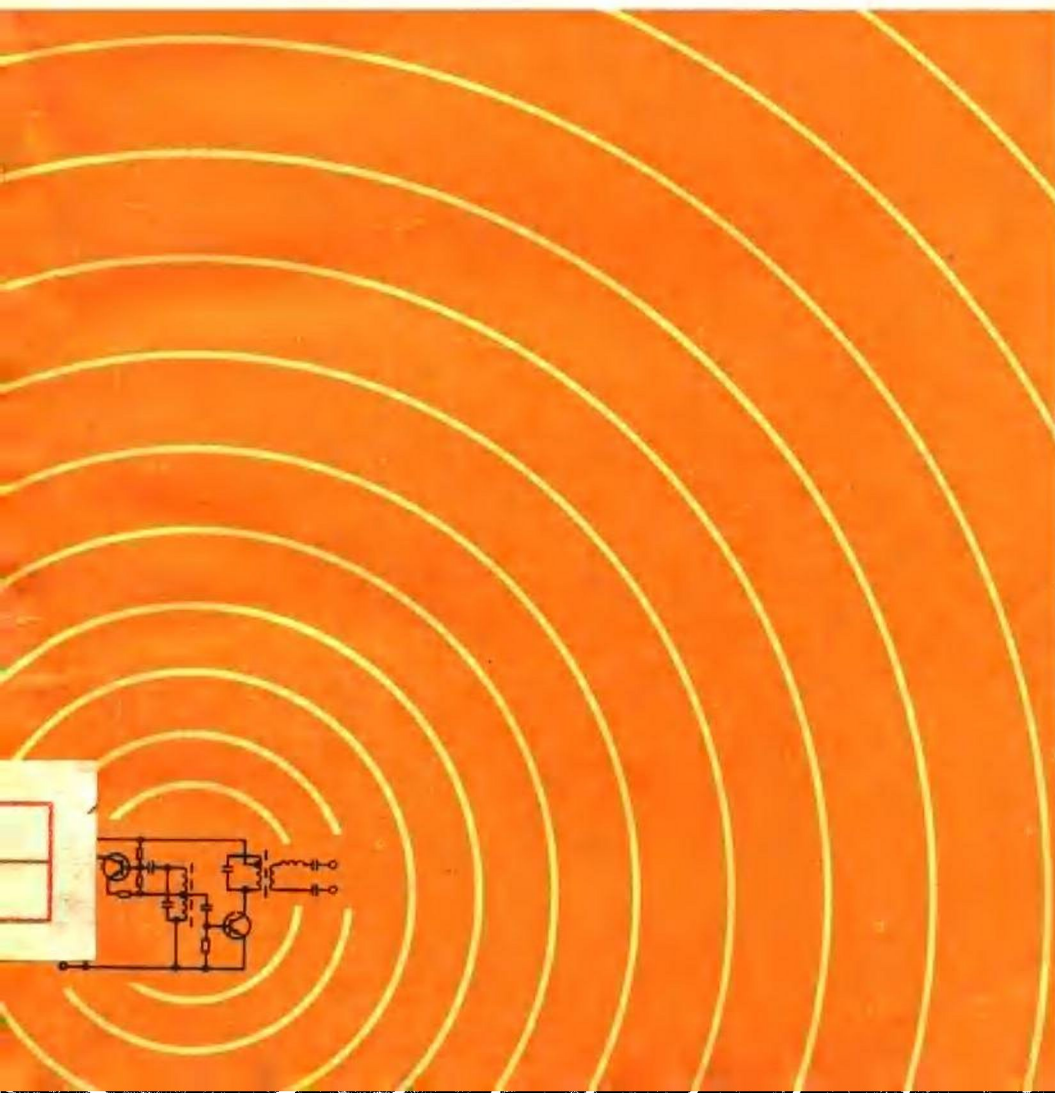


矿用载波技术

朱 建 铭 编 著

煤 炭 工 业 出 版 社



7D65
2
3

矿用载波技术

朱建铭 编著

11/12/21

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书较全面地介绍了当前煤矿生产中所用的载波技术。围绕载波讯号、动力载波控制、载波遥测、载波电话、感应或无线通讯及控制中所用的发射机和接收机，着重介绍了小讯号选频放大器、调谐功率放大器、调幅、检波、调频、调相、鉴频、倍频、变频等各种电路的原理、计算和调试。对载波技术在煤矿上应用的实例和通讯道的特点也作了一定的介绍。

本书可供从事矿山载波技术和电子技术的工作人员及有关科研、教学人员参考。

矿 用 载 波 技 术

朱 建 铭 编 著

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 $9^{12/16}$ 插页 4

字数 259 千字 印数 1—4,200

1981年 5 月第 1 版 1981年 5 月第 1 次印刷

书号 15035·2381 定价 1.30 元

前 言

现代化的煤矿生产必须伴以相应的通讯和监控手段。载波技术在这方面具有重要的作用。随着生产的发展和电子技术的普及,载波技术正在日益广泛地得到应用。

载波技术涉及的面较广,煤矿工作又有其一定的特殊性,从事煤矿载波技术工作的广大工人和技术人员,常感缺乏一本较全面地介绍煤矿载波技术的书。本书原系大学生学习煤矿载波技术课程的教材,现经修改,供从事这方面工作的有关人员参考。

全书分三大部分。前四章为第一部分,介绍了简单的(不调制的)载波系统。以煤矿常用的十二路载波机为例,说明载波发射机和接收机各环节的基本原理、计算、调整方法及部分应用实例。此外,还介绍了正在逐渐得到广泛应用的采用压电陶瓷元件的载波机。

第五、六、七三章为第二部分,介绍了调制的(调幅、调频和调相)载波系统。前二章为原理部分,后一章为应用举例。

第八章为第三部分,介绍了载波、感应和无线通讯道的特点。由于这方面的资料掌握得不多,只是简略地介绍了一些基本的理论和罗列了一些实测的数据和曲线,以期引起大家的注意并希望今后能在更多资料的基础上作出系统的总结。

本书以讨论当前煤矿中应用的载波技术为主,一般频率较低,线路较简单。鉴于感应式的以及甚高频段的无线通讯和控制亦已在煤矿开始应用,故书中亦适当地介绍这方面的有关内容。

在编写过程中,承煤炭科学院谢寿炽同志校阅了全书,张兆璜、淮南谢一矿的王永康同志提出了不少宝贵的意见,有关单位提供了参考资料和实验条件,中国矿业学院电子教研室的同志们支持和协助了编写工作,谨在此表示感谢。

书中不妥之处,恳望读者批评指正。

作 者 1980年2月

目 录

第一章 煤矿中所用的载波技术	1
第一节 什么是载波技术	1
第二节 简单的(不调制的)载波系统	1
第三节 调制的载波系统	4
第二章 小讯号调谐放大器	6
第一节 小讯号调谐放大器的用途及特点	6
第二节 谐振电路	7
第三节 单级调谐放大器	24
第四节 多级调谐放大器	33
第五节 调谐放大器计算举例	44
第六节 谐振电路及调谐放大器的测试和调整	50
第七节 晶体管的高频性能和高频调谐放大器	55
第三章 调谐功率放大器	70
第一节 调谐功率放大器的用途和特点	70
第二节 调谐功率放大器的工作原理	70
第三节 调谐功率放大器的功率和效率	75
第四节 调谐功率放大器的工作状态和阻抗匹配问题	80
第五节 自给偏压环节	88
第六节 调谐功率放大器的设计	91
第七节 调谐功率放大器的测试和调整	100
第八节 其它输出耦合电路	103
第九节 倍频器	105
第四章 载波发射机和接收机	107
第一节 载波发射机的典型电路和技术指标	107
第二节 载波接收机的典型电路和技术指标	113
第三节 关于载波发射机设计和使用中的一些问题	117
第四节 关于载波接收机设计和使用中的一些问题	123
第五节 采用压电陶瓷元件的载波机	126

第六节 载波技术应用举例	132
第五章 调幅、检波和变频	147
第一节 概述	147
第二节 调幅波的性质	147
第三节 基极调幅	154
第四节 大讯号集电极调幅	167
第五节 检波电路	173
第六节 变频器	186
第六章 调频、调相和频率检波	192
第一节 概述	192
第二节 调频方法	201
第三节 频率检波	214
第七章 调制的载波系统应用举例	231
第一节 ZDD-11型动力线载波电话机	231
第二节 XZBH型载波扩音电话和控制装置	235
第三节 MDZ-2型动力载波机	239
第四节 FYK和SYK型无线电遥控机	247
第五节 XC-76型井筒电话	253
第六节 AYZ-1型瓦斯遥测警报仪	259
第七节 脉冲调制载波多路通讯装置	264
第八节 感应式采煤机离机控制装置	271
第八章 载波、感应和无线电通讯道	278
第一节 概述	278
第二节 传输线的理论基础	278
第三节 电话线的高频性能	288
第四节 井下供电网的高频特性	290
第五节 传输线的测试	297
第六节 感应式传输	303
第七节 井下无线电波的传播	306

第一章

煤矿中所用的载波技术

第一节 什么是载波技术

所谓载波技术，就是借助于某一高频讯号（载波）去载运（装载和运输之意）我们所要传送的对象（讯号），以达到增强抗干扰能力，实现一线多用的目的。例如在载波电话中，代表话音的讯号就是我们所要传送的对象，而它是借助于某一高频载波（大多在40~100千赫之间）来传送的。又如在载波调度讯号中，反映井下各生产机械运转状况（通常是指开和停两种状况）的讯号是我们要传送的对象，而这些讯号也是借助于各种载波讯号来传送的。

用载波传送的讯号，可以有各种用途。有的是借助灯光或声响来反映某一情况是否发生，例如某机器是否开动或某处瓦斯含量是否超过规定值等，这叫做载波讯号。有的用来传送语言消息，叫做载波电话或载波通讯。有的用来反映某些物理量（如电流、电压、水位、瓦斯含量等）的数值，叫做载波遥测。有的用来控制某机械的操作，叫做载波控制。尽管上述各种应用的具体形式多种多样，但在载波讯号的发送、传输、和接收上有其共同点。本书主要介绍这些共同点。

第二节 简单的（不调制的）载波系统

不用载波也可以传送讯号。不过用载波传送可以提高抗干扰能力，一线多用，节省传输线路。让我们从下面的例子来比较。

设我们要将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。如果不用载波，则最简单的是采

用图1-1的形式，即由每一部机器带动一对触点（图中 $K_1K_2K_3$ ），每对触点带一个指示灯（图中1、2、3）。某部机器开，则相应的触点闭合，它带的灯亮；反之机器停则触点断开、灯随之灭。这种方法极简单，但每个讯号必须有一对讯号线。三个讯号，至少需三根单独的和一根公用的讯号线。

用载波传送讯号，目前最普遍的方式是如图1-2所示。在井下发讯端安装三个不同频率的载波发讯机（如36千赫、43千赫、52千赫），每一对触点控制一个发讯机。在井上接收端装三个接收机，其频率和发讯机对应，每个接收机带一个讯号指示灯。收和发两处之间用一对公用的传输线联接起来。当某一机器开动，则相应的触点（例如 K_1 ）闭合，该发讯机（36千赫）即工作，发出36千赫的载波讯号，通过传输线送到地面调度室。井上的三个接收机都收到这个讯号，但由于接收机有区别频率的能力（称为选频作用），只有36千赫的那个接收机能够动作，使所带的指示

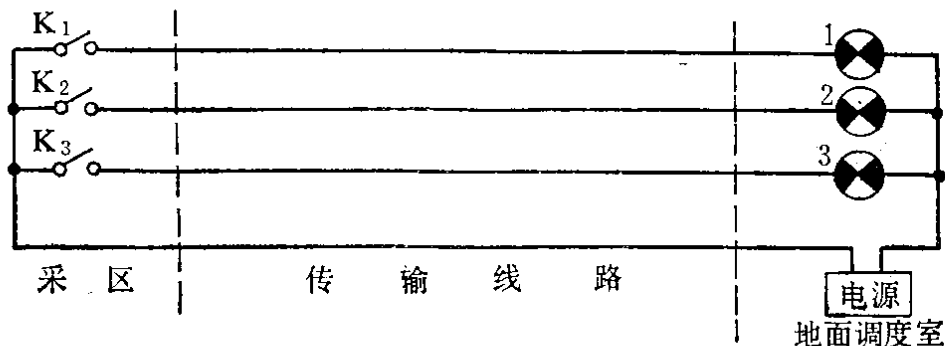


图 1-1 不用载波的最简单的讯号系统

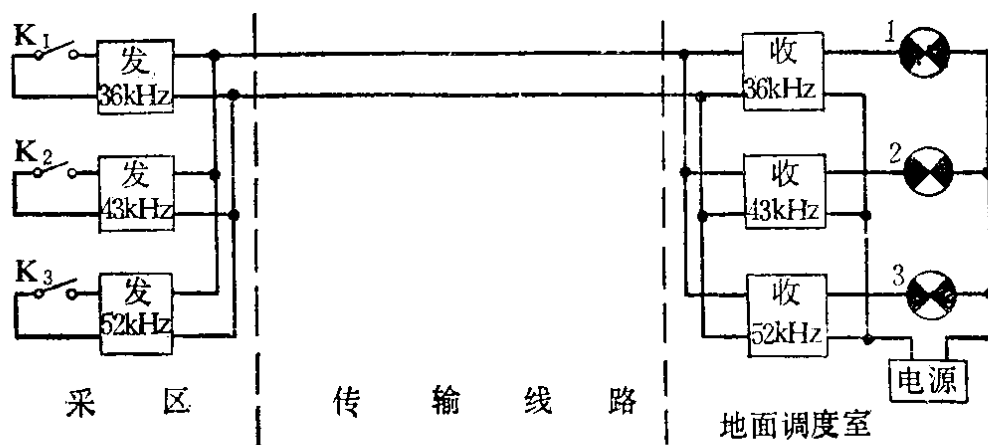


图 1-2 载波调度信号

灯 1 亮。

比较上述两种方式。第一种方式的优点是系统简单，但必须专线专用，费线。第二种方式的优点是可以一线多用，但每个讯号要装一套收、发讯机，省线而费设备。当传输的距离不长时，第一种方式是可取的。但假如传输的距离较长（例如从井下工作面到地面调度室一般要几公里，以至一二十公里），讯号数量又多，则第一种方式所需的线路费用、安装和维护工作量都很大，这时第二种方式便具有优越性。另外，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，我们还可以利用现成的动力线或电话线来传送载波讯号，而不怕这些线上动力电或电话的干扰。这就可以完全省去专用的载波讯号线，使载波技术可更灵活地应用。这种特点在某些工作条件下，非常可贵。因为井下条件困难，敷设和维护一条线路不易，特别是在工作面上，机械设备需时常挪动，线路容易损坏，线路多了又容易搞错。利用现成的动力线、照明线，或电话线传送载波讯号，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。例如用机组采煤时，机组司机需要对机组和工作面链板输送机进行开机、停机和停溜等几个控制动作，他要在工作面的机组上向顺槽磁力开关处发上述几种控制讯号。按传统的方式，是使用一种控制芯线与动力线合在一起的 8 芯电缆（其中三根动力线，一根地线，四根控制芯线）。这种电缆既贵且重，操作工人的劳动强度大，而且其中的控制芯线较细，在工作面上容易被砸伤折断，造成控制失灵。采用动力载波控制技术，就可利用机组的四芯动力电缆传送控制讯号，与传统的多芯电缆比，可节省大量铜与橡胶等贵重物资（据有关单位估算，一台载波控制的机组可节省铜约 190 公斤、橡胶 220 公斤），减轻了操作工人的劳动强度，并且由于不发生控制芯线损坏事故，在一定程度上提高了控制的可靠性。

上述载波系统的特点是一个载频代表一个讯号。这个讯号的含意比较单纯，只表示某机的开（或停），某种情况的发生（或

不发生) 等等。这种载波系统比较简单, 便于现场使用维修, 故目前应用最普遍。所用的频率数目和范围, 典型的有12个, 自11千赫至96千赫。但也有扩大到几百千赫的。

第三节 调制的载波系统

在实际工作中需要传送的讯号是多种多样的, 有的简单, 有的复杂。例如代表话音的讯号是由许多个大小不同频率的低频讯号组成; 又如代表瓦斯含量、风压风速、水位等测量数据的讯号, 应能反映出若干个不同的数码; 即使是上面所述的简单讯号, 假如数量多, 例如要求在一对线上传送几十至上百个讯号, 则目前已有的载波频率就不够用。面对这些问题, 简单的载波系统将不能胜任。解决的方法是使用一种较为复杂的载波系统——调制的载波系统。

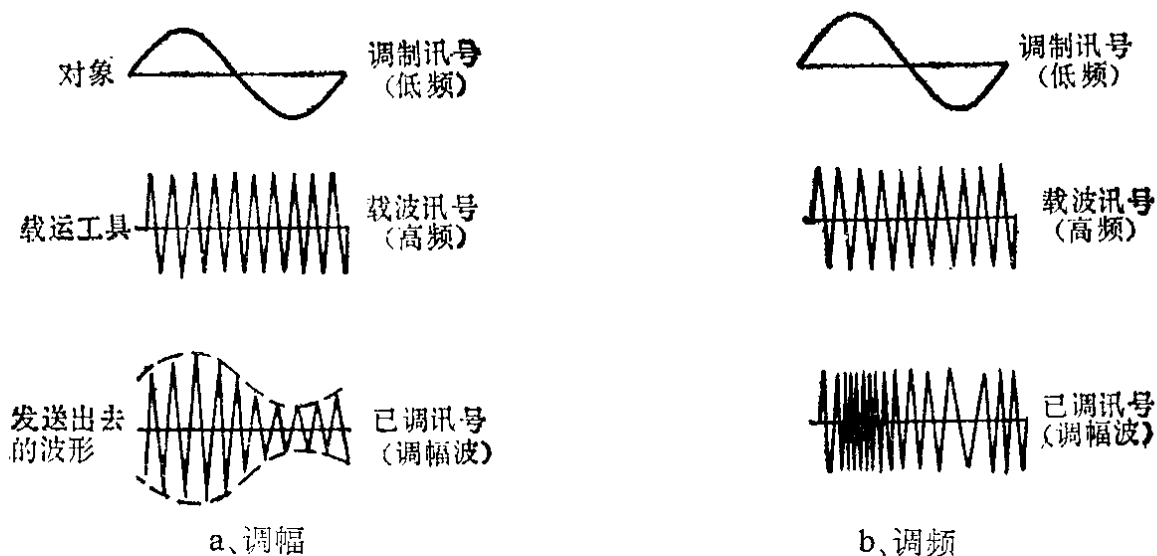


图 1-3 调制的波形

所谓调制, 就是用我们所要传送的对象 (例如话音讯号) 去控制载波的幅度 (或频率), 使载波的幅度 (或频率) 随要传送的对象讯号而变, 如图1-3所示。调制使幅度变化叫做“调幅”, 使频率变化叫“调频”。这里对象讯号本身称为“调制讯号”。调制后形成的讯号称为“已调讯号”, 它既含有调制讯号的内容, 又具有与载波大体相同的传输性能, 把它送到线路上, 同样可以

具有一定的抗干扰能力和实现一线多用。可是，它又不同于一个简单的载波。当收到已调讯号后，还可以从中恢复出调制讯号，这样接收端就可以了解“对象”的内容。实际上，在调制的载波系统中，载波只起一个装载和运送讯号的作用，相当于一种交通工具，而调制讯号才是真正需要运送的对象。

在发送端，需要把调制讯号“装”到载波中去，这个过程叫作“调制”，实现这个过程的环节叫“调制器”。在接收端，则需从收到的已调讯号中把原先“装进去”的讯号“拿出来”，还其本来面目，即“卸载”，术语叫做“解调”。完成这个作用的环节称为“解调器”（调幅波的解调叫“检波”，调频波的解调叫“鉴频”，解调是其统称）。所以就发送和接收的设备而言，比较复杂。

调制的载波系统，广泛用于载波电话，也开始用于生产调度讯号和测量数据的传送，以及工作面机械的控制。

在较高的载频并配以适当天线的情况下讯号可通过电磁场感应或无线电波的方式来传送。这就使传输讯号的路径从某几根必须直接连接的导线（称为载波传输线）扩大到不直接连接的导线或导体（称为感应线或感应体，钢丝绳、金属管道等在一定程度上也可充当感应体）；从依靠导体传送扩大到脱离导体而在空间传送，从而扩大了应用的范围。井下有大量的移动设备和流动人员，有关他们的讯号、通讯和控制（例如对采煤机的近距离机控制，罐笼和绞车房之间、斜井人车与绞车房之间、蓄电池机车与调度室之间、井下机电维修人员之间、矿山救护人员之间的讯号通讯等），不能依靠固定连接的载波传输线。而通过感应或无线传输的方式，上述问题可以在不同程度上获得解决。感应讯号的载频，一般为100千赫~1兆赫，无线讯号的载频，大多在几十至几百兆赫。

感应和无线传送方式，实际上已超出载波技术的范围，但由于它们在发送和接收的基本环节方面，有许多共同点，所以本书亦适当加以讨论。

第二章

小讯号调谐放大器

第一节 小讯号调谐放大器的用途及特点

在无线电技术和煤矿载波技术中，普遍遇到这样一个问题：我们所接收到的讯号很弱，需要加以放大。而这样的讯号又往往是与干扰或其他不需要的讯号同时进入接收机的。我们希望将有用的讯号得到应有的放大，而把其它无用的干扰讯号抑制下去。借助于选频放大器——即有选择性地对某一频率的讯号进行放大的放大器，可以达到此目的。小讯号调谐放大器便是这样一种最常用的选频放大器。图 2-1 是矿用载波接收机中所用调谐放大器的典型电路。

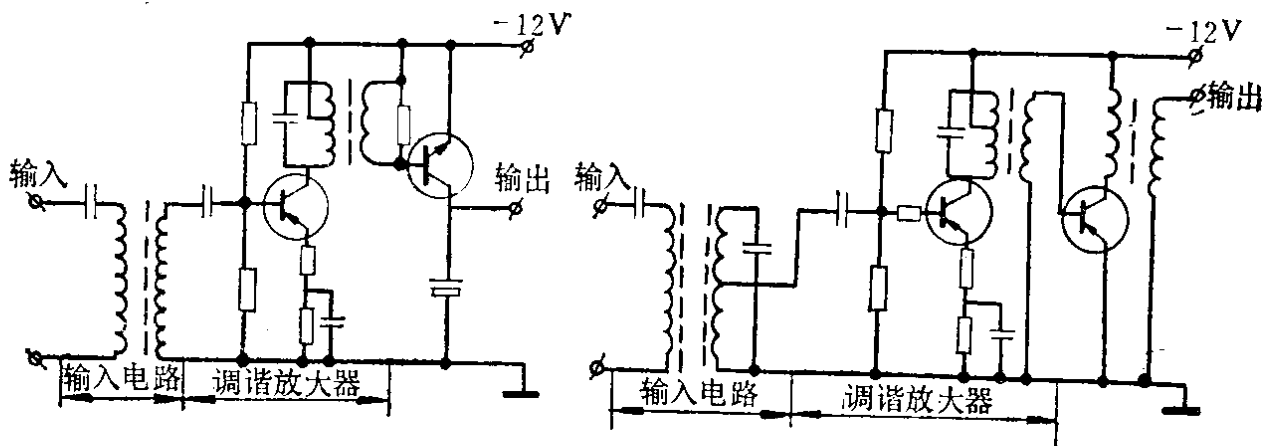


图 2-1 矿用载波接收机中的调谐放大器

尽管这些电路的形式不完全相同，但它们具有一个共同点：都采用谐振电路作为放大器的集电极负载，所以叫作调谐放大器。这种放大器与一般交流放大器之不同点在于：它的放大作用有选择性，即对频率等于谐振频率 f_0 的讯号具有最强的放大作用，而对其它远离 f_0 频率的讯号，放大作用很差，如图 2-2 所示。

研究一个小讯号调谐放大器，应当从放大能力和频率性能两

方面去分析。放大能力可用谐振时的放大倍数 K_0 表示。频率性能通常用通频带和选择性两个指标衡量。

通频带 通频带是放大器能有效地放大的频率范围。由于当频率 f 偏离谐振频率 f_0 时， K 是逐渐减小的，所谓能有效地放大与不能放大，其间并无绝对的分界线。所以对于通频带的指标，

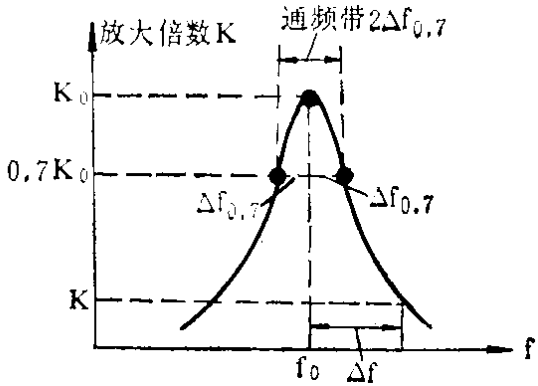


图 2-2 调谐放大器的频率特性

需要根据具体情况加以说明，即 K 在某一规定值以上的频率范围叫作通频带。如果没有说明，则按惯例处理： K 在 $\frac{K_0}{\sqrt{2}}$ 即 $0.707 K_0$

以上的频率范围为通频带，以 $2\Delta f_{0.7}$ 表示（见图2-2）（这里 Δf 表示相对于 f_0 的频率偏差，脚注 0.7 表示 K 降到 $0.707K_0$ 处）为什么要求选频放大器不只放大单一个频率而要对一段频率范围都能有效地放大？这是因为：（1）实际的有用讯号本身常常不是单一频率的，例如频率为 f_0 的载波电话，它的讯号成分，除 f_0 外，还包括比 f_0 高和低约 2~3 千赫的频率成分。（2）即使讯号本身是单一频率的，但由于元件性能，工作条件或制造维修情况的差异，讯号的实际频率相对于标准值会有一定程度的偏差。为留有余地，放大器应对正常偏差范围以内的频率都能放大。

选择性 选择性是放大器对其它频率的讯号抑制能力的衡量。可用在给定频偏 Δf 下的 K ，相对于 K_0 的衰减倍数，即 $\left. \frac{K}{K_0} \right|_{\text{给定 } \Delta f}$ 来表示。

放大和衰减量都可用倍数和分贝数（db）两种方式表示。两者的对应关系见表2-1。

第二节 谐 振 电 路

谐振电路是调谐放大器的主要组成部分，有必要对它的主要

表 2-1

分贝数db	倍 数		分贝数db	倍 数	
	放 大	衰 减		放 大	衰 减
0	1.00	1.00			
1	1.12	0.891	11	3.55	0.282
2	1.26	0.794	12	3.98	0.251
3	1.41	0.708	13	4.47	0.224
4	1.59	0.631	14	5.01	0.200
5	1.78	0.562	15	5.62	0.178
6	2.00	0.501	16	6.31	0.159
7	2.24	0.447	17	7.08	0.141
8	2.51	0.398	18	7.94	0.126
9	2.82	0.355	19	8.91	0.112
10	3.16	0.316	20	10.00	0.100

注：1.上表只适用于电压(或电流)的增益（或衰减），其关系式为（分贝数）=20lg（倍数）

对于功率，表中所列的分贝数应减一半，例如功率增益10倍相当于10分贝，功率分贝数的关系式为

(分贝数)=10lg(倍数)

2.放大的分贝数冠以正号，称为增益；衰减的分贝数冠以负号。

3.对于20db以上的分贝数，可按以下规律计算：分贝数相加相当于倍数相乘，分贝数相减相当于倍数相除(即小数倍相乘)。

例如

50db=20db+20db+10db

↓ ↓ ↓

相当于10 × 10 × 3.16=316倍

性能先有所了解。

（一）谐振电路的基本性能

谐振电路由电感L和电容C组成。当L、C和讯号源三者串联时，称为串联谐振电路；当L和C并联于讯号源上时，称为并联谐振电路（见表2-2中的电路图）。注意这两个电路图中的LC都是理想化的无损耗元件。但实际的电感和电容总有损耗。另外，谐振电路还接有负载，它象元件的损耗一样，也消耗谐振电路中的能量。所有这些消耗能量的因素在电路中可用一个串联或并联等效电阻R表示。需要指出，既然R是体现多种因素的等效

电阻，我们不要将它仅仅理解为线圈的电阻或是电容的漏电阻。

由RLC三者组成的电路一般表现为电路既有电阻成分，又有电抗成分。故电路电流 I 和电压 U 不同相位。当感抗与容抗相等时，将出现 I 和 U 同相位的情况，称为谐振。“这时在串联电路中，电感电压 U_L 和电容电压 U_C 大小相等而相位相反，其和为零，故串联的LC犹如短路，电路等效于单纯一个串联电阻 R 。而在并联电路中，电感电流 I_L 和电容电流 I_C 大小相等而相位相反，其和为零，故并联的LC犹如开路，电路等效于单纯一个并联电阻 R 。因此，图中的 R 实际上就是电路谐振时表现出来的等效电阻，叫做谐振电阻。

电路发生谐振的频率叫谐振频率，以 f_0 表示。根据感抗 ωL 和容抗 $\frac{1}{\omega C}$ 相等的条件，可推出上述两个电路的谐振频率都是

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{或} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2-1)$$

谐振电路对不同频率的讯号有不同的响应。在不同频率下，电路阻抗 Z 不同。串联谐振电路的阻抗在谐振点最低（等于 R ）。这是因为，在谐振时，电路串联的总电抗为零的原故。随着频率离开谐振点，串联电抗逐渐增大（ $f < f_0$ 时呈容性， $f > f_0$ 时呈感性），故阻抗也随之增大。并联谐振电路的阻抗在谐振点最高（等于 R ）。这是因为，在谐振时，电路并联的总电抗为无限大，相当于开路。随着频率离开谐振点，并联等效电抗逐渐减小（ $f < f_0$ 时呈感性， $f > f_0$ 时呈容性），故阻抗也随之减小。

阻抗 Z 随频率 f 变化的情况可用曲线表示（见表2-2），称为谐振电路阻抗的频率特性曲线。从电工基础知识可以推出，这些频率特性的数学表达式为（注1）：

对串联谐振电路，

$$Z = R \left[1 + jQ \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) \right] = ze^{j\phi} \quad (2-2)$$

$$\text{式中} \quad z = R \sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2} \quad (2-3)$$

表 2-2

	串联谐振电路	并联谐振电路
电路形式		
谐振时矢量图		
阻抗z的频率特性	$z = R \sqrt{1 + Q^2 (f/f_0 - f_0/f)^2}$	$z = \frac{R}{\sqrt{1 + Q^2 (f/f_0 - f_0/f)^2}}$
电流 I 的频率特性 (定压源 $I = \frac{\dot{U}}{z}$)		
电压 U 的频率特性 (定流源 $\dot{U} = \dot{I}z$)		
谐振频率 f_0	$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
品质因数 Q	$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 CR}$	$Q = \frac{R}{\omega_0 L} = \omega_0 CR$
谐振电阻 R	$R = \frac{\omega_0 L}{Q}$	$R = Q\omega_0 L$

$$\varphi = \arctg Q \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) \quad (2-4)$$

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 C R} \quad (2-5)$$

对并联谐振电路,

$$Z = \frac{R}{1 + jQ \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)} = z e^{j\phi} \quad (2-6)$$

$$\text{式中 } z = \frac{R}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}} \quad (2-7)$$

$$\varphi = -\arctg Q \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) \quad (2-8)$$

$$Q = \frac{R}{\omega_0 L} = \omega_0 C R \quad (2-9)$$

以上各式中的符号 Q 叫做谐振电路的品质因数。它代表串联电路中谐振时感抗 (或容抗) 对谐振电阻之比 (2-5式), 或并联电路中谐振电阻对感抗 (或容抗) 之比 (2-9式)。统一起来说, Q 是代表谐振电路中谐振时电抗元件的无功功率对电阻元件的有功功率之比值。以后将看到, 它是用来衡量谐振现象程度的一个重要指标。

由于阻抗的变化, 电路的电流电压也发生相应的变化。有两种典型情况最值得注意:

1) $\because \dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z}$, $\therefore$ 当讯号源为定压源时 (电压为 U), 串联电路的阻抗最低点就出现最大电流, 而并联电路的阻抗最高点出现最小电流。

2) $\because \dot{U} = \dot{I}Z$, $\therefore$ 当讯号源为定流源时 (电流为 I), 串联电路的阻抗最低点就出现最低电压, 而并联电路的阻抗最高点出现最高电压。

在谐振点, 电路各部分的电流电压分配有以下特点: