

晶 体 管
载 波 机 电 路 原 理

北方交通大学电信系

《晶体管载波机电路原理》

编 写 组

人民铁道出版社出版

(北京市东单三条14号)

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

人民铁道出版社印刷厂印

开本: 850×1168 1/32 印张: 14.25 插页: 4 字数: 354千

1976年1月 第1版

1976年1月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—40,000册 定价(科二): 1.20元

内 容 简 介

本书由浅入深的阐明了晶体管载波机的电路原理，对各主要部件的作用逐一进行介绍和分析，对其中有些部件还介绍了设计方法，并对 BDZ-3-Ⅰ 型晶体管载波机的电路进行了详细的分析。

本书共分十三章。包括：载波电话的基本原理、衰耗器和四端网络的基本概念、通信变压器、二四线转换装置、变频器、滤波器、多路载波电话的组成、衰耗均衡器、负反馈放大器、载频供应系统、自动电平调节系统、振铃系统、晶体管载波机整机电路分析。

前 言

为了适应铁路通信设备的发展和教育革命的实践，我们在学校党委的领导和关怀下，编写了这本《晶体管载波机电路原理》。

在编写过程中，我们力求做到以通俗的语言，由浅入深地阐明晶体管载波机的电路原理，对主要部件逐一进行了介绍和分析，对其中有些部件还介绍了设计方法。本书主要供铁路通信工人和技术人员阅读，也可供有关专业同志参考。

本书在编写过程中，虽然通过一定的教学实践，反复做了修改。但是，由于我们政治思想水平和业务水平都不高，一定还有许多缺点和错误，敬请读者在阅读过程中指正，以便在修订时进一步修改。

北方交通大学电信系《晶体管载波机电路原理》编写组

1974年8月

目 录

第一章 载波电话的基本原理	1
第一节 概 述.....	1
第二节 音频长途电话.....	2
一、音频直达长途电话.....	2
二、二线制音频长途电话.....	4
三、四线制音频长途电话.....	6
第三节 频率复用的基本原理.....	7
一、非线性元件的变频作用.....	7
二、利用非线性元件的变频作用传输载波电话.....	10
第四节 载波电话的三种传输方式.....	12
第五节 单路载波电话机方框图.....	14
第六节 三路载波电话机方框图.....	16
第七节 双带二线制和单带四线制载波电话.....	18
第二章 衰耗器和四端网络的基本概念	21
第一节 衰耗器的一般概念.....	21
一、什么是衰耗器.....	21
二、衰耗器的用途.....	22
三、常用衰耗器的几种基本电路.....	24
第二节 四端网络的特性阻抗.....	25
第三节 四端网络的固有衰耗.....	28
一、什么是固有衰耗.....	28
二、衰耗的单位——奈培与分贝.....	29
三、由电路结构求固有衰耗.....	30
第四节 电平的概念.....	33
一、相对电平.....	34

二、绝对电平	35
第五节 衰耗器的设计	37
一、 Γ 型衰耗器的设计	37
二、衰耗器的设计公式和数据	40
三、设计时电路的选择	48
第六节 四端网络的匹配级联	48
一、匹配级联网络的阻抗特性	49
二、匹配级联网络的固有衰耗	50
第七节 工作衰耗及其测试方法	51
一、工作衰耗及其计算方法	51
二、工作衰耗的测试方法	54
第三章 通信变压器	57
第一节 理想变压器	57
一、变压器的一般原理	57
二、理想变压器	58
第二节 通信变压器的等效电路	59
一、损耗电阻	60
二、漏感	61
三、分布电容	64
四、变压器等效电路的进一步简化	65
第三节 匹配变压器的工作衰耗及按工作衰耗设计变压器	67
一、匹配变压器的工作衰耗	67
二、按工作衰耗设计匹配变压器	72
第四节 匹配变压器的输入阻抗及按反射系数设计变压器	74
一、匹配变压器的输入阻抗	74
二、反射系数和反射衰耗	75
三、按反射系数设计变压器	78
第五节 磁芯和线径的选择	80
第四章 二四线转换装置	83
第一节 三线圈变压器	83

第二节 桥 T 型电阻网	90
第三节 不等臂混合线圈	92
第四节 平衡网络	98
第五章 变频器	101
第一节 格型变频器	102
一、工作原理和频谱成分	102
二、工作衰耗	105
三、阻抗匹配	110
四、格型变频器的平衡	111
第二节 晶体三极管变频器	112
一、单三极管变频器	112
二、双三极管变频器	119
第六章 滤波器	126
第一节 电抗元件的滤波特性	127
第二节 定 K 型低通滤波器的特性分析	131
一、衰耗特性	131
二、阻抗特性	135
三、电路元件的计算式	138
第三节 m 型低通滤波器的分析	140
一、m 型电路的导出	140
二、m 型滤波器与定 K 型滤波器的关系	142
三、m 型低通滤波器的分析	144
第四节 滤波器的技术指标及实用图表	153
一、工作衰耗与反射系数的关系	153
二、有效通带、有效阻带和过渡频带	155
三、负载系数 τ 、通带利用系数 $\mathcal{Q}_{tb}$ 与反射系数 ρ_2 的 关系	156
第五节 低通滤波器的分析和设计举例	165
一、低通滤波器的分析	165
二、低通滤波器的设计	167

第六节 高通滤波器	170
一、高通滤波器的三种电路	171
二、高通滤波器的特性公式	172
三、高通滤波器的特性曲线	174
四、高通滤波器计算分析举例	176
第七节 对称带通滤波器	180
一、对称带通电路与低通电路的关系	180
二、对称带通滤波器的特性曲线	187
三、对称带通滤波器设计举例	188
第七章 多路载波电话的组成	196
第一节 明线12路载波电话	196
一、架空明线的全复用和12路载波端机方向的安排	196
二、利用频谱倒置法和频率位移法减轻串音影响的原理	198
三、明线12路载波机的变频方式	200
第二节 对称电缆载波电话	207
一、12路和24路电缆载波机	208
二、60路电缆载波机	209
第三节 同轴电缆载波电话	212
一、300 路同轴电缆载波机	212
二、2700路同轴电缆载波机	214
三、10800 路同轴电缆载波机	214
第八章 衰耗均衡器	216
第一节 衰耗均衡器的用途	216
第二节 固定均衡器	218
第三节 可变均衡器	225
一、第一类可变均衡器	225
二、第二类可变均衡器	236
三、第三类可变均衡器	244
第九章 负反馈放大器	254

第一节 负反馈放大器的基本电路	254
第二节 负反馈对放大器性能的影响	257
一、放大器增益的表示方法	258
二、负反馈对放大器增益的影响	259
三、负反馈对非线性失真的影响	265
四、负反馈对放大器杂音的影响	268
五、负反馈对放大器频率特性的影响	271
六、负反馈对放大器输入、输出阻抗的影响	271
第三节 深负反馈放大器	273
一、深负反馈放大器的阻抗匹配	273
二、深负反馈放大器的频率特性	277
三、深负反馈放大器的稳定问题	278
第四节 负反馈放大器举例	281
一、BDZ-3-Ⅰ型载波机的2N放大器	281
二、BZ-12型载波机A端发信放大器	283
三、BZ-12型载波机线路放大器	285
第十章 载频供应系统	288
第一节 对载供系统的技术要求	288
一、频率要稳定	288
二、幅度要稳定	290
三、波形要纯洁	290
第二节 载供系统的构成	292
第三节 谐波发生器	295
第四节 导频稳幅电路	303
第五节 载供系统举例	306
一、4KHz晶体主振器	307
二、4KHz和12KHz谐波发生器	308
三、载频放大器	310
四、92KHz和方向载频分频器	314
五、导频发送盘	317

第十一章 自动电平调节系统	319
第一节 概 述	319
第二节 对自动电平调节系统的技术要求	320
一、调节范围	321
二、调节准确度	321
三、调节速度	322
四、导频发送电平	323
第三节 自动电平调节系统的构成和调节过程	323
第四节 自动电平调节系统举例	330
一、平调放大器	330
二、斜调网络	333
三、导频控制盘	337
第十二章 振铃系统	346
第一节 概 述	346
第二节 防止话音误动的方法	347
一、适当选择音频振铃信号的频率	347
二、采用抑压法	348
三、加延时电路	349
第三节 对振铃系统的技术要求	350
第四节 振铃系统举例	350
一、振铃过程	352
二、2100Hz 振 荡 器	353
第十三章 晶体管载波机整机电路分析	356
第一节 概 述	356
第二节 方框图	357
一、发送支路	360
二、接收支路	360
三、二线和四线转接电路	361
第三节 分路设备	362
一、音频终端盘	362

二、分路变频盘	373
第四节 群路设备	375
一、群变频器盘	375
二、发送放大器盘	377
三、斜调放大器盘	381
四、平调放大器盘	388
五、平、斜调导频控制盘	392
六、主振群载供盘	397
七、分路载供盘	406
第五节 维修测试设备	409
一、通话告警盘	409
二、测试振荡盘	415
第六节 BDZ-3-Ⅱ型载波电话增音机	420

附 表

附表 1 奈培—分贝换算表	423
附表 2 分贝—奈培换算表	424
附表 3 电压电平—电压换算表	425
附表 4 反射衰耗—反射系数换算表	426
附表 5 国产漆包线规格表	427
附表 6 各种罐形磁芯绕满线胎所用漆包线的线径及 圈数表	429
附表 7 不同 m 值的纯 LC 滤波器基本节阻带衰 耗 (奈培) 表	430

第一章 载波电话的基本原理

第一节 概 述

利用电能传递信息的系统统称为通信或电信。通信依传递信息的内容不同，可分为语言通信、数据通信和图象通信；依传递信息的方式不同，可分为有线通信与无线通信；依传递信息的距离不同，还可分为长途通信与地区通信等等。

本书主要介绍有线长途通信中应用最广的载波电话通信。

目前，载波电话的发展速度很快。随着传输线路的改进，使载波电话有可能提供越来越多的通路。如以往应用最多的架空明线，能开通15个载波话路，传输最高频率到150千赫；对称电缆可以开通120个载波话路，传输频率到550千赫；而同轴电缆则可开通10800个载波话路，传输频率达到60兆赫。

随着元件和工艺的发展，早期的电子管载波机已逐渐被晶体管载波机所代替，在小型新的滤波器和集成电路出现之后，集成化的载波机也已经开始应用，使载波机的生产制造水平进入了一个新的阶段。

随着科学技术的发展，对载波电路提出越来越高的要求。由于电子交换机、计算机及电视机的大量应用，要求利用载波话路构成全国范围内的长途自动电话网、数据传输、电视转播以及电视电话等等，所有这些都推动着载波电话不断由低级向高级发展。

长途通信对于宣传党的方针政策，组织工农业生产，指挥交通运输，巩固国防以及改善人民物质文化生活，都具有很大的作用。它在铁路运输系统中，经常被称做“运输的耳目”。因此，保证通信系统经常处于稳定可靠、质量良好的使用状态，是铁路

通信职工的光荣职责。我们学习载波通信技术，就是为了更好的了解它，掌握它，以充分发挥有线通信为社会主义革命和建设，为交通运输事业服务的作用。

本书重点介绍载波电话的基本原理和晶体管载波电话机的主要部件。为了便于学习和工作参考，本书很多实例采用了晶体管三路载波机(BDZ-3-Ⅱ型)和晶体管12路载波机(BZ-12型)的电路。

本章主要介绍载波电话的基本原理。

第二节 音频长途电话

为了更好地了解载波电话，让我们首先介绍一下音频长途电话。

一、音频直达长途电话

如果我们用架空明线或电缆线路，把安装在不同地点的两个电话机直接连接起来，就能实现最简单的长途电话通信，如图1.1所示。在这种情况下，决定长途电话通信距离的最主要的因素是声音的响度。而声音的响度是由线路种类、长度以及送受话器的特性等因素来决定的。

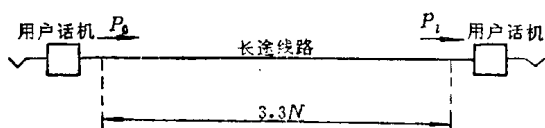


图1.1 最简单的长途电话通信

实际上，由于在长途线路上的损失，到达受话器的功率 P_1 要比送话器发出的功率 P_0 小很多。通常以功率 P_0 与功率 P_1 之比取其自然对数的二分之一，来表明在长途线路上引起通话功率损失的大小，并把这个数值叫长途线路的衰耗 a ，其单位为奈培（简称为奈，符号为N），

$\alpha=0.00277$ 奈/公里, 则最大通信距离为:

$$l = \frac{1.3}{0.00277} = 470 \text{ km}$$

根据各种不同类型的长途线路的衰耗常数, 可得出音频直达电话的最大通信距离, 如表1.1所示。

各种长途线路的最大通信距离

表 1.1

线 路 类 别	导 线 材 料	线 径 (mm)	线 距 (mm)	衰耗为 1.3N 时的最大通信 距离 (km)
架 空 明 线	铁	3.0	200	65
	铁	4.0	200	80
	铜	3.0	200	300
	铜	4.0	200	500
电 缆	铜 (纸绝缘不加感)	0.9~1.4		20~40
	铜 (纸绝缘加感)	0.9~1.4		60~130

由表 1.1 可以看出, 加粗导线直径和采用加感的办法可以延长通信距离, 但是, 即使采用直径很粗的 4 毫米铜线, 其最大通信距离也只能达到 500 公里。因此, 单靠加粗导线直径或电缆加感的办法不能解决问题。

二、二线制音频长途电话

采用增音机可以延长通信距离。图 1.3 是架空明线上音频增音机的原理图。

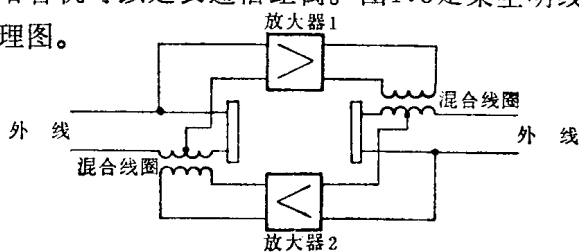


图 1.3 二线制音频增音机

音频增音机由两个放大器组成，其中每一个放大器放大一个方向的通话电流。这两个方向的电流是靠混合线圈来分开的。如果没有混合线圈，则由放大器 1 放大的通话电流将直接加到放大器 2 的输入端，而由放大器 2 放大的电流也直接加到放大器 1 的输入端。于是构成一个环路，如图 1.4 所示。电流经这一环路放大，将越来越大，致使电路产生振荡，发出叫声，影响正常通信。在通信技术上，把这种现象叫做“振鸣”。

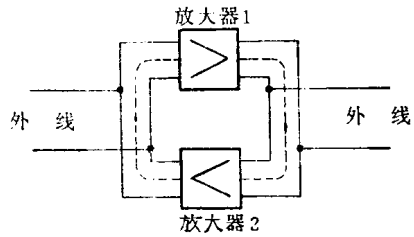


图 1.4 不用混合线圈时音频增音机的回输途径

当接入混合线圈之后，适当选择平衡网络的结构，混合线圈就能够把两个方向的话音电流分开，各走自己的路而不互相干扰。

在两终端机之间接入若干个增音机，就可将通信距离延长很多。这种通信方式，由于采用两条外线，所以叫做二线制通信。采用增音机解决了线路衰耗大、声音小的矛盾，但是同时又出现了新的矛盾。因为每经一个增音机都要接入混合线圈，混合线圈的工作又往往不能很理想，总有一些回输电流。这样，混合线圈一多，回输途径加多（图 1.5），振鸣的可能性就增加了。

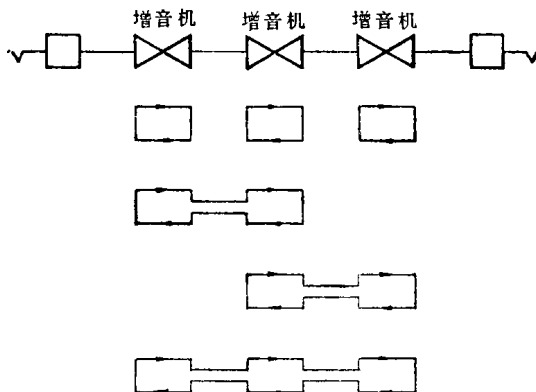


图 1.5 二线制音频增音机的回输途径

为了避免产生振鸣，只得把每个增音机的增益开小一些。这样一来，实际上最多只能装到 6 ~ 7 个增音机，最大通信距离不过 2000 ~ 3000 公里。

三、四线制音频长途电话

电缆线路由于线径较细，线路衰耗大，增音机间距离较近，如果也采用二线制，则通信距离必将更近。因此长途电缆线路不用二线制而用四线制，如图 1.6 所示。

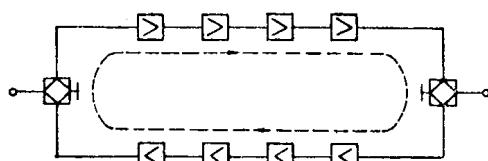


图 1.6 四线制音频通信

这种通信方式，由于采用四条线，因此，中间增音机不需加混合线圈，只需在两终端机用混合线圈把来去两个方向的电流分开就行了。这样，电路里两个方向的放大器互不相关，全电路只有一个回路途径，因此避免了振鸣。

应当指出的是四线通信只适用于电缆线路，而不适用于架空明线。因为每一话路采用四条线，则线路成本太高。电缆线路线径较细，每对线成本比架空明线低得多，所以有条件采用四线通信。

还应指出，四线制的通信距离由于受延时和回音的限制，也不可能太远。

因此，无论是采用架空明线，或者采用长途电缆，音频通信的距离都不可能太远。只有在采用载波电话之后，有线长途通信的距离才不受限制。

音频长途通信的第二个缺点是线路利用率太低。因为在长途通信中，线路设备的成本很高。例如，一对架空明线，如果只通一对电话，则线路成本约占全部设备成本的 95% 以上。这显然是

不经济的。

事实证明，用载波电话代替音频电话是延长长途通信距离和提高长途线路利用率的最有效的办法，因此，得到了广泛的应用。

第三节 频率复用的基本原理

怎样才能实现多路电话通信呢？如果简单地在一对线的两端各并接几部话机，让几对人同时进行通话，这显然是不行的。因为，这样一来，一个人讲话，其他人都能听到，必将造成相互串扰，无法通信。为了使许多个话路同时在一对线上传输，又不互相影响，在载波电话中，采用了“频率复用”的方法。就是将每一话路的话音频率，在送到线路传输之前，先变为不同的高频频率，然后再送到线路上传输，到接收端再将各路频率用滤波器区分出来，并且还原为各路的话音频率。这样，由于“搬移”后的各路频率范围不同，就可以在同一对线上传输而不互相干扰。

载波电话的频率变换是利用非线性元件的变频作用，因此，下面首先介绍非线性元件的变频作用，然后再介绍载波电话的原理。

一、非线性元件的变频作用

元件依其外加电压和流过其中的电流之间的关系可区分为线性元件和非线性元件两大类。

线性元件是指电压电流关系符合欧姆定律的元件。以纯电阻为例，元件中的电流可按式计算：

$$i = \frac{u}{R} \quad (1.3)$$

式中 u —— 加在元件上的电压；

i —— 通过元件中的电流。

如用电导 $a = \frac{1}{R}$ 代入式 (1.3)，则得：

$$i = au \quad (1.4)$$