

轻松入门系列丛书

电子线路基础轻松入门

胡 斌 蔡月红 编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子线路基础轻松入门/胡斌 蔡月红 编著.—北京:人民邮电出版社,2002.9
(轻松入门系列丛书)

ISBN 7-115-10366-6

. 电 胡 ... 蔡 电子电路 - 基本知识 . TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 040569 号

内 容 提 要

本书从基本的电气知识开始,详尽介绍了电子线路中应用量最大、也是最基本的电阻器、电容器、电感器和二极管的识别方法、主要特性和各类应用电路,以及分析这些电路的思路、方法、技巧和记忆窍门。

本书特别适合零起点的初学者学习。通过阅读本书,读者一定能够掌握分析电子线路的基本技能,从而具有去学习更为复杂的电子技术知识,分析电子电路图的基本能力。

轻松入门系列丛书

电子线路基础轻松入门

编 著 胡 斌 蔡月红

责任编辑 唐素荣

人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

读者热线 010 - 67180876

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

开本:787×1092 1/16

印张:19.75

字数:474千字

2002 年 月第 1 版

印数:1 - 000 册

2002 年 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-10366-6/ TN·1894

定价:26.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系 电话:(010)67129223

前 言

结缘电子天地,您会发现一个奇妙无穷、变化无穷、其乐无穷的缤纷世界!收音机为什么会出声音?电视机里为什么会有活动的画面?一个闪闪发光的小镜子(VCD光碟)为什么又出声音又出图像.....

当您对电子技术产生兴趣,欲跨进电子殿堂时,您肯定希望找到最适合自己阅读的书籍。如果您以前没有接触过相关内容,既不知道电阻器是什么东西,也不知道二极管“长得”啥模样,更没有接触过电子线路图,那么,您就可以选择本书作为进入电子世界的敲门砖。

本书首先从最基本的家庭电气电路入手,引入有关基本概念和知识,之后详尽介绍了电子线路中应用量最大、最基本的元件(电阻器、电容器、电感器和二极管)的识别方法、主要特性和各类应用电路,以及分析这些电路的思路、方法、技巧和记忆窍门。具体内容如下:

从元器件的外形特征、识别方法和电路符号入手,详细讲述与分析电路工作原理相关的知识,如元器件的主要特性,这些特性在电路分析中的具体应用举例等。

系统而全面地讲解了电阻器、电容器、电感器和二极管这四种元器件的实用电路工作原理、分析方法和思路,列举这些电路的同功能不同形式的电路,以使读者完全掌握单元电路的工作原理。

详尽分析这4种元器件的各种组合电路,使读者在实践中学会电路分析方法,提高分析实用电路的能力和掌握技巧。

对每一类电路进行分析时,都给出了分析方法的提示、电路分析的小结及记忆的技巧。

笔者相信,一个零起点的读者通过用心阅读本书,一定能够掌握分析电子线路的基本技能,从而具有去学习更为复杂的电子技术知识,分析电子电路图的基本能力。

为了广泛收集广大读者对本书的意见和辅导本书读者,本人专设了个人辅导网站,网站设有专门为读者服务的文字和语音聊天室、电子爱好者俱乐部,本人将定期上线实时和通过电子邮件解答读者学习中遇到的难点问题,辅导读者阅读本书。欢迎本书读者前来咨询和结交同行朋友。

本书第一作者胡斌是江苏大学副研究员,自由撰稿人。长期从事科普写作,正式出版著作50余本。二次荣获全国三等奖,一次获北方十省市一等奖。其永久性网络昵称:古木,《古木工作室》一号;E-mail: wdjkw@163.net; QQ 号码: 13535069, 1155390; 主页网址: <http://gumuju.diy.163.com/>。

胡斌 蔡月红

目 录

第 1 章 简单实用电路和纯电阻器电路	1
1.1 从简单实用电路识图走进电子世界	1
1.1.1 手电筒电路	1
1.1.2 电动玩具电源控制电路	2
1.1.3 家用白炽灯照明电路	4
1.1.4 电热水器控制电路	6
1.1.5 小电珠串联电路	8
1.1.6 灯泡并联电路	10
1.1.7 部分电路欧姆定律	13
1.1.8 初识电子元器件	14
1.1.9 电子元器件电路符号	16
1.1.10 电气电路图与电子电路图	19
1.2 纯电阻器电路及电路基本概念	20
1.2.1 普通电阻器外形特征和电路符号常识	20
1.2.2 普通电阻器的主要特性	22
1.2.3 普通电阻器的电路作用和电路种类	25
1.2.4 纯电阻器串联电路	25
1.2.5 纯电阻器并联电路	28
1.2.6 纯电阻器串并联电路	34
1.2.7 电阻分压电路	35
1.2.8 普通音量控制器电路解析	38
第 2 章 纯电容器电路和 RC 电路	44
2.1 纯电容器电路	44
2.1.1 普通电容器外形特征及电路符号	44
2.1.2 电容器的主要参数和基本工作原理	47
2.1.3 电容器的隔直特性	48
2.1.4 电容器的通交特性	51
2.1.5 电容器的容抗特性	55
2.1.6 纯电容并联电路	56
2.1.7 纯电容串联电路	58
2.2 电解电容器	59
2.2.1 外形特征和识别方法	60
2.2.2 电解电容器的结构	61

2.2.3	电解电容器的主要特性	63
2.2.4	有极性电解电容器串联电路	64
2.2.5	电容电路识图小结	65
2.3	电阻器和电容器混合电路	66
2.3.1	RC 并联电路	66
2.3.2	RC 串联电路	69
2.3.3	RC 串并联电路	70
2.3.4	RC 串并联电路分析小结	73
2.3.5	微分电路	73
2.3.6	积分电路	78
2.3.7	微分电路和积分电路识图小结	79
2.3.8	信号相位的概念	79
2.3.9	电阻器、电容器上电压与电流之间的相位关系	81
2.3.10	RC 滞后移相电路和 RC 超前移相电路	82
2.4	收音电路用微调电容器和可变电容器	84
2.4.1	微调电容器和可变电容器的种类	84
2.4.2	外形特征和电路符号	85
2.4.3	结构及工作原理	86
2.4.4	识别方法	90
2.5	电容传声器、RC 组合件和无脚元器件	91
2.5.1	电容传声器	91
2.5.2	RC 组合件	94
2.5.3	无脚元器件	94
第 3 章	纯电感器电路和 LCR 电路	99
3.1	电磁学基本概念	99
3.1.1	磁性、磁体、磁极、磁力、磁场和磁力线	99
3.1.2	电流磁场	100
3.1.3	磁通和磁感应强度	101
3.1.4	磁导率和磁场强度	101
3.1.5	磁化、磁性材料和磁路	102
3.1.6	电磁感应和电磁感应定律	103
3.1.7	自感和互感现象	105
3.1.8	自感电动势极性判别方法	107
3.2	纯电感器电路	108
3.2.1	电感器外形特征和电路符号	108
3.2.2	电感器工作原理和电感量单位	110
3.2.3	电感器感抗特性和通直流特性	111
3.2.4	电感器的励磁特性和磁励电特性	113

3.2.5	电感器电流不能突变和电容器两端电压不能突变的特性	113
3.2.6	电阻器、电容器和电感器特性小结	114
3.2.7	电感器串联和并联电路	115
3.2.8	电阻器、电容器和电感器串并联电路特性小结	116
3.3	LC 谐振电路和 RL 电路	117
3.3.1	LC 谐振电路	117
3.3.2	LC 并联谐振电路	119
3.3.3	LC 串联谐振电路	122
3.3.4	LC 谐振电路分析说明	124
3.3.5	RL 暂态电路	125
3.3.6	RL 移相电路分析	127
3.3.7	RC、LC、RL 电路特性小结	129
3.3.8	LC 组合件	129
3.4	变压器电路	130
3.4.1	外形特征和电路符号	130
3.4.2	结构和工作原理	132
3.4.3	主要参数	133
3.4.4	表示方法	136
3.4.5	电压比概念	136
3.4.6	电压、电流和阻抗之间的关系	138
3.4.7	隔离特性和同名端	139
3.4.8	通交隔直特性	141
3.4.9	互感现象和屏蔽	142
3.4.10	电路分析说明	142
3.5	磁头、扬声器和直流电机	143
3.5.1	磁头外形特征和电路符号	143
3.5.2	磁头的结构和工作原理	145
3.5.3	磁头的主要特性和命名方法	147
3.5.4	放音磁头实用电路大全	148
3.5.5	扬声器外形特征和电路符号	151
3.5.6	扬声器的结构和工作原理	152
3.5.7	扬声器的主要参数和命名方法	153
3.5.8	扬声器的型号命名方法和引脚极性识别方法	154
3.5.9	直流电机外形特征和电路符号	156
3.5.10	直流电机的结构和工作原理	157
3.5.11	直流电机的主要性能参数	158
3.5.12	直流电机的识别方法	159
3.5.13	直流电机控制电路	160

第4章 识图方法和电阻器、电容器、电感器实用电路详解总汇	162
4.1 识图学习方法和动手实践指南	162
4.1.1 识图学习方法	162
4.1.2 动手操作方法	165
4.2 电路图常识	170
4.2.1 电子电路图和种类	170
4.2.2 方框图功能及识图方法	171
4.2.3 单元电路图的功能及识图方法	174
4.2.4 等效电路图的识图方法	176
4.2.5 集成电路应用电路的功能及识图方法	176
4.2.6 整机电路图和识图方法	177
4.2.7 印制线路图的识图方法	179
4.2.8 修理识图方法和注意事项	181
4.3 电阻器实用电路分析	182
4.3.1 分流电阻电路	182
4.3.2 隔离电阻电路	183
4.3.3 分压衰减电阻电路	185
4.3.4 信号分路电阻电路	186
4.3.5 信号分等级电阻电路	187
4.3.6 信号混合电阻电路	188
4.3.7 阻尼电阻电路	190
4.3.8 偏磁测量电阻电路	191
4.3.9 恒流录音电阻电路	191
4.4 电容器实用电路分析	192
4.4.1 耦合电容电路	193
4.4.2 各种接地概念和退耦合电容电路	194
4.4.3 一大一小两个电容并联电路	196
4.4.4 两个大电容并联电路	197
4.4.5 两个小电容并联电路	198
4.4.6 多个小电容串联、并联电路	199
4.5 实用 RC 电路和 LC 电路详解总汇	199
4.5.1 RC 消火花电路	199
4.5.2 RC 录音高频补偿电路	201
4.5.3 加速电容电路	202
4.5.4 机内话筒电路中 RC 低频噪声切除电路	203
4.5.5 RC 去加重电路	206
4.5.6 场积分电路	208
4.5.7 LC 并联谐振阻波电路	209
4.5.8 LC 串联谐振吸收电路	211

4.5.9	LC 并联谐振移相电路	212
4.5.10	二分频扬声器电路大全和详解	213
4.5.11	三分频扬声器电路	218
第 5 章	二极管电路和电源电路详解总汇	220
5.1	晶体二极管基本知识	220
5.1.1	半导体的特性	220
5.1.2	外形特征和电路符号	222
5.1.3	结构和工作原理	223
5.1.4	主要特性	226
5.1.5	主要参数	230
5.1.6	表示方法	231
5.2	二极管实用电路详解总汇	233
5.2.1	二极管限幅电路	233
5.2.2	LC 谐振电路中的二极管限幅电路	238
5.2.3	二极管简易稳压电路	240
5.2.4	二极管整流电路	240
5.2.5	二极管检波电路	242
5.2.6	二极管保护电路	244
5.2.7	二极管 ALC 控制电路	245
5.2.8	或门电路中的隔离二极管电路	246
5.2.9	二极管电路小结	246
5.3	电源变压器降压、开关控制和过流保护电路详解总汇	247
5.3.1	电源电路组成方框图	248
5.3.2	变压器交流降压电路	250
5.3.3	110/220V 交流电压转换电路	251
5.3.4	一组次级线圈的电源变压器电路	251
5.3.5	次级线圈带抽头的电源变压器电路	252
5.3.6	次级线圈带中心抽头的电源变压器电路	253
5.3.7	两组独立次级线圈的电源变压器电路	253
5.3.8	两组次级线圈独立接地的电源变压器电路	254
5.3.9	电源变压器降压电路识图小结	254
5.3.10	四种过流保险丝电路和熔断电阻器电路	255
5.3.11	电容降压电路	259
5.3.12	开关件	260
5.3.13	三种电源开关电路	262
5.4	电源整流电路详解总汇	264
5.4.1	桥堆和半桥堆	264
5.4.2	整流电路种类	266

5.4.3	输出正、负直流电压的半波整流电路	266
5.4.4	全波整流电路	268
5.4.5	桥式整流电路	272
5.4.6	倍压整流电路	274
5.4.7	整流电路识图小结	276
5.5	电源滤波电路详解总汇	277
5.5.1	电容滤波电路	277
5.5.2	电感滤波电路原理	279
5.5.3	型 RC 滤波电路	280
5.5.4	型 LC 滤波电路	281
5.5.5	电源电路中的抗干扰电路	282
5.5.6	整机电源电路分析	284
5.6	稳压二极管、发光二极管、变容二极管、开关二极管及典型应用电路分析	287
5.6.1	稳压二极管简介	287
5.6.2	稳压二极管典型应用电路分析	290
5.6.3	发光二极管	292
5.6.4	发光二极管典型应用电路分析	296
5.6.5	变容二极管	299
5.6.6	变容二极管典型应用电路分析	301
5.6.7	开关二极管	302
5.6.8	开关二极管典型应用电路分析	302

简单实用电路和纯电阻器电路

1.1 从简单实用电路识图走进电子世界

1.1.1 手电筒电路

图 1 - 1 所示是一种最简单的电路,即常见的手电筒电路。通过这一电路的介绍,能够掌握许多有关电路的基本知识。

所谓电路就是电流流动的通路,如同河床是江水流动的通道一样,只是电路并不那么直观,而且电路种类繁多,十分复杂。

众所周知,手电筒用来在黑暗中照明,即点亮手电筒中的小电珠。在光线充足时,不需要小电珠的点亮,此时应该关掉手电筒。显然,手电筒电路实际上是一个控制小电珠亮和熄的电路,控制小电珠亮和熄是这一电路的功能。

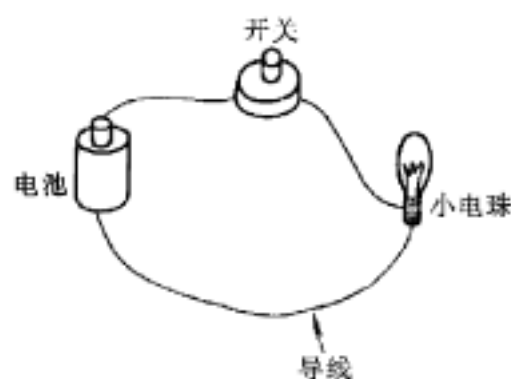


图 1 - 1 手电筒电路

1. 电路的功能

任何一个电路都有其特定的作用和功能,否则电路的存在就失去了实际意义,像手电筒电路,就是控制电筒内部的小电珠在需要的时候发光。

了解电路的作用、功能对分析这一电路的工作原理意义重大,可以做到抓住电路分析的重点,有的放矢地进行电路工作情况分析。所以,在进行电路分析之前,如果能搞清楚这一电路的作用、功能,对电路分析是相当有益的。

2. 最简单电路的组成

一个最简单的电路至少由三个元件组成:一是电源,二是负载,三是导线。在图 1 - 1 所示电路中,电源是电池,负载是小电珠,导线是连接小电珠、电池和开关的电线。

显然,一个实用的电路只有三个元器件是不够的,还必须有一个控制元件,即电路中的开

关,没有这一开关的控制作用,小电珠要么一直亮着,要么一直熄灭,就没有使用方便的控制功能。

3. 电路分析

大家已经知道图 1 - 1 所示电路的功能是控制小电珠的工作状态,所以电路的分析就是围绕电路中的开关进行。当开关接通后,电路就接通了,小电珠发光,这是因为此时电路中存在着电流的流动,又称为电流在电路中的传输。

当开关处于断开状态时,由于小电珠所在的电路断开了,这时电流不能流过小电珠,所以小电珠不亮。

对于图 1 - 1 所示电路工作原理的分析,其实质就是对开关在开和关两种状态下小电珠的状态分析。换言之,如果能够看懂小电珠在开关通与断状态下的亮与熄,就说明大家已经能够看懂这一电路的工作原理,具备了分析这一电路工作原理的能力,该电路分析就如此简单。

众多的初学者面对电路图无从下手,不知道如何分析电路才是正确的方法,通过对图 1 - 1 所示电路工作原理的分析,大家可以了解电路分析的目的和具体分析的方法、过程,并学会自己分析电路。

4. 元器件特性对电路分析的影响

电路分析中,掌握元器件的特性是一个充分必要条件,只有充分掌握了元器件的特性,电路分析才能比较顺利,否则将寸步难行。

对于小电珠而言,当电流流过小电珠时,小电珠会发亮,这是由小电珠本身的特性所决定的。如果不知道小电珠的这一特性,那么如图 1 - 1 所示电路的分析就显得非常困难,就有可能出现这样的分析结果,当开关接通时,小电珠会发热。显然,这是由于不了解小电珠的特性所造成的。所以,在进行电路分析的过程中,掌握、了解电路中元器件的特性显得十分必要。

如果在分析电熨斗的控制电路时,就应该知道电熨斗在通电后会发热。在分析电话机中的扬声器电路时,就应该知道扬声器在通入电信号后会发出声音。搞错或搞不清楚元器件的特性,电路分析就会出错,或者根本无从下手。

每个元器件都有它特定的特性,了解和掌握这些元器件的特性是分析电路工作原理的基础,是电路分析的必备知识。对于初学者而言,电路分析中有困难,绝大多数情况是对元器件的特性不了解,或了解不全面造成的。

1.1.2 电动玩具电源控制电路

图 1 - 2 所示是最简单的电动玩具控制电路。电路由电池、导线、控制开关和电动玩具中的电机组成。这一电路与图 1 - 1 所示电路的不同之处是,开关控制对象由小电珠换成了玩具中的电机。

1. 电路分析

在能够看懂图 1 - 1 所示电路的工作原理之后,只要知道电动玩具中的电机在通电后会转

动,分析如图 1 - 2 所示电路的工作原理就显得比较简单。

当开关接通时,电池产生的电流流过电机,电机开始转动。当开关断开时,开关切断了流过电机的电流回路,电机中没有电流流过,所以电机停止转动。电机具有这样的特性:通电时能够转动,断电时停止转动。

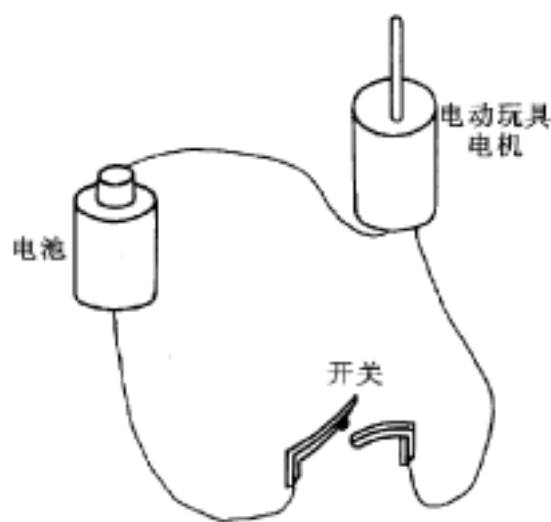


图 1 - 2 电动玩具控制电路

2. 电源概念

电路中,电机是因为电池产生的电流流过电机而转动,小电珠也是因为电流流过才发光,电池是电路中产生电流流动的动力源,在电路中称这样的动力源为电源。常说的交流电源、直流电源、高压电源、低压电源、稳压电源、UPS 电源等都是电源,都是能为电路、用电器提供电能的装置。

电源是能够产生电能的一种装置,能将其他形式的能量转换成电能的装置称为电源。电池是直流电源中的一种,是一种通过化学作用产生电源的装置。发电厂是通过火力或者水力、核能等方式产生电能。

电源可以转换成其他形式的能量,电路就是通过消耗电能来实现某些特定的功能。电源是电路中必不可少的装置。

3. 负载概念

一个电路总有它的作用、功能,如让小电珠发光,让电动玩具中的电机转动。小灯泡、电机都是电路的服务对象,在电路中称它们为负载。电路中的负载要消耗电量而完成某项任务,小灯泡、电机是电池的负载。

4. 导线与导体

导线用来连接电路中的各个元器件,例如连接开关、小电珠、电池。对导线的基本要求是以最小的电流损耗(电流流过导线时,导线会发热,这是导线对电流的消耗),让电流畅通无阻地在电路中流动。

导线是用导体制成的。所谓导体就是能够导电的物体,像铜、铁、银这样的金属,用它们制成导线时,它们对电流的阻碍作用很小。

如果某种物体无法让电流流过,即对电流有极强的阻碍作用,如玻璃、橡胶等,就称它们为绝缘体。常见的电线就是一种导体与绝缘体的组合,里面的芯线用来导电,而外面的橡胶就是用来防止触电的绝缘体。

绝缘体的电阻率非常大,这一点与导体恰好相反。

5. 半导体

在电子技术中,另一种材料被广泛使用,那就是半导体材料。所谓半导体,就是导电能力介于导体与绝缘体之间的一种材料,例如硅、锗、镓等。半导体并非作为导体使用,也不是作为绝缘体来使用,它主要被制成具有‘神、奇、特’功能的半导体器件。电子设备、家用电器中的许多电子元器件都是用半导体材料制成的,如常见的晶体三极管、晶体二极管和集成电路等,它

们被称为半导体器件。

1.1.3 家用白炽灯照明电路

图 1 - 3 所示是家用白炽灯照明电路。电表输出的是 220V(220 伏)交流市电,在这一电路中,我们可以把它看成是电源,拉线开关是一个控制元件,灯泡是电路中的负载。

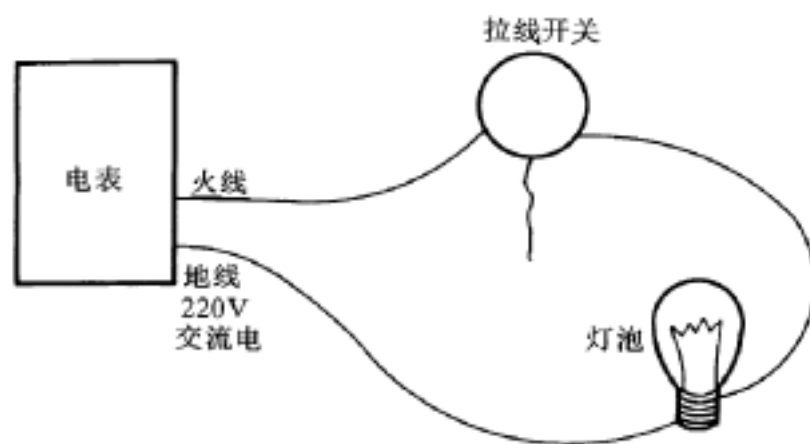


图 1 - 3 家用白炽灯照明电路

1. 电路分析

电表输出端引出两条线,一条称为火线,另一条称为地线。地线这条线实际上是与大地相连通的,当人站在地上直接接触这根地线时,并没有生命危险,因为人与这根地线之间没有电压。但是,当人在没有防护措施的情况下直接接触火线时,人将有生命危险,这是因为火线对于地线(或人)而言,有高达 220V 的电压。这种能够造成人的生命危险的电路,称为强电电路,或电气电路。

电气电路与电子电路概念不同。电气电路的工作电压都很高,例如 220V,且多为交流电压。电子电路中的元器件的工作电压都比较低(在 36V 的安全电压之下),而且都为直流工作电压。

电路中,当拉线开关接通后,从电表火线流出的电流通过拉线开关,再流过灯泡,从地线进入电表,电流形成了回路,这时灯泡亮。在拉线开关断开后,电流就不能流过灯泡,灯泡熄灭。

从电路中可以看出,拉线开关设置在火线回路中,即从电表出来的火线先到拉线开关,再到灯泡,这是一种安全设计,当拉线开关断开后,灯泡上就没有火线,人接触灯泡(如换灯泡)就没有触电危险,当然,接触拉线开关的进线时仍然有接触到火线而触电的危险。

如果将拉线开关装在地线中,这是很不安全的,因为在开关断开时,如果换灯泡时不小心接触到电线,便是接触到了火线,有触电的危险。

电路中,拉线开关实际上控制了电表输出的电流能否加到灯泡上,电表在这个电路中就是电源,所以称拉线开关为电源开关。在前面的手电筒电路中的开关也是电源开关,前面的电动玩具电路中的开关也是电源开关。

电路中,将专门用来控制电源的开关称为电源开关。由于电子设备、家用电器都需要进行电源的开与关控制,所以它们的电路中都有电源开关。当然,电路中的开关并非全是电源开关,也有其他控制功能的开关。

2. 电位概念

由物理常识可知,带电体周围存在着电场,它们看不见,摸不着,但的确存在。电场对场内的电荷有力的作用,电场力会使电荷移动,规定电场力将单位正电荷从电场中某一点移动到参考点所做的功称为该点的电位,这是电位的定义。

为了说明电位的含义,这里用水位来进行形象的描述。一条河流有水位的高低,大水到来时水会涨高,水位就高;水少时水位就低。电位相当于电场中的“水位”。

电位高低的含义是:电场力移动单位正电荷所做的功愈多,说明正电荷所在点的电位愈高,反之则愈低。

电场中的电位有正负之分。电位的正、负是相对的。

电场中,参考点选择不同时,某一点的电位是不同的。为了方便起见,在电子电路中通常以金属底板为参考点,即以电子线路中的地线为参考点,规定参考点的电位为零,这样低于参考点的电位是负电位,高于参考点电位的是正电位。

在电子电路中很少用电位的概念,更多的是用电压的概念。在了解了电位概念之后,才能理解电压是什么。

电位的正与负也可以用水位来说明,例如规定了一条大河的警戒线水位,当水位高于这一警戒线时为正,低于这一警戒线时为负,电场中的电位正、负概念是相似的,这样的描述比较形象,易于记忆。

电位是有单位的。电位的单位是伏特,简称伏,用 V 表示。

电位单位除伏之外,还有千伏(用 kV 表示)、毫伏(mV)和微伏(μV),各单位之间的换算关系如下

$$1\text{kV} = 1000\text{V}$$

$$1\text{V} = 1000\text{mV}$$

$$1\text{mV} = 1000\mu\text{V}$$

3. 电压概念

电压是衡量电场力做功能力大小的物理量。电场中两点之间的电位之差(电位差)称为电压,电压用 U 表示。

用电压也可以说明电位,即电位就是电场中某点和参考点之间的电压,这是电位的定义。电压比电位更加常用,如常说的家庭照明电压是 220V,一节电池的电压是 1.5V,就是指电压大小。

电压同样可以用水压来形象说明。众所周知,水是有压力的,楼房底层住户的自来水压力比较大,住在楼上的用户水压力比较小。当水压比较大时,水流就比较急,当水压比较小时,水流就比较缓。在电场中,电压相当于所说的“水压”,当电压比较高时,家里的白炽灯比较亮,当电压比较低时,白炽灯则比较暗。

电压的单位同电位的单位一样,用“伏”表示电压的大小。

电压因为参考点的不同,也有正、负之分,正电压和负电压都是相对于某一特定参考点而言的。例如,对于电池的负极而言,即以电池的负极为参考点,它的正极电压为正。当以电池的正极为参考点时,它的负极上的电压则为负电压。由此可知,电压的正与负是相对的,不是

绝对的。习惯上,对电池而言是以负极为参考点,所以在没有特别说明参考点时,电池电压是正的。

1.1.4 电热水器控制电路

图 1 - 4 所示是电热水器电路。电路中,电热水器的电热丝共有两组,一组是 500W(瓦)电热丝,另一组是 1000W 电热丝。转换开关共有三挡:一是“关”的位置,二是 500W 位置,三是 1000W 位置。

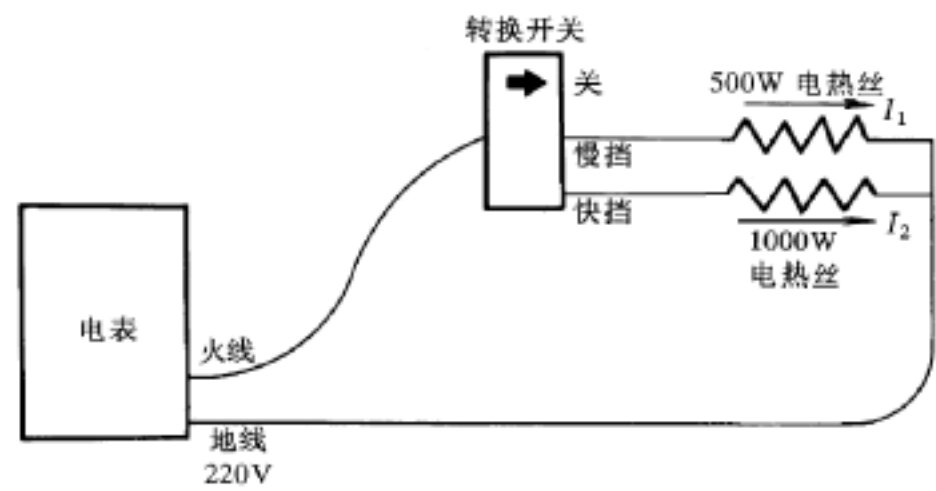


图 1 - 4 电热水器电路

1. 电路分析

分析这一电路工作原理的关键是转换开关,分析当它处于不同位置时,电热水器电路的工作过程和状态。

当转换开关处于“关”位置时,500W 和 1000W 电热丝都没有电流流过,此时电热水器不工作,电路中没有电流的流动。

当转换开关置于 500W 位置时,电表输出的电流通过转换开关,流过 500W 电热丝,这时电热水器处于“慢挡”加热状态,这时有电流 I_1 流过 500W 电热丝,如图中所示。1000W 电热丝因为没有电流流过而不工作。

当转换开关置于 1000W 位置时,电表输出的电流通过转换开关,流过 1000W 电热丝,这时电热水器处于“快挡”加热状态,这时有电流 I_2 流过 1000W 电热丝,而 500W 电热丝因为没有电流流过而不工作。

在这一电热水器电路中,由于采用不同功率的电热丝,所以电热水器有不同的加热速度。1000W 电热丝因为功率大,电流大,所以加热快。500W 电热丝因为功率小,电流小,所以加热相对慢些。

在这一电路中,电表输出的电压是相同的,但不同功率的电热水器在工作时所通过的电流是不同的,即电路中的电流 I_1 、 I_2 大小是不同的。

2. 电流概念

电流的定义是这样:导体中,电荷有规律的定向流动称为电流。这是科学定义,很难直观地理解,这里可以借用水流概念来说明。在河流中,水从高处流向低处,即水往低处流,水的流

动称为水流。电路中电流的流动如同江河里的水流的流动。

江河之中,当水位的落差比较大时,水流急,流量大。同样,电路中的电流也有大小和方向。

电路中,电流从高电位处流向低电位处。如图 1 - 4 所示电路中,电流从电表的火线流出,经过转换开关和电热丝,再回到电表的地线;如图 1 - 1 所示电路中,电池的正极电位比负极电位高,所以电流从电池的正极流出,经过开关和小电珠到电池的负极,再通过电池的内部成回路。

不同的导体中,形成电流流动的电荷可以是正电荷,可以是负电荷,也可以是正、负电荷,规定正电荷流动的方向为电流流动的方向。

这里必须说明一点,金属导体中电流的流动是由大量的电子定向运动形成的,电子是负电荷,因为规定正电荷流动的方向为电流流动的方向,所以电子流动的方向与所规定的电流流动方向恰好相反。

电流的流动不仅有方向,电流还有大小之分。电流的大小用电流强度表示,它取决于单位时间内通过导体截面的电荷量多少,通过的电荷量愈多,电流强度愈强,反之则弱。电流强度用 I 表示,由下式计算

$$I = \frac{Q}{t}$$

式中: I 为电流强度,单位为安培,用 A 表示;

t 为时间,单位为秒;

Q 为 t 秒内通过导体截面的电量,单位为库仑。

1 秒内通过导体截面的电量为 1 库仑时,电流强度为 1 安培,安培可以简称安。

电流强度简称电流。电流的单位除安培之外,还有千安(用 kA 表示)、毫安(mA)和微安(μ A),在电子电路中主要使用 A、mA 和 μ A 这几个单位,它们之间的换算关系式如下所示

$$1\text{kA} = 1000\text{A}$$

$$1\text{A} = 1000\text{mA}$$

$$1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$$

平时常说的几安培电表就是指的电表的电流强度。10A 的电表比 5A 的电表能够输出的电流更大。

3. 电路的四种状态

电路共有以下四种状态。

电路的通路状态:前面所述的几个电路中,开关接通后,电路中就有电流的正常流动,此时称为电路的通路状态,显然要使电路能够正常地工作,电路必须成为通路的状态。

电路的开路状态:如图 1 - 1 所示电路中,如果小电珠的灯丝断了,或是连接电池的导线断了,这时开关接通后小电珠也不会发光,电路失去了它原来的功能。小电珠不能发亮是因为电路不能成回路,电路中没有电流的流动,这也是电路的一种故障状态,称为电路的开路故障。

电路的开路也可称为断路,是电路中一种十分常见的故障。开路故障一般情况下对电路中的元器件不存在危害,但有些情况下也会造成电路元器件的损坏。

电路的短路状态:上述几个电路中,如果小电珠、电机、电热丝等负载的两根引脚被某金属物体连接了起来,这时开关接通后小电珠不会亮,因为本来应该流过小电珠等负载的电流

流过了短路的金属物体,负载本身没有流过电流,电路的这种状态称为短路状态,短路是电路的一种故障状态。在日常生活中,时常会遇到这种现象,如用电器的短路,造成电表的保险丝熔断。

短路故障是电路中的一个常见故障。短路故障不一定只是发生在负载两端,电路中的任何一处都有可能发生短路故障。短路故障对电路存在重大的危害作用,当短路故障发生在电路的不同部位时,对电路的危害是不同的。

电路的接触不良状态:如图 1 - 1 所示电路中,如果开关在接通时不能可靠地接触上,一会儿能接触上,一会儿又接触不上,这时小电珠就一会儿亮,一会儿熄;或者在接通时开关两个触点之间的接触电阻比较大,这时电路虽然没有成为开路状态,但流过小电珠的电流减小了,所以小电珠发光的亮度有所下降。电路的上述现象称为接触不良故障,这也是一个十分常见的电路故障。

电路中,开关件比较容易出现接触不良故障,其他元器件也会发生这种故障,例如元器件在接线时的不牢固,引脚焊接不可靠等,都会引起电路的接触不良故障。

电路的接触不良故障对电路的危害没有短路故障来得大,但对电路的接触不良故障检修却显得相当的困难。

1.1.5 小电珠串联电路

图 1 - 5 所示是由两只小电珠构成的串联电路。电路中,两只小电珠是同一型号的,它们头尾相连,这样的电路连接方式称为串联电路。电池也有两节,都是 1.5V,一节电池的正极连接着另一节电池的负极,这种连接方式也叫串联。



图 1 - 5 串联电路

1. 电路分析

当电路中的开关接通时,电池产生的电流就会在电路中流动,流过两只串联的小电珠,小电珠发光。在电路分析中,常需要指出电路中电流流过的路径,此时可以用这样的形式来表述:一只电池的正极 接通的开关 一只小电珠 另一只小电珠 另一只电池的负极,通过两节电池的内部电路,电流形成一个闭合的回路。

当开关断开时,没有电流流过两只小电珠,所以两只小电珠都不发光。

在这一电路中,开关同时控制两只小电珠的工作状态,两只小电珠同时发光,同时熄灭,这是两只小电珠串联电路的特点。

对于串联电路而言,可以进行更多的小电珠串联,例如可以串联四只小电珠,甚至将更多的小电珠进行串联。无论有几只小电珠串联,流过各小电珠的电流都是相等的。

2. 产生电流的两个充分必要条件

要使电路中存在电流的流动,必须同时满足以下两个条件。

第一个条件是电路必须形成回路。所谓电路形成回路就是电路是闭合的,如图 1 - 1 所示电路,当开关接通后电路形成回路,当开关断开时电路不成回路。

第二个条件是回路中要有电源。电源是产生电流流动的动力源,没有电源当然是不能产生电流的。特别要注意的是,电源必须在这个电路的回路中,如图 1 - 1 所示电路中的电池,电池在小电珠所在的闭合回路中,所以电池产生的电流才会流过小电珠。

当上述两个产生电流的条件中有一个不能满足时,电路中就没有电流流动,下列两种情况电路中都没有电流的流动,这两种情况是修理中进行电路分析时的常见故障现象。

电路中只要有一处断开,电路就不能成回路,虽然电路中有电源,但电路中仍然没有电流,因为这时不能同时满足产生电流的两个条件。

电路虽然成回路,但回路中没有电源,也不可能有电流。

3. 电阻概念

电阻是一个物理量。导体内带电质点在运动过程中不断地相互碰撞,并且还与导体的分子相互碰撞,因此导体对于它所通过的电流存在着阻碍作用,这种阻力称为电阻。所以,电阻就是用来反映导体对电流起阻碍作用大小的物理量。电阻用 R 表示。

导体的电阻是客观存在的,导体的电阻不仅与导体的材料有关,而且还与导体的长度相关,其值大小可用下式计算

$$R = \frac{L}{S}$$

式中: R 为导体的电阻;

为电阻率或电阻系数,它的大小与导体材料性质有关;

L 为导体的长度;

S 为导体的截面积。

对导体而言,电阻的存在使电流流动中遇到了阻力,具体表现就是电阻将消耗电能,显然,从这个意义上讲电阻起所的作用是消极的,是需要大力克服的。但是,在电子电路中利用电阻的这一特性,可以起到许多特定的电路功能,所以电阻在电子电路中有着极其广泛的用途。电阻器是电子电路中使用量最多的一种元器件。

电阻的单位是欧姆,用 Ω 表示。由于实用中的需要,电阻单位除欧姆外,还有千欧(k)、兆欧(M),它们之间的换算关系如下

$$1k = 1000$$

$$1M = 1000k$$

电阻的另一种表示方式是电导,电导用 G 表示,它在数值上等于电阻的倒数,电阻的单位是欧姆,电导的单位则是姆欧。 G 和 R 之间的关系如下

$$G = \frac{1}{R}$$

电导是表示导体导电能力的一个物理量。导体的电阻愈小,电导愈大,反之则愈小。不同材料的电导是不同的。

4. 电功和电功率概念

电功的定义是这样:电流所做的功叫电功。电功用 A 表示。电功的单位为焦耳,用 J 表示。实际使用中,电功的单位常用千瓦小时($kW \cdot h$),俗称“度”,就是常说的电表走了多少度电,消耗了多少度电。

电功只能表示电流做了多少功,但不能表示电流做功的快慢。单位时间内电流所做的功称为电功率。电功率用 P 表示。电功率的计算公式如下

$$P = IU$$

或

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$P = I^2 R$$

式中: I 为电流,单位是 A ;

U 为电压,单位是 V 。

电功率的单位为瓦特,用 W 表示,此外还有千瓦(用 kW 表示)、毫瓦(mW)、马力,它们之间的换算关系如下

$$1kW = 1000W$$

$$1W = 1000mW$$

$$1 \text{ 马力} = 0.735kW$$

电功率在电路中简称功率,如平常说的这个用电器是多少瓦,这只灯泡是 $25W$,就是指用电器的电功率大小。功率大的灯泡亮,单位时间内消耗的电能比功率小的灯泡多,也就是在相同的时间内,功率大的电器所消耗的电能比功率小的多。

1.1.6 灯泡并联电路

图 1 - 6 所示是灯泡并联电路,电路中是两只灯泡并联电路,也可以用更多的灯泡进行并联连接。

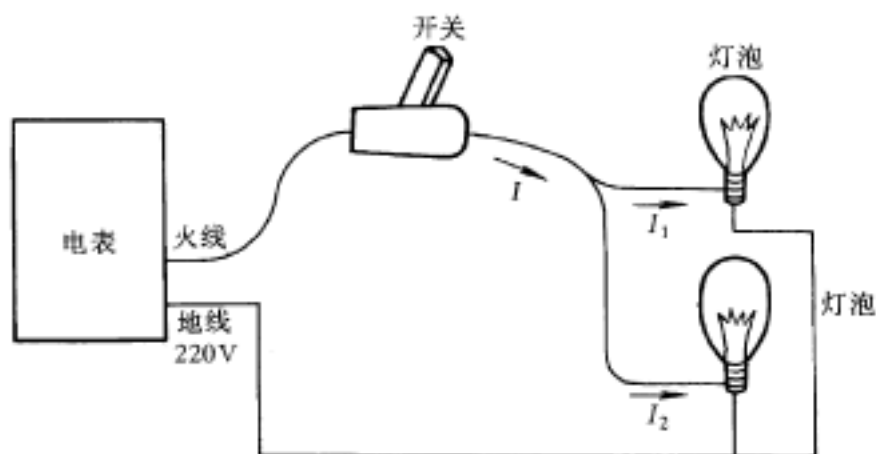


图 1 - 6 灯泡并联电路

1. 电路分析

电路中,两只灯泡头与头相连接,尾与尾相连接,这样的连接方式称为并联电路。当开关接通时,从电表火线流出的电流通过开关,分别流过两只灯泡,然后两个支路电流汇合,从地线流入电表,两只灯泡同时发光。

当开关断开后,两只灯泡同时没有电流流过,同时不亮,一只开关同时控制了两只灯泡的工作状态。

当两只灯泡型号相同时,即它们的功率大小相等时,流过两只灯泡的电流相等,所以发光的亮度就相同。如果它们的功率不相等,功率大的那只灯泡流过的电流会更大,灯泡会更亮些。

2. 节点电流定律

并联电路有一个重要特性,即并联电路中的总电流等于各支路电流之和;串联电路也有一个十分重要的特性,即串联电路中的电流处处相等。了解并联电路和串联电路的这些特性,对分析并联电路和串联电路的工作原理有着重要的指导意义。

并联电路中的总电流等于各支路电流之和、串联电路中的电流处处相等可以用节点电流定律来说明。如图 1 - 7 所示,流入一个节点 A(线路中的某一点)的电流等于流出该节点的电流(电路中的某一节点不能储存电能)。

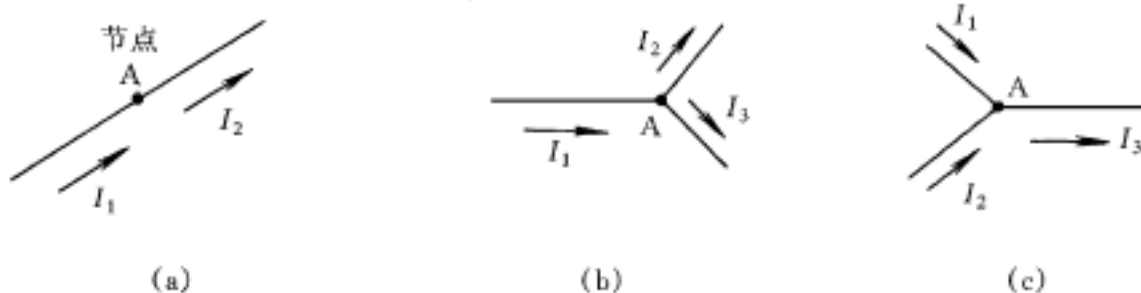


图 1 - 7 节点电流定律示意图

图 1 - 7(a)所示电路可以说明串联电路中的电流处处相等。流入节点 A 的电流为 I_1 ,流出该节点 A 点的电流为 I_2 ,根据节点电流定律可知, $I_1 = I_2$ 。电流是电荷的有规律定向流动形成的,因为电路中没有可供存储电荷的器件,这样,流入某一个节点的电流必然等于流出这个节点的电流,否则多余的电荷没有去处,同时电荷也不能自行消失。

电流节点定律可以用水流来直观形象地加以解释,一条大河只要没有水库,流入某一截面的水量就等于流出这一截面的水量。

图 1 - 7(b)所示电路可以说明并联电路中的总电流等于各支路电流之和,流入节点 A 的电流为 I_1 ,流出节点 A 的电流为 I_2 和 I_3 ,有 $I_1 = I_2 + I_3$ 等式成立。

图 1 - 7(c)所示电路中,流入节点的电流有两个,即 I_1 和 I_2 , I_3 是流出这一节点的电流, $I_1 + I_2 = I_3$ 。

在串联电路中,由于电路中没有支路,所以电流只有一条通路,这样流过各个负载和电源的电流一样大小,这一点对检查串联电路故障是十分重要的。例如,在测得电路中没有电流时,说明电路存在开路故障(线路断开了或电阻、电源的引脚断了),电路中的任一点出现开路

故障,均会造成电路中没有电流,因为开路后电路不成回路了,破坏了产生电流的一个条件。

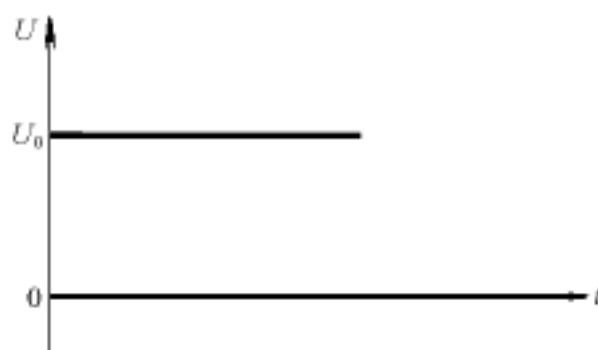
在并联电路中,如果有一个支路出现了开路,那么这个支路中就没有电流,但其他支路中仍然有电流,所以总电路中仍然是有电流流动的,但总电流将减小。

3. 直流电源

前面介绍了两种形式的电源:一是电池的直流电,二是家用电表输出的市电,前者是直流电源,后者称为交流电源。

所谓直流电源,就是电压的大小和方向都不改变的电源,可以用这种电源的电压波形来进一步说明这种电源的特性,图 1 - 8 所示是直流电源的电压特性曲线示意图。图中,横坐标是时间 t 轴,纵坐标是直流电源的电压 U 轴。

从图中可以看出,当时间 t 在变化时,电压 U_0 的大小和方向均不变化,所以这是一个直流电压。直流电源输出的直流电压其大小和方向都不随时间的变化而变化。在电子电路中,用得最多的是直流电源,直流电源除常见的电池外,还可以通过交流电源来获得,即通过所谓的电源电路将交流电转换成直流电。



图中,规定 U 轴 0 以上电压的方向为正,0 以下电压的方向为负,所以图中所示的电压 U_0 是正电压,也有负的直流电压。

图 1 - 8 直流电源的电压特性曲线示意图

直流电源的两根引脚有正、负极性之分,如电池有正极和负极,使用中这两个电极是不能接反的。

4. 交流电源

所谓交流电源,就是电压的大小和方向都在随时间改变的电源,可以用这种电源的电压波形来进一步说明这种电源的特性,图 1 - 9 所示是我国市电交流电源的电压特性曲线示意图,这是一个正弦波形。图中,横坐标是时间轴,纵坐标是交流电源的电压轴,从中可看出正弦电压波形的幅值大小变化情况。

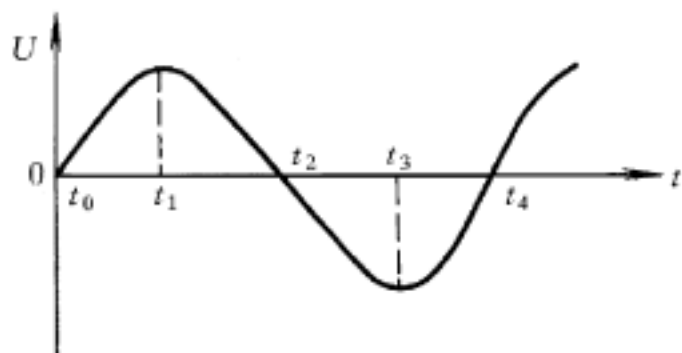


图 1 - 9 交流电源的电压特性曲线示意图

从图中可以看出,交流电源的电压大小和方向时时刻刻都在改变,交流电压是一条正弦曲线,不像直流电压是一条水平的直线。

在时间轴的 t_0 处,电压大小为零,在 $t_0 \sim t_1$ 期间,电压在按照正弦规律增大,到 t_1 时,电压值变化到正方向的最大值,这一值称为峰值,或称为振幅。

电压达到峰值后,开始按正弦规律减小,在 $t_1 \sim t_2$ 期间,电压都在减小,到 t_2 时,电压又回落到零。

$t_0 \sim t_2$ 期间为这一交流电压的正半周期间,简称正半周,正半周期间电压为正。从 t_2 开始,这一电压由正半周变化到负半周,在负半周内电压为负值,即电压的方向与正半周时相反。

电压变化到 t_3 时,到达负半周的最大值,即负峰值,此时为负电压的最大值。在这一正弦交流电压中,负峰值与正峰值的绝对值大小一样,只是一个为负电压,一个为正电压。

电压变化到 t_4 时,电压又回到零。之后,电压的变化规律与前面相同,重复循环变化。这种重复变化的交流电压称为周期性交流电压。

1.1.7 部分电路欧姆定律

欧姆定律解释了电阻 R 、电压 U 和电流 I 三者之间的关系,是电子电路中十分常用的一个定律,它对分析和理解电路的工作原理有着十分重要的作用。

所谓部分电路,就是不含电源的电路,在电路原理分析中,经常遇到这种不含电源的电路分析。这种电路的欧姆定律可以用如图 1 - 10 所示电路来说明。电路中, R 为电阻, U 是电阻两端的电压, I 是流过电阻的电流。

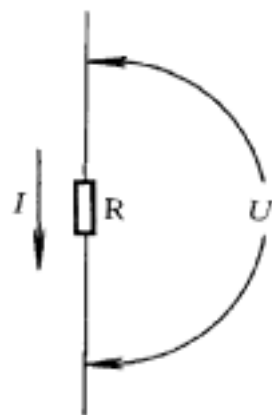


图 1 - 10 部分
电路示意图

1. 部分电路欧姆定律公式

电阻 R 、电压 U 和电流 I 三者之间的关系可以用部分电路欧姆定律说明,公式如下

$$R = \frac{U}{I}$$

或

$$I = \frac{U}{R}, U = IR$$

从上述公式中可以看出,电阻 R 两端的电压 U 等于流过电阻的电流 I 乘以电阻 R , 流过电阻 R 的电流 I 等于电阻两端的电压 U 除以电阻 R 。

从部分电路欧姆定律公式中,可以得出如下三点结论。

从 $U = IR$ 中可以知道,电阻大小一定时,电阻两端的电压与流过这一电阻的电流大小成正比关系,电流愈大,电阻两端的电压降愈大,电流愈小,电阻两端的电压降愈小;如果电路中的电流大小一定时,电阻的阻值愈大,其电阻两端的电压愈大,电阻的阻值愈小,其电阻两端的电压愈小。这一公式对理解电路中某元器件两端的电压大小相当有用,在后面的电路分析中将运用这一公式解说电路工作原理。

从 $I = U/R$ 公式中可以知道,当加到电阻两端的电压一定时,电阻的阻值愈小,流过这一电阻的电流愈大,反之则愈小;当电阻的阻值一定时,电阻两端的电压愈大,流过这一电阻的电流愈大,反之则愈小。这一公式对理解电路中流过某元器件电流大小的电路分析相当有用。

从 $R = U/I$ 公式中可以知道,当电阻两端的电压一定时,流过这一电阻的电流愈小,说明这一电阻的阻值愈大,反之则愈小;当流过电阻的电流一定时,电阻两端的电压愈大,说明该电阻的阻值愈大,反之则愈小。这一公式对分析电路中某电阻器的阻值大小相当有用。

2. 几点说明

关于欧姆定律还要说明以下五点。

欧姆定律是电路中的基本定律之一。

在 U 、 I 、 R 三个量中,已知其中两个量时,可以用欧姆定律公式求出第三个量。

电阻两端的电压称为电压降,简称压降。电阻两端电压的方向是从高电位指向低电位

的,即流过该电阻的电流方向,如图 1 - 10 所示电路中,电阻 R 两端的电压是上面为正,下面为负,与电流 I 的方向一致。

这是线性电路中的欧姆定律,所谓线性电路,就是电路中的电阻 R 是一个线性电阻,电阻 R 有线性电阻和非线性电阻之分,电子电路中常用的都是线性电阻,在没有加以特定说明时,电路中的电阻就是线性电阻。

所谓线性电阻,就是在额定的工作电压下,无论电压在如何变化,电阻的阻值特性是不变的,原来阻值是多少还是多少,不会改变。非线性电阻的特性是,电阻两端加有不同电压时,电阻的阻值不同,即阻值随电压大小的变化而变化。

1.1.8 初识电子元器件

电子设备、家用电器中,有许许多多五颜六色、形状各异的“小东西”,它们就是电子元器件。一台整机电子设备,少则由几十只电子元器件组成,多则由数百只电子元器件构成。

1. 从学习元器件入门

学习电子技术时所学习的面很广,但应该从学习元器件入手。

元器件是组成电子电路的最小单元,是分析电路工作原理的基础,也是修理中最终检测、更换的对象,从了解、掌握元器件的外形特征、结构、工作原理、主要特性、检测方法入门,再进入电路工作原理的学习。当然,从一些常用的电子元器件开始学习。

2. 元器件在电路分析中的重要性

在分析电路工作情况时,主要任务之一是对电路中元器件作用的分析。掌握各种元器件的基本特性,学会分析元器件典型应用电路,是进行整机电路分析的阶梯。

在电子电路的分析中,初学者会遇到各种各样的困难,其中绝大多数是由于对电子元器件性能、特性、作用不了解或了解不全面造成的,所以,首先掌握电子元器件的有关知识是十分必要的。

修理活动中最重要的一环是快速而准确地确定电路中哪只元器件出了故障,故障检修的最终还是面对元器件。

3. 电子元器件装配位置示意图

图 1 - 11 所示是电子设备内的电子元器件实物示意图。从图中可以看出,有三极管、电解电容器、电阻器,它们都焊在铜箔线路板上。

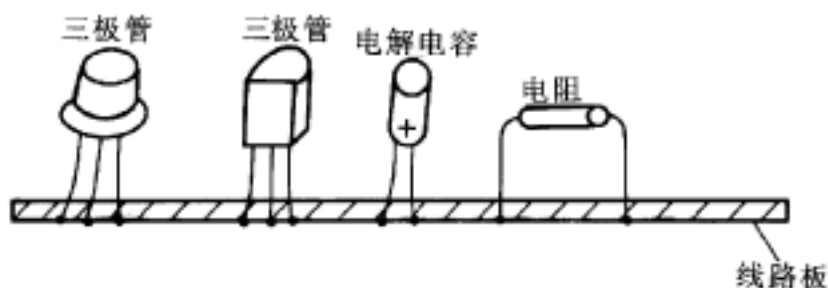


图 1 - 11 电子元器件装配位置示意图

从图中可以看出,电子元器件都装在线路板的铜箔一面,电子元器件的引脚通过线路板上的引脚孔伸到线路板的背面,焊在线路板背面的铜箔线路上。铜箔线路板再固定在电子设备的外壳机座上。

4. 认识电子元器件外形特征的绝招

学习电子电路工作原理的首要任务,是识别电子元器件,识别电子元器件的方法主要有下

列几种。

在一些介绍元器件的图书中,有元器件的外形示意图,通过看图进行识别。

最好的方法是到专门销售元器件的商店里去看看,在各种元器件旁,均标出了这些元器件名称,这样可以很快将名称与实物对照起来。用这种方式识别各种电子元器件效果很好,记得牢,很快能掌握各种电子元器件的识别方法。

为了验证一下学习效果,可以再找一台损坏的收音机或其他电子设备的线路板,在线路板上分辨各种元器件。这一步的练习很简单,但很重要,而且复习的效果很好。在学习电子技术的初期阶段,应尽快过元器件识别这一关,有了感性认识,对理论学习才显得更为具体和直观。

5. 识别元器件外形特征的实用意义

识别形形色色电子元器件的外形特征,一方面是为了认识这些电子元器件,另一方面是为了掌握更多的识别信息,归纳如下。

有些元器件(如晶体三极管)的外形特征表示了它各个功能引脚的相对位置,通过识别,能够知道各个具体引脚在什么位置。又例如集成电路,它的引脚很多,只有通过观察它的外形特征,才能方便地识别它的各个引脚位置。

图 1 - 12 所示是单列直插集成电路,在它的金属散热片左侧有一个小孔标记,将集成电路的引脚朝下,型号一面正对着自己,这时它的左下方第一根引脚为该集成电路的 1 脚,然后从左向右依次为该集成电路的各引脚 2、3、4、5、6、7 脚。通过这种外形识别,就能找出该集成电路的各个引脚位置。

元器件型号和标称参数的识别。许多电子元器件在它的外壳上印出型号和标称参数,这方面的识别信息量很大,各种元器件有各自的标称参数表示方式,识别起来也有一定的难度,需要在不断实践中积累识别经验。举例说明,图 1 - 13(a)所示是某个电阻器外形示意图,在它的外表写有 100k ,这表明该电阻器的标称阻值是 100k ,而更多的电阻器的标称阻值不用数字直接表示出来,而是用色标的方式来表示该电阻器的标称阻值,图1 - 13(b)所示就是一个色环电阻器的例子。

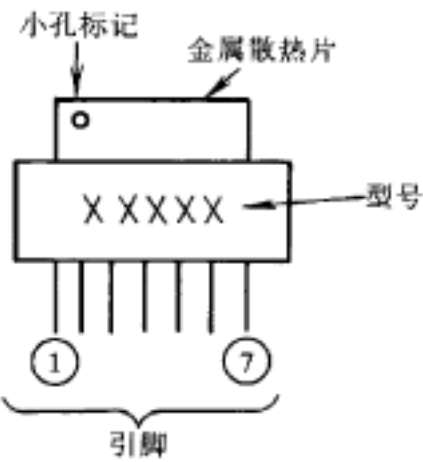


图 1 - 12 识别集成电路
引脚示意图

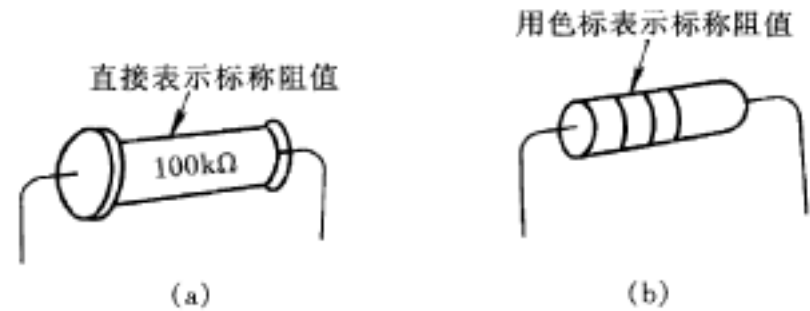


图 1 - 13 标称值表示方式示意图

所谓电阻器的标称阻值,是该电阻器生产时要求能够达到的理论电阻值,实际上该电阻器并不一定就是这一标称阻值,而是与标称阻值存在着一个误差。例如,某只电阻器的标称阻值是 100 k ,误差等级是 $\pm 10\%$,该电阻器的实际阻值是在 90 ~ 110 k 范围内的某一个确定值,如有可能是 91 k ,或是 101k 。

许多电子元器件的引脚是有正、负极性之分的,为了能够方便地识别它们的引脚极性,在它们的外壳上印有各种极性表示方式,图 1 - 14 所示是有极性电解电容器的一种引脚极性表示方式。从图中可以看出,在一根引脚的附近标出了“ + ”号,说明该引脚是正极性引脚,另

一根引脚则是负极性引脚。

此外,电子元器件的外形特征中还表达了许多其他的识别信息,将在后面逐步介绍。

6. 铜箔线路板

铜箔线路板是用来装载电子元器件的,图 1 - 15 所示是铜箔线路板背面的铜箔线路示意图。

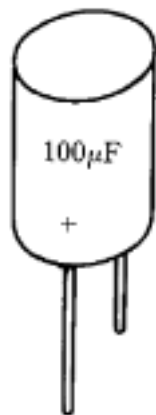


图 1 - 14 元器件引脚极性表示方式示意图

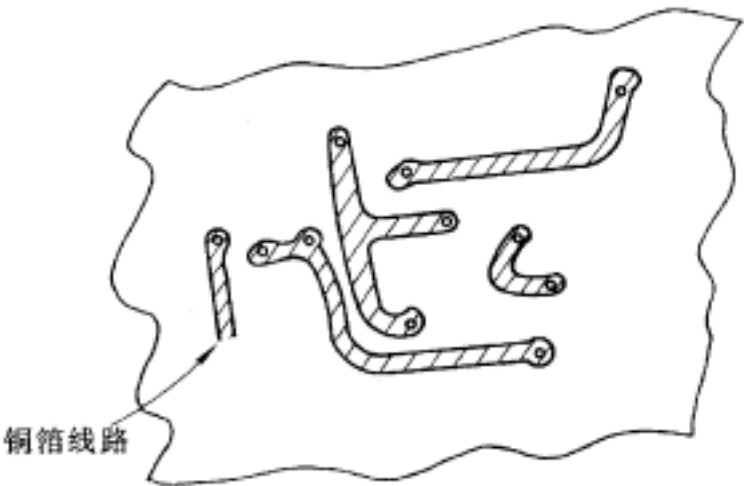


图 1 - 15 铜箔线路示意图

在铜箔线路板的背面有很薄的铜箔线路,铜箔线路相当于电路中的导线,起到连接电路中各元器件的作用。铜箔线不仅很薄,而且有些铜箔线路还很细,在线路板弯曲时铜箔线路很容易折断。

在铜箔线路表面涂有一层绿色或其他颜色的绝缘漆,以防止铜箔线路与其他金属件相碰而产生电路的短路故障。

线路板及铜箔线路上打有许许多多的小孔,这是元器件的引脚孔,元器件的引脚从这些小孔中穿过,然后通过焊锡将引脚焊牢在铜箔线路上。

铜箔线路的分布没有什么明显的规律,可以用“杂乱无章”来形容。每段铜箔线路的形状也是千姿百态。

在一个整机中,铜箔线路板可以只有一块,对于一些电路复杂的机器,铜箔线路板可以分成若干块,当然每块线路板上都装有元器件。

1.1.9 电子元器件电路符号

电子设备、家用电器中,为了设计、生产、检修的方便,将组成电路的各电子元器件用一张图纸来表示,这就是电路图。在电路图中,为了表达的方便,各种电子元器件都有它们特定的表示方式,即元器件电路符号。电路符号如同电子元器件的代码一样,识图的开始就会遇到元器件电路符号这一问题。

1. 电路符号举例

图 1 - 16 所示是几种电子元器件电路符号的举例,每一种电子元器件都有一个与之相对应的电路符号,有的元器件还有多种形式的电路符号。

图 1 - 16(a)所示是电池的电路符号,从这一符号中可以看出,长而细的一端是电池的正

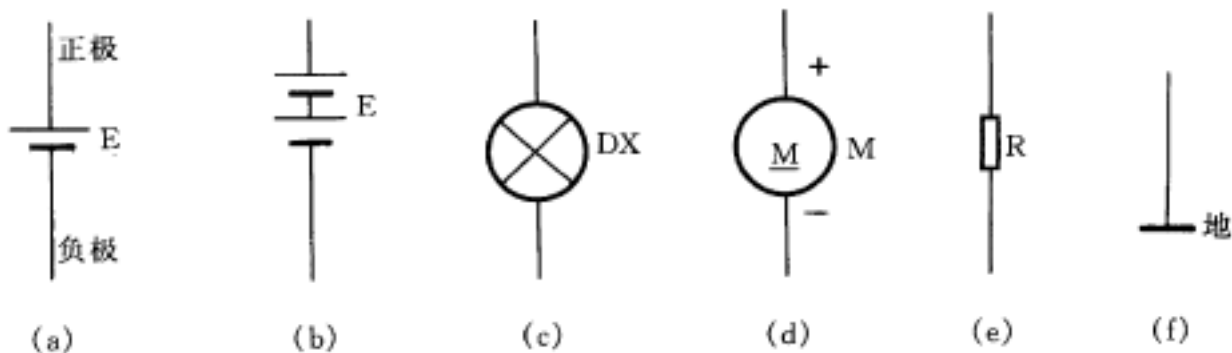


图 1 - 16 几种电子元器件电路符号举例

极,短而粗的一端是电池的负极,在电池的电路符号中,用 E 表示电池。

图 1 - 16(b)所示是两节电池串联后的电路符号,一节电池的正极与另一节电池的负极相连接,两节电池这样串联后的总电压是两节电池电压之和。如果每一节电池是 1.5V,这样串联后总的电压为 3V。

图 1 - 16(c)所示是小电珠的电路符号,小电珠在电路中常用来作为信号的指示灯,它用 DX 来表示。

图 1 - 16(d)所示是电动玩具中的直流电机的电路符号,电机的电路符号用 M 表示,在字母 M 下面有一个“-”符号,这表示该电机是直流电机。因为是直流电机,所以它的两根引脚有正极和负极之分(交流电机引脚没有正、负极之分),正引脚用“+”表示,负引脚用“-”表示。

图 1 - 16(e)所示是电阻器的电路符号,它用 R 表示,电路符号表明,电阻器有两根引脚,且没有正、负引脚之分。

图 1 - 16(f)所示是电路图中的接地符号,当一个元器件的某一根引脚需要接电路中的地线时,就可以采用这种表示方式。

2. 电路符号功能

电子元器件电路符号除了能够在电路图中代表特定元器件之外,还包含了许多有效、实用的识图信息,掌握这些电路符号中的识图信息,无疑对电路工作原理的分析是很有帮助的,特别是对于初学者,更是有着“指路牌”般的作用。这里将电子元器件电路符号中的识图信息归纳如下。

确切地表示了该元器件有多少根引脚,无论是两根引脚的元器件还是有着数十根引脚的集成电路器件,只要该元器件有一根引脚,它的电路符号中就有一根相对应的引脚符号,并在电路图中表示出了该引脚与其他元器件之间的连接情况。例如,电阻器的电路符号中有两根引脚,这说明电阻器有两根引脚。

如果元器件的引脚有正、负极性之分,电路符号中会通过各种形式表示出引脚的极性,例如,电池电路符号中用线条的长与短、粗与细表示,直流电机电路符号中用“+”与“-”符号表示。其他元器件还有用图形来表示的。

有些电路符号能够形象地表示出该元器件的结构情况,例如,电源变压器的电路符号能够表现出它有几个次级线圈,图 1 - 17(a)所示电源变压器只有一组次级线圈,而图 1 - 17(b)所示

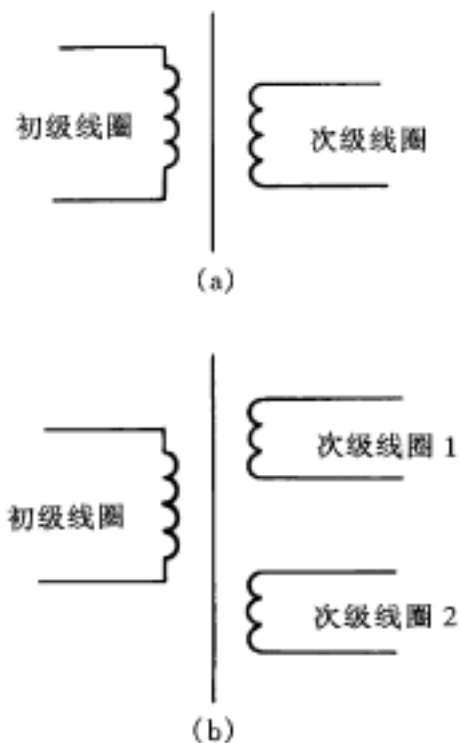


图 1 - 17 电源变压器电路符号
表示了次级线圈的结构情况

电路符号中的电源变压器则有两组次级线圈。这样,电源变压器的电路符号就能表达出该变压器的结构情况。

有些元器件的电路符号还形象地表示出流过该元器件电流的方向,这一点对电路分析是很有实用指导意义的,例如,三极管的电路符号和二极管的电路符号都能够表示出流过它们的电流方向。图 1 - 18(a)所示可以说明二极管的电流方向,二极管电路符号中的三角形箭头形象地表示出了二极管的电流流动方向,如图中的电流 I 所示,流过二极管的电流是从正极流到负极的。

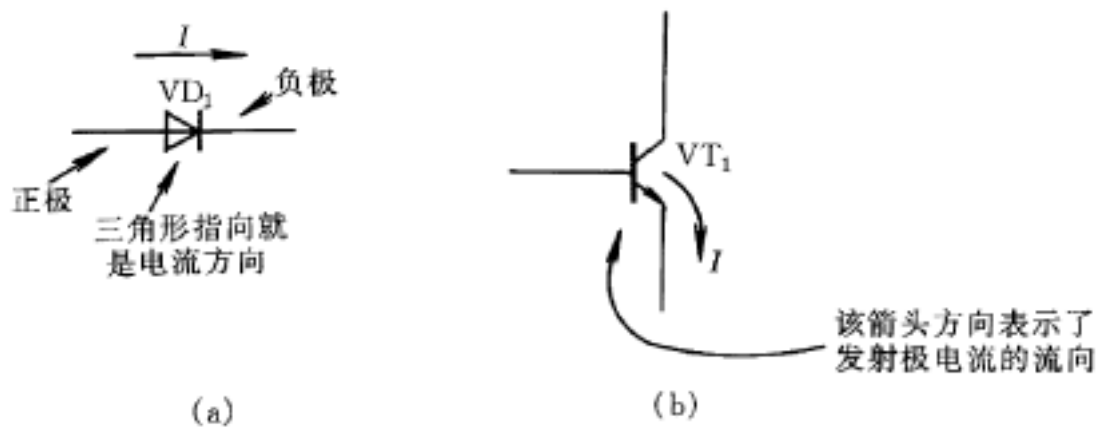


图 1 - 18 二极管和三极管电路符号对电流方向的提示作用

图 1 - 18(b)所示是 NPN 型三极管的电路符号,在电路符号中,发射极上有一个箭头,它表示出三极管的发射极电流流动方向,如图中电流 I 所示,从这一箭头的方向可以知道,NPN 型三极管的发射极电流是从管内流向管外的,这在分析三极管电路工作原理时十分有用,能够提示电流流动的方向。

同一种类型的电子元器件在电路符号上有相似性,这便于记忆,同时在具体的表达形式上也能够分辨出它们之间的差异。图 1 - 19 所示是电阻器和可变电阻器的电路符号,从图中可以看出,它们基本上一样,但可变电阻器电路符号中用一个箭头表示了它的阻值是可以改变的,而普通的电阻器其阻值是固定不变的。在可变电阻器电路符号中,用 R_P 来表示,而普通的固定电阻器则用 R 来表示。

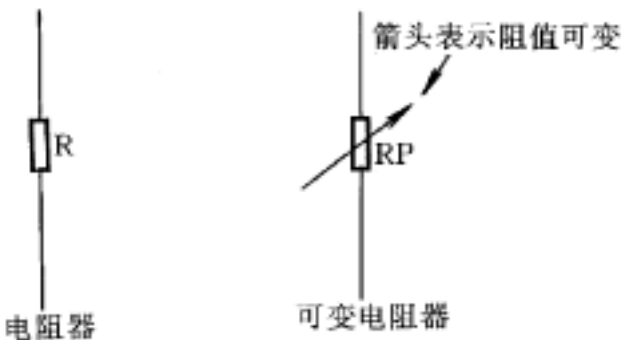


图 1 - 19 电阻器和可变电阻器
电路符号差异

3. 电路符号标准化

同许多国家标准一样,国家标准中对各种电子元器件的电路符号都有明确的规定,元器件的电路符号不能随便使用。一般情况下,一种电子元器件只有一种电路符号的表示形式,但国标对有些元器件提供了多种电路符号以便选择,同时给出了推荐符号。

由于国内标准与国际上其他国家标准在某些方面存在不同,所以在进口机器的电路图中,会出现一些不同于国内元器件的元器件电路符号。另外,对于一些新型元器件,各个生产厂家也有不同的元器件表示方式。

1.1.10 电气电路图与电子电路图

1. 电气电路图

工业电气设备也有电路图,它们一般都是使用强电(交流 220V 或更高的电压),这些设备的电路图称为电气电路图。

无线电设备中的电子电路图与电气电路图有着很大的不同。

2. 电子电路图

电子电路图简称电路图。如图 1 - 1 所示的并不是什么电路图,而是一个电路组成的实物示意图,显然,这样的图在绘制时相当的不方便,每个元器件都用实物图来绘制,工作量很大,也没有实际意义。

电子电路图要在这种实物示意图的基础上,将元器件用它们的电路符号来取代,这样形成的电路图称为电子电路图。电子电路图用来表示实际电子电路的结构、组成、元器件标称值、电路中关键测试点的电压数据、信号波形等信息。

图 1 - 20 所示是如图 1 - 1 所示小电珠控制电路的电路图。电路中,电池用了电池的电路符号,且用 E 表示;开关用了开关的电路符号,且用 S_1 表示;小电珠也用了电路符号,用 DX 表示。

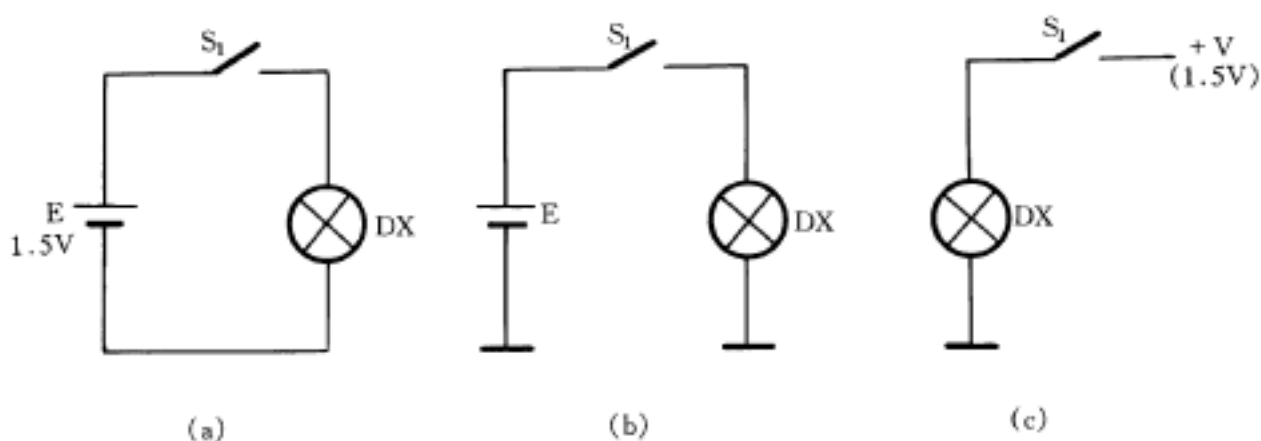


图 1 - 20 小电珠控制电路图

从这一电路中可以了解到它由 E、 S_1 和 DX 三个元器件组成,通过电路图上的电路符号可知,E 表示电池, S_1 表示开关,DX 表示小电珠。在这一电路图中只是标出了电池的电压 (1.5V),其他元器件没有标出型号和标称值。

图 1 - 20(a) 所示电路图与如图 1 - 1 所示电路图表达的是同一个电路,但是图 1 - 20(a) 所示电路图简洁了许多,也方便了电路工作原理的分析。当开关 S_1 接通时,电池 E 给小电珠 DX 供电,小电珠发光;当开关 S_1 断开后,电池 E 不能给小电珠 DX 供电,小电珠不发光。

图 1 - 20(b) 所示电路与图 1 - 20(a) 所示电路是一回事,只是电路图在画法上更为简单,且更符合电路图的一般情况,它们之间的不同之处是电池的负极引线画法不同,图 1 - 20(a) 所示电路图中,电池的负极引线直接与光小电珠相连,而在图 1 - 20(b) 所示电路图中,则用接地符号来代替,将电池的负极作为参考点,即作为地线,这样就可以采用图 1 - 20(b) 所示的电路图画法,小电珠的一根引脚也可以用接地符号来表示与电池 E 的负极相连。电路图中,所有

的地线是相连的,记住这一点即可。

对于图 1 - 20(b)所示电路的分析可以这样:当开关 S_1 接通后,电流从电池 E 的正极出发,经开关 S_1 流过小电珠 DX,电流通过地线回到电池的负极,因为电池 E 的负极也是接地线的,这样电流形成了回路。

图 1 - 20(c)所示电路图是另一种更为简洁的电路图画法,它省去了电路中电源(电池)的电路符号,只用电压 $+V$ 表示,其中“ $+$ ”表示这一直流工作电压是正极性的,如果是 $-V$,则表示这一直流工作电压是负极性的。电路图的这种表示方式一般不出现在整机电路图中,只出现在讲解电路原理的场合。

电路图的种类比较多,各种电路图有着不同的作用,分析这些电路图的方法也是有所不同的,以后会逐步讲述这些电路图的识图方法。

电子电路图主要有以下 6 种。

整机电路图。

方框图,这其中还包括整机电路方框图、系统方框图等。

单元电路图。

集成电路应用电路图。

等效电路图。

印制线路图。

1 2 纯电阻器电路及电路基本概念

普通电阻器是电子电路中使用频率最高、应用量最大的电子元器件。

电阻器在电路中起一个电阻的作用,在许许多多电路中,为了电路的正常工作,需要一个特定电阻值的电阻,此时就使用电阻器来完成这一任务。

所谓纯电阻器电路,就是电路中只有电阻器的电路,但在实用电路中除电阻器外,还有许多其他的电子元器件。由于电阻器在所有电子元器件中是最基本的元件,它的特性变化也不复杂,所以对其电路分析相对而言比较简单。

同时,任何一个含有各种电子元器件的复杂电路,都可以通过等效电路等效成一个电阻电路来进行分析和理解,所以掌握纯电阻电路是分析电子线路的基础。

在学习纯电阻电路之前,了解电阻器的基本知识是必要的,这一节给出电阻器的外形特征,以供初学者进行识别;介绍电阻器的各种电路符号,以便识别电路图上的电阻器;讲述电阻器的种类,以便了解电阻器“家族”的成员;讲解电阻器的主要特性,以便理解电阻器在电路中的工作原理。

电路中,电阻器通常简称为电阻,例如电阻器 R_1 可以说成电阻 R_1 。

1 2.1 普通电阻器外形特征和电路符号常识

电阻器种类很多,普通电阻器是常见的电阻器,此外还有一些特殊的电阻器,例如热敏电阻器、湿敏电阻器等,这里只介绍普通电阻器的有关知识。

1. 普通电阻器外形特征

通过对普通电阻器外形特征的描述,可以识别普通电阻器。图 1 - 21 所示是普通电阻器外形特征示意图。图 1 - 21(a)所示是最常见的普通电阻器外形特征示意图,图 1 - 21(b)所示是无脚电阻器外形特征示意图。

普通电阻器的具体特征如下。

普通电阻器通常是细而长的圆柱式形状,长约 1cm 左右,直径为 0.3cm 左右,电阻器的体积也有大小不同的变化,电阻器的体积愈大,其功率愈大,在相同的功率下金属膜电阻器的体积小于碳膜电阻器的体积。

电阻器只有两根引脚,两根引脚不分正、负极性,常见的电阻器两根引脚沿轴线方向伸出,引脚相当的柔软,可以任意弯曲。

现在用得最多的是色环电阻器,其上有

四条色环(此外,还有三条、五条色环电阻器),这些色环用来表示该电阻器的阻值大小。对于非色环电阻器,在电阻器上会直接标出阻值等参数。

普通电阻器外表基色通常是彩色的,有绿色的,有黄色的等。

电阻器的阻值大小与它的体积大小之间没有联系,阻值大的电阻器不一定体积大,体积很小的电阻器也可以是阻值很大的电阻器。

无脚元器件的特点是这种元器件没有引脚,体积非常的小,主要用于一些小型化的电子设备中,如用于各种红外遥控器中。无脚电阻器是无脚元器件中的一种,它的外形特征如图 1 - 21(b)所示,它没有两根引脚,为长方形块状,体积甚小,它的两端有两个电极,相当于普通电阻器中的两根引脚。无脚元器件安装时与普通的电子元器件也不同,它安装在线路板的背面,直接与铜箔线路相焊接。

2. 电阻器的电路符号

图 1 - 22 所示是普通电阻器的电路符号。在电阻器的电路符号上方标有 R,表示是电阻器,R 是英文 Resistor 的简称。

图 1 - 22(a)所示是优选的电阻器电路符号,我国通常采用这种电路符号。

图 1 - 22(b)所示也是一种电阻器的电路符号,通常出现在进口产品的电路图中,国内一些电子设备、家用电器的电路图中也会出现这种形式的电路符号。

图 1 - 22(c)所示电阻器电路符号在符号中同时标出了该电阻器的额定功率,图示这种表示该电阻器的额定功率为 1W,电路符号中用其他方式还可以表示 2W、5W 等。目前,一般电路图中除个别情况外,是不标出电阻器额定功率标记的,图 1 - 22(c)所示这种电路符号主要出现在高级音响放大器的电子管电路图中。

电路图中会出现 R_1 、 R_2 、 R_3 ,这其中的 1、2、3 是电阻器在电路图中的

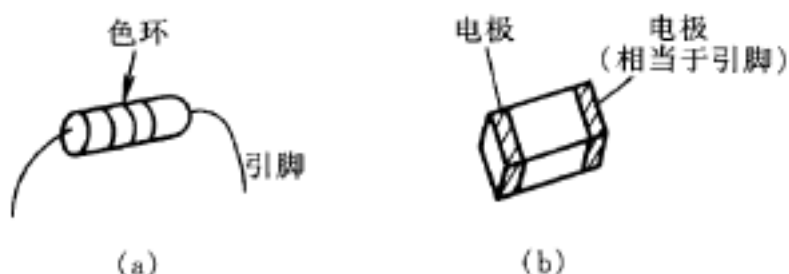


图 1 - 21 普通电阻器外形特征示意图

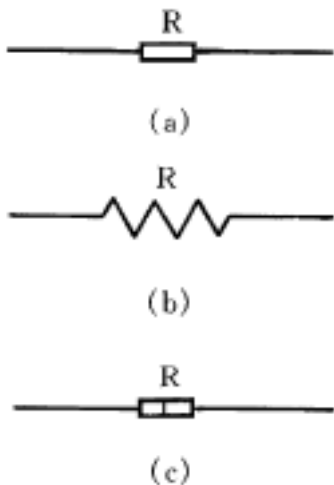


图 1 - 22 电阻器
电路符号

编号,以便在一张电路图中区别这些电阻器(电容器等其他元器件也是这样区别的)。有时一张电路图中会出现 $1R_1$ 、 $1R_2$ 和 $2R_1$ 、 $2R_2$ 等,字母 R 前面的 1、2 用来表示这些电阻器不在整机电路的同一系统电路中。例如, $1R_1$ 、 $1R_2$ 是同一个电路系统中的电阻器, $2R_1$ 、 $2R_2$ 是另一电路系统中的电阻器,通过这一标注,可以方便地知道哪些元器件是同一个电路系统中的,哪些不是同一电路系统中的。

3. 种类

电阻器的种类很多,这里仅根据实际使用情况作简单的分类。

按照电阻器在电路中的性能划分,有普通型电阻器和特殊型电阻器。前者广泛应用于电子电路中,是目前大量使用的电阻器;后者主要用于一些特殊要求场合,如热敏电阻器可以用来构成电视机的消磁电路,压敏电阻器可以用于彩色电视机的过电压保护电路中,湿敏电阻器可以用于录像机的结露保护电路中作为传感元器件等。

按照电阻器的参数标注方式划分,有直标式电阻器和色环电阻器(又称色码电阻器)。对于前者,电阻器的有关参数用数字直接标在电阻器上,这类电阻器体积较大。目前大量使用的是色环电阻器,电阻器的标称阻值等有关参数采用色环来表示。

按照制造电阻器的材料来划分,有碳膜电阻器、金属膜电阻器、合成膜电阻器等多种。目前,用得最多的是碳膜电阻器,其次为金属膜电阻器。

按照电阻器的外观形状划分,有圆柱状、管状、片状、块状、钮扣状等,目前常用的是圆柱形电阻器,在一些体积较小的机器中,则采用片状电阻器(又称贴片电阻器或无脚电阻器)。

按照电阻器阻值的制造精度划分,有普通精度电阻器和精密电阻器,精密电阻器的阻值误差很小,民用电子设备中使用的是普通精度的电阻器。

1 2 2 普通电阻器的主要特性

分析电阻器电路的工作原理时,如果不了解电阻器具有哪些重要的特性,那么电路分析就会举步蹒跚,所以在分析纯电阻电路之前,先介绍一下普通电阻器的主要特性。

在众多电子元器件中,电阻器的特性最为简单,变化最少。

1. 电阻器对直流电和交流电呈现相同的电阻特性

电路中,无论电源是交流电还是直流电,只要电源的电压一定,流过电阻的电流就只与电阻值大小相关。换句话讲,在直流或交流电路中,电阻器对电流所起的阻碍作用是一样的,对交流电流和直流电流“一视同仁”。电阻器的这一特性对于分析电路是方便的(与电容器等元器件相比较起来是方便的)。

电路中的电流是交流电流还是直流电流取决于电路中的电源电压。当电压为直流电压时,流过电阻的电流就为直流电流,当电路中的电压是交流电压时,流过电阻的电流就是交流电流,图 1 - 23 可以说明在纯电阻电路中直流电压特性和直流电流特性。

图 1 - 23(a)所示是直流电源的直流电压曲线,直流电压的大小为 U_0 ,它的大小和方向不随时间而变化,是一条水平的直线。

图 1 - 23 (b) 所示是直流电源在电阻器电路中的直流电流输出曲线, 横坐标是时间 t , 纵坐标为电流 I , 当电路中的电阻阻值为 R_1 时, 电路中的直流电流大小为 I_1 , 它的大小和方向不随时间变化, 所以这是直流电流。

当电路中的电阻阻值为 R_2 时, R_2 的阻值大于 R_1 , 这时直流电源输出电流 I_2 也是大小和方向都不变, 只是电流 I_2 比 I_1 小, 这是因为在电压一定时, 电阻值大, 电流就小, 从部分电路欧姆定律公式 $I = U/R$ 中可以正确理解这一点。

当电阻器用于交流电路中时, 情况也一样, 可以用图 1 - 24 来说明在纯电阻电路中交流电压特性和交流电流特性。

图 1 - 24(a) 所示是交流电源在纯电阻器电路中的交流输出电压特性曲线, 它的大小和方向随着时间的变

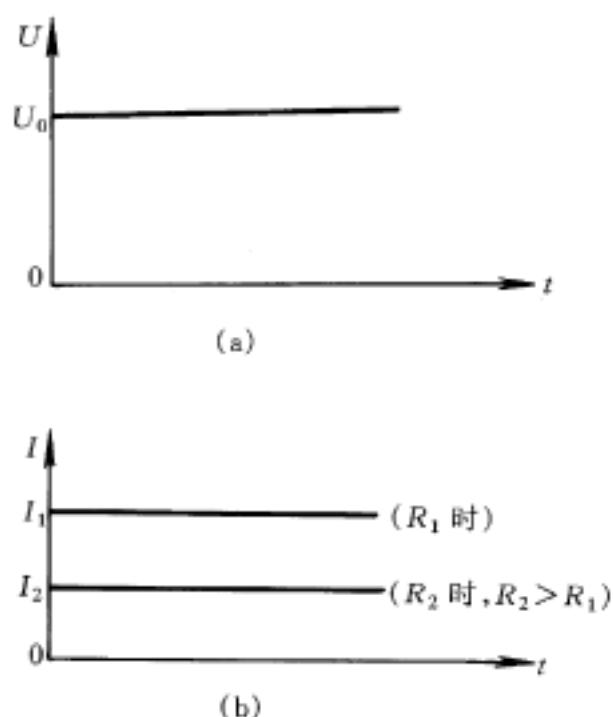


图 1 - 23 电阻器在直流电路中的电压和电流特性曲线

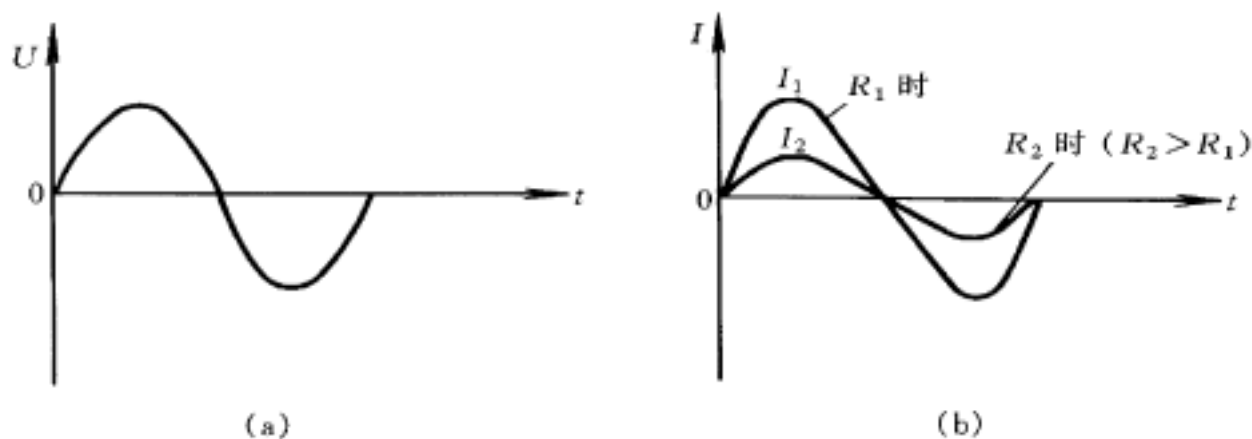


图 1 - 24 在交流电路中电阻器的电压和电流特性曲线

化而不断地变化。

图 1 - 24(b) 所示是交流电源的交流输出电流特性曲线, 横坐标是时间 t 轴, 纵坐标为电流 I 轴。当电路中的电阻阻值为 R_1 时, 电路中的交流电流大小为 I_1 , 它的大小和方向不断随时间而变化, 而且与交流电压特性曲线的变化规律完全一样, 即交流电流随交流电压的增大(减小)而增大(减小), 所以这是交流电流。

当电路中的电阻阻值为 R_2 (R_2 大于 R_1) 时, 交流电源输出电流为 I_2 , 电流 I_2 比 I_1 小, 这是因为在电压一定时, 电阻值大, 电流就小, 电阻器交流电路中也符合部分电路欧姆定律的规律。

通过上述分析可知, 电阻器在直流或者交流电路中, 它所呈现的阻值是相同的, 这样分析电阻电路时, 就不必考虑交流电路和直流电路有什么不同。

2. 电阻器对不同频率交流电呈现相同的阻值

正弦电压和正弦电流统称正弦交流电, 简称交流电。

这里以正弦交流电为例, 介绍交流电的有关参数, 如周期、频率、有效值等基本概念。

图 1 - 25 所示可以说明交流电的周期概念。周期用大写字母 T 表示,它是指交流电重复变化一次所需要的时间,单位是秒。从图中可以看出,两个相邻峰值点之间的时间是这一正弦交流电的周期。

交流电还有一个更为常用和重要的参数,那就是交流电的频率。频率是指交流电在 1 秒内重复变化的次数,频率用 f 表示,它的单位为赫兹(用 Hz 表示)。当交流电变化很快时,说明它的频率高,当交流电变化缓慢时,说明交流电频率低。

频率 f 与周期 T 之间关系密切,可用如下公式表示它们之间的关系

$$f = \frac{1}{T}, T = \frac{1}{f}$$

从上述公式可以看出,频率与周期之间互为倒数。频率愈高,周期愈短,频率愈低,周期愈长。

我国交流市电的频率就是 50Hz 的,也就是这一交流电在 1 秒钟内变化了 50 次。

频率的单位除了 Hz 外,还有 kHz 和 MHz,它们之间的换算关系如下

$$1\text{kHz} = 1000\text{Hz}$$

$$1\text{MHz} = 1000\text{kHz}$$

例如,人耳所能听到的声音频率范围是 20Hz 至 20kHz;我国调频广播电台的载波频率范围是 88MHz 至 108MHz。

由于交流电的大小是随时间变化的,所以要在很短时间内研究交流电的大小。例如,交流电流的瞬时电流强度等于很短时间内导体截面电荷变化量与这一很短时间之比。

交流电流用瞬时电流大小来说明很复杂,时常用交流电流的有效值来说明,它的定义是:在一个周期内交流电流对负载所产生的作用,和一个直流电流对该负载所产生的作用相等,那么这一直流电流的大小就称为交流电流的有效值。正弦交流电流的有效值等于电流最大值的 0.707 倍。

交流电流或交流电压的平均值是这样定义的:在交流电流或电压的半个周期内,所有瞬时值的平均大小为平均值,可以用如图 1 - 26 所示的示意图来说明,图中的矩形面积等于半个周期正弦波形的面积,矩形的高度为交流电流或交流电压平均值。

在了解交流电的有关特性之后,下面再看电阻器在这种电路中的工作情况。在交流电路中,同一个电阻器对不同频率的信号所呈现的阻值是相同的,不会因为交流电的频率不同而出现电阻值的变化,这是电阻器的一个重要特性,了解这一特性后,在分析交流电路中电阻器的工作原理时,就可以不必考虑交流电频率对电路工作的影响。

另外,电阻器不仅在正弦波交流电的电路中阻值不变,对于如图 1 - 27 所示的脉冲信号、三角波信号,电阻器所呈现的电阻值也是一样的。这些脉冲信号、三角波信号是交变信号,它们也有周期

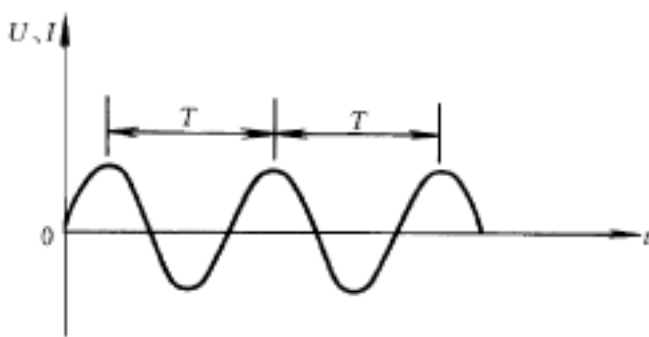


图 1 - 25 交流电的周期概念示意图

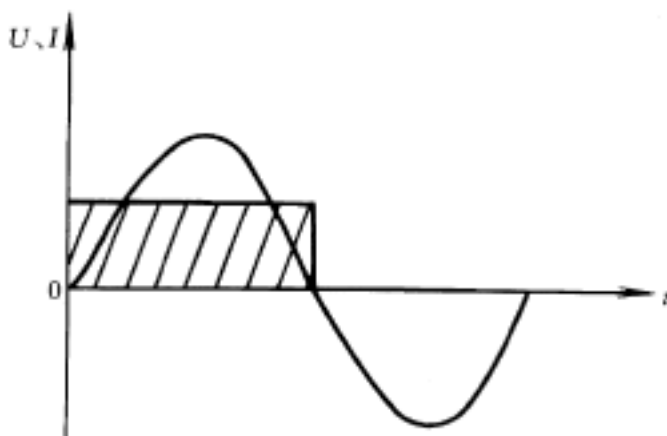


图 1 - 26 交流电平均值示意图

性,它们的周期如图中 T 所示。

3. 电阻器的其他特性

普通电阻器还有一些特性,它们与电阻电路的工作原理分析关系不大,主要说明下列两点。

普通电阻器是线性的,此外,还有非线性电阻器。

电阻器对电流存在阻碍作用,它是一个耗能元件,当电流流过它时,消耗的一部分电流将被转换成热能,所以电阻器会发热,当流过电阻器的电流太大时,电阻器温度升高很多,可能因为无法承受而出现烧坏故障,这是电阻器的过电流故障。

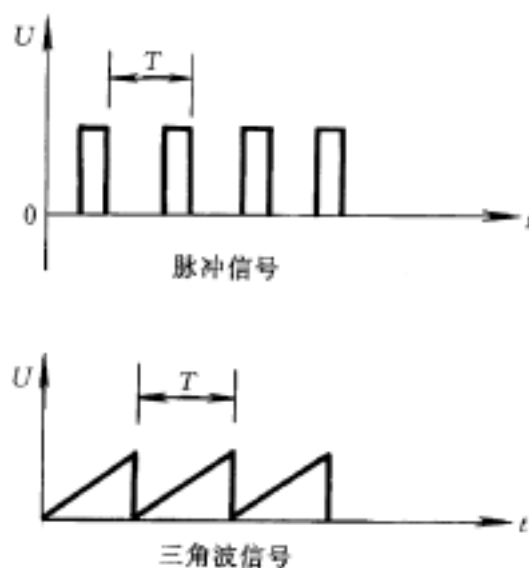


图 1 - 27 脉冲信号和三角波信号示意图

1 2 3 普通电阻器的电路作用和电路种类

1. 电阻器的电路作用

一个复杂的整机电路是由许多单元电路组成的。学好单元电路对学习整机电路是不可缺少的。纯电阻电路又是各种单元电路的基础电路,任何一个结构十分复杂的电路可以通过等效电路将它转换成纯电阻电路来理解和分析。

电阻器在电路中的作用十分广泛,在单独运用时,主要是构成分压电路和分流电路,在电路中,大量的运用是与其他元器件一起构成各种功能的电路。

电阻器在各种电路中的作用是不同的,电阻器所起的常见作用有下列一些。

在分压电路中的电阻称为分压电阻。

在分流电路中的电阻称为分流电阻。

在退耦电路中的电阻称为退耦电阻。

在阻尼电路中的电阻称为阻尼电阻。

在负反馈电路中的电阻称为负反馈电阻。

在隔离电路中的电阻称为隔离电阻。

2. 纯电阻电路的种类

上述一些电阻的具体作用将在后面陆续介绍,这里先介绍下列四种普通电阻器单独运用时构成的电路。

电阻串联电路。

电阻并联电路。

电阻串并联电路。

电阻分压电路。

1 2 4 纯电阻器串联电路

图 1 - 28 所示是电阻串联电路,电路中只有电阻器,没有其他的元器件,所以称为纯电阻

器电路。图 1 - 28(a)所示电路中,电阻 R_1 和 R_2 的引脚头尾相连,这种连接方式称为串联,从而构成两个电阻的串联电路, $+V$ 是该电路中的直流工作电压。

分析这一电阻串联电路时,要搞懂以下几个方面的问题。

1. 串联电路中总电阻愈串愈大

在电阻串联电路中,电阻串联后的总电阻会增大,即电阻串联愈多,电路中总的电阻就愈大,这里是两只电阻的串联电路,总电阻等于两只电阻之和,如果有更多的电阻串联,则串联电路的总

电阻 $R = R_1 + R_2 + R_3 \dots$ 电阻器串联电路中的总电阻等于各参与串联电阻器的阻值之和。

如果需要一只 2 k 的电阻器,而手上没有这一阻值的电阻器,但有两只 1 k 电阻器,将这两只电阻器串联后,就能得到所需要的 2 k 电阻器。

2. 串联电路中电流处处相等

在串联电路中,流过电阻 R_1 的电流是 I_1 ,流过电阻 R_2 的电流是 I_2 ,串联电路中总的电流是 I ,如图 1 - 28(b)所示,根据节点电流定律可知,流过各串联电阻的电流相等,且等于串联电路中的总电流,即 $I = I_1 = I_2$ 。如果电路中有三只或更多的电阻器相串联,流过各电阻器的电流都是相等的,且也等于串联电路中的总电流。

当电源电压 $+V$ 大小保持不变时,若串联电路中总的电阻在增大,则电路中总的电流将减小,流过串联电路中各电阻的电流也将减小。

电阻串联电路的这一电流特性揭示了这样的特性:串联电路中,各电阻器要么同时有电流流过,电路中有电流流动;要么各串联电阻器中都没有电流流过,电路中没有电流的流动。

电阻器串联电路的这一电流特性对检查串联电路的故障非常有用,只要测得电路中的任何一只电阻器有电流流过,便可以知道这一电路工作是正常的;反之,只要测量电路中任何一只电阻器中没有电流流过,那说明这一电路中没有电流的流动。

上面解说了利用电路特性指导电路故障检查的思路,在电路故障检修中,就是像这样对形形色色的故障进行逻辑分析和检查,如果不了解电路的工作原理和特性,检修工作就一定带有盲目性,甚至是错误的。

3. 串联电路的电压降特性

根据欧姆定律可知,电阻上的电压等于该电阻的阻值与流过的电流之积,即 $U = I \times R$ 。例如,电阻 R_1 上的电压降 $U_1 = R_1 \times I_1$,电阻 R_2 上的电压降 $U_2 = R_2 \times I_2$ 。在电阻串联电路中,由于电路中的电流处处相等,这样就可以方便地知道,阻值大的电阻器上的电压降大。例如,当 R_1 的阻值大于 R_2 的阻值时,电阻 R_1 上的电压降大于电阻 R_2 上的电压降,在分析串联电路中哪个电阻器上的电压降大时,就可以利用这一电路特性,找出电阻值大的电阻器即

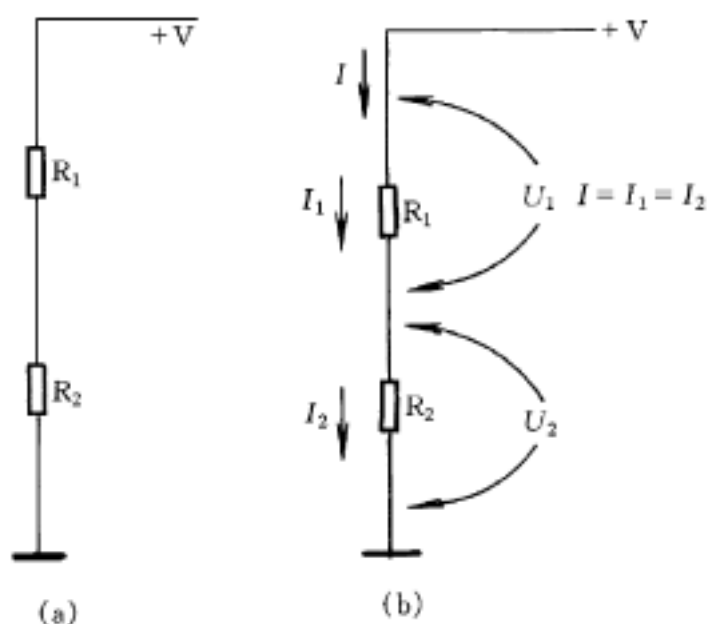


图 1 - 28 电阻串联电路

可，显然这样的电路分析相当简单，但如果不了解串联电路的这一特性，显然电路分析就不会如此简单。

在串联电路中，各电阻器上的压降之和等于电源电压 $+V$ ，如图 1 - 28(b) 所示电路，电阻 R_1 上的电压降是 U_1 ，电阻 R_2 上的电压降是 U_2 ， $U_1 + U_2 = +V$ 。

了解串联电路的电压特性，对电路故障的检修至少可以带来以下两点方便。

电路中测量电压比测量电流方便许多。测量电流时要断开测量点，然后串入万用表的表棒，而测量电压时不需要断开电路，直接将两支表棒并联在电阻器两端即可。当需要测量流过串联电路中电阻器 R_1 的电流时，两支表棒直接接触 R_1 的两根引脚，测量该电阻器上的电压降，再除以该电阻器的阻值，就得到流过电阻 R_1 的电流大小，该电阻器的阻值标注在电阻器外壳上，查看很方便。

如果测得串联电路中某个电阻器上的电压为 $0V$ ，同时直流工作电压 $+V$ 正常，就可以说明串联电路中没有电流，串联电路存在开路故障。反之，若测量某个电阻器上有电压，则说明这一串联电路工作基本正常。用这种测量电阻器两端电压的方法来检查串联电路是否开路是相当方便的。

4. 抓住串联电路中的主要矛盾

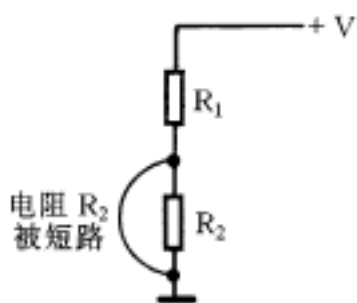
在电路分析中，要抓住电路中的主要矛盾，它是电路工作的关键，特别是电路中有许多元器件时，如果能及时地抓住电路中主要元器件的作用，无疑可以提高电路分析的速度和质量，这一点很重要。

在串联电路中，当其中某个电阻器的阻值远小于其他电阻器的阻值时，该电阻器的作用在电路分析中可以忽略不计。为了便于理解这一点，可以将该电阻器视为短路，即可以看成该电阻器两根引脚之间被一根电阻为零的导线接通，这样，串联电路中就只有电阻值大的那只电阻器存在。

在电阻串联电路的分析过程中，要抓住阻值大的电阻，它是串联电路中的主要矛盾，因为电阻值大的电阻器其电压降也大。

5. 串联电路中的短路特征

图 1 - 29 所示是串联电路短路示意图。电路中，原来电阻 R_1 和 R_2 串联，现在电阻 R_2 被短路，这时串联电路中会发生下列一些变化。



在电阻 R_2 短路后，串联电路中只有电阻 R_1 的存在，此时电路的总电阻值减小，就等于电阻 R_1 的阻值。

由于电路中的直流工作电压 $+V$ 大小没有变化，而串联电路的总电阻减小了，所以串联电路在电阻 R_2 短路后电流会增大。电路中电流增大量的多少与被短路电阻 R_2 的阻值有关，如果 R_2 的阻值比较大，短路后串联电路中的电流增大量就比较大，这会造成电源 $+V$ 的过电流（简称过流），当电源 $+V$ 无法承受过大的电流时，电源就有被烧坏的危险。所以，串联电路中短路现象是有害的。同时，由于增大的电

流也流过了串联电路中的其他电阻器（如流过 R_1 ），也会对其他电阻器造成过流，也存在损坏它们的危险。

在串联电路中,如果测量时发现流过某元器件的电流增大了,说明串联电路中存在短路现象。

由于串联电路中某个电阻短路后电流会增大,这样,流过串联电路中其他电阻器的电流也将会增大,其他电阻器上的电压降就会增大。

6. 串联电路中的开路特征

电阻串联电路发生开路现象时,无论串联电路中的哪个环节出现了开路,电路都将表现为一种现象,即电路中没有电流的流动。在串联电路中,一般情况下开路故障对电路的危害不大。

7. 线性电路

在公式 $U = RI$ 中,当 R 不变(为常数)时,改变 I 便有一个相对应的 U ,可画出 U 随 I 变化的特性曲线如图 1 - 30 所示,这种曲线称为伏—安(电压—电流)特性曲线,简称 $U - I$ 曲线,它是用来表示电压随电流变化情况的曲线,从图中可以看出这是一条直线。各种电子元件都有一条 $U - I$ 特性曲线,如果 $U - I$ 特性为直线,就能构成线性电路。

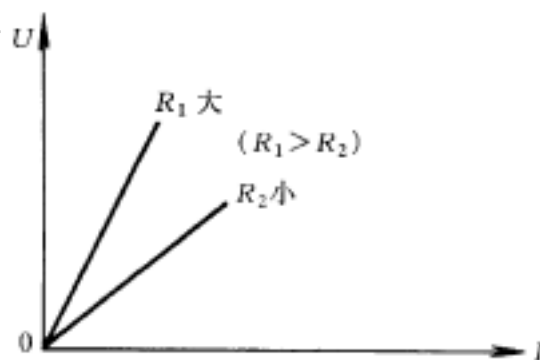


图 1 - 30 线性电阻的 $U - I$ 特性曲线

电阻值 R 不变的电阻称为线性电阻,由线性电阻(当然还有其他线性元器件)构成的电路称为线性电路。电子电路有线性电路和非线性电路两种,像电阻器构成的串联电路就是线性电路。通常,电子电路中大量使用线性电路,在没有特别说明的情况下,电路都是线性电路。

有些元器件有线性和非线性两重性,如晶体三极管,这类元器件可以构成线性电路,也可以构成非线性电路。

从特性曲线中还可以看出,当电阻 R 的大小不同时,其直线的斜率不同。当 R 大时,直线的斜率大,反之则小。

8. 几点说明

关于纯电阻器串联电路,还要说明下列两点。

上述分析中没有说明流过串联电路中电阻器的电流是直流电流还是交流电流,因为无论是流过直流电流还是交流电流,电阻器都有相同的电路作用。

上面介绍的是纯电阻器串联电路,这是其他各种串联电路的基础,实用电路中会出现其他元器件构成的串联电路,如电容器的串联电路、电阻器和电容器的串联电路等,这些串联电路都可以用纯电阻器串联电路进行等效,以理解它们的工作原理,所以纯电阻器串联电路是所有串联电路的基本电路。

1 2 5 纯电阻器并联电路

各种元器件均可以构成并联电路,电阻并联电路是最基本的并联电路,所有复杂的电路都

可以简化成电阻串联和电阻并联电路来进行工作原理的理解。

图 1 - 31 所示是电阻并联电路。图 1 - 31(a)所示电路中,电阻 R_1 和 R_2 两根引脚分别相连,构成两个电阻的并联电路, $+V$ 是这一电路的直流工作电压。

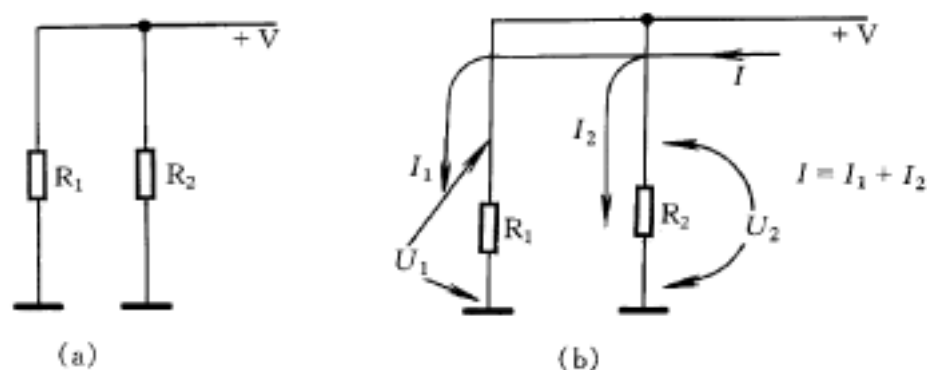


图 1 - 31 纯电阻器并联电路

分析这一电阻并联电路时,要搞懂以下几个方面的问题。

1. 并联电路总电阻愈并愈小

在电阻并联电路中,电路中的总电阻是愈并联愈小,这一点与串联电路的总电阻恰好相反。如果两只 20 k 的电阻器相并联,并联后总的电阻是其中一只电阻的一半,即为 10 k 。

在电阻并联电路中,各电阻并联后总电阻值 R 的倒数等于各参与并联电阻的倒数之和,即 $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots$ 。

2. 并联电路总电流等于各支路电流之和

图 1 - 31(b)所示电路中,流过电阻 R_1 的电流是 I_1 ,流过电阻 R_2 的电流是 I_2 ,并联电路的总电流是 I ,从电源 $+V$ 流出的电流分成两路,一路流过电阻 R_1 ,另一路流过电阻 R_2 ,根据节点电流定律可知,各支路电流之和等于回路中的总电流,对这一具体电路而言,是 $I = I_1 + I_2$ 。如果有更多的并联支路,便有 $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$ 。

在并联电路的各支路中,支路中的电流大小与该支路中的电阻器阻值大小成反比关系,阻值大的电阻器支路中的电流小,阻值小的电阻器支路中的电流大,从 $I = U/R$ 公式中,可以理解这其中的道理。当电阻 R_1 的阻值大于 R_2 的阻值时,电流 I_1 小于电流 I_2 。

3. 并联电路的分流作用

从并联电路中可以看出,电源 $+V$ 流出的总电流被分成两路,即总电流被分流了,将总电流 I 分成 I_1 和 I_2 。当有更多电阻并联时,可以将总电流分成更多的支路电流,只要适当选择各支路中电阻器的阻值,便能使各支路获得所需要的电流大小。这样的电路称为分流电路,在实用电路中到处可见。

4. 并联电阻两端电压相等

图 1 - 31(b)所示电路中,电阻 R_1 上的电压为 U_1 ,电阻 R_2 上的电压为 U_2 ,从电路图中可以看出,这两只并联电阻两端的电压相等,在这一具体电路中还等于直流工作电压 $+V$,因为电阻是与直流工作电压 $+V$ 直接并联。

5. 并联电路中主要矛盾是阻值小的电阻

并联电路中,若某一个电阻器的阻值远远大于其他电阻的阻值,则该电阻不起主要作用,可以认为它是开路的,这样电路中就留下阻值小的电阻器。分析并联电路时,就是要抓住阻值小的电阻器,它是这一电路中的主要矛盾,即阻值小的电阻器在并联电路中起主要作用,这一点与串联电路正好相反。

6. 并联电路中的开路特征

图 1 - 32 所示是并联电路中电阻 R_2 开路后的示意图。电路中,电阻 R_1 与 R_2 构成并联电路,但是 R_2 开路了,这样电路中就只有电阻 R_1 。这一并联电路中的 R_2 开路后,电路会发生如下变化。

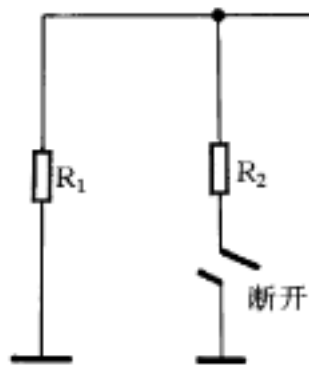


图 1 - 32 并联电路中电阻 R_2 开路后的示意图

这一并联电路的总电阻值增大,原先总电阻为 R_1 与 R_2 的并联值,现在为 R_1 , R_1 的阻值大于 R_1 与 R_2 的并联值。

对于直流工作电压 $+V$ 而言,电阻 R_1 和 R_2 是这一直流工作电压的负载。当负载电阻比较大时,流过负载电阻的电流就比较小,也就是要求电源 $+V$ 流出的电流比较小,通常将这一状态称为电源的负载比较轻。当负载电阻比较小时,流过负载电阻的电流就比较大,也就是要求电源 $+V$ 流出的电流比较大,通常将电路的这一状态称为电源的负载比较重。当并联电路中的某只电阻开路后,电路的总电流下降,说明电源的负载比较轻了。

电阻 R_2 支路中的电流为零,电阻 R_1 支路中的电流大小不变。

并联电路的总电流减小,因为 R_2 支路中的电流为零了。 R_2 支路开路后,这一并联电路的总电流不是为零,只是减小,这一点与串联电路不同。

电阻 R_2 的开路具体可以表现为这样几种形式:一是电阻器两根引脚之间的电阻体某处开裂;二是电阻器的一根引脚断路了;三是电阻器两根引脚所在的铜箔线路某一处开裂,这可视作电阻器开路。

7. 并联电路中的短路特征

图 1 - 33 所示是并联电路中电阻 R_2 短路后的示意图。电路中,电阻 R_1 与 R_2 构成并联电路,但是 R_2 被短路了,这样电路中的电阻 R_1 也同样被短路。这一并联电路中的 R_2 短路后,电路会发生如下变化。

并联电路中,起主要作用的是阻值小的电阻器,这是并联电路的一个重要特性。电阻 R_2 被短路后,这短路线就相当于一个电阻为零的“电阻器”并联在电阻 R_1 和 R_2 上,相当于是三只电阻器的并联电路。

在电阻 R_2 短路后,流过电阻 R_2 的电流 I_2 为零,因为电流从电阻值很小的短路线流过,而不从电阻值比较大的 R_2 流过。同理,电阻 R_1 中的电流 I_1 也为零。由此可见,在并联电路出现短路现象后,原来电路中的电阻 R_1 、 R_2 中均没有电流流过,

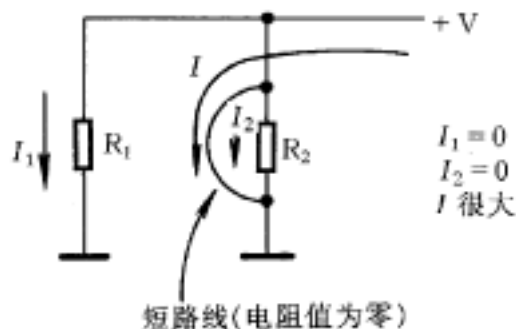


图 1 - 33 并联电路中电阻 R_2 短路后的示意图

这种情况的短路对电阻 R_1 和 R_2 没有危害,电流都集中流过短路线,这是电路短路的一个特征。

根据欧姆定律公式 $I = U/R$ 可知,由于短路线电阻值几乎为零,这样从公式可知,此时流过短路线的电流理论上为无穷大。实际电路中,由于电源 + V 的内阻影响,电流不会为无穷大,但绝对是很大的,而这一电流就是电源 + V 所流出的电流,显然这时对电源 + V 而言是重载,将有烧坏电源 + V 的危险。

上面所说的 R_2 短路是指 R_2 两根引脚之间被另一根导线短路,在自然发生的短路中情况并非如此,而是电阻器本身内部发生了短路,这时就会有很大的电流流过短路的电阻器,将这一电阻器烧坏。显然,这种元器件本身短路与元器件引脚之间被导线短路是不同的。但是,对电源而言这两种短路对电源的危害是一样的。

并联电路出现短路后,电路的变化不只是如此简单,还有更深层次的变化,下面从电源电动势、电压源等方面进一步进行解说。

8. 电源电动势概念

电源电动势是衡量电源转换电能能力的物理量,它的大小等于外力将单位正电荷从电源负极经电源内部移动到正极所做的功。电源电动势用 E 表示,电动势和电压的单位相同,都是伏特。

关于电动势和电压的比较,主要说明以下几点。

电动势和电压的物理意义不同,电动势表示了外力(非电场力)做功的能力,而电压表示电场做功的能力。例如电池在新的时候做功能力很强,电能充足,使用旧了之后做功的能力大大下降。

电动势只存在于电源的内部,而电压存在于电源的两端,并且存在于电源外部电路中,即电路中的两点之间。

电动势有方向,并且与电压方向相反,电动势方向是电位升高的方向,而电压方向是电位降低的方向。

当电源两端不接入负载时,电源端电压(就是电源两端的电压)在数值上等于电源电动势。在电源的内部存在内阻(这一概念将在后面介绍),它是影响电源端电压的一个重要因素。

在电源的外部电路中(称为外电路),电流是从高电位流向低电位的,这是电场力在做功。在电源的内部(称为内电路),电流则是从低电位流向高电位,这是外力在做功。电源如同一个“电荷泵”,将电源负极端的电荷提升到正极,使电源正极端的电位高于负极端的电位,使外电路中有电流流动。显然,有电流流动的电路是由外电路和内电路两部分组成的,外电路和内电路组成一个电流流动的闭合回路。

电源端电压的概念是这样:电动势的形成使正电荷移动到了电源的正极,负电荷移动到电源的负极,这样形成了电场,使电源的正、负极出现不同的电位,电源端电压等于电源正、负极之间的电位差。一般情况下所说的电源电压,就是这一电源的端电压。

9. 电压源与恒压源

电源实际上有下列两种类型。

电压源,它的特性是当电源的负载电阻大小在改变时,电源输出的电流随之在作相应的改变,但电源两端的电压大小基本不变(不是绝对不变),电子电路中常用的电源和信号源就是具有这种特性的电压源。

电流源,它的特性是当电源的负载电阻大小在改变时,电源两端的电压随之作相应改变,但电源所输出的电流大小基本不变(不是绝对不变),电子电路中这种特性的电源和信号源用得比较少。

图 1 - 34 所示是电压源结构示意图和特性曲线。图 1 - 34(a)所示虚线框内是电压源的电路符号,也表示了它的结构,从中可以看出,电压源是由恒压源 E 和电源内阻 R_0 串联而成的,内阻 R_0 并不是一个有形电阻器,而是存在于电源内部的一个等效损耗电阻。电压源两端的电压(电压源引脚之间的电压) U 称为这一电压源的端电压,即这一电压源能够实际向外电路提供的电压大小。

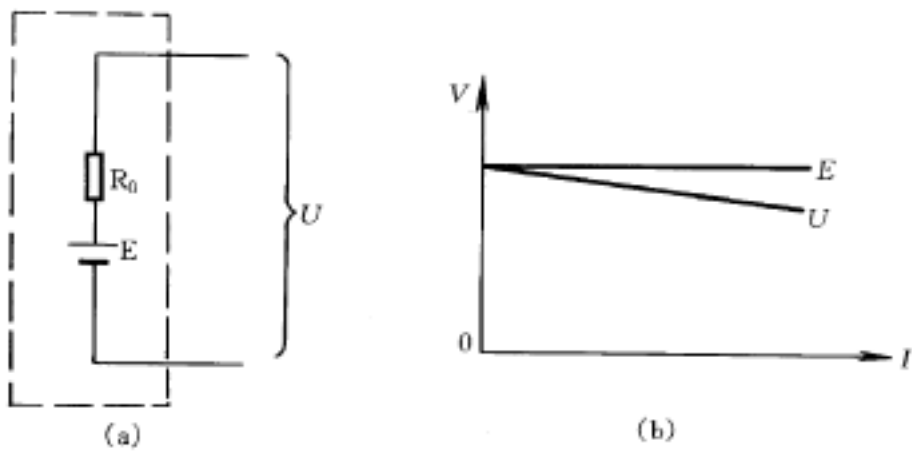


图 1 - 34 电压源结构示意图和特性曲线

恒压源 E 是一个理想的电压源,它的输出电压大小不随负载电阻的大小变化而变化,见图 1 - 34(b)所示中的直线 E 。任何一个电压源都希望是这样一个恒压源,但是实际的电压源中,不可能达到这样良好的电压输出特性。

电源的内阻 R_0 是任何一个电源都有的等效电阻,只是有的电源内阻大,有的电源内阻小,它的作用同普通电阻器一样,对流过电源内部的电流起着阻碍作用,显然我们希望这一电源内阻为零,但实际上不可能,所以只能希望电源内阻愈小愈好。由于内阻 R_0 与恒压源 E 是串联的,所以流过恒压源 E 的电流要全部流过内阻 R_0 ,这样会在电源内阻 R_0 上产生电压降。

所谓端电压 U 是电压源两端的实际电压,它不等于恒压源的输出电压 E ,比 E 要小,具体小多少与许多因素有关,下面用如图 1 - 35 所示电路来说明。

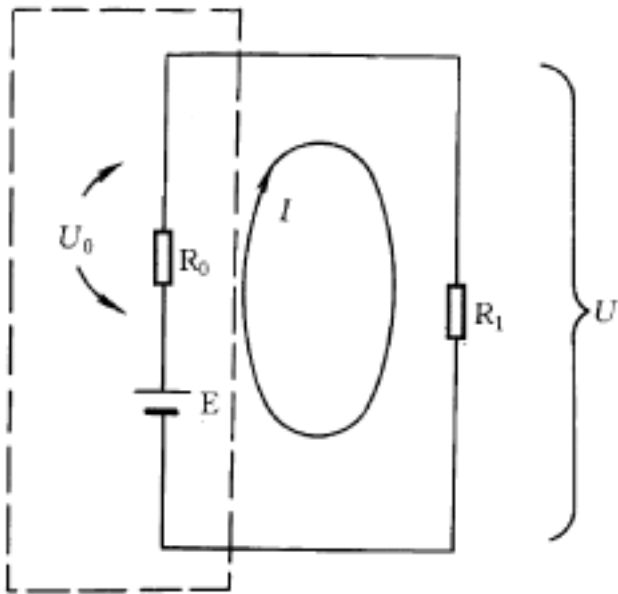


图 1 - 35 求解电压源端电压示意图

电路中, R_1 是电压源的负载电阻, R_0 是电压源的内阻, E 是恒压源, I 是这一电路中的电流, U 是这一电压源的端电压, U_0 是内阻 R_0 上的电压降。根据全电路欧姆定律(所谓全电路就是含电源的电路)公式,可以求解电路中的电流 I 和端电压 U ,如下所示

$$I = \frac{E}{R_1 + R_0}$$

这表明全电路中的电流与 E 成正比,与 R_0 和 R_1 之和成反比。

$E = U_0 + U$, 或 $U = E - U_0$, 这说明电源端电压 U 是恒压源的输出电压 E 与内阻 R_0 上的压降 U_0 之差,当电源内阻很小而可以忽略不计时,电源的端电压 U 就等于恒压源的输出电压 E ,这是理想电源的电压输出情况。

当电源不接负载时,电源的端电压 U 等于电源的电动势,因为电源不接负载时没有电流流过电源的内阻,所以在内阻上没有电压降,即 $U_0 = 0$,此时 $E = U$,也就是如图 1 - 34(b)所示曲线中 0 点所对应的电压。

当电源内阻 R_0 一定时,如果电流增大,在内阻 R_0 上的压降增大,使电源端电压 U 下降,电流 I 愈大,电源端电压 U 愈小,如图 1 - 34(b)中 U 曲线所示。

由上述分析可知,闭合电路中电源端电压 U 小于电源电动势 E 。

电源内阻 R_0 对电源端电压 U 有影响,且影响相当大。当电源不接负载时,电源端电压 U 等于恒压源 E ,这时不能表明内阻 R_0 对电源的影响。电源内阻 R_0 大小不同时,内阻 R_0 愈大,电源输出的电流愈小,所以电源内阻 R_0 影响电压源的电流输出能力。例如,一节用旧的电池,如果测量它的端电压,可能为 1.4V 左右,可是将它放在手电筒里之后,并不能使小电珠发光,这是因为旧电池内阻太大了,无法输出足够大的电流来使小电珠发光。

10. 负载短路和开路对电源的影响

由于负载电阻被短路,使负载两端的电压 $U = 0$,这样流过负载的电流 $I = 0$,这时因为 $I = U/R$, $U = 0$,所以 $I = 0$ 。

流过负载电阻的电流是等于零了,但并不是表示流过电源的电流也等于零,恰恰相反,流过电源的电流增大了许多。由于负载电阻短路,电源处于短路所在的回路中,如图 1 - 36 所示。此时这一回路中的电流 $I = E/R_0$,由于电压源的内阻 R_0 通常很小,所以此时的电流 I 很大,这一电流称为短路电流。

由于短路时流过电源的电流很大,这一电流是电源输出的,它全部流过电源内部的内电阻,电源起初会发热,温度高到一定程度后就超出了电源的承受能力,最终会烧坏电源。电路的这种状态称为电源短路。

电路发生短路是相当危险的,很容易损坏电源和电路中的其他元件。使用中,要防止电源短路。

发生短路时,电源的端电压 U 等于 0V。

负载电阻开路时电路中没有电流的流动,即没有电流流过负载和电源本身。对于电源而言,这种状态称为电源的空载,相当于电源没有接入负载。

开路后,对负载没有危害,一般情况下,对电源也不存在危害,但有些情况下,负载开路会损坏电源。

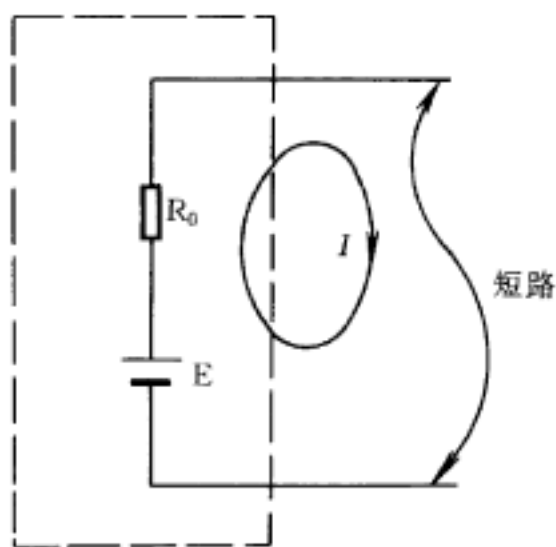


图 1 - 36 电源电路短路示意图

1 2 6 纯电阻器串并联电路

图 1 - 37 所示是由三只电阻器构成的电阻器串并联电路。电路中,电阻 R_1 和 R_2 并联,然后再与电阻 R_3 串联,这就是纯电阻的串并联电路。图 1 - 37(a)和图 1 - 37(b)所示电路是一样的,只是电路图的画法不同,在实际的整机电路中,会出现各种各样的电路图画法,这也是初学者有时无法看懂电路的原因之一。

纯电阻器的串并联电路还可以有其他的电路形式,可以有更多的电阻器进行串并联,串并联电路的特征是,电路中的部分电阻器进行并联,然后再与电阻器进行串联。除电阻器可以构成串并联电路之外,其他的各种元器件都可以构成串并联电路,电阻串并联电路是最基本的串并联电路。

串并联电路具有串联电路和并联电路的一些共同特性。

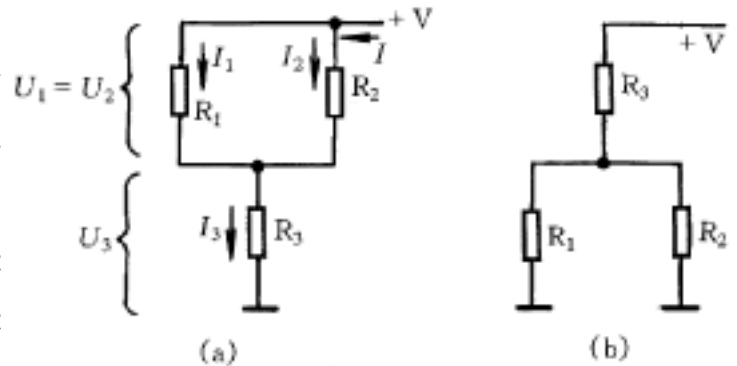


图 1 - 37 纯电阻器串并联电路

1. 串并联电路的总电阻

在电阻器的串并联电路中,电路的总电阻等于各并联电阻的并联值与其他串联电阻值之和,即电路中的 R_1 与 R_2 并联后,再与电阻 R_3 串联。

如果需要计算串并联电路的总电阻(在电路分析中往往不必进行阻值的计算)时,为了方便起见,先计算所有并联电阻器的并联阻值,然后进行串联计算。

2. 串并联电路的电流特性

图 1 - 37(a)所示是电阻串并联电路,电路中的总电流为 I ,流过电阻 R_1 的电流为 I_1 ,流过电阻 R_2 的电流为 I_2 ,流过电阻 R_3 的电流为 I_3 ,电路中的总电流 I 分别通过电阻 R_1 和 R_2 ,再通过电阻 R_3 流到地端。

电路中,总电流 $I = I_1 + I_2 = I_3$ 。

从这一电路中可以看出下列几点。

当并联电阻器中有一只开路时,串并联电路中的电流不会消失,例如 R_1 开路后仍然有电流流过电阻 R_2 ,此时电路的总电流只是有所减小。但是,如果参与并联的两只电阻 R_1 和 R_2 同时开路时,电路中就没有电流的流动。在正常情况下,两只电阻器同时开路的故障可能性比一只电阻器开路的可能性小了许多。

在串并联电路中,当串联的电阻器开路时,即电路中的电阻 R_3 开路后,电路中就没有电流流动,因为电阻 R_3 要构成流过电阻 R_1 和 R_2 电流的回路。显然,在电阻串并联电路中,不同位置的电阻器发生开路后,对整个串并联电路的影响是不同的。

在串并联电路中,任何一只电阻器短路,都不会造成电源的直接短路,例如电阻器 R_3 短路后,还有电阻器 R_1 和 R_2 作为电源的负载;当电阻 R_1 短路后,还有电阻 R_3 作为电源的负载(R_2 因为被 R_1 短路而不起作用)。通过上述电路分析可知,这种串并联电路有利于防止电源的直接短路,实用的电路一般都是相当复杂的串并联电路,所以当某一个元器件出现短路现

象时,并不会造成电源直接短路的严重后果。

3. 串并联电路的电压特性

图 1 - 37(a)所示,电阻 R_1 和 R_2 上的电压 U_1 、 U_2 相等,电阻 R_3 上的电压为 U_3 , R_1 上电压与 R_3 上电压之和等于 $+V$ 。

在电路分析中会出现这样一个问题,即当电路中的电阻 R_1 开路后,电阻 R_3 上的电压是增大还是减小。分析这一问题的关键是看电阻 R_1 开路后,流过电阻 R_3 的电流是增大还是减小,因为电阻两端的电压等于流过电阻器的电流乘以电阻值, R_3 电阻值在 R_1 开路前与开路之后是不变的。

由于流过电阻 R_3 的电流是这一电路中的总电流,而在电压 $+V$ 不变时(电路中的 $+V$ 不会改变),电路的总电阻大小决定了电路中的电流大小。这样,这一问题的分析就变成了 R_1 开路前后这一串并联电路总电阻的变化。

电阻 R_1 开路前, R_1 与 R_2 是并联的,并联电路使总电阻减小,这样在 R_1 开路后只有电阻 R_2 ,与原来的 R_1 和 R_2 并联阻值相比,电阻值增大。由此可知,在 R_1 开路后这一串并联电路的总电阻是增大了,所以这一串并联电路的总电流是减小了,流过电阻 R_3 的电流减小,在 R_3 上的电压减小。

通过上述分析可知,分析电阻 R_1 开路后电阻 R_3 上的电压是增大还是减小时,对电路的分析是一步步进行的,在整个分析过程中,运用了前面所讲的各种电路特性,电路分析就是这样一种将各种各样的电路特性综合起来运用的过程。

1 2 .7 电阻分压电路

分压电路是一个十分重要的实用电路,在复杂的整机电路中处处可见。电阻分压电路是各种分压电路的基础,由其他元器件也可以构成分压电路。

图 1 - 38 所示是没有负载的电阻分压电路。从图中可以看出,它由两个电阻 R_1 和 R_2 组成,在输出电压 U_o 端没有接入负载电阻,所以这是没有负载的电阻分压电路。输入电压 U_i 可以是直流电,也可以是交流电,它加在电阻 R_1 和 R_2 上,输出电压 U_o 是取自电阻 R_2 上的电压。

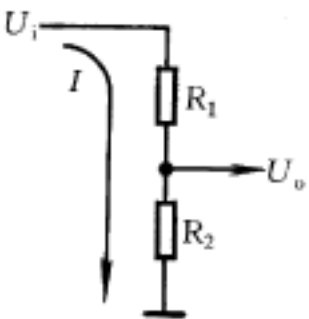


图 1 - 38 没有负载的
电阻分压电路

关于这一电阻分压电路,要说明以下几个问题。

1. 分压电路输出电压大小分析

从电路中可以看出,输出电压 U_o 就是电阻 R_2 上的电压,电阻 R_2 的阻值大小是已知的,只要知道流过电阻 R_2 的电流,就能知道输出电压 U_o 的大小。

输入电压 U_i 产生的电流 I 流过电阻 R_1 和 R_2 ,电阻 R_1 和 R_2 是串联电路,这样,流过电阻 R_2 的电流就是流过电阻 R_1 的电流,其电流由下列公式计算

$$I = \frac{U_i}{R_1 + R_2}$$

输出电压 U_o 等于流过电阻 R_2 的电流乘以电阻 R_2 ,即 U_o 由下式计算

$$U_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_i$$

式中: U_i 为输入电压;

U_o 为输出电压。

从上式可看出, 由于 $R_1 + R_2$ 的阻值大于 R_2 , 分压电路的输出电压 U_o 小于输入电压 U_i , 所以分压电路具有将输入电压进行减小的电路功能, 当一个电路中的工作电压过高而需要降低时, 就可以使用这种分压电路来实现, 所以分压电路又可以称为分压衰减电路, 这里的衰减就是对输入电压进行降低。

2. 分压电路输出电压调整分析

从上述公式中还可以看出, 改变电阻器 R_1 或 R_2 的阻值大小, 可以改变输出电压的大小。当两只电阻器的阻值相等时, 其输出电压等于输入电压的一半。

如图 1 - 38 所示, 当输入电压和电阻 R_1 不变时, R_2 的阻值增大, 电路的输出电压也增大。为了方便这一特性的记忆, 可以用一个极限情况来说明, 当 R_2 的阻值增大到开路时, 就变成如图 1 - 39 所示电路, 此时 R_1 中没有电流流动(因为 R_2 断开后电流没有流到地线的回路), 即 $I = 0$, R_1 上的压降 $U_1 = I \times R_1 = 0$, 而输出电压 $U_o = U_i - U_1$, 因为 $U_1 = 0V$, 所以 $U_o = U_i$ 。这样, 在电阻 R_2 开路时, 分压电路的输出电压等于输入电压。这是分压电路中的一个重要电路状态, 电路分析中时常用到这一结论。

如图 1 - 38 所示, 当输入电压和电阻 R_1 不变时, 电阻 R_2 的阻值减小, 分压电路的输出电压也在减小。为了方便这一特性的记忆, 也可以用一个极限情况来加以说明, 当 R_2 的阻值减小到零时, 分压电路变成了如图 1 - 40 所示的电路, 此时分压电路的输出端接地, 输出电压为零。

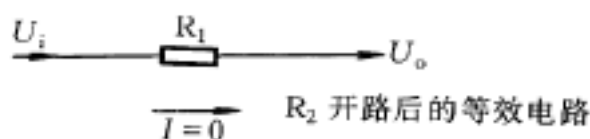


图 1 - 39 电阻 R_2 开路后示意图

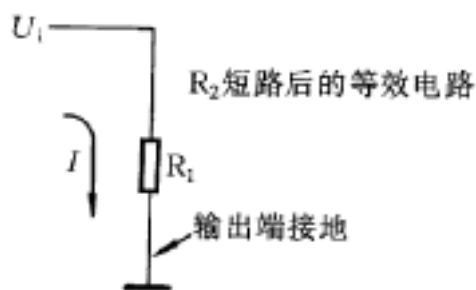


图 1 - 40 电阻 R_2 短路后示意图

如图 1 - 38 所示, 如果输入电压和电阻 R_2 不变, 若电阻 R_1 的阻值增大, 输出电压将减小, 也可以用一个极限情况来记忆这一特性, 即 R_1 的阻值增大到开路, 此时输入电压就无法加到分压电路的输出端, 所以此时输出电压为零。

如图 1 - 38 所示, 如果输入电压和电阻 R_2 不变, 若电阻 R_1 的阻值减小, 输出电压将增大, 也可以用一个极限情况来记忆这一特性, 即 R_1 的阻值减小到短路, 此时分压电路变成了如图 1 - 41 所示电路, 从图中可以看出, 这时分压电路的输出端就是输入端, 当然有输入电压等于输出电压。

上述分压电路的四种情况要掌握, 在一些电路分析中, 为了便于理解电路的工作原理, 常将电路中元器件的阻值

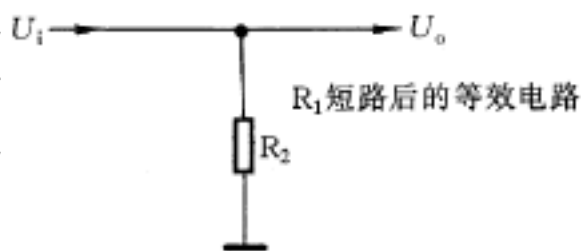


图 1 - 41 电阻 R_1 短路后示意图

向开路、短路这两个极限方向进行假设,以方便分析电路的工作原理。

3. 分压电路的变异画法

分压电路不仅可以由电阻器构成,任何电子元器件都可以构成分压电路。在实用的整机电路图中,分压电路的画法也有许多变化,不了解分压电路的电路特征,就很难分辨出哪些是分压电路,哪些不是分压电路。

图 1 - 38 所示是电阻分压电路的典型画法,从这一电路图中可以看出分压电路的特征,即输入电压加在两个串联的电阻上,而输出电压取自 R_2 这只电阻上的电压,根据这一电路特征,可以掌握分辨分压电路的方法。

图 1 - 42 所示是一些电阻分压电路的变形画法,它们都是分压电路。

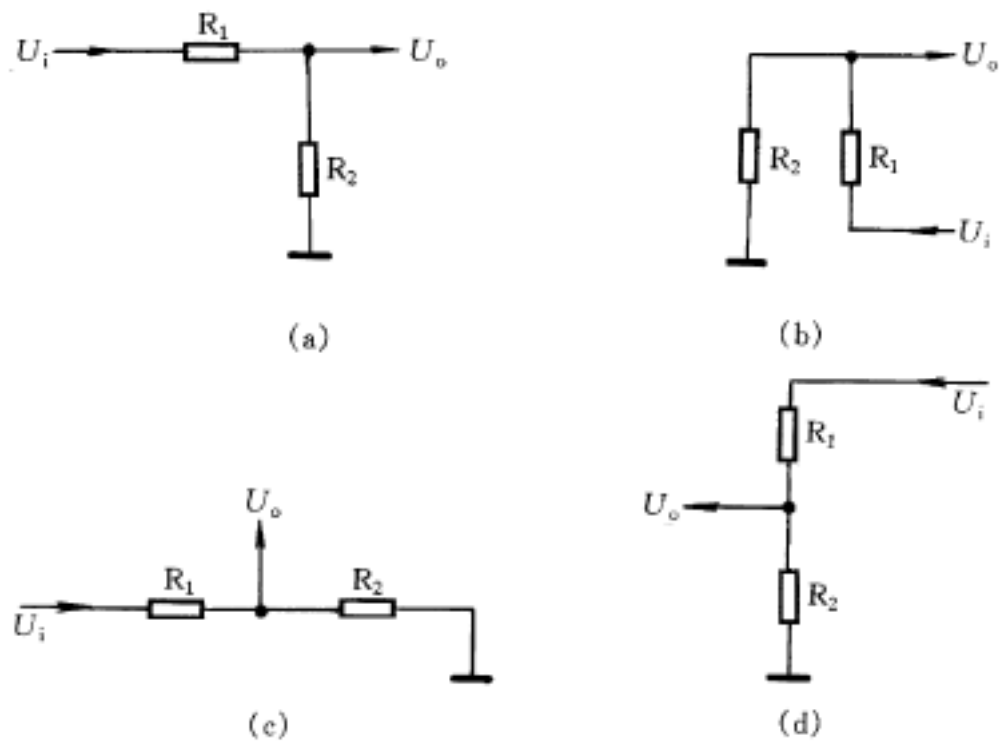


图 1 - 42 变形画法的电阻分压电路

显然,记住这些电阻分压电路图的具体画法是很困难的,但只要掌握前面介绍的分压电路特征,就能方便地分辨出它们是分压电路,这里以图(b)所示电路为例,输入电压产生的电流流过电阻 R_1 和 R_2 ,输出电压取自于电阻 R_2 上,所以这是分压电路。

在实用的整机电路图中,通常不会标出电路的输入端和输出端,更不会标出输入电压 U_i 、输出电压 U_o 的标记,这给电路分析又带来了困难。只有通过掌握识图规律和进行大量的识图练习,才能克服这些困难。

4. 有负载的电阻分压电路

图 1 - 38 所示电阻分压电路的输出端没有接负载,但实用电路中,分压后的电压要加到另一个电路中,即加到负载电路上,这一负载电路可以是一个具有具体功能的电路,也可以是某个元器件。图 1 - 43 所示是在分压电路输出端接有负载电阻 R_3 的分压电路。

在掌握了如图 1 - 38 所示电阻分压电路的工作原理后,只要将电阻 R_2 和 R_3 并联电路用一只电阻器等效,这一电路的分析就同图 1 - 38 所示电阻分压电路的分析一样。

输入电压经过电阻 R_1 和 R_2 的分压,加到电阻 R_3 上。由于分压电路的作用,在负载 R_3 上

的电压,比输入电压要小。

电阻 R_2 和 R_3 并联后仍然为一只电阻,如图 1 - 44 所示,就是等效成一只电阻 R_4 , R_4 的阻值是 R_2 和 R_3 并联后的阻值,用 $R_2 \parallel R_3$ 表示。

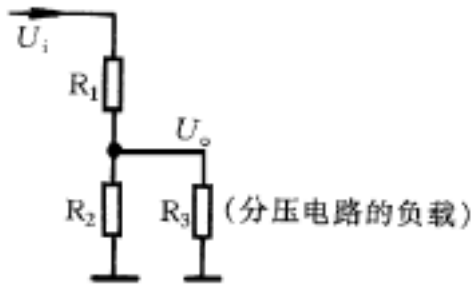


图 1 - 43 接有负载电阻的电阻分压电路

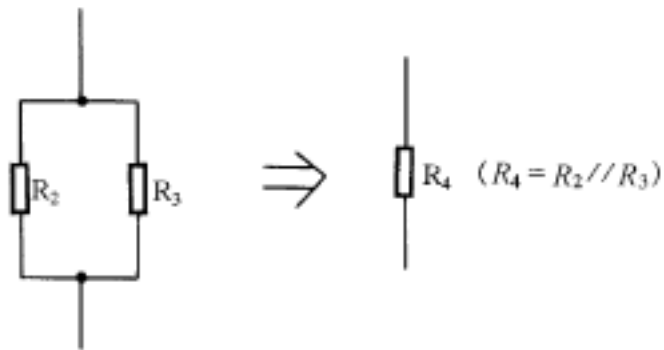


图 1 - 44 电阻 R_2 和 R_3 并联等效电路

5. 等效电路图

图 1 - 44 所示电路称为等效电路图。等效电路图是一种简化形式的电路图,它的电路形式与原电路有所不同,但电路所起的作用与原电路是一样的(等效的)。等效电路图更利于电路工作原理的理解和接受,在分析一些电路时,采用这种更利于接受的电路形式去代替原电路,可方便电路工作原理的理解。

等效电路的特点是电路简单,是一种常见、易于理解的电路。等效电路图在整机电路图中见不到,它出现在电路原理分析的图书中,是一种为了方便电路工作原理分析而采用的电路图。

等效电路图主要有列三种。

元器件等效电路。对于一些新型、特殊元器件,为了说明它的特性和工作原理,用到这种等效电路。

直流等效电路。这一等效电路只画出原电路中与交流相关的电路,省去了交流电路,在分析直流电路时才用到这种等效电路。画直流等效电路时,要将原电路中的电容看成开路,而将线圈看成通路。

交流等效电路。这一等效电路只画出原电路中与交流信号相关的电路,省去了直流电路,这在分析交流电路时会用到。画交流等效电路时,要将原电路中的耦合电容看成通路,将线圈看成开路。

关于等效电路图识图方法,主要说明以下几点。

分析电路时,可以用等效电路去直接代替原电路中的电路或元器件,用等效电路的特性去理解原电路的工作原理。

三种等效电路是有所不同的,要搞清楚是哪种等效电路。

分析复杂电路时,通过画出直流或交流等效电路后再进行复杂电路的分析,这样比较方便,且易于理解。

不是所有的电路都需要通过等效电路图去理解。

1 2 8 普通音量控制器电路解析

普通音量控制器电路是一个典型的分压电路应用实例。音量控制器电路广泛地用于收音

机、录音机、电视机等各种家用电器中,可以这样说,只要有扬声器出声音的电子设备,就必须用到音量控制器电路。

电位器是一种阻值可以在一定范围内连续调节的电子元件。音量控制器电路中主要使用音量电位器,这里介绍电位器的有关常识。

电位器的种类很多,这里只对它作一些简单的分类。

按照操纵形式划分,主要有两种:一是旋转式(或转柄式)电位器,这种电位器有一个转柄,在调节阻值时左、右旋转电位器的这一转柄;二是直滑式电位器,它的操纵柄不是旋转动作的,而是在一定范围内作直线滑动来改变电阻值。直滑式电位器由于操作形式不同,要求有较大的操作空间。

按照联数来划分,主要有两种:一是单联电位器,即一个操纵柄只能控制一个电位器的阻值变化,这种电位器应用最为广泛;二是双联同轴电位器,它的外形与单联电位器基本一样,它有两个单联电位器的基本结构,但用一个操纵柄同步控制两个电位器(组合在一起)的阻值变化,这种电位器主要用于音响电路中。

按照有无开关划分,主要有两种:一是无附设开关的电位器,这是最常用的一种;二是设有开关的电位器,这种电位器常用来作为收音机的音量电位器,其附设的开关可作为收音机的电源开关。

按照输出函数特性划分,常用的电位器有三种:一是线性电位器(用X型表示);二是对数式电位器(用D型表示);三是指数式电位器(用Z型表示)。此外,还有S型电位器等许多种。

在分析音量电位器电路之前,先介绍一些分析这一电路所必须了解的准备知识。

1. 电位器的外形特征

电位器是一种与电阻器非常类似的元器件,它也是一种具有电阻作用的元器件,但是,它的电阻值可以大小变动,最小可以为零,最大可以达到标称阻值。另外,电位器的体积远比普通电阻器大得多,且外形特征也完全不同。

电位器的种类比较多,各种具体电位器的外形特征也有所不同,图1-45所示是三种常见电位器的外形示意图。图1-45(a)和图1-45(c)所示都是单联电位器,图1-45(b)所示是双联同轴电位器。

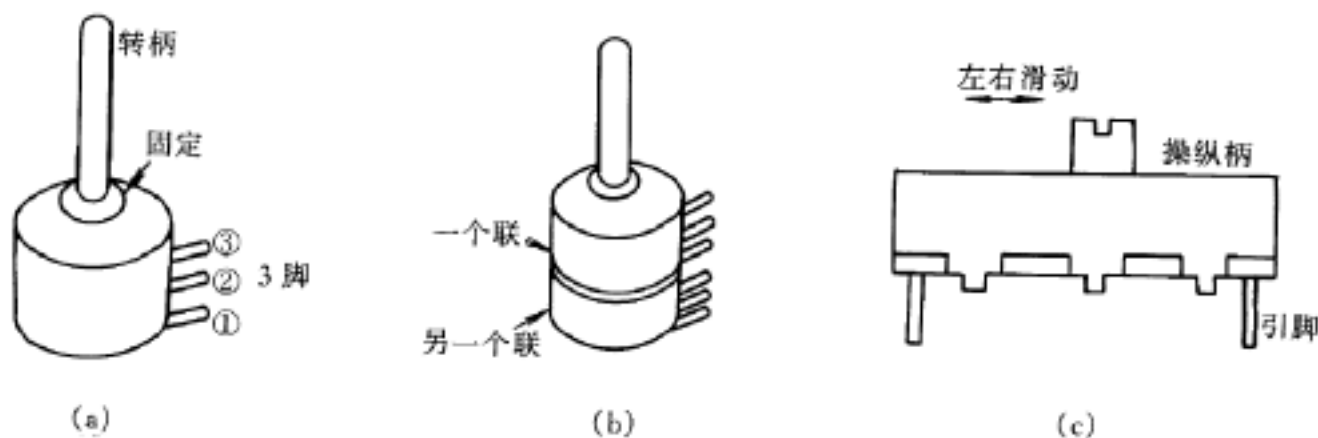


图 1 - 45 三种常见电位器外形示意图

常见电位器具有下列一些特征。

前两种电位器是圆形的,它有一根转柄,转柄可长可短,调整电位器的阻值就是转动这一转柄,如图 1 - 45(a)和 1 - 45(b)所示。

单联电位器通常有三根引脚,图 1 - 45(a)这种电位器上就有三根引脚(有的是四根引脚),如果有第四根引脚,则是接电位器金属外壳的引脚,电路中它是接电路地线的,用来减小转动电位器转柄时的人体感应噪声。在电路的实际使用中,电位器通常用三根引脚,个别情况下可以只用两根引脚。

第三种电位器是长方形的,如图 1 - 45(c)所示,它有一个操纵柄,此柄只能做直线滑动而不能转动,在调整电位器的阻值时,就是左右移动这一操纵柄。这种电位器的引脚片向下引出。

电位器的体积通常都比较大,具体的电位器体积也有大有小。

虽然各种电位器外形特征比较相近,但它们的具体阻值特征在不同类型的电位器中有着较大的不同。

2. 电位器的电路符号

图 1 - 46 所示是电位器的电路符号。图 1 - 46(a)所示是电位器的一般电路符号,因为电位器在使用中一般情况下它的一根引脚接地,所以这一符号中的一根引脚接地了。电位器的电路符号中,以前用大写字母 W 表示电位器,最新国标规定用 RP 来表示,RP 是英文 Resistor Potentiometer(电位器)的缩写。

图 1 - 46(b)所示是电位器的另一种电路符号,当电位器的引脚在电路中不需要接地线时,将使用这种电路符号。

图 1 - 46(c)所示是将电位器作为可变电阻器(一种与电位器类似、更为简单的元器件)使用时的电路符号,此时与可变电阻器的电路符号一样,电位器作为可变电阻器使用时,可以只用电位器三根引脚中的两根。

图 1 - 46(d)所示是附带开关的电位器电路符号,电路符号中的 RP 是电位器, S_1 是附加在电位器上的开关。开关 S_1 是受电位器 RP 的转柄动作控制的,当开始转动转柄时,首先将开关 S_1 接通,在开关接通之后,这一电位器便同普通电位器一样。这种电位器主要用于一些收音机电路中。

图 1 - 46(e)所示是双联同轴电位器的电路符号,它由两个电位器符号组成,并用虚线将两个电位器的动片连起来,表示这两个电位器的控制是同步的,当转动电位器的转柄时,两个电位器的阻值同步等值变化。

3. 结构和工作原理

图 1 - 47 所示是电位器内部结构和工作原理示意图。从图中可以看出,电位器内部主要由动片、电阻片(碳膜体)、三根引脚片等组成,这些部件装在一个金属外壳内。

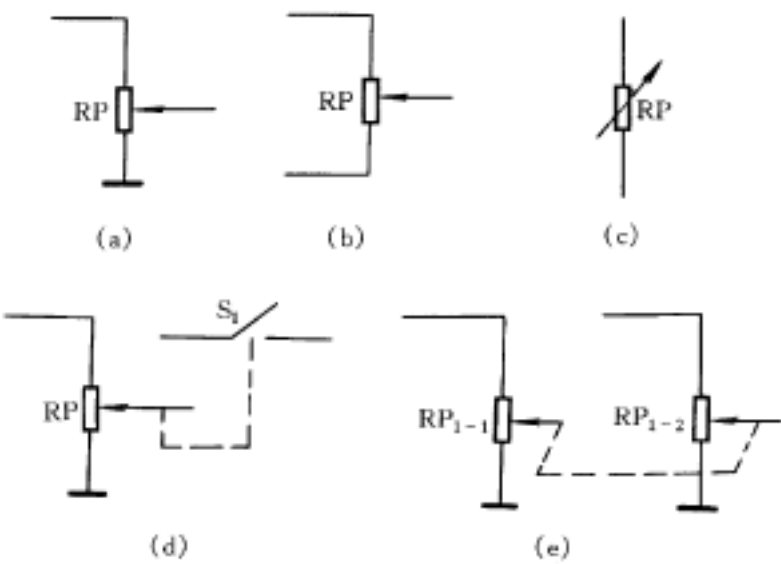


图 1 - 46 电位器的电路符号

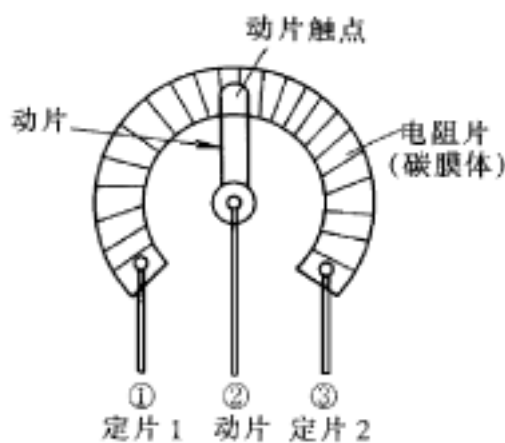


图 1 - 47 电位器内部结构和工作原理示意图

从图中可以看出,在三根引脚中两根为定片,一根为动片。当转动电位器的转柄时,就是让动片转动,动片顶端的触点在电阻片上可以滑动。电阻片是一个电阻体,同一个电阻体上两点之间的长度愈长,其两点间的电阻愈大。

可变电阻器共有三根引脚,从图中可以看出,当动片 逆时针方向转动时,定片 与动片 之间的电阻片长度在减小,其阻值也随之在减小(电阻片愈短电阻值愈小),而动片 与定片 之间的电阻片长度在增加,这样动片与定片 之间的阻值在增大。

当动片 转动到最左端时,定片 与动片 之间的阻值为零,而动片 与定片 之间的阻值为最大,即等于这一可变电阻器的标称阻值,也是电位器的最大电阻值。

当动片 顺时针方向转动时,定片 与动片 之间阻值在增大,动片 与定片 之间阻值在减小。当动片 滑动到最右端时,动片 与定片 之间的阻值为零,动片 与定片 之间的阻值为最大(等于标称阻值),即等于两定片之间的阻值。

4. 电位器的特性

电位器有许多的特性,这里说明如下。

从上述电位器的工作原理分析中可以知道,电位器动片与某一定片之间的阻值可以连续地改变,阻值可以从零变化到最大值(电位器的标称阻值)。

电位器两个定片之间的阻值是确定的,其值为电位器的标称阻值,不同型号电位器其标称阻值是不同的,这一点如同普通电阻器一样。

当动片触点在电阻片上滑动,动片到一个定片的阻值在减小时,动片到另一个定片的阻值在增大,当动片与一个定片之间的阻值为零时,动片到另一个定片的阻值为最大值(该电位器的标称值)。

5. 三种常用电位器的特性

这里介绍 X 型、D 型和 Z 型这三种常用电位器的阻值分布特性。

X 型电位器称为线性电位器。它的阻值分布特性是线性的,即当动片从起始端均匀滑动时,阻值也在均匀地增大。在动片滑动的整个行程内,动片触点移动的单位长度内,阻值变化量处处相等,可用如图 1 - 48 所示中的 X 曲线(为直线)来表示。

图中,横坐标表示电位器动片触点的机械行程,纵坐标表示动片与一个定片之间的电阻变化值。从图中可以看出,X 型电位器的阻值变化特性是一条直线,这称为是线性的。

在这种电位器中,当动片转动到最后(全行程),动片到地端定片之间的阻值等于这一电位器

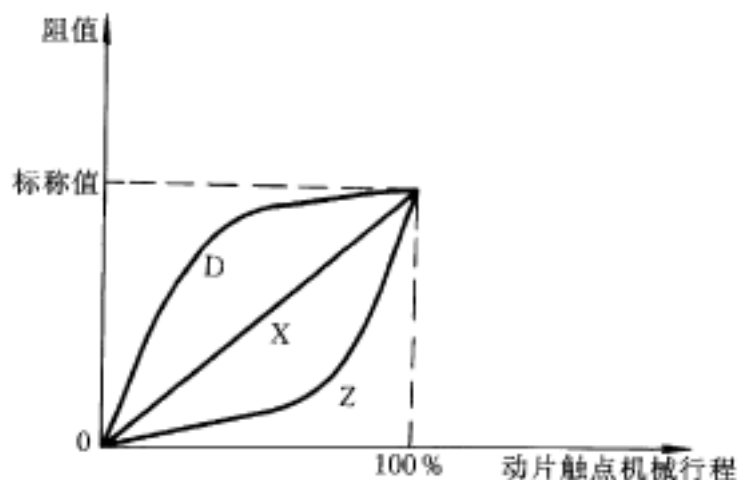


图 1 - 48 三种电位器阻值分布特性曲线

的标称阻值。当动片转动至一半机械行程处时,动片到两个定片之间的阻值是相等的,这种电位器的两个定片可以不分。

X 型电位器主要用于音响设备中作为立体声平衡控制电位器。

Z 型电位器称为指数型电位器。这种电位器的阻值分布规律如图中的 Z 曲线所示,是非线性电位器(特性曲线不是直线)。

从 Z 曲线中可以看出,动片均匀滑动,动片触点刚开始滑动(顺时针方向转动转柄)的那部分,阻值(动片与地端定片之间的阻值)上升比较缓慢,动片触点滑到后来,阻值迅速增大,这一阻值分布特性同指数曲线一样,所以称为指数型电位器。

从 Z 曲线中可以看出,当动片转动到最后(全行程),动片到地端定片之间的阻值等于这一电位器的标称阻值。当动片转动至一半机械行程处时,动片到两个定片之间的阻值是不相等的,到地端定片的阻值远小于到另一个定片的阻值,所以这种电位器的两个定片之间不能互换使用。

Z 型电位器主要用于音量控制器电路中作为音量电位器。

D 型电位器又称对数型电位器,它同 Z 型电位器一样,属于非线性电位器,它的阻值分布特性见图中的 D 曲线所示。

从图中可以看出,动片均匀滑动,D 型电位器在动片触点刚开始滑动时,阻值迅速增大,到后来阻值增大量变得缓慢,恰好与 Z 型电位器的特性相反。

当动片转动到最后(全行程),动片到地端定片之间的阻值等于这一电位器的标称阻值。当动片转动至一半机械行程处时,动片到两个定片之间的阻值是不相等的,到地端定片的阻值远大于到另一个定片的阻值,所以这种电位器的两个定片之间也不能互换使用。

D 型电位器用于一些音调控制器电路中作为音调电位器。

6. 普通音量控制器电路

图 1 - 49 所示是音量控制器电路,这实际上是一个电阻器分压电路的变形电路,电阻器中的电位器采用 Z 型电位器。凡是由扬声器发出声音的设备,如录音机、扩音机、电视机等,都要使用这种电路来控制扬声器的音量大小。

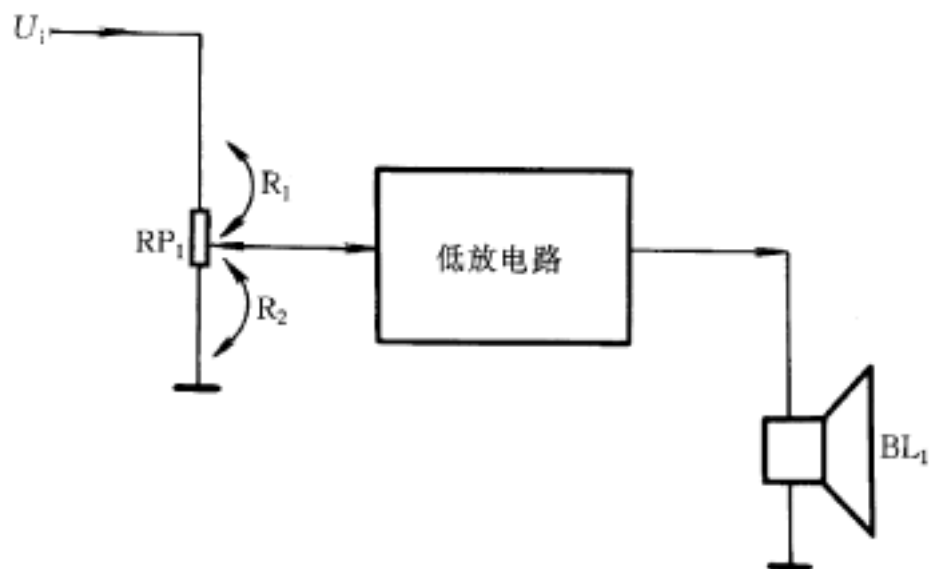


图 1 - 49 普通音量控制器电路

电路中, RP_1 是电位器,因为是用于音量控制器电路中的电位器,所以又称为音量控制电

位器。 BL_1 是扬声器,其作用是将电信号转换成声音。 U_1 是来自前面一级放大器的输出信号,作为音量控制器电路的输入信号。低放电路的作用是对 RP_1 动片输出的信号进行放大,再推动扬声器。

分析音量控制器电路的关键,在于了解电位器 RP_1 是如何控制扬声器 BL_1 中的声音大小。众所周知,在进行音量调整时,转动机器上的音量旋钮,能够关死扬声器中的声音,也能渐渐地开大声音,并能将声音开到最大状态。音量控制器电路的分析就是要搞清楚这几步的控制过程。

在旋转音量旋钮时,就是在调整电路中音量电位器 RP_1 的动片位置。

电路中,音量电位器 RP_1 的动片将电位器分成两部分:电阻 R_1 和 R_2 , R_1 和 R_2 构成一个分压电路,分压后的信号从动片上输出,加到后面的低放电路中。

R_1 和 R_2 阻值之和等于电位器的标称阻值,这一值是固定不变的。当动片上下滑动时, R_1 、 R_2 大小都在改变;当动片向上滑动时, R_1 在减小, R_2 在增大;当动片向下滑动时, R_1 增大, R_2 减小。

当 RP_1 的动片滑到最下端时, $R_2 = 0$, 动片上的输出信号电压为零,此时没有信号加到低放电路中,所以扬声器中没有声音,这时为音量关死状态。

当动片从最下端向上滑动时, R_2 的阻值在增大, R_1 的阻值在减小,使 RP_1 动片上输出信号电压在增大,加到低放电路中的信号在增大,扬声器发出的声音愈来愈大,此时是音量增大的控制过程。

当动片滑动到最上端时,音量处于最大状态。

以上是音量从零到最大的控制过程,音量从最大到零的控制过程也一样,当音量电位器动片从最上端向下滑动时,动片输出的信号电压减小,所以音量从大到小变化。

从上述音量控制器电路的分析过程中可以知道,音量控制器就是一个电阻分压电路,在掌握了电位器动片变化与阻值之间关系的特性后,对音量控制器电路工作原理的分析就显得比较简单。

第 2 章

纯电容器电路和 RC 电路

第 1 章介绍了由电阻器构成的电路,这一章将介绍由另外一个基本的无源元件即电容器和电容器、电阻器构成的电路。所谓无源元件,就是这种元件的本身特性并不需要为它提供直流工作电流,比如电阻器,它所呈现的电阻特性与是否有直流工作电流无关,电容器也是这样的无源元件。

RC 电路是指由电阻器和电容器构成的电路,也是电子电路中最基本的由两种不同元器件组合而成的电路,任何一个实用电路都是由不同类型的元器件构成的,所以分析 RC 电路是分析其他电路的基础。

2.1 纯电容器电路

电容器是电子设备、家用电器中另一个十分常用的元件,在电子电路中的应用范围和使用频率仅次于电阻器,它在电路中所起的作用比电阻器更为“丰富多彩”,电路形式更为“变化多端”,对电容器电路的分析更加“困难重重”。

电容器和电阻器相比较,在主要特性和电路中所起作用方面有着很大的不同,而且比电阻器复杂得多。掌握电容器的主要特性和电容器在电路中的工作原理,对分析电容器电路有着举足轻重的作用。

电容器的种类很多,这里对它作一些简单的分类。

按照结构划分,主要有两种:一是固定电容器(本节主要介绍这种电容器),这是最常用的电容器;二是可变电容器(还有微调电容器),主要用于收音电路中。

按照电容器的电介质划分,主要有:有机介质电容器,无机介质电容器,电解电容器,液体介质(如油)电容器和气体介质电容器等。

按照工作频率划分,主要有两类:一是低频电容器(用于工作频率较低的电路中);二是高频电容器(对高频信号的损耗小,用于工作频率较高的电路中)。

2.1.1 普通电容器外形特征及电路符号

普通的电容器是容量固定的电容器。在电容器中,固定电容器是应用最广泛的一种。固

定电容器的种类也很多,下面简单介绍几种在电子电路中常用的固定电容器。

涤纶电容器,又称为聚酯电容。

这种电容器的介质材料为涤纶薄膜。涤纶电容器用 CL 表示,其容量从几皮法 (pF) 到几微法 (μF),新型的涤纶电容器的容量可达 0.1 ~ 10μF。这种电容器的额定直流工作电压有 63V、100V 和 160V 几种。涤纶电容器有圆柱形和长方形两种。

瓷介电容器。

这种电容器的介质材料为陶瓷,根据陶瓷材料的不同,这种电容器分为低频瓷介电容器(用 CT 表示)和高频瓷介电容器(用 CC 表示)。低频瓷介电容器的容量在 300 ~ 22000pF 之间,高频瓷介电容器的容量在几皮法至几百皮法之间。

瓷介电容器的外层常涂有各种颜色的保护漆,漆的颜色表示了电容器的温度系数,保护色的具体含义见表 2 - 1。

表 2 - 1 瓷介电容器外层保护色的具体含义	
颜 色	含 义
蓝色、灰色	正温度系数(温度升高,容量增大)
其他颜色	负温度系数(温度升高,容量减小)
黑色	负温度系数最小
浅绿色	负温度系数最大

玻璃釉电容器。

这种电容器的介质是由钠、钙、硅等粉末按一定比例混合压制而成。玻璃釉电容器用 CI 表示。玻璃釉电容器的容量一般是 10pF 到 3300pF,耐压有 40V、100V 两种。

除上述几种固定电容器外还有许多其他的固定电容器。各种固定电容器都有它们各自的个性,在使用中,一般情况下只要容量和耐压等要求符合条件,它们之间可以相互代替使用,但在有些场合下是不能相互代替的,例如低频电容器就不能代替高频电容器,否则对高频信号的损耗会明显增大。

1 . 普通电容器的外形特征

图 2 - 1 所示是普通电容器的外形特征示意图。电容器的种类较多,不同种类的电容器其外形有较大的不同。图 2 - 1(a)所示是玻璃釉电容器,图 2 - 1(b)所示是瓷介电容器,图 2 - 1(c)所示是涤纶电容器。

普通电容器(不包括电解电容器)的外形具有下列一些明显特征,供识别普通电容器时参考。

普通电容器的体积通常不大,有的电容器体积比电阻器大些,有的电容器体积还小于电阻器。

普通电容器共有两根引脚,它的这两根引脚是不分正、负极的(有极性电解电容器除外,它有极性之分)。

普通电容器的外形可以是圆柱形、长方形、圆片状等,当电容器是圆柱形时,注意不要

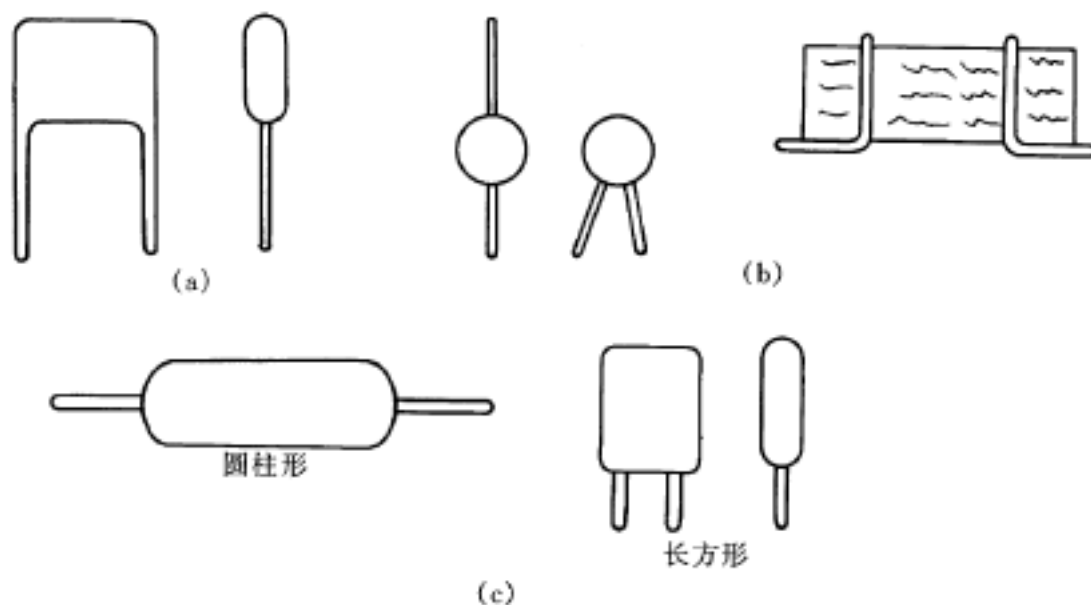


图 2 - 1 普通电容器外形特征示意图

与电阻器相混。

普通电容器在电路中可以是垂直方向安装,也可以是卧式安装,它的两根引脚是可以弯曲的。

普通电容器的外壳是彩色的,在外壳上有的直接标出容量大小,有的采用其他表示方式(字母、数字、色码表示法等)标出容量和允许偏差等。

2. 普通电容器的电路符号

图 2 - 2 所示是几种普通电容器的电路符号,电容器的电路符号用 C 表示, C 是英文 Capacitor(电容器)的缩写。

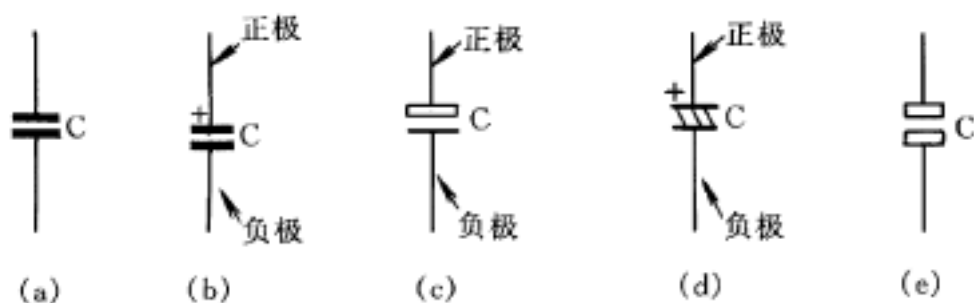


图 2 - 2 几种普通电容器的电路符号

图 2 - 2(a)所示是电容器的一般电路符号,这一电路符号中没有表示出电容器的正、负极性,所以这一电路符号只用来表示无极性电容器。

图 2 - 2(b)所示是有极性电容器的电路符号,这是国标最新规定的有极性电容器电路符号,有极性电容器的两根引脚有正、负之分,在使用中是不能相互搞错的。电路符号中的“+”表示电容器是有极性的,且表示该引脚为正极,另一个引脚为负极,在有极性电容器电路符号中不标出负号标记。

图 2 - 2(c)所示是过去使用的有极性电容器电路符号,用空心矩形表示这根引脚为正极,另一个为负极。现在大量的电路图中,仍采用这种旧的有极性电容器的电路符号。新、旧电路符号之间只是表示方式不同,有极性电容器本身并没有什么不同之处。

图 2 - 2(d)所示是国外有极性电容器的电路符号,用“+”表示该引脚为正极,在进口家用电器的电路图中,常见到这种有极性电容器的电路符号。

图 2 - 2(e)所示是无极性电解电容器的另一种电路符号,也是过去采用过的,现在已用图 2 - 2(a)所示的符号替代。

上面介绍的是普通电容器的电路符号,其他类型的电容器其电路符号将在后面的电路中介绍。

2.1.2 电容器的主要参数和基本工作原理

普通电容器主要有容量、误差、耐压三个参数。

1. 容量及容量单位

电容器的基本特性是能够储存电荷,在理解电容器的这一作用时,时常将它比喻成一个水缸,水缸用来储水,电容器则可以用来储存电荷。容积大的水缸可以储存更多的水,大容量的电容器同样可以储存更多的电荷。

电容器的容量大小是电容器的重要参数,每只电容器上都会标出该电容器的标称容量,就同电阻器的标称阻值一样。

电容器的容量单位是法拉,用 F 表示。但是,在实际使用中法拉这一单位太大,故平时经常使用微法(用 μF 表示)和皮法(用 pF 表示),这三个单位之间的换算关系如下

$$1\mu\text{F} = 10^6 \text{ pF}$$

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{ pF}$$

使用中,常将 μF 简写成 μ , 将 pF 简写成 p。

2. 误差和耐压

电容器的误差概念和电阻器的误差概念一样,一只电容的标称容量与它的实际容量之间有一个误差,例如某电容器的标称容量是 $10\mu\text{F}$,该电容器的实际容量并不一定是 $10\mu\text{F}$,它的容量具体多大,还与该电容器的误差有关,标称容量和误差等级只是给出某个电容器的容量范围。如果该电容器误差为 $\pm 30\%$,那么这一标称容量为 $10\mu\text{F}$ 的电容器其具体容量大小就为在 $7 \sim 13\mu\text{F}$ 范围内的某一值。

电容器可以工作在交流电路中,也可以接于直流电路中,加在电容器两端的电压不能超过它的额定工作电压,否则该电容器在使用中就会有损坏的危险。为了保证电容器在工作中的安全,对电容器规定了额定工作电压,这就是电容器的耐压,要求电容器工作时不要超过这一额定工作电压。

3. 电容器的基本结构

图 2 - 3(a)所示是电容器的基本结构示意图,图 2 - 3(b)是电容器结构的平面示意图。从图中可以看出,电容器的基本结构是由两块极板构成,上极板引出一个电极(引脚),下极板引出一根引脚,上、下极板之间为绝缘的介质,如果绝缘介质采用的是空气,这时的电容器称为空气介质电容器。

无论哪种电容器,它的基本结构都是一样的。由于电容器的两极板之间是绝缘的,所以两极板之间是不通的。

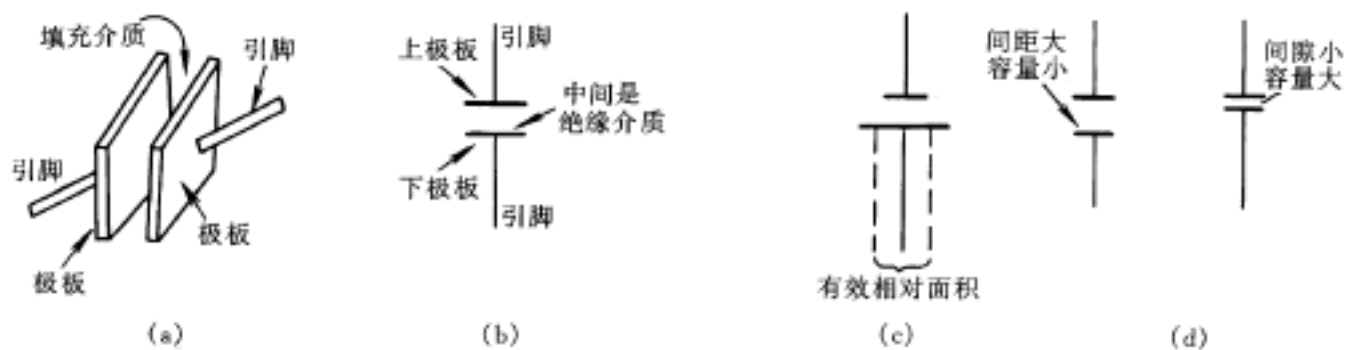


图 2 - 3 电容器基本结构示意图

电容器的容量大小用 C 表示,容量大小 C 由下列公式计算

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi d}$$

式中: ϵ 为介质的介电常数;

S 为两极板相对重叠部分的极板面积;

d 为两极板之间的距离。

由上式可知,电容器的容量 C 大小与两极板相对面积 S 成正比,而与两极板之间的距离 d 成反比。

如图 2 - 3(c) 所示,电容器的两极板没有完全重叠在一起,这时它的有效相对面积就减小,如图中所示,此时电容器的容量就小,空气可变电容器就是根据这一原理制成容量大小可以变化的电容器。

如图 2 - 3(d) 所示,当两极板之间距离小时,电容器的容量就大,当两极板之间距离大时,电容器容量就小。

4 . 电容器在电路中的作用

电容器在电路中有“丰富多彩”的作用,列举主要作用如下:用在耦合电路中的电容器称为耦合电容;用在滤波电路中的电容器称为滤波电容;用在退耦电路中的电容器称为退耦电容;用在旁路电路中的电容器称为旁路电容;用在谐振电路中的电容器称为谐振电容;用在中和电路中的电容器称为中和电容;用在定时电路中的电容器称为定时电容;用在启动电路中的电容器称为启动电容;用在分频电路中的电容器称为分频电容;用在自举电路中的电容器称为自举电容;用在补偿电路中的电容器称为补偿电容等。

2 . 1 . 3 电容器的隔直特性

电容器的特性要比电阻器复杂得多,很多情况下,对电容电路工作原理分析不正确或根本无从下手,主要原因是对电容器的有关主要特性不了解所造成的,所以掌握电容器的主要特性及其相应变化,是分析有关电容电路工作原理的基础。

电容器的隔直特性是电容器的一个基本特性。所谓电容器的隔直特性,就是电容器不能让直流电流通过,电容器具有隔开直流电的特性。电容器的隔直特性可以用直流电源对电容器的充电过程来解说。

图 2 - 4 所示是直流电源对电容器充电过程示意图。电路中, E 是直流电源, R_1 是电阻器, C_1 是电容器, S_1 是开关。

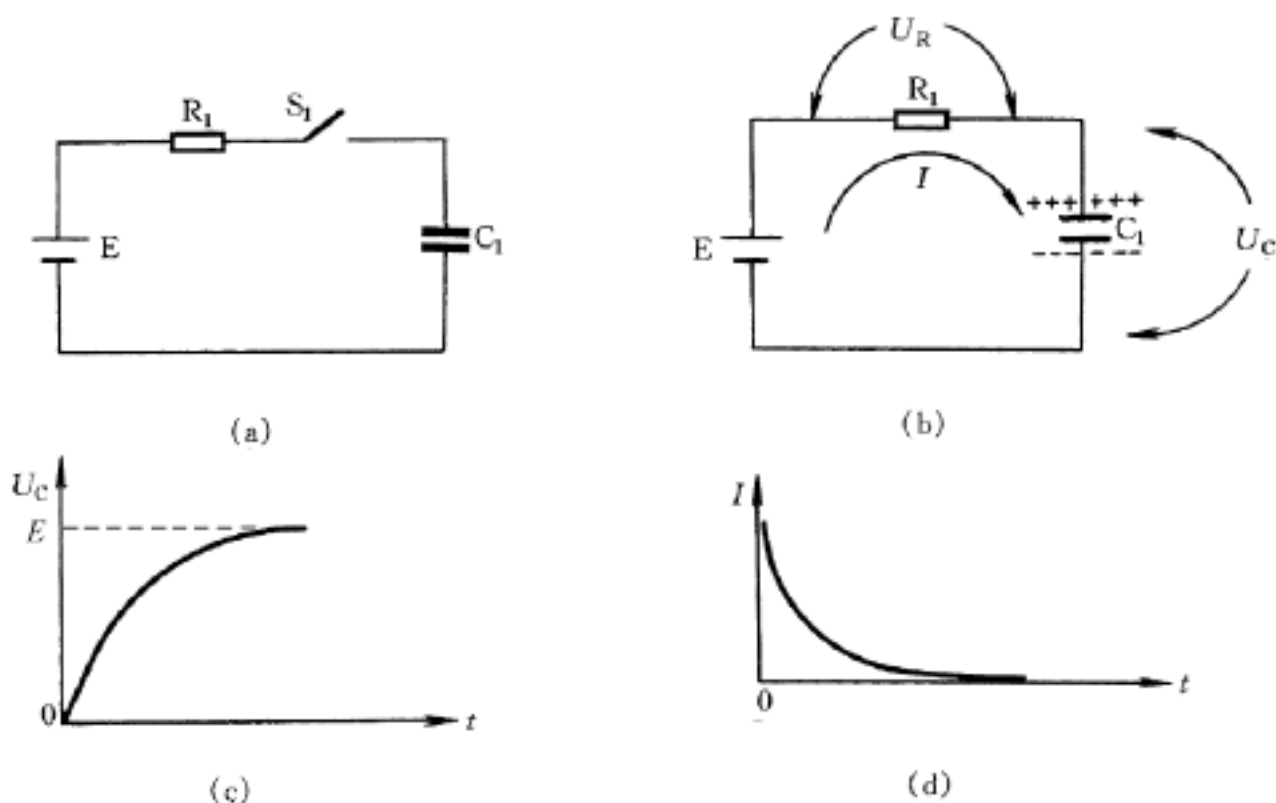


图 2 - 4 直流电源对电容器充电过程示意图

1. 充电过程分析

如图 2 - 4(a) 所示电路, 在开关 S_1 没有接通之前, 电容器 C_1 中没有电荷, 电容器 C_1 两端没有电压, 即电容器 C_1 两端的电压 (又称为 C_1 上的电压) U_C 为 $0V$ 。

在开关 S_1 接通后, 电路中的直流电源 E 通过电阻 R_1 开始对电容 C_1 充电, 见图 2 - 4(b) 所示电路, 有电流 I 的流动。这样有电流流过电阻器 R_1 , 电路中电流 I 的大小由下列公式可以说明

$$I = \frac{E - U_C}{R_1}$$

在开关 S_1 刚接通时, 由于电容 C_1 两端的电压 U_C 为 $0V$, 这时电路中的电流为最大, 即 $I = E / R_1$ 。随着电路中电流的流动, 在电容器 C_1 的上极板上充有正电荷, 在 C_1 的下极板上充有等量的负电荷, 见图 2 - 4(b) 中的“+”、“-”符号所示。

在电容器内有电荷, 说明电容器两端有电压, 这一电压极性为上正下负。由于上、下极板之间是绝缘的, 所以 C_1 正、负极板上的正、负电荷不能复合, 而电容器具有存储这些电荷的能力, 这样充电电荷被存储在电容器 C_1 中。

随着对电容器 C_1 的充电进行, C_1 中充到的电荷愈来愈多, 电容器两极板之间的电压 U_C 愈来愈大。这是因为电容器两极板之间的电压与电容器内的电荷量成正比关系, 用下列公式能更好地理解这一概念

$$U_C = Q / C$$

式中: U_C 为电容器两端的电压;

Q 为电容器中的电荷量;

C 为电容器的容量。

从上式可知, 随着电容 C_1 的充电进行, C_1 中的电荷愈来愈多, C_1 两端的电压也愈来愈大,

使充电电流愈来愈小。因为电路中的充电电流就是流过电阻器 R_1 的电流,而流过 R_1 的电流与电阻器 R_1 两端的电压 U_R 成正比关系, $U_R = E - U_C$,随着充电的进行, U_C 在增大,使 U_R 减小,这样,流过电阻器 R_1 的电流减小。

图 2 - 4(c)所示是电容器充电过程中,电容 C_1 两端充电电压特性曲线,从曲线中可以看出,充电刚开始时电容 C_1 上的电压为 0V,然后电容两端的电压迅速增大,之后增大速度变得缓慢,直到达到充电电压 E 。

图 2 - 4(d)所示是电容器充电过程中,对电容 C_1 的充电电流特性曲线,从图中可以看出,充电刚开始时充电电流最大,大小为 E/R_1 ,然后充电电流迅速减小,之后充电电流减小速度变得缓慢,直至为零。

当电容器 C_1 两极板上的充电电压(上正下负的直流电压)充到等于直流电源电压 E 时,电阻器 R_1 两端的电压等于 0V,这时电路中就没有电流的流动,也就没有充电电流,直流电源 E 对电容器 C_1 的充电过程结束。

注意:电容 C_1 充电结束后,电路中也就没有直流电流的继续流动,这说明电容 C_1 处于断开状态(电阻 R_1 是不会开路的),由此可知电容器具有隔开直流电流的作用,将电容器的这一特性称为隔直作用。

电容器具有隔直作用,即直流电源对电容器充电完成之后,电路中没有电流流动。但是要搞清楚一点,在直流电源刚加到电容器上时,电路中是有电流流动的,这一电流就是对电容器的充电电流,不过充电电流的流动过程很快会结束。

对于电容充电电路而言,具体的充电时间长短只与电路中电阻 R_1 和电容 C_1 的大小有关,而与充电电压无关。充电(或放电)时间的长短用时间常数表示,时间常数用 τ 来表示, $\tau = R_1 \times C_1$ 。 τ 愈大,充电(或放电)的时间就愈长,反之则愈短。 R_1 是电阻器的标称阻值, C_1 是电容器的标称容量。

2 . 充电过程的几点说明

关于直流电源对电容器充电,还要说明以下几点。

在直流电源对电容充电中,电容器两端所充到的直流电压大小与直流电源电压大小有关。在充电完成后,电容器两端的直流电压大小就等于直流电源电压的大小(当然电容器的耐压要能承受直流电源的电压)。充电的直流电压高,电容器两端所充到的电压就高,电容器两端的充电电压大小取决于充电电源的电压。

电容器两端的充电电压极性与直流电流的充电方向有关,图 2 - 5 所示是另一个方向的充电电路。

电路中,直流电源电压 E 极性为下正上负,电路中对电容 C_1 充电的过程与前面电路中是一样的,但是,由于直流电源的极性反了,充电电流方向反了,所以在电容 C_1 上充到的直流电压为下正上负。由此可见,当直流电源对电容充电时,直流电源的极性不同,在电容上所得的直流电压极性要是不同的,这一点在电路分析中要引起足够的重视。

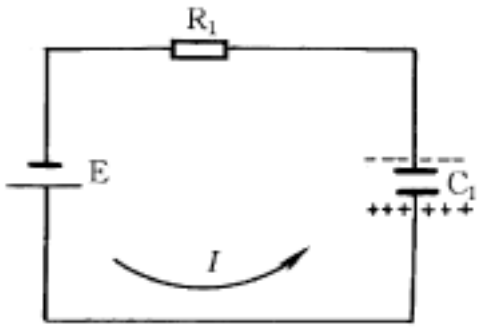


图 2 - 5 电容器充电电路

电容器有充电过程,此时给电容器充入电荷;电容器也有放电过程,此时电容器放掉所存储的电荷。电容器的放电过程可以用如图 2 - 6(a)所示电路

来说明。电路中,电容器 C_1 中已经充满了电荷,在 C_1 上的充电电压极性为上正下负。 R_1 是 C_1 放电过程中的负载, S_1 是开关。

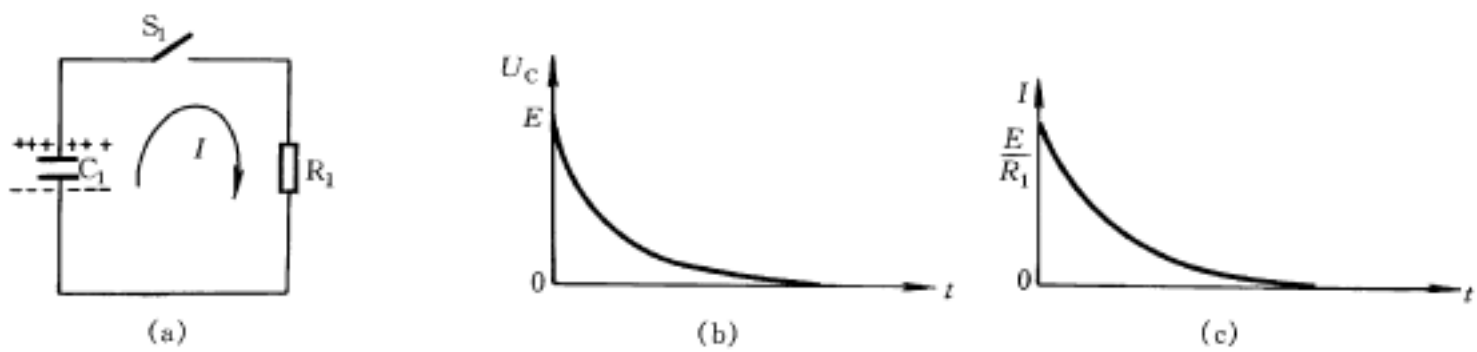


图 2 - 6 电容器放电电路

电容器 C_1 的放电过程是这样:在开关 S_1 接通后,由于 C_1 两端有电压, S_1 接通后又与电阻 R_1 构成了一个闭合回路,这样形成了电流回路,放电电流从 C_1 的上极板出发,经导通的 S_1 和电阻 R_1 到达 C_1 的下极板,与电容器 C_1 下极板上的负电荷复合,这样就形成了放电电流 I ,见图中所示。

随着放电的进行, C_1 上极板上的电荷与 C_1 下极板上的电荷不断复合,电容器 C_1 中的存储电荷愈来愈少,直至正、负电荷全部复合完毕,完成整个放电过程。放电结束后,电容 C_1 两端电压为 $0V$,电路中就没有电流的流动。

图 2 - 6(b)所示是电容器放电时的电压特性曲线,从曲线中可以看出,刚开始放电时电容上的电压下降速度很快,之后就变得比较缓慢,直至为 $0V$ 。

图 2 - 6(c)所示是电容器放电时的电流特性曲线,从曲线中可以看出,刚开始放电时放电电流下降速度很快,之后就变得比较缓慢,直至为零。

经理论计算可知,无论是充电还是放电,无论是电压还是电流,电容器充电、放电的电压和电流特性曲线都是按指数规律变化的,为先快后慢地变化。

理论上电容器不消耗电能,所以电容器中充到的电荷会永远储存在电容器中,只要外电路不存在让电容器放电的条件,电荷就一直存储在电容器中,电容器的这一特性称为储能特性。但是,实际上电容器存在着各种能量损耗,例如介质损耗等,所以电容器是损耗电能的,因此充满电荷的电容器在存放一段时间后,它内部的电荷就会全部消失,当然电容器比起电阻器来讲,它对电能的损耗要小得多。

2.1.4 电容器的通交特性

电容器不能让直流电流通过,但是具有让交流电流通过的特性,这称为电容器的隔直通交特性。如图 2 - 7 所示电路可以说明电容器的通交特性。电路中, C_1 是电容器, R_1 是电阻器, U_s 是交流电源。

1. 交流电正半周过程分析

如图 2 - 7(a)所示电路中,交流电源为正弦电源。在交流电源正半周期间,交流电源的电压极性为上正下负,如图中所示,这一正半周电压通过电阻 R_1 对电容 C_1 充电,如图 2 - 7(b)所示,充电使电容 C_1 的上极板上充有正电荷,在下极板上充有负电荷,在这一充电过程中,有电

流流过电阻 R_1 , 即电路中的电流 I_1 , 电流 I_1 流过电阻 R_1 的方向是从左向右, 如图中 I_1 所示。

由于交流电源的电压是一个正弦电压波形, 在正半周时从零变化到最大值, 再从最大值变化到零, 这样流过电阻 R_1 的电流也是从零到最大值, 再从最大值变化到零, 所以流过电阻 R_1 的正半周电流也是一个正弦波形。

2 . 交流电负半周过程分析

在交流电源的正半周结束时, 电容 C_1 的上极板被充了正电荷, 下极板被充了负电荷。在交流电源变化到负半周期间, 交流电源的电压极性改变, 变成下正上负, 如图 2 - 7(c) 所示, 这时交流电源开始对电容 C_1 进行反向充电。

交流电源对 C_1 的反向充电电流为 I_2 , 这一方向的充电电流应该使电容 C_1 的下极板充有正电荷, 但 C_1 的下极板在交流电源正半周充电期间已充有负电荷, 这样, 反向充电的正电荷与原来的负电荷复合。同理, 原先 C_1 上极板上充到的正电荷与反向充电时的负电荷复合, 所以反向充电过程是对原先充电电荷的复合过程, C_1 上极板和下极板上的正、负电荷在反向充电过程中抵消。

由于正弦交流电源的正、负半周波形对称, 正、负半周电压的平均值为零, 所以, 在交流电源负半周充电结束时, 给电容 C_1 下极板上充的正电荷量与原来负电荷量相等, 这样全部抵消, 在交流电源负半周充电结束时, C_1 下极板上没有任何正或负的电 荷。同理, 电容 C_1 上极板上的电荷也在负半周充电结束时全部抵消。

由此可知, 交流电源正、负半周期间内对电容 C_1 上、下极板充电的电荷量是正、负相反的, 充电的电荷量又是相等的, 所以电容器 C_1 上、下极板在一个周期内电荷平均值为零, 电容器 C_1 内部没有残留电荷, 电容 C_1 两端没有电压。

3 . 电容器通交流的理解

在交流电源的一个周期内, 对电容 C_1 的正、反向充电电流都是流过电阻 R_1 的, 这一充电电流方向是不断改变的, 说明流过 R_1 的电流是交流电流, 就是由交流电源产生的交流正弦电流。当交流电源不断变化极性时, 对 C_1 的充电方向不断改变, 电容器 C_1 上、下极板上的电荷不断充电、复合、再充电, 这样, 电路中便一直有交流电流流过电阻 R_1 , 即 I_1 为正半周电流, I_2 为负半周电流, 等效于电容器 C_1 能够让交流电流通过, 这就是电容器能够让交流电通过的特性。

这里必须指出的是, 电容器 C_1 两极板之间是绝缘的, 交流电流是不能直接通过两极板成回路的, 只是由于交流电流的充电方向不断改变, 使电路中有持续的交流电流流过电阻 R_1 , 等效成电容 C_1 能够让交流电流通过。

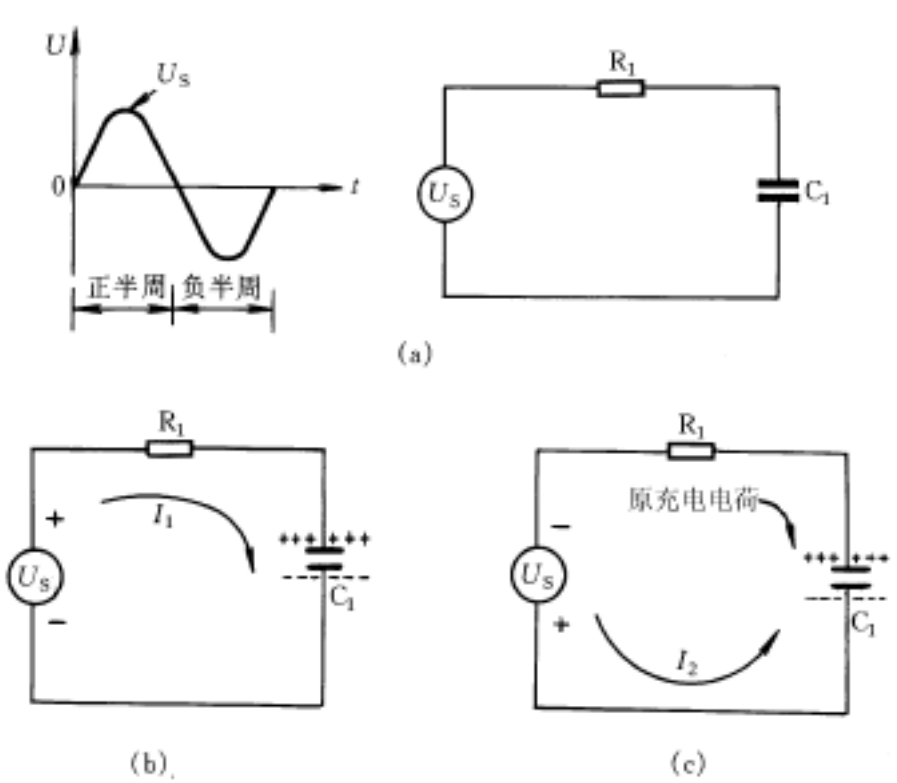


图 2 - 7 电容器通交特性电示意图

在电路分析中,为了方便起见,将电容器看成一个能够让交流电流直接通过的元件,如图 2 - 8 所示,因为在电路分析中如果都是按照上述电容器两极板不断反方向充电、复合来理解,那么电路分析就会变得无法进行。所以,要将交流电流理解成是直接通过了电容器 C_1 。当然,电容器对交流电也存在着阻碍作用,这一阻碍作用就如同电阻器对电流存在电阻一样,电容器对交流电流的阻碍称之为容抗 X_c 。

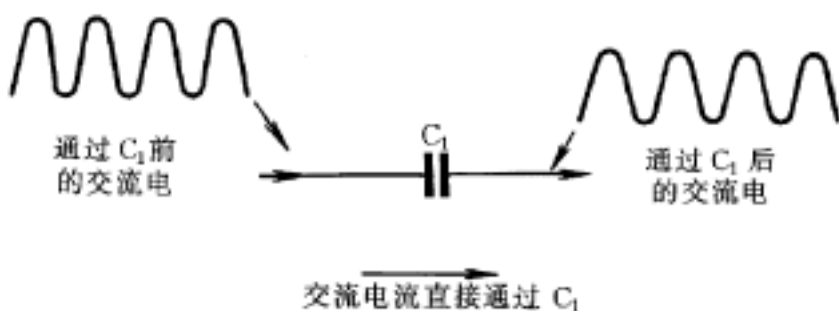


图 2 - 8 电容器通交流示意图

4 . 电容器隔直通交电路分析

电容器在直流电路中,由于直流电压是单方向不变的,这样对电容的充电方向始终不变,待电容器充满电荷之后,充电就结束,电路中便无电流的流动,所以认为电容器具有隔直作用。

在电路分析中,电容器的隔直和通交作用往往是联系起来的,可以用如图 2 - 9 所示电路充分说明电容器的隔直通交工作原理。

电路中,输入信号 U_i 是一个由直流电压 U_1 和交流电压 U_2 构成的复合信号,如图中的输入信号波形所示。

在分析这一电路的工作原理时,为了便于理解电路工作原理,将输入信号中的直流信号 U_1 和交流信号 U_2 分开讨论。对于直流信号 U_1 而言,由于电容 C_1 不能让直流电流通过,所以没有直流流过负载电阻 R_1 ,在 R_1 上的直流电压降为 0V,显然电路的输出端就没有直流信号 U_1 输出,所以说电容器 C_1 隔开了直流信号。

对输入信号中的交流信号 U_2 而言,因为电容 C_1 具有让交流信号通过的特性,即 C_1 对交流信号呈通路(可以理解成电容 C_1 的两根引脚接通了),这样输入信号中的交流电压 U_2 能够在电路中产生电流,这一电流流动的回路是这样:如图 2 - 10 所示,交流信号 U_2 的上端 电容 C_1 电阻 R_1 地线 U_2 下端。

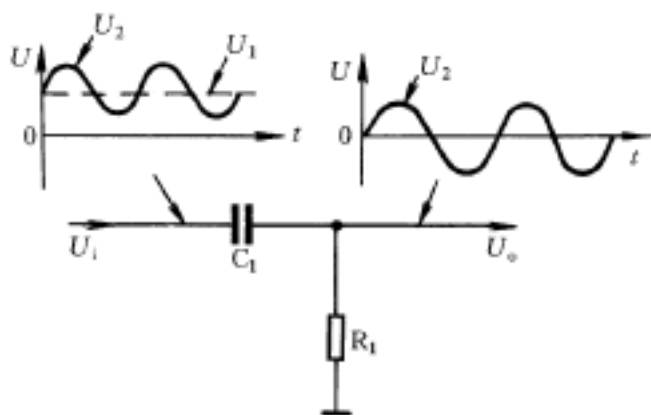


图 2 - 9 电容器隔直通交电路

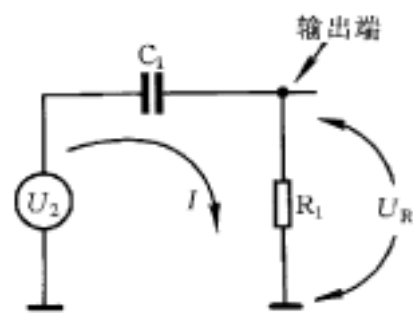


图 2 - 10 交流电流回路示意图

由于有交流电流流过电阻,见图中所示,这样就在电阻 R_1 两端产生电压降,这一电压降的波形(或称为变化规律)与输入信号中的交流电压 U_2 一样,如图 2 - 9 所示电路中的输出电压 U_2 所示。

5. 信号的分解与合成

在前面的电路分析过程中,将输入信号看成两个信号:一个是纯直流信号,一个是纯交流信号。这是对一个复合信号的分解过程,这里用如图 2 - 11 所示复合信号波形来说明信号的分解。从图中可以看出,这一输入信号 U_i 由一个纯交流信号 U_2 和一个直流信号 U_1 复合而成。

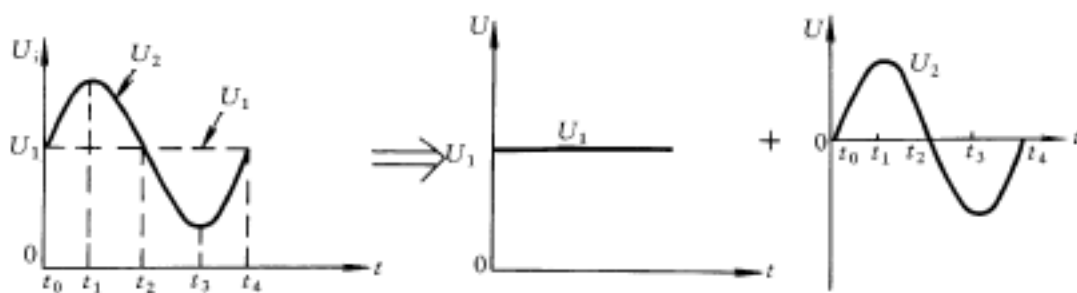


图 2 - 11 复合信号的分解过程示意图

从图中可以看出,在 t_0 时刻, U_i 等于 U_1 , U_2 为 $0V$, $U_1 + U_2 = U_i$ 。

在 t_1 时刻, U_1 仍为 U_1 , U_2 为正峰值, U_i 波形中为 U_1 加上 U_2 (正峰值),此时 U_i 为最大值。

在 t_2 时刻,因 U_2 为 $0V$,所以 U_i 为 U_1 的大小。

在 t_3 时刻, U_2 为负峰值,所以此时 U_i 为 U_1 减去负峰值, U_i 为最小。

通过上述波形分解可知, U_i 所示的信号波形是由一个直流信号和一个交流信号复合而成的,见图中信号复合过程示意。在许多电路分析中,为了方便电路分析和理解电路工作原理,要将这一复合信号波形分成两个信号。

同理,一个纯交流信号和一个直流信号也可以叠加在一起,得到一个直流和交流信号的复合信号。当复合信号中的直流电压大小不同时,复合信号的波形会出现一些变化,如图 2 - 12 所示。

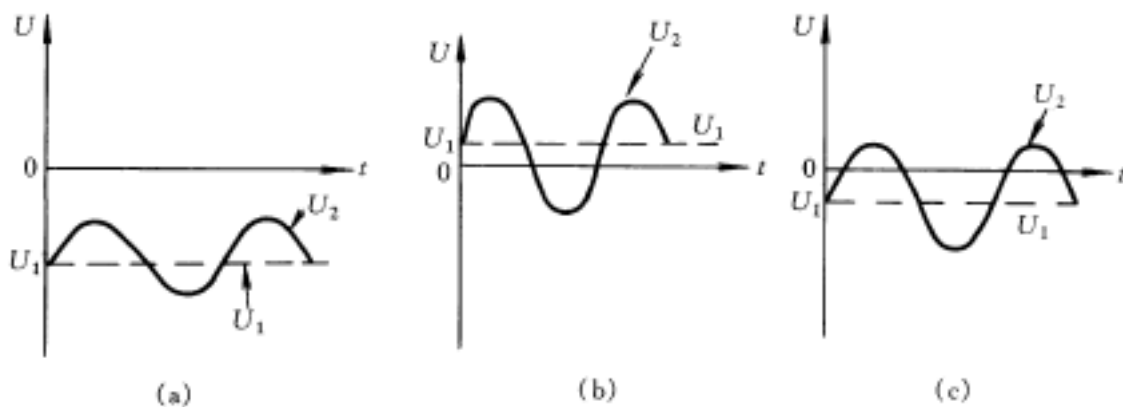


图 2 - 12 几种复合信号波形示意图

如图 2 - 12(a) 所示,复合信号落在了负半周,这一复合信号电压为负值,这是因为复合信号中的直流电压 U_1 为负值,且交流信号 U_2 的正峰值电压也没有直流电压 U_1 大,这样整个复合信号是负电压。

如图 2 - 12(b) 所示,复合信号中有一部分落在了负电压区,这一复合信号电压有正值,也有负值,这是因为复合信号中的直流电压 U_1 虽然为正电压,但直流电压 U_1 比较小,且没有交流信号 U_2 的负峰值电压大,所以交流电压 U_2 负半周信号中有一部分仍为负电压。

如图 2 - 12(c) 所示,复合信号中有一部分落在了正电压区,这是因为复合信号中的直流电压 U_1 虽然为负电压,但这一负电压比较小,且没有交流信号 U_2 的正峰值电压大,所以交流电压 U_2 正半周信号中有一部分仍为正电压。

在上述几种复合信号波形情况中,其中的交流信号 U_2 在一个周期内其平均值是 0V,这样复合信号在一个周期内的平均电压大小就是其中的直流电压 U_1 的大小。

2.1.5 电容器的容抗特性

在交流电路中,电容器虽然能够让交流电通过,但也存在着阻碍交流电流通过的作用,这一阻碍作用就像电阻器对电流存在电阻一样,只是电容器对交流电流的阻碍称之为容抗,用 X_C 表示。

1. 电容器容抗大小与频率和容量相关

电容器不仅有容抗,还有容抗大小的变化。电容器的容抗与两个因素有关:一是通过电容器交流信号的频率(用 f 表示),二是电容器本身的容量(用 C 表示)。电容器的容抗 X_C 由下列公式计算

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

式中: f 为交流信号的频率;

C 为电容器的容量。

电容器容抗单位与电阻器一样,为欧姆。

另外,利用上述容抗公式也可以理解为什么电容器不能让直流电通过,因为直流电的频率为零,即 $f=0$,所以容抗为无穷大,不能让直流电通过。

2. 容抗的等效理解

电容器的容抗作用就如同电阻器在电路中阻碍电流一样,所以在大多数的电路分析中,为了电路分析和理解上的方便,可以将容抗在电路中的作用等效成一个特殊的电阻来对待,如图 2 - 13 所示。

等效电路中,将电容器对交流电的容抗看成一个电阻,只是这一等效电路只适合于交流电路,即等效后的电阻不能让直流电流通过。通过这样的等效,可以用分析电阻电路的一套方法来理解电容电路的工作原理,从而方便了电容电路的分析,这是电路分析中常用的等效理解方法,必须掌握。

在某种意义上讲,电容器的容抗与电阻器的电阻是相同的,它们都起着阻碍电流流动的作用。

电容器容抗的大小与两个因素有关,即容量及交流信号的频率。在电路分析中,往往是固定其中的某一个参数不变,当另一个在改变时,分析电路中所出现的相应变化。

当电容器的容量 C 一定时,交流信号的频率愈高,电容器的容抗就愈小,交流信号的频率愈低,容抗就愈大。

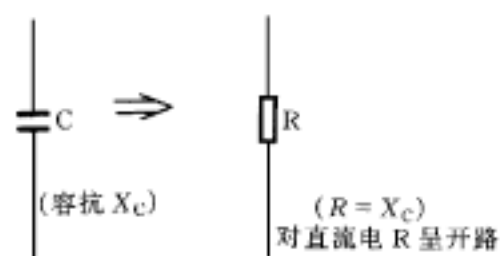


图 2 - 13 容抗等效成电阻的示意图

当交流信号的频率一定时,电容器的容量愈大,容抗就愈小,电容器的容量愈小,容抗就愈大。

熟悉电容器容抗与容量、频率之间的关系,对分析电容器电路和有电容器参与的电路是十分重要的,可用如图 2 - 14 所示的示意图来帮助记忆。

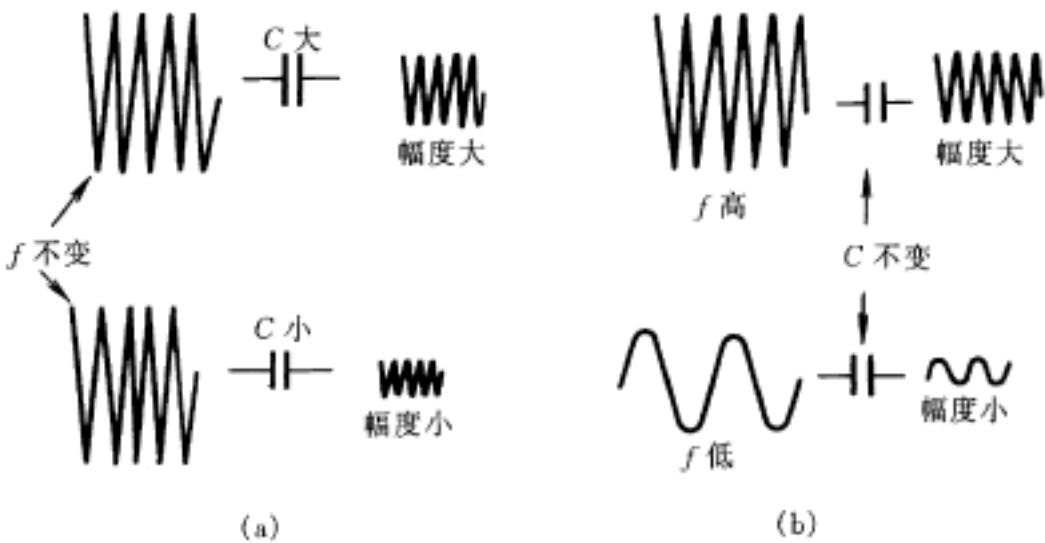


图 2 - 14 容抗与频率、容量之间的关系示意图

如图 2 - 14(a) 所示,当频率 f 一定时,电容量大(图中电容器的电路符号画得比较大,表示容量大),其容抗小,通过电容后的信号幅度大(信号幅度画得比较大,表示信号大),这是因为容抗小,信号通过电容器时所受到的衰减小;电容量小(图中的电容器电路符号画得比较小),容抗大,通过电容后的信号其幅度小(图中信号幅度画得比较小),因为容抗大,信号受到电容器容抗的衰减就大,这是频率一定时,容抗与电容大小之间的关系。

如图 2 - 14(b) 所示,当电容器容量 C 大小一定时,频率高(信号画得比较密),容抗小,输出信号幅度大(信号幅度画得比较大);频率低(信号画得比较疏),容抗大,其信号通过该电容时受到的衰减大,所以输出信号幅度小(信号幅度画得比较小)。

2 . 1 . 6 纯电容并联电路

电阻器有并联电路,电容器也有并联电路。但是,与电阻器并联相比,由于电容器的特性比电阻器复杂得多,所以电容器并联电路也比电阻器并联电路复杂,这里的复杂是指电路分析的复杂和对电路工作原理理解的困难。

纯电容器电路就是电路中只有电容器的电路,这里只介绍电路中只有电容时的电路工作原理及电路分析方法。

在分析纯电容电路之前,必须了解前面所介绍的电容器有关基本特性,电容器特性很多,在分析不同的电路时要用到不同的特性,只有熟练掌握电容器的各主要特性,才能在电路分析过程中灵活运用这些特性去分析电路的工作原理。

图 2 - 15 所示是电容并联电路,其电路形式与电阻并联电路一样。电路中,电容器 C_1 与 C_2 并联。电容并联电路也有与电阻并联电路类似的特性,但电容器

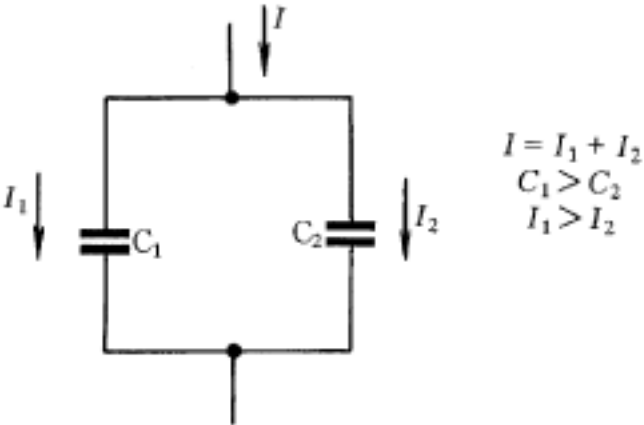


图 2 - 15 电容并联电路

本身的特性决定了这一电路也有它自己的一些不同于电阻并联电路的特性。

1 . 电路分析

由于电容 C_1 和 C_2 是并联的,这两只电容器接在同一个交流信号源电路中时,加在 C_1 和 C_2 上交流信号的频率是相同的,而且其上的交流信号电压也是一样的。

电容并联电路中,交流信号电流将分别流过电容 C_1 和 C_2 。在同样大小的交流信号电压下,交流信号的频率愈高,流过各并联电容的交流电流信号幅度愈大。

2 . 电容器并联,容量愈并愈大

两只或更多只电容器并联之后,仍然可以等效为一只电容器,只是容量增大。

在电阻器的串联电路中,串联电路的总电阻是愈串联愈大,对电容器并联电路而言,总容量愈并愈大。电容器并联电路的这一特性可以这样去理解和记忆,电容器是存储电荷的元件,电容器并联后就能存储更多的电荷,所以电容器并联后并联电路的总容量会增大。

电容器并联电路中,并联后的总电容等于参与并联各电容的容量之和,即 $C = C_1 + C_2 + C_3 \dots$ 。例如,两只 $10\mu\text{F}$ 并联,总的容量为 $20\mu\text{F}$ 。

从理论上讲,在电容器并联电路中,如果有一只电容器的容量远大于另一只电容器的容量,那么起决定性作用的是容量很大的那只电容器,因为在相同的交流信号频率下,容量大的电容器其容抗小。但是,实际情况并非如此简单,大容量的电容器由于在制造上的原因不可能成为一个纯电容,存在着感抗,造成对高频信号的阻抗增大,关于这一点将在后面的电解电容器电路中详细讲述。

3 . 电容器并联电路不能流过直流电流

在电容器电路中,由于电容器本身的特性,它不能让直流电流通过,所以电容器并联电路也不能让直流电流通过,每个电容并联支路中也没有直流电流流过,这一特性与电阻器的并联电路不同。

4 . 电容器并联电路的其他特性

电容器并联电路还有许多特性,主要有下列几点。

各并联电容支路中的电流之和等于总电流,这是各种并联电路的共性。在各并联电容支路中,容量大的支路中的交流电流大,这是因为容量大的电容器容抗小,所以电流就大;反之,容量小的支路中的交流电流小。

电容器并联电路中,由于流过各电容的电流可能不相等(只有两只电容的容量相等时其电流才相等),所以对各并联电容器的充电电荷量就可能不相等,容量大的电容器,因充电电流大而充到的电荷多。对一只电容器的充电电荷多少,与对该电容器的充电电流大小成正比。

电容器并联电路中,各电容器上的电压相等,这也是各种并联电路的共性。

5 . 电容器电路的电阻等效分析方法

前面已经介绍过,电路中的任何电子元器件都可以等效成电阻电路来进行理解并进行电路分析,图 2 - 16 所示是电容器并联电路的电阻等效电路。从电路中可以看出,将电容器 C_1 和 C_2

分别等效成 R_1 和 R_2 , 这样就可用电阻器并联电路的许多特性来分析这一电容器并联电路。

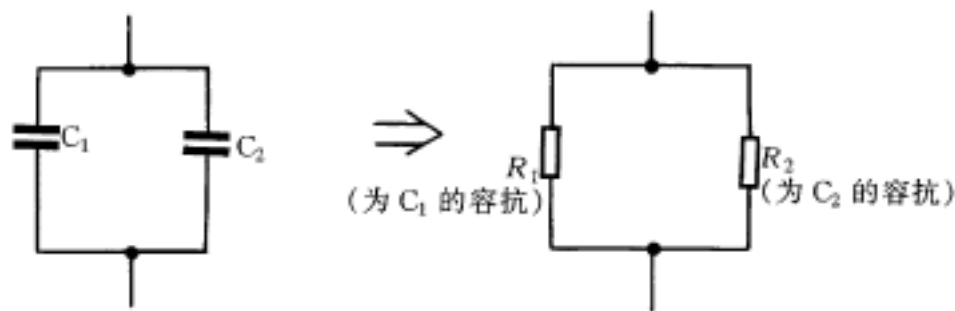


图 2 - 16 电容器的电阻等效电路示意图

不仅电容器并联电路可以这样进行等效, 电容器的其他电路也可以进行同样的等效。当然, 在进行这种等效之后, 对等效后的电路分析并不能完全按照电阻器电路的那套分析方法, 它们之间还是有所不同的, 这里说明下列几点注意事项。

由于是电容器的等效电路, 所以这里的等效电阻 R_1 不是实际意义上的电阻器, 只是将它看成电容器 C_1 的容抗。所以, 这个 R_1 支路中是不能让直流电流通过的。

在进行这种电阻电路的等效时, 往往只是在分析电容器阻碍电路中交流电流的流动时, 才进行这样的等效, 对其他元器件进行电阻电路的等效时, 也是在这种情况下的等效。

2.1.7 纯电容串联电路

图 2 - 17 所示是电容串联电路, 电容串联电路的电路形式与电阻串联电路一样。电路中, 电容 C_1 和 C_2 相串联。若将电容器的容抗用电阻的形式来等效, 可以画成图中右边所示的等效电路, R_1 为 C_1 的容抗, R_2 为 C_2 的容抗。

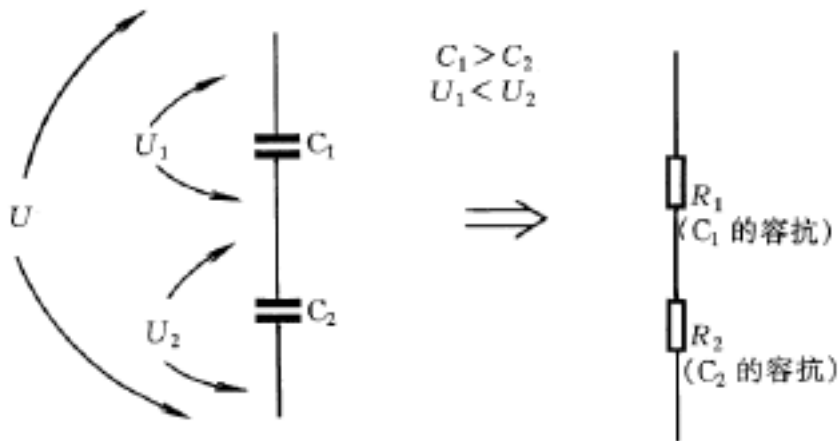


图 2 - 17 电容串联电路

电容串联电路的一些基本特性与电阻串联电路一样, 但由于电容器的基本特性与电阻器的特性有所不同, 所以这一串联电路的工作原理和电路的基本特性也有所不同。

1. 电路分析

电路中, C_1 和 C_2 串联。由于电容的隔直作用, 所以该串联电路是不能通过直流电的。当 RC 串联电路接在交流电路中时, 流过 C_1 和 C_2 的交流电流大小及频率都是一样的。

根据串联电路的特性, 流过各串联电容的电流相等, 这一点与电阻串联电路一样, 也是各种元器件串联电路的共同特性。由于流过各串联电容的电流相等, 所以无论串联电路中的电容其容量是多大, 每只串联电容所充到的电荷量是相同的。

2 . 电容愈串联总的容量愈小

电容器串联之后,它仍然可以等效为一只电容器,但总的容量将减小。

电容器串联电路中,各电容串联后总电容的倒数等于各串联电容的倒数之和,即 $1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots$ 这一点与电阻并联电路相同。

记住一个特殊情况,当两个容量相等的电容串联后,其总的电容为每个串联电容的一半。例如,两只 $10\mu\text{F}$ 串联,它的总容量为 $5\mu\text{F}$ 。

虽然电容器在串联之后总容量减小,但电容串联电路能实现一些电路功能,这一点将在后面的电路中介绍。

3 . 电容串联电路的电压特性

电容器串联电路中,各串联电容上的电压(降)之和等于加在这一串联电路上的电源电压,即 $U_1 + U_2 = U$,如图中所示,这一点也与电阻串联电路一样。

串联电路中,容量大的电容器上的电压降小,容量小的电容器上的电压降大,当电容 C_1 大于 C_2 时,电压 U_1 小于 U_2 。电容电路分析中,了解这一点对在识图过程中抓住主要矛盾(容量小的电容器)是很重要的。

记忆电容器串联电路这一特性有两种方法:一是看它的电阻等效电路,在串联电路中,流过各电容器的交流信号电流其频率是相同的,由于 C_2 容量小,所以 C_2 的容抗就大,相当于电阻 R_2 大,而在电阻串联电路中,阻值大的电阻上的电压降大。所以,电容串联电路中,大部分电压是降在了容量小的电容器上。

二是利用电容器两端的电压计算公式 $V = Q/C$ 来理解,由于是电容串联电路,流过各电容的电流是相等的,也就是对串联电路中各电容内所充电的电荷量相等,即 C_1 和 C_2 电容中的电荷 Q 相等,而电容两端的电压与容量大小成反比,所以 C_2 容量小,电容 C_2 两端的电压大。

有时电容串联电路的分析还需要从另一个角度来理解,当某一个电容的容量远大于其他电容器的容量时,容量大的电容相当于通路(可理解成大电容的容抗与其他电容的容抗相比太小而可以忽略不计),此时电路中起决定性作用的是容量小的电容。

2 2 电解电容器

电解电容器是固定电容器中的一种,它与上一节介绍的普通固定电容器有较大的不同,首先是它的容量比较大(在各种电容器中它的容量最大),由于它的结构原因,有的电解电容器的两根引脚还有正、负极性之分。另外,电解电容器在性能参数、特性等方面也与前面介绍的普通固定电容器有所不同。电解电容器在电子电路中应用十分广泛。

电解电容器的种类按照引脚有无极性划分,有下列两种。

有极性电解电容,有极性是指它的两根引脚有正、负极性之分,这是最常见、使用量最大的电解电容器。

无极性电解电容,它的两根引脚没有正、负极之分,这种电解电容器的应用量远小于有极性电解电容器。

有极性和无极性电解电容器的结构有所不同,应用电路也是不同的。另外,无极性电解电容器价格比较贵。

电解电容器按照材料划分有铝电解电容器、钽电解电容器、铌电解电容器。

在无极性电解电容器中,按照用途划分又分为下列 3 种。

分频电容,它主要用于扬声器分频电路中。

S 校正电容,它主要用于电视机的扫描电路中。

普通无极性电解电容。

2 2 . 1 外形特征和识别方法

1 . 外形特征

图 2 - 18 所示是几种电解电容器的外形示意图。其中,图(a)和(f)所示是最常见的两种电解电容器。

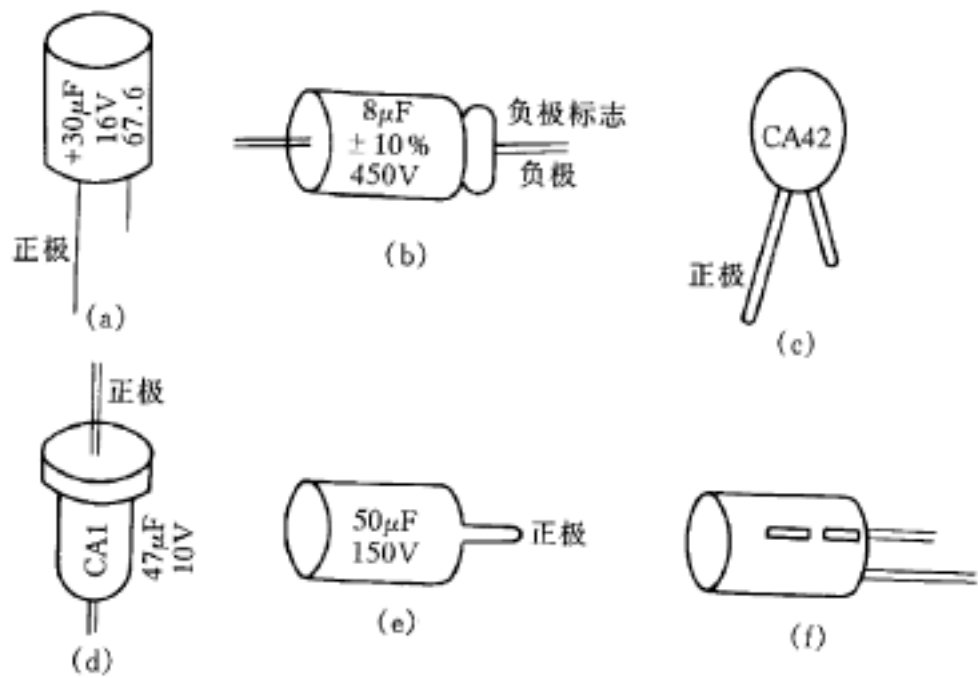


图 2 - 18 几种电解电容器外形特征示意图

关于电解电容器的外形特征,主要说明以下几点。

电解电容器的体积比前面介绍的普通固定电容器要大出许多。

它有两根引脚,在有极性电解电容器中,这两根引脚有正、负极之分,新的有极性电解电容器的两根引脚一长一短,以区分引脚的正、负极性,长的引脚为正极。在无极性电解电容器中,它的两根引脚没有正、负极之分。

电解电容器通常是圆柱形的,外壳颜色常见的是蓝色,此外还有黑色等。

电解电容器的容量一般均较大,在 $1\mu\text{F}$ 以上(有些进口电解电容器的容量小于这一值),而且这种电容器绝大多数采用直标法。

2 . 识别方法

电解电容器有圆柱形和片状两大类,前者是常见的电解电容器,由于电解电容器的体积都比较大,外壳上有足够大的面积来标注电解电容器的参数和引脚极性,这里介绍常用圆柱形电

解电容器的表示方法。

在电解电容器上,一般采用直标法标出标称容量及允许偏差、额定电压等。对有极性电解电容器,还要标出引脚的极性。

关于电解电容器的识别,主要说明下列三点。

极性表示方法。有极性电解电容的正、负引脚表示方式有多种,这里归纳如下,以供识别时参考。

如图 2 - 18(a)所示,正极性引脚采用“ + ”符号表示,此时外壳上标有一个“ + ”号,表示这根引脚是正极,另一根引脚是负极。

如图 2 - 18(f)所示,标出电容器的负极性引脚,在电解电容器的绿色绝缘套上画出负号的符号,以表示这一引脚为负极性引脚,另一根引脚是正极。

如图 2 - 18(c)所示,电容器采用长短不同的引脚来表示引脚极性,通常长的引脚为正极性引脚,这种识别方法只对新的电容器有效,使用后的电容器两根引脚可能被剪成一样的长短,便无法用这个方法分辨。

如图 2 - 18(b)和 2 - 18(d)所示,电容器采用不同的端头形状来表示引脚的极性,这种方式往往出现在两根引脚轴向分布的电解电容器中。

参数表示方法。电解电容器的参数表示方式采用直标法,这里举几个例子来说明,见电解电容器的外形示意图。

图 2 - 18(a)所示是电解电容器,标称电容量为 $30\mu\text{F}$,额定电压为 16V,67 .6 为生产日期,即 1967 年 6 月,现在电解电容器上一般不标出生产日期。

图 2 - 18(b)所示是电解电容器,标称电容量为 $8\mu\text{F}$,允许偏差为 $\pm 10\%$,额定电压为 450V,这是用于高电压场合下的电容器。

图 2 - 18(c)所示是 CA42 型钽电解电容器,其外壳形状与一般电解电容器不同,采用环氧封装,标称电容量也为直标法。

图 2 - 18(d)所示是 CA1 型钽电解电容器,为杯形结构,标称电容量为 $47\mu\text{F}$,额定电压为 10V。

图 2 - 18(e)所示是电解电容器,它只有一根正极性的引脚,负极引脚就是电容器的外壳(这类电容器往往采用专门的安装座来固定电容器),它的标称电容量为 $50\mu\text{F}$,额定电压为 150V。

电解电容器材料表示方法。不同材料的电解电容器在型号上能够分辨出来,用 CD、CA 和 CN 分别表示铝、钽、铌电解电容器。

2 2 2 电解电容器的结构

电解电容器的结构与普通电容器的结构是基本一致的,都是两块平行板结构,只是在具体实现平行板构造时有所不同,两极板之间所采用的介质不同。

1 . 有极性电解电容器结构

图 2 - 19(a)所示是有极性电解电容器内部结构示意图,图 2 - 19(b)所示是功能结构示意图。

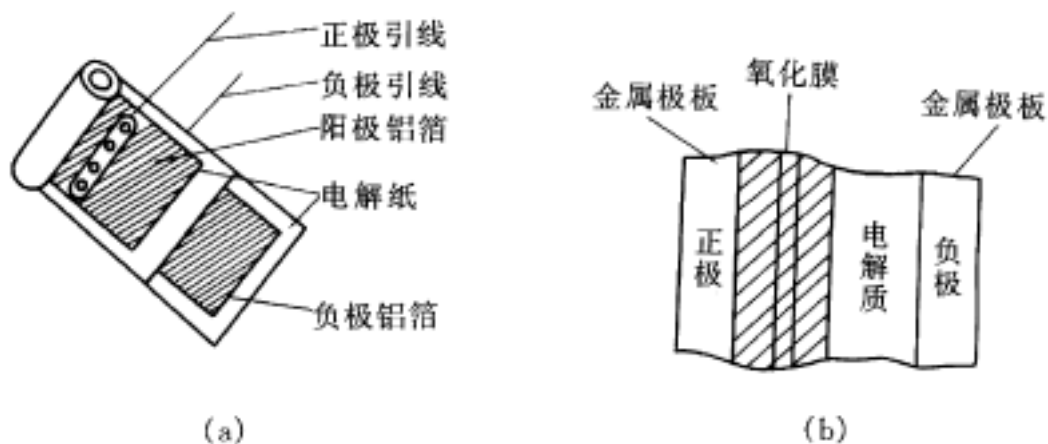


图 2 - 19 有极性电解电容器结构示意图

图 2 - 19(a) 所示是一个铝电解电容器, 分别用两层铝箔作为电容器的正、负极板, 在这两层铝箔上分别引出电容器的正、负极性引脚。在两铝箔之间用电解纸隔开, 使电容器的两极板绝缘。然后, 将整个铝箔紧紧地卷绕起来, 浸渍工作电解质(大多为糊状液体), 再用外壳密封起来。

如图 2 - 19(b) 所示, 这种电解电容器的介质就是氧化膜。当电解电容器的正极引脚接高电位、负极引脚接低电位时, 才能使电容器内部的氧化膜和电解糊发生化学作用, 从而具有较大的电容量和较小的漏电流, 电解电容器才能发挥出正常的作用。

电解电容器内部氧化膜类似于晶体管中的 PN 结, 具有单向导电特性。当电解电容器的正极引脚为高电位、负极引脚为低电位时, 氧化膜处于阻流状态, 如同 PN 结处于反向偏置状态, 正、负极板之间的漏电流很小, 电解电容器正常工作。

当负极引脚接高电位, 正极接低电位时, 氧化膜处于通流状态, 如同 PN 结的正向导通一样, 两极板之间的漏电流很大。注意, 当有极性电解电容器的正、负引脚接反后, 在严重时会发生爆炸现象。

从上述有极性电解电容器的结构分析可知, 这种电解电容器的两根引脚有极性是因为内部结构的原因, 类似于存在一个 PN 结。只有对这一“PN 结”加上反向电压时, 有极性电解电容器才能正常工作。

关于 PN 结的概念将在晶体管一章中详细介绍。

2. 无极性电解电容器结构

有极性电解电容器具有体积小、电容量大、成本低的优点, 但由于它的两根引脚有正、负极性之分, 使它的使用范围受到了限制, 而无极性电解电容器可克服这一不足。无极性电解电容器的两根引脚与普通电容器一样, 没有极性之分。

由于在正常工作时, 有极性电解电容器要求它的正极上的电压高于负极上的电压, 所以它不能用于纯交流电路中, 而无极性电解电容器两根引脚没有极性之分, 所以它主要是用于纯交流电路中。

无极性电解电容器是电解电容器中的一种, 它又称为双极性电解电容, 图 2 - 20 所示是无极性电解电容器的结构示意图。

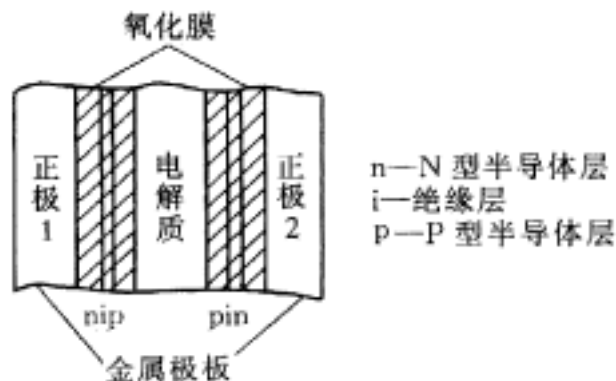


图 2 - 20 无极性电解电容器结构示意图

从图中可以看出,这种电解电容有两个氧化膜,且两个氧化膜一个为 n-p,另一个为 p-n,它们串联起来。这样,无论正极 1 还是正极 2 上加上高电位,另一个引脚为低电位时,两个氧化膜中始终有一个处于通流状态,另一个处于阻流状态,使两极板之间无较大的漏电流,克服了有极性电解电容器两根引脚有正、负极之分的不足。

由于无极性电解电容器内部有两个氧化膜,使得无极性电解电容器的成本比有极性电解电容器要高。

2 2 3 电解电容器的主要特性

电解电容器是电容器中的一种,所以它具有一般电容器的特性,但由于电解电容器的结构原因,这种电容器还有它的一些特点,电解电容器除了体积比较大、电容量大、两根引脚有极性之分外,还有一些特性,说明如下。

1 . 电解电容器高频特性不好

从理论上讲,电容器的容量大,它的容抗小,并且交流信号的频率愈高,其容抗愈小。电解电容器虽然容量大,但是它对高频率信号的容抗在频率高到一定程度时,随着频率的升高,它的阻抗却增大,这是因为电解电容器的结构所导致的。

电容器有高频电容器和低频电容器之分,适用于高频电路中的电容器称为高频电容器,只适用于低频电路中的电容器称为低频电容器。

电解电容器是一种低频电容器,它主要工作在频率较低的电路中,不宜工作在频率较高的电路中。容量很大的电解电容器其高频特性更差,这其中的原因可以用如图 2 - 21 所示大容量电解电容器的等效电路来说明。



图 2 - 21 大容量电解电容器等效电路

从这一等效电路中可以看出,一个容量比较大的电解电容器是由一个纯电容 C_0 和一个电感 L_0 (等效电感) 串联而成的,构成一个串联电路。

有关电感问题,将在后面详细介绍,为了理解这一等效电路的工作原理,这里要知道电感 L_0 也存在一个对电流的阻碍作用,称为感抗,其感抗表现为交流信号的频率愈高,电感的感抗愈大,这一点与电容器的容抗恰好相反。

在电解电容器的等效电路中,当频率较高时,纯电容 C_0 容抗很小,但是 L_0 的感抗较大(频率愈高,感抗愈大),而大电容器总的阻抗是 C_0 的容抗加上 L_0 的感抗(因为 C_0 和 L_0 是串联电路)。所以,由于 L_0 的存在,总的阻抗在高频时不是减小,而是增大,这说明大容量电解电容器的高频特性不好。

大容量电解电容器产生等效电感 L_0 的原因是:由前面介绍的电解电容器结构可知,电容

器两极板是由铝箔(指铝电解电容器)构成的,铝箔是导体,并且为了减小电解电容器的体积而将铝箔卷起来。由电感器结构可知,把一个导体卷绕起来会出现电感。由于大容量电解电容器容量大,它的铝箔很长,卷绕得很多,导致这一等效电感存在而不能忽视,从而导致大容量电解电容器的高频特性不好。

2 . 电解电容器漏电流比较大

从理论上讲电容器两极板之间是绝缘的,没有电流流过,但电解电容器两极板之间有较大的电流流过,这一电流称为电容器的漏电流。漏电流比较大,说明电容器两极板之间的漏电阻较小(这一电阻大,漏电流小)。

电解电容器的漏电流影响了其性能,对信号的损耗比较大,漏电严重时电容器在电路中不能正常起作用,所以这一漏电流应该是愈小愈好。当电解电容器的容量愈大时,这一漏电流就愈大。

2 2 4 有极性电解电容器串联电路

有极性电解电容器也有串联和并联电路,在有极性电解电容器并联电路中,只能是电容器的正极与正极相连,负极与负极相连,电路没有什么变化,这将在后面的电容器实用并联电路大全中详细介绍。

在实用电路中,有极性电解电容器的串联电路是有变化的,它有顺串联和逆串联两种串联电路形式。有极性电解电容器顺串联电路在电子线路中不多见,常见的是有极性电解电容的逆串联电路。

1 . 有极性电解电容器逆串联电路

图 2 - 22 所示是有极性电解电容器的逆串联电路,这一逆串联电路有两种:一是两个电容器的正极相连,如图 2 - 22(a)所示;二是两个电容器的负极相连,如图 2 - 22(b)所示,无论哪种逆串联电路,其电路效果是一样的,逆串联后都等效成一个无极性的电解电容器,如图 2 - 22(c) 所示,等效电容器其容量减小,耐压升高。

有极性电解电容器逆串联之后,原先有极性的引脚就没有极性了,见图 2 - 22(c)所示的等效电路, C_0 为有极性电解电容器逆串联后的等效电容。这样串联后的电容可以作为无极性电解电容器来使用,在一些扬声器分频电路中,就常用这种电路,不过这样的无极性电解电容器性能没有真正无极性电解电容器的好。

2 . 有极性电解电容器顺串联电路

图 2 - 23 所示是有极性电解电容器的顺串联电路。电路中, C_1 和 C_2 均是有极性的电解电容器,电容 C_1 的负极与电容 C_2 的正极相连,这种串联方式称为有极性电解电容器的顺串联。

有极性电解电容器顺串联之后,仍等效成一只有极性的电容器 C_0 ,其极性见等效电路所

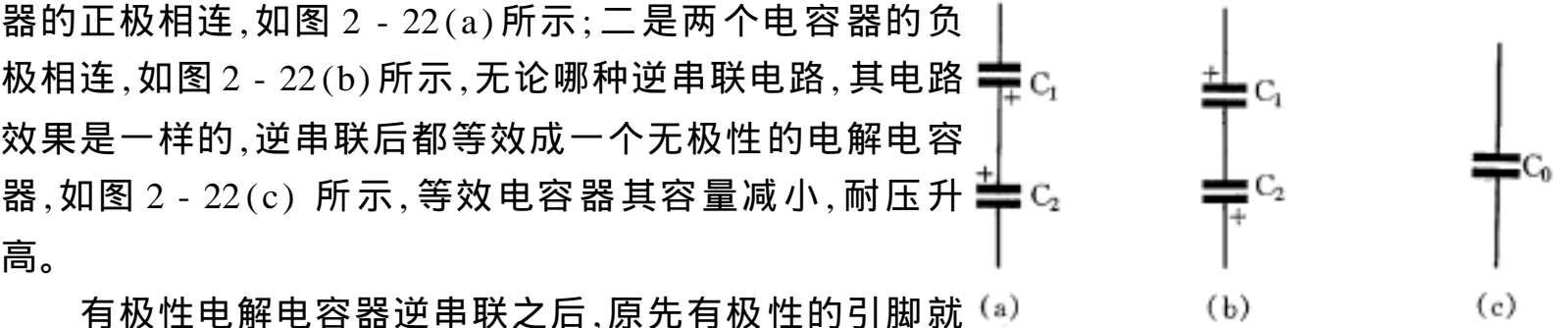


图 2 - 22 两种有极性电解电容器逆串联电路

示,即 C_1 的正极为正极, C_2 的负极为负极。

有极性电解电容器的顺串联电路,主要是为了提高电容器的耐压,但在电子线路中,由于直流工作电压不是很高,所以不常采用这种顺串联电路,它主要用于电子管电路中,因为电子管电路中的直流工作电压比较高。



图 2 - 23 有极性电解电容器顺串联电路

有极性电解电容器逆串联或顺串联后,其等效电容器的耐压会升高,但容量则会下降,可以用如图 2 - 24 所示两个例子来说明,这是有极性电解电容器的顺串联电路,逆串联电路也是一样的。

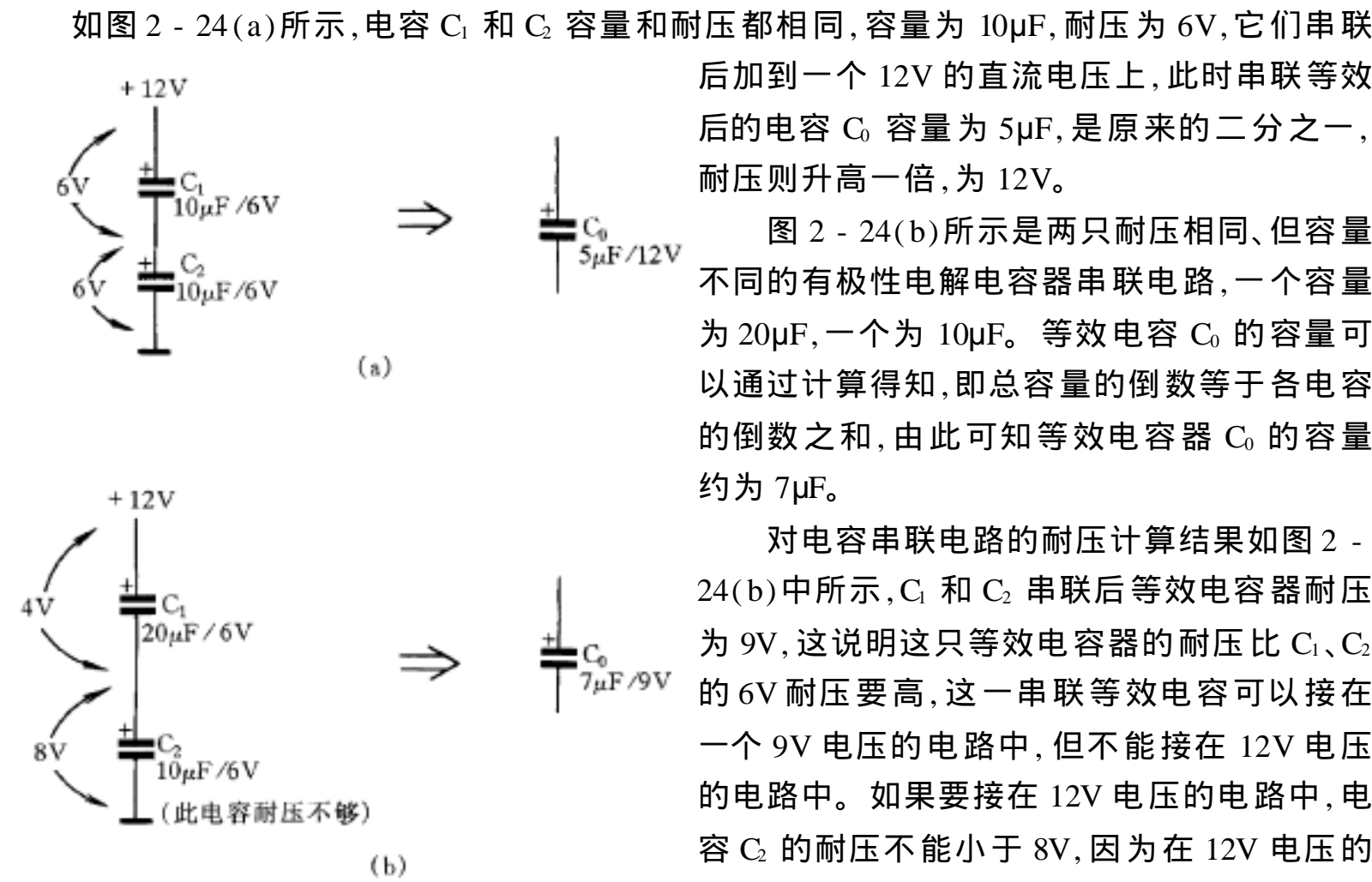


图 2 - 24 有极性电解电容器顺串联电路举例

的容量不等时,对两只电容器的耐压要求是不同的,对容量小的电容器要求的耐压高。

2 2 5 电容电路识图小结

上面讲解的是纯电容电路,在实用电路中,大量出现的还有其他元器件参与的电容电路,但纯电容电路是这些电路的基础,只有掌握了上述电路的基本工作原理,才能分析更为复杂的电容电路。

关于纯电容电路识图,主要小结以下几点。

在电容串联和并联电路中,由于电容器的特性与电阻器特性有所不同,所以电容器串联、并联电路特性也是有所不同的,不同部分主要是由于电容的特性所决定的。根据电容器的

对电容串联电路的耐压计算结果如图 2 - 24(b)中所示, C_1 和 C_2 串联后等效电容器耐压为 9V,这说明这只等效电容器的耐压比 C_1 、 C_2 的 6V 耐压要高,这一串联等效电容可以接在一个 9V 电压的电路中,但不能接在 12V 电压的电路中。如果要接在 12V 电压的电路中,电容 C_2 的耐压不能小于 8V,因为在 12V 电压的串联电路中, C_2 上的压降会达到 8V。

显然,在电容串联电路中,当两只电容器的

基本特性和串联、并联电路的特性,可以方便地理解电容串联、并联电路的工作原理并进行电路分析。

要掌握电容器的容抗概念、隔直通交等特性。

电容器的容抗与电阻器的电阻有很大的不同:一是电阻器对不同频率的信号呈现相同的阻值,而容抗则与频率和容量两个因素有关,所以电阻比较单一而容抗则在不同情况下有不同的结果,比较复杂,分析电路时要注意这一点;二是直流电能够流过电阻器,而电容器则是不让直流电通过的。

电容的串联和并联电路具体情况很多,各种情况下又有各自的特别之处,这在后面将专门介绍。

电容除上面介绍的串联和并联电路之外,同电阻电路一样,也有串并联电路和电容分压电路等,这些电容电路与相应的电阻电路是很相似的,将在后面详细讲解。

电解电容器的容量一般比较大,所以它在电路中主要起滤波、耦合、旁路、退耦等作用,主要用于低频电路中。

有极性电解电容电路中,它的正极电压始终高于负极电压,根据这一点可以知道电解电容两根引脚上的电压高低。

当采用无极性电解电容时,说明该电容器所在回路是交流电路。

有极性电解电容逆串联之后是一个无极性的电解电容。要了解大容量电解电容具有电感特性。

2 3 电阻器和电容器混合电路

前面分别介绍了纯电阻电路和纯电容电路,而在整机电路中,用得最多的是电阻器和电容器混合起来构成的各种电路。

电阻器和电容器组合可以构成许多种功能电路,归纳起来主要有下列几种基本类型的电路:RC 并联电路;RC 串联电路;RC 串并联电路;微分电路;积分电路;RC 移相电路等。

2 3.1 RC 并联电路

图 2 - 25 所示是 RC 并联电路。从电路中可以看出,所谓 RC 并联电路,就是由一个电阻 R_1 和一个电容 C_1 相并联的电路。这一 RC 并联电路可以接于直流电路中,也可以接在交流电路中,在两种电路中 RC 并联电路工作原理是不同的。所以,对这一并联电路的分析要分成直流电路和交流电路两种情况进行。

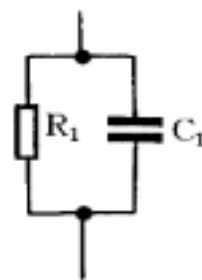


图 2 - 25 RC 并联电路

1. 直流电路分析

当 RC 并联电路接于直流电路中时,也就是等效成如图 2 - 26 所示电路。由于电阻器 R_1 对直流电呈现电阻的特性,所以在直流电路中 R_1 就是一个阻值不变的电阻器。但是,电容器对直流电存在两种情况:一是直流电源刚接通瞬间的电

容器相当于短路,二是直流电源接通一段时间(很短)后的电容器相当于开路。所以,对电路中的电容工作过程分析要分成两种情况进行。

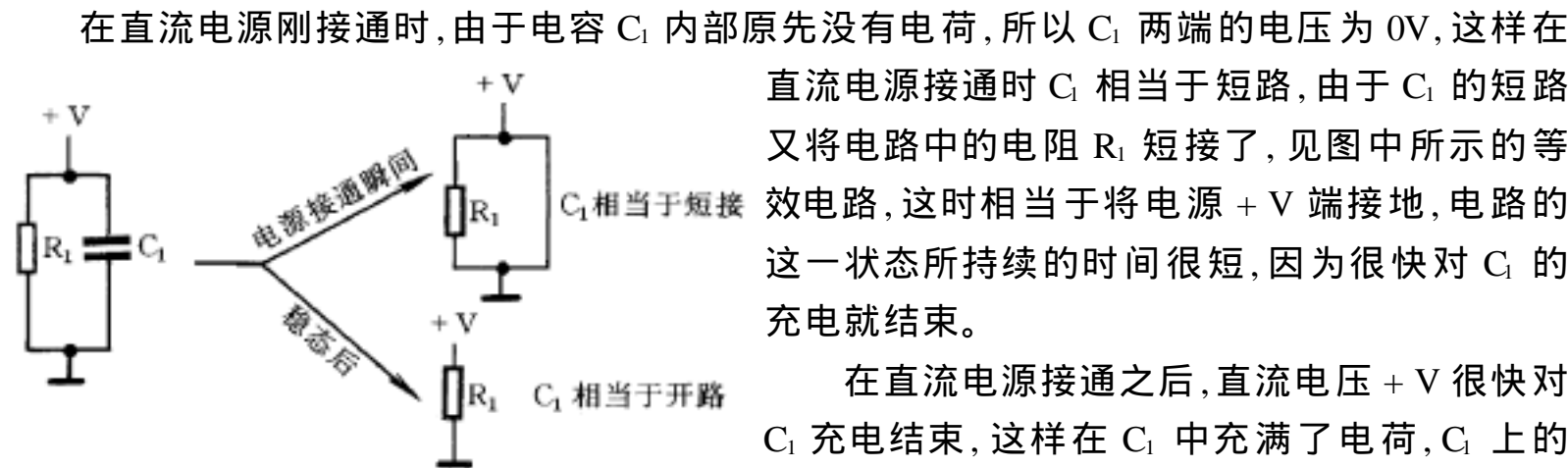


图 2 - 26 直流电路中的 RC 并联电路

所示,只有电阻 R_1 中有直流电流的流动。

2 . 交流电路分析

当 RC 并联电路接于交流电路中时,也就是等效成如图 2 - 27(a)所示电路。电路中, U_i 是交流输入信号,电阻 R_1 对各种频率信号呈现相同的电阻,所以在等效电路中它仍然是电阻 R_1 。电容 C_1 的容抗是随频率变化的,所以用 X_C 表示, R_1 和 X_C 构成并联电路,见图中的等效电路所示。

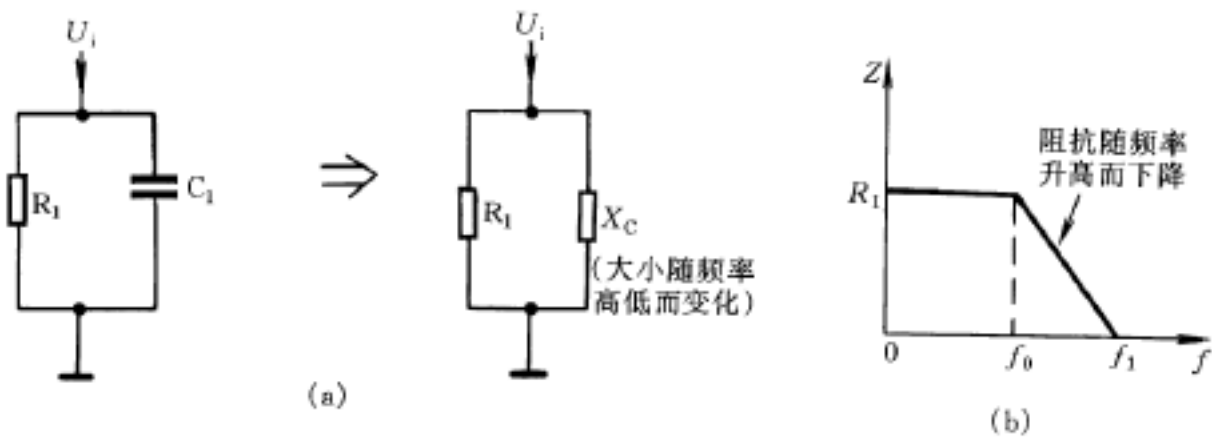


图 2 - 27 交流电路中的 RC 并联电路

由于电容 C_1 的容抗在随着频率的高低变化而变化,所以不能用纯电阻器并联电路来分析这种并联电路的总阻抗。如图 2 - 27(b)所示是 C_1 和 R_1 并联电路的阻抗特性曲线,图中 X 轴方向为频率, Y 轴方向为这一 RC 并联电路的总阻抗。从这一曲线中可以看出这一 RC 并联电路随频率变化时的阻抗变化情况。

RC 并联电路的阻抗特性曲线中有一个频率 f_0 ,它称为转折频率,阻抗曲线在这一频率处发生转折。在输入信号 U_i 频率低于这一转折频率 f_0 时,阻抗大小不变,其值就等于电阻 R_1 ;当输入信号频率高于这一转折频率时,阻抗曲线开始下降,随着频率升高,阻抗愈来愈小,直至为零。

理解和记忆 RC 并联电路的这一阻抗特性有这样一个好方法:输入信号频率低于转折频率 f_0 时,由于输入信号频率很低,电容 C_1 的容抗很大(与电阻 R_1 的阻值相比很大),这时 C_1 容抗与电阻 R_1 并联时 C_1 相当于开路,此时整个 RC 并联电路中就只有 R_1 ,所以电路的总阻抗等

于 R_1 , 见图中阻抗曲线所示。

当输入信号频率高于转折频率 f_0 时, 由于输入信号的频率已经比较高, 电容 C_1 的容抗也比较小, 能够与 R_1 相比较, 这时就不能将 C_1 看成开路了, RC 并联电路中就是 C_1 的容抗与 R_1 进行并联, 并联后的总阻抗要小于电阻 R_1 , 因为并联电路使阻抗减小。

随着输入信号的频率不断升高, C_1 的容抗不断地减小, C_1 容抗与 R_1 并联后的阻抗也不断减小。当输入信号频率高到一定程度后(图中的 f_1 频率处), 电容 C_1 的容抗很小而接近于零, 相当于短路, 即相当于将电阻 R_1 短路, 此时电路的总阻抗为零, 见图中阻抗特性曲线所示。

RC 并联电路的转折频率 f_0 由下列公式计算

$$f_0 = \frac{1}{2 R_1 C_1}$$

从上述公式中可以看出, 转折频率与 RC 并联电路中的电阻 R_1 和电容 C_1 有关。当电容 C_1 或电阻 R_1 取值较大时, 转折频率较低, 反之则较高。

3. 识图小结

在电路分析中, 对输入信号要进行多种情况的分析, 如输入信号是直流信号, 还是交流信号, 在每种输入信号情况下, 还要分成几种具体情况。例如, 对于直流信号而言要分成直流电源接通瞬间和接通后的两种情况; 对于交流信号要按输入信号的频率高低来分, 通常是分成频率低(称为低频段)、频率不高也不低(中频段)和频率高(高频段)三种情况分析电路工作原理。

下面根据输入信号为直流信号或为交流信号两种情况, 对这一 RC 并联电路的识图小结如下。

这一 RC 并联电路接入直流电路中, 当电源刚接通瞬间, 电容 C_1 两端的电压为 0V, 所以 RC 并联电路相当于短接。

在直流电路中, 当电源接通之后, 对 C_1 的充电已经结束, 因为电容器不能让直流电流流过, 具有隔直作用, 所以这一 RC 并联电路中起作用的只有电阻 R_1 。

在交流电路中, 根据交流输入信号的频率变化, 分成三种情况进行电路分析, 如图 2 - 28 所示。在交流输入信号频率低于 RC

并联电路阻抗特性曲线的转折频率 f_0 时, 因为 C_1 容抗很大而相当于开路, 电路中只有电阻 R_1 , 见等效电路图中所示。RC 并联电路的总阻抗大小不变, 其值就等于电阻 R_1 。

在交流电路中, 当交流输入信号频率高于 RC 并联电路阻抗特性曲线的转折频率 f_0 而低于频率 f_1 时, 因为 C_1 容抗不是很大也不是小到为零, 而是可以与电阻 R_1 进行比较, 这时电路中有电阻 R_1 和电容 C_1 并联, 见等效电路图中所示。电路的总阻抗是 R_1 和 C_1 容抗的并联值, 其值随频率升高而下降。这时, RC 并联电路中的交流信号

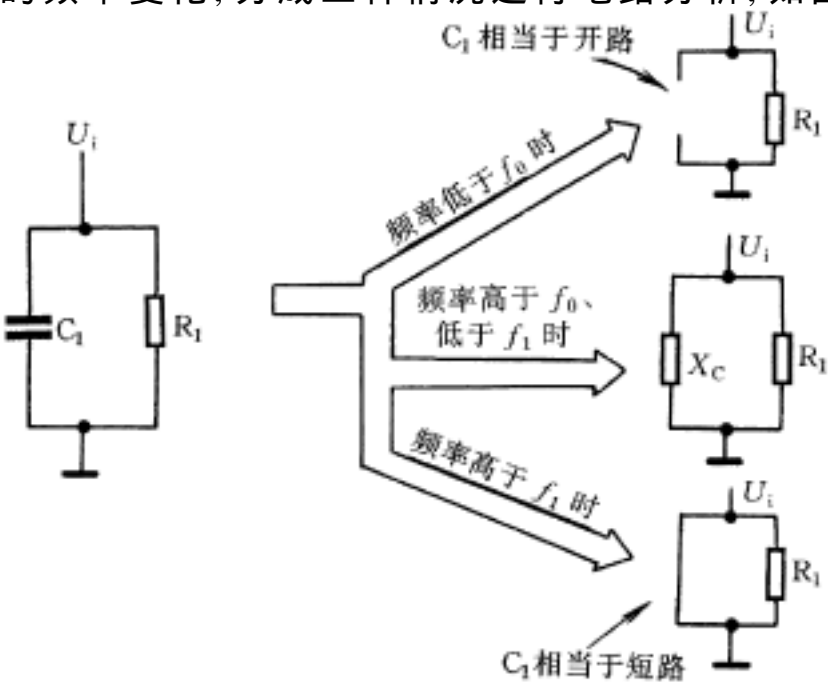


图 2 - 28 RC 并联电路的交流等效电路

总电流是频率愈高,其信号电流愈大。

在交流电路中,当交流输入信号频率高于 RC 并联电路阻抗特性曲线中的频率 f_i 时,因为 C_1 的容抗很小而接近于零,这时相当于 C_1 将 R_1 短路,见等效电路中所示。电路的总阻抗就由 C_1 的容抗决定,其值接近于零。

通过上述五步的识图小结可知,对于电阻和电容并联电路,对于电阻器而言,由于它对交流和直流信号呈现相同的电阻值,所以在电路中没有变化。但是,电容器的变化很多,电路的各种情况分析都是围绕电容器的变化进行的。而电容器的变化主要是在各种情况下它的容抗变化,所以搞清楚 RC 并联电路中的总阻抗特性后,就能够比较方便地进行 RC 并联电路的工作原理分析。

2 3 2 RC 串联电路

图 2 - 29 所示是 RC 串联电路,RC 串联电路由一个电阻 R_1 和一个电容 C_1 串联而成,电路组成形式与纯电阻器的串联电路一样。对这一 RC 串联电路的分析也同前面的 RC 并联电路一样,分成直流信号和交流信号两种情况,并且也要分成前面所述的五种具体情况进行分析。

1 . 直流电路分析

图 2 - 30 所示是这一 RC 串联电路接于直流电路中的等效电路。当直流电源刚接通瞬间,由于电容 C_1 两端的电压为 0V,它相当于短路,这样,这一 RC 串联电路中只有电阻 R_1 ,见图中的等效电路所示。

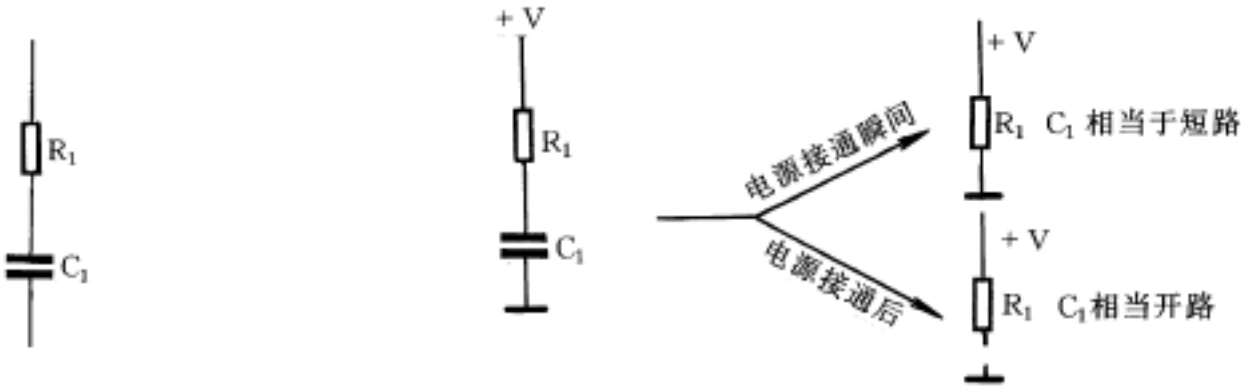


图 2 - 29 RC 串联电路

图 2 - 30 RC 串联电路的直流等效电路

在直流电源接通后,直流工作电压 $+V$ 通过电阻 R_1 对电容 C_1 充电,很快 C_1 中充满了电荷,在 C_1 上充到了上正下负的直流电压,其大小为 $+V$,这时电容器 C_1 相当于开路,由于是串联电路,所以电阻 R_1 也开路了,此时没有直流电流流过这一 RC 串联电路。

2 . 交流电路分析

图 2 - 31(a)所示是这一 RC 串联电路接于交流电路中的等效电路。从等效电路中可以看出,电容器 C_1 的容抗等效成一只电阻 X_C ,与电阻 R_1 构成串联电路, C_1 的容抗 X_C 大小将随频率高低的变化而变化。

图 2 - 31(b)所示是这一 RC 串联电路的阻抗特性曲线,图中 X 轴方向为频率, Y 轴方向为

这一 RC 串联电路的总阻抗,从这一阻抗特性曲线中可以看出 RC 串联电路总的阻抗随频率变化而变化的情况。曲线中,阻抗特性曲线在频率 f_0 处改变,这一频率称为转折频率,这种 RC 串联电路中只有一个转折频率 f_0 。它的计算公式和 RC 并联电路一样,即为 $f_0 = 1 / 2 R_1 C_1$ 。

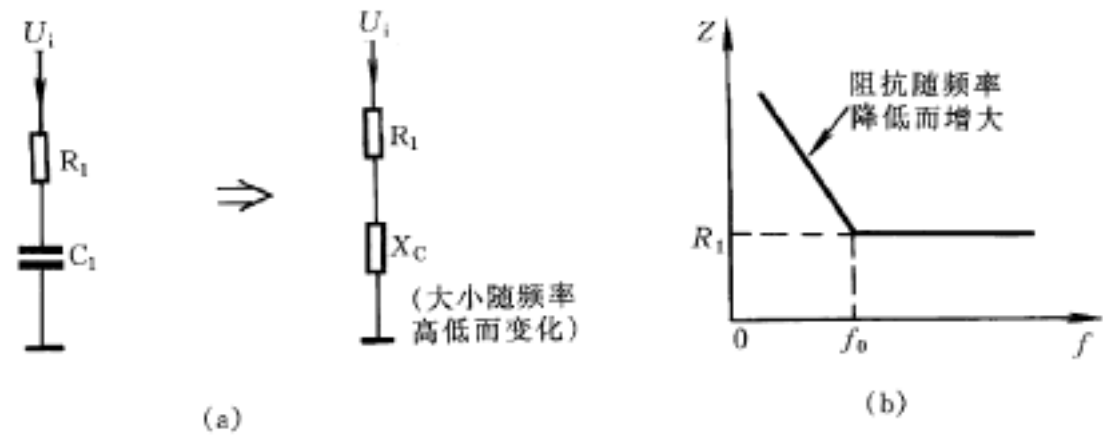


图 2 - 31 交流电路中的 RC 串联电路

当输入信号频率高于 f_0 时,整个 RC 串联电路总的阻抗不变了,其大小等于电阻 R_1 ,这是因为当输入信号频率高到一定程度后,电容 C_1 的容抗小到几乎为零的程度,这样 C_1 的容抗可以忽略不计,此时的 RC 串联电路等效成如图 2 - 32 所示电路,电路中只有电阻 R_1 ,而电阻 R_1 的阻值是不随频率变化而变化的,所以此时无论频率是否在变化,总的阻抗基本保持不变而大小为 R_1 。

当输入信号频率低于 f_0 时,由于交流信号的频率降低,电容 C_1 的容抗增大,大到与它相串联的电阻 R_1 相比较不能忽略的程度,所以此时要考虑 C_1 容抗的存在。随着输入信号频率的降低, C_1 的容抗愈来愈大,RC 串联电路总的阻抗是 R_1 与 C_1 容抗之和, R_1 和 C_1 共同影响这一串联电路的阻抗,如图 2 - 32 所示。这样,随着输入信号频率的降低,RC 串联电路总的阻抗在增大,电路中的交流信号电流在减小,而且频率愈低,交流信号电流愈小。

当交流信号频率低到一定程度时, C_1 的容抗很大而相当于呈开路状态,此时 R_1 也相当于开路,等效电路如图 2 - 32 所示,这时 RC 串联电路中就没有频率很低的信号电流流过。换言之,这一 RC 串联电路对频率很低的信号呈开路特征。

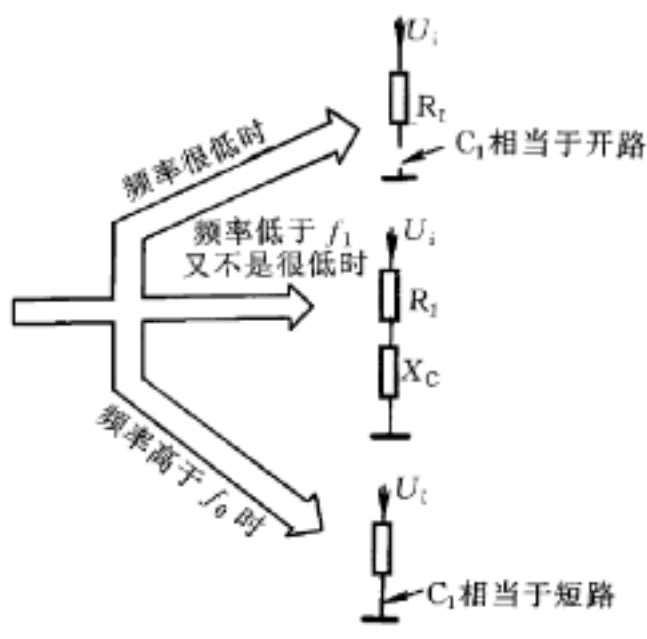


图 2 - 32 RC 串联的电路的交流等效电路

2 3 3 RC 串并联电路

RC 串并联电路是电阻器和电容器构成的有并联、有串联的 RC 电路,具体电路变化形式有许多种。

1. RC 串并联电路之一

图 2 - 33 所示是一种 RC 串并联电路。电路中,有两只电阻器 R_1 和 R_2 ,有一只电容器 C_1 , R_2 与 C_1 并联,然后再与 R_1 串联。

关于这一 RC 串并联电路的工作原理,主要说明如下几点。

对这一 RC 串并联电路而言,无论是接入直流电路还是交流电路,电路中都会有电流流过。在直流电路中,电容 C_1 不能让直流电流通过而相当于开路,这时电路就变成电阻 R_1 和 R_2 的串联电路。

这一电路接在交流电路中,电路的工作情况要根据交流信号的频率高低变化进行分析,在分析中,这一 RC 串并联电路的阻抗特性是关键所在。图 2 - 34 所示是这一电路的阻抗特性曲线。

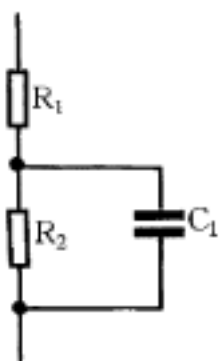


图 2 - 33 RC 串并联电路之一

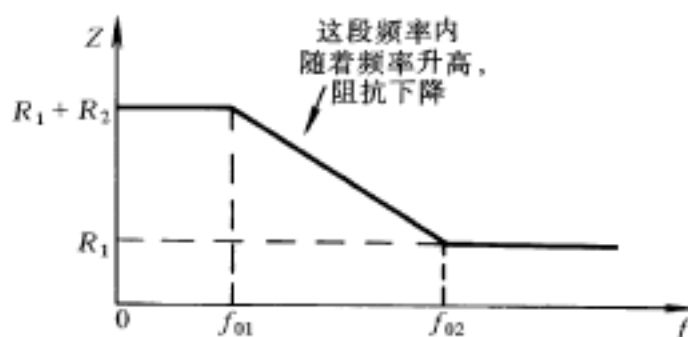


图 2 - 34 RC 串并联电路阻抗特性曲线

从这一阻抗特性曲线上可以看出,它存在两个转折频率 f_{01} 和 f_{02} ,这两个转折频率由下列公式计算

$$f_{01} = \frac{1}{2 R_2 C_1}$$

$$f_{02} = \frac{1}{2 C_1 [R_1 \times R_2 / (R_1 + R_2)]}$$

当交流信号频率低于转折频率 f_{01} 时,由于 C_1 的容抗很大,即比 R_2 的阻值大出许多,由并联电路特性可知,这时电容 C_1 相当于开路,此时这一 RC 串并联电路中只有 R_1 和 R_2 的串联,所以电路的总阻抗为 $R_1 + R_2$ 。在这一频段内,电路的总阻抗大小不随频率的降低而有什么变化。

当信号频率高于转折频率 f_{02} 时,由于信号频率很高了, C_1 的容抗已经很小,小到为零的程度,这样 C_1 相当于将电阻 R_2 短接,此时电路中只有电阻 R_1 ,电路的总阻抗就是 R_1 。并且,阻抗也不随频率的升高有什么大小变化。

当信号频率高于转折频率 f_{01} 而低于 f_{02} 时,由于 C_1 的容抗与电阻 R_2 相比,不是很大也不是很小,可以与 R_2 的阻值进行大小的比较,这样 C_1 就不能看作为开路,也不能看成是短路,此时这一 RC 串并联电路的总阻抗在 $R_1 + R_2$ 和 R_1 之间变化,随着频率升高,阻抗从 $R_1 + R_2$ 降低到 R_1 ,见阻抗特性曲线中所示。在这一频段内,随着交流信号的频率升高,流过这一 RC 串并联电路的电流在增大。

2. RC 串并联电路之二

图 2 - 35 所示是另一种 RC 串并联电路。电路中,有两只电阻器 R_1 和 R_2 ,两只电容器 C_1

和 C_2 , R_1 与 C_1 并联, R_2 和 C_2 并联, 然后两个并联电路再串联。对这种 RC 串并联电路, 要求 $R_2 > R_1$, $C_2 > C_1$ 。

对这一 RC 串并联电路而言, 如果接入直流电路中, 电容 C_1 和 C_2 不能让直流电流通过而相当于开路, 这时电路就变成电阻 R_1 和 R_2 的串联电路。

关于这一 RC 串并联电路接入交流电路中的工作原理, 主要说明以下几点。

这一 RC 串并联电路有两三个转折频率, 图 2 - 36 所示是这一 RC 串并联电路的阻抗特性曲线。

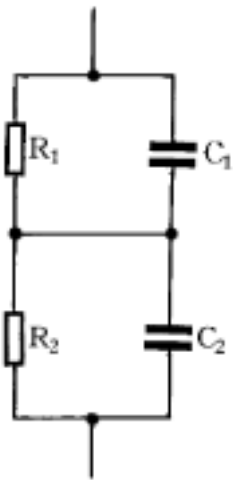


图 2 - 35 RC 串并联电路之二

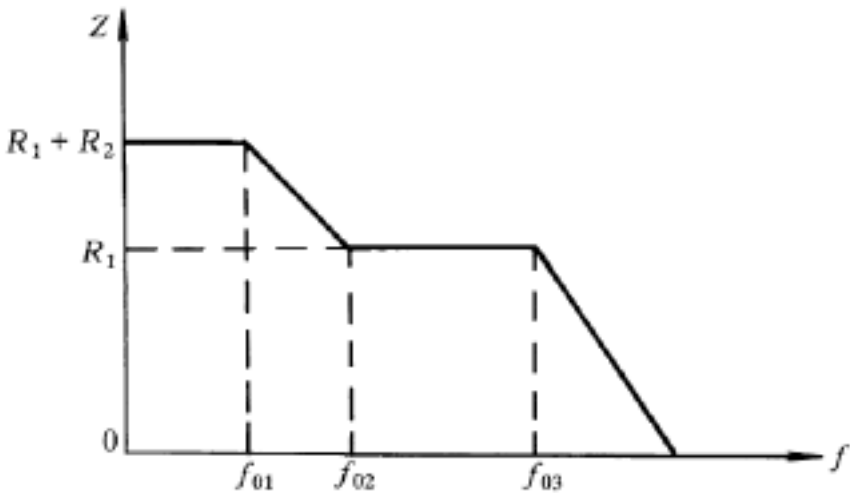


图 2 - 36 阻抗特性曲线

当信号频率高于转折频率 f_{03} 时, 由于频率很高, C_2 的容抗已经很小 ($C_2 > C_1$, C_2 容抗先变小), 相当于 C_2 将电阻 R_2 短接, 此时电路中只有电阻 R_1 和 C_1 并联电路, 这样, 随着频率的进一步升高, 电路的阻抗下降, 一直下降到零, 如曲线中所示。

当信号频率高于转折频率 f_{02} 而低于 f_{03} 时, 由于 C_1 的容抗与电阻 R_1 相比很大而呈开路状态, 而 C_2 的容抗很小而短接电阻 R_2 , 这样, 这一 RC 串并联电路就只有电阻 R_1 , 所以电路的总阻抗为 R_1 , 见阻抗特性曲线中所示。在这一频段内, 交流信号的频率升高或降低, 电路的阻抗不变, 所以流过这一 RC 串并联电路的电流大小也不变。

当信号频率高于转折频率 f_{01} 而低于 f_{02} 时, 由于 C_1 容量小, 所以 C_1 的容抗很大而相当于开路。同时, C_2 的容抗可以与电阻 R_2 的大小进行比较, 这样, 这一 RC 串并联电路中就只有电阻 R_1 、 R_2 和 C_2 三只元件, 随着频率的降低, 电路总的阻抗在增大, 见阻抗特性曲线中所示。

当交流信号频率低于转折频率 f_{01} 时, 由于频率低了, C_1 和 C_2 的容抗都很大, 均相当于开路, 此时 RC 串并联电路中只有 R_1 和 R_2 的串联, 所以电路的总阻抗为 $R_1 + R_2$ 。在这一频段内, 电路的总阻抗大小不随频率降低的变化而变化, 流过这一电路的交流信号电流大小也不变化。

3 . RC 串并联电路之三

图 2 - 37 所示是另一种形式的 RC 串并联电路, 电阻 R_1 与 C_1 串联后与电阻 R_2 并联, 电路结构与前面两种电路有所不同。

关于这一电路的工作原理, 主要说明如下。

对这一 RC 串并联电路而言, 如果接入直流电路中, 电容 C_1 不能让直流电流通过而相当于开路, 同时使电阻 R_1 开路, 这时电路中就只有电阻 R_2 。

在交流电路中, 这一 RC 串并联电路的工作情况要根据交流信号的频率高低变化情况

进行分析,图 2 - 38 所示是这一电路的阻抗特性曲线,从这一电路的阻抗特性曲线中可看出,它有两个转折频率。

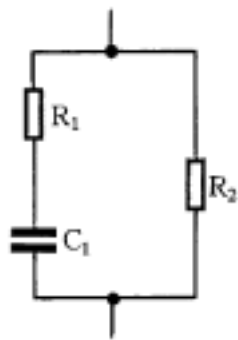


图 2 - 37 RC 串并联电路之三

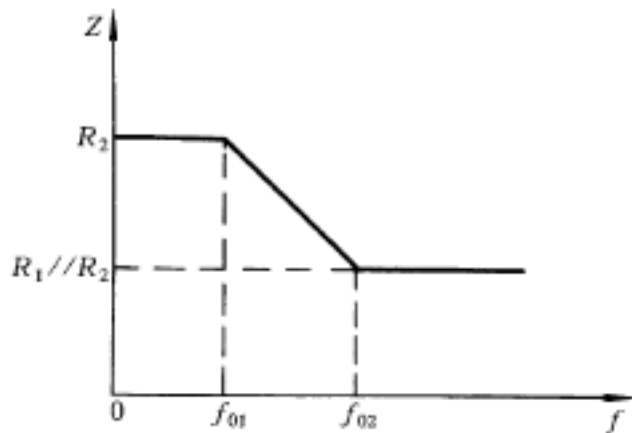


图 2 - 38 阻抗特性曲线

当信号频率高于转折频率 f_{02} 时,由于频率高, C_1 的容抗变得很小而近似为零,相当于短路,此时电路中就是电阻 R_1 和 R_2 并联,这时电路的总阻抗就是 R_1 和 R_2 的并联值,如曲线中所示。

当信号频率高于转折频率 f_{01} 而低于 f_{02} 时,由于 C_1 的容抗不是很大也不是很小,它的容抗起着作用,它与电阻 R_1 串联后再与 R_2 并联。在这一频段内,交流信号的频率升高, C_1 容抗下降,电路的总阻抗下降,见阻抗特性曲线所示。

当交流信号频率低于转折频率 f_{01} 时, C_1 的容抗很大, C_1 相当于开路,使 R_1 也相当于开路,此时 RC 串并联电路中只有电阻 R_2 ,见阻抗特性曲线所示。

2 3 4 RC 串并联电路分析小结

关于 RC 串并联电路分析,主要小结以下几点。

上面详细分析了各种 RC 串并联电路的工作原理和电路分析方法,这些电路是组成一个复杂整机电路的基本电路,只有熟练掌握对这些 RC 串并联电路的分析,才能对整机电路中变化万千的电路进行分析。

在分析 RC 串并联电路过程中,最主要的是掌握电路的阻抗特性(可记住电路的阻抗特性曲线),因为在众多的 RC 串并联应用电路中,电路的阻抗大小对电路的工作状态有着重要的影响。

在分析这种电路的阻抗特性时,要将信号频率分成多个频段来讨论,因为在不同频段范围内,RC 串并联电路的阻抗大小是改变的。

在分析 RC 串并联电路的阻抗特性时,关键是掌握电容的容抗随频率变化而变化的特性,电阻没有任何的变化。

上述电路分析中,都出现了这样一个现象,即电容的容抗与电阻之间的大小比较,容抗大时相当于开路,容抗小时相当于短路,这种电路分析方法很重要,必须学会运用。

2 3 5 微分电路

微分电路和后面将要介绍的积分电路是两个重要的由电阻器和电容器构成的电路,由于

这两种电路的处理信号与脉冲信号有关,所以在介绍这两种电路之前,首先介绍有关脉冲信号的基础知识,以便电路分析的理解。

1 . 时间常数概念

在 RC 电路工作原理分析中,有时必须用到时间常数这一概念。时间常数用 τ 表示,它的大小与电路中的电阻器阻值 R 和电容器容量 C 直接相关, $\tau = R \times C$,即电容量与电阻值之积。

在时间常数中,当电容量大小不变时,电阻值大小决定了时间常数大小;电阻值不变时,电容量的大小决定了时间常数大小。

2 . 脉冲波形

前面章节介绍了直流信号和正弦交流信号的波形,这里介绍 9 种脉冲信号的波形,如图 2 - 39所示。所谓脉冲信号,就是一切带有突变部分的周期性或非周期性的非正弦信号,图中这 9 种波形都具有突变的部份,即波形变化的不连续部分。脉冲信号的种类比较多,图中前 8 种是基本类型的脉冲信号,都是周期性的脉冲信号,第 9 种是一个复合的脉冲信号,即由两种类型的脉冲信号复合而成。

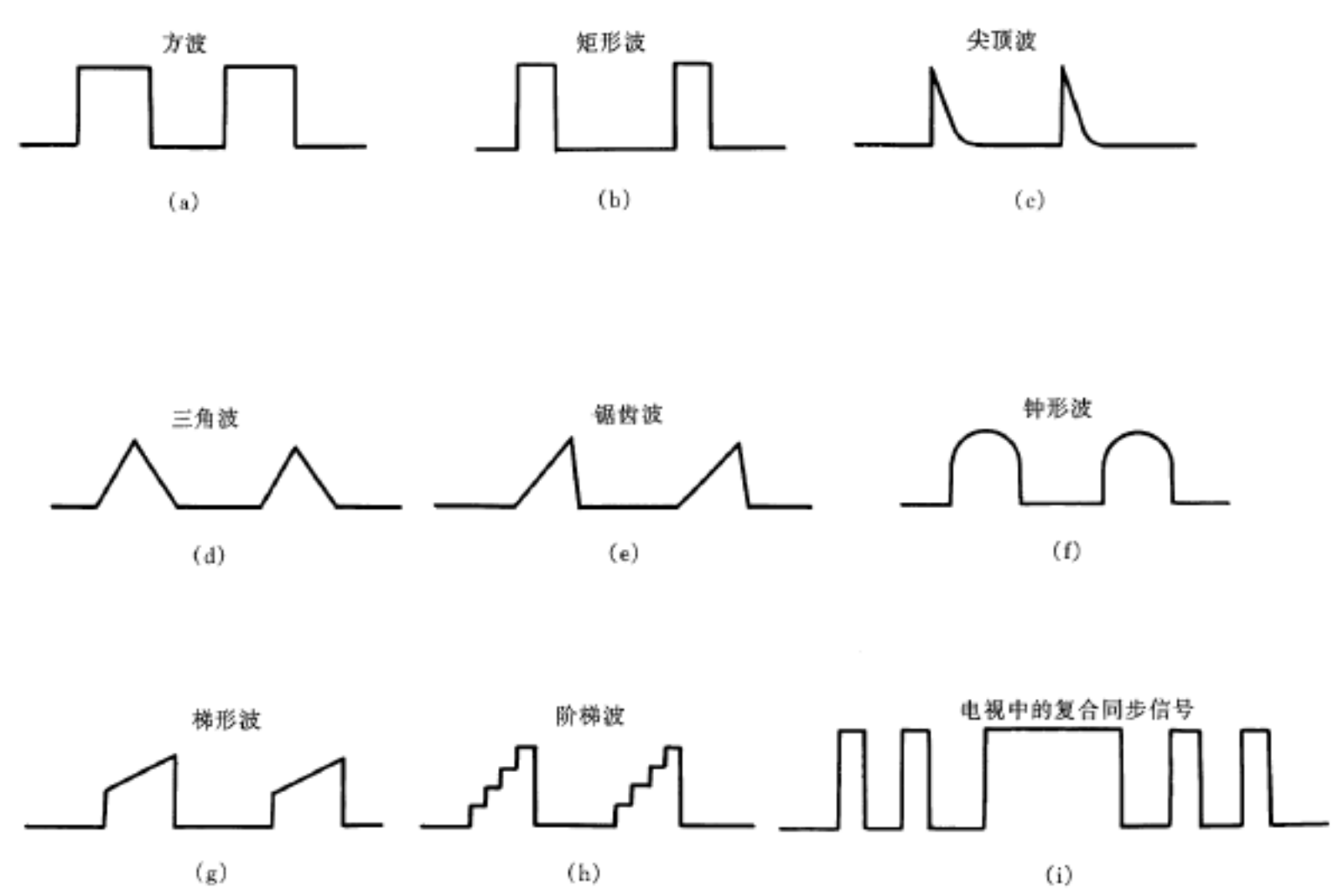


图 2 - 39 9 种脉冲信号波形示意图

图 2 - 39(a)所示是方波脉冲信号波形,它的特点是脉冲波形呈方形,这一脉冲信号主要用于控制信号,或用来产生尖顶脉冲信号。

图 2 - 39(b)所示是矩形波脉冲信号波形,它的特点是脉冲出现时间与间隔时间不相等,

这一脉冲信号主要用于控制信号,或用来产生尖顶脉冲信号。

图 2 - 39(c) 所示是尖顶波脉冲信号波形,它的特点是脉冲快速上升,缓慢下降,这一脉冲信号主要用来作为触发信号。

图 2 - 39(d) 所示是三角波脉冲信号波形,它的特点是波形呈现等腰形态,这一脉冲信号主要用来作为触发信号。

图 2 - 39(e) 所示是锯齿波脉冲信号波形,它的特点是脉冲波形的前沿上升得比较缓慢,但是脉冲波形的后沿下降得迅速,这一脉冲信号主要用在电视机、雷达和示波器中作为扫描信号。

图 2 - 39(f) 所示是钟形波脉冲信号波形,它的特点是顶部为圆形,这一脉冲信号主要用于雷达中。

图 2 - 39(g) 所示是梯形波脉冲信号波形,它的特点是波形为梯形,这一脉冲信号主要用于触发信号和锯齿波信号源中。

图 2 - 39(h) 所示是阶梯波脉冲信号波形,它的特点是波形如同阶梯一样,脉冲波形的前沿电压呈台梯状增大,脉冲波形的后沿下降得迅速,这一脉冲信号主要用于电视机中的灰度等级信号,或在晶体管测试仪中作为测试信号。

图 2 - 39(i) 所示是复合同步信号波形,它的特点是由两种矩形脉冲波形的组合而成,这一脉冲信号主要用于电视机的扫描电路中作为同步信号。

3 . 矩形脉冲波参数解说

图 2 - 40(a) 所示是矩形脉冲信号波形示意图,这是一个理想的矩形脉冲信号波形。脉冲的上升阶段称为脉冲的前沿,脉冲出现后电压大小不变的阶段称为平顶,脉冲的下降阶段称为后沿。由于是一个理想的矩形脉冲信号,所以它的前沿和后沿部分都是垂直的,它的平顶部分是水平的,实际的矩形脉冲无法达到这一理想状态。

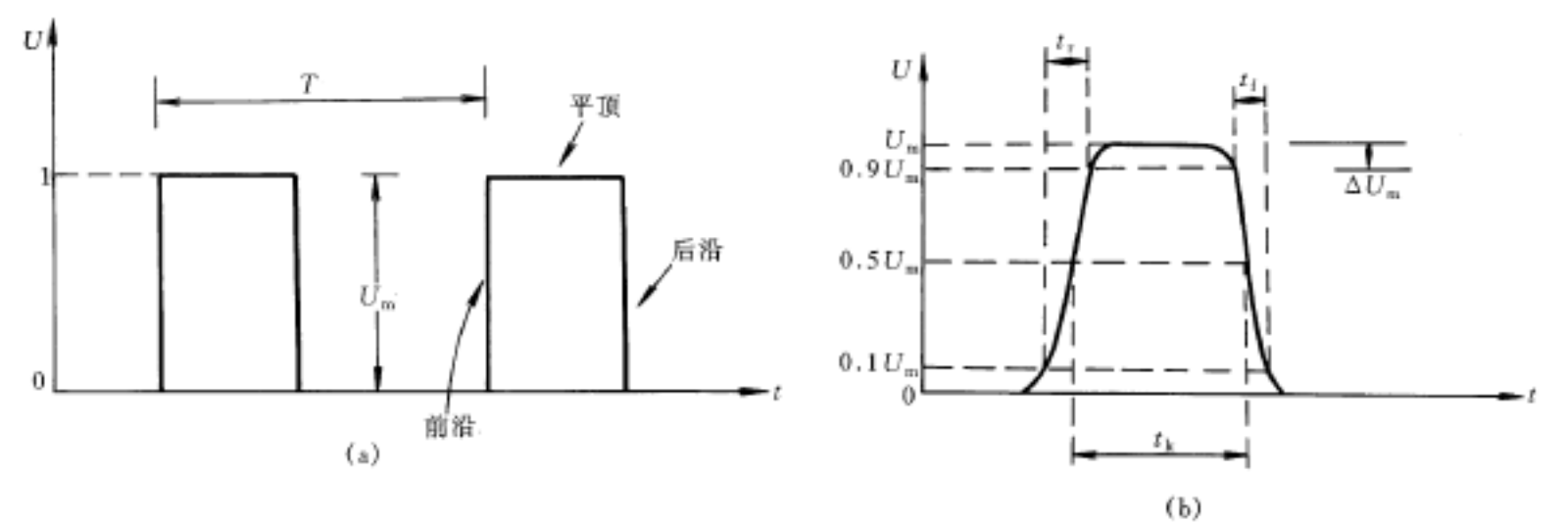


图 2 - 40 矩形脉冲信号波形示意图

这是一个周期性的矩形脉冲,周期为图中的 T ,即两个相同波形脉冲的时间间隔。脉冲的高度称为脉冲幅度,当它为电压时用 U_m 表示,当它为电流时用 I_m 表示。

图 2 - 40(b) 所示是更接近实际情况的矩形脉冲信号波形示意图,脉冲信号的幅度为 1,现将波形中的有关参数和概念解说如下。

t_k : 它是矩形脉冲幅度在一半($0.5 U_m$)时的脉冲宽度,如果脉冲的顶部和底部幅度相差不

大,这一宽度就代表了该脉冲的宽度。在 $0.1 U_m$ 处的宽度为该脉冲的底部宽度,在 $0.9 U_m$ 处的宽度为该脉冲的顶部宽度。

t_r : 它称为脉冲前沿时间,它是脉冲从 $0.1 U_m$ 处上升到 $0.9 U_m$ 处所需要的时间,显然这一时间愈短,脉冲前沿愈陡。

t_f : 它称为脉冲后沿时间,它是脉冲从 $0.9 U_m$ 处下降到 $0.1 U_m$ 处所需要的时间,显然这一时间愈短,脉冲后沿愈陡。

U_m : 它称为脉冲波顶降落,常用它与 U_m 比值的百分比来表示。

T/t_K : 它称为空度系数,它是脉冲重复周期与脉冲宽度的比值。当此系数大时,在一个周期内脉冲的出现时间比较短,而脉冲消失的时间比较长。

4 . 微分电路

微分电路用于一些电子开关加速电路、整形电路和触发信号电路中。

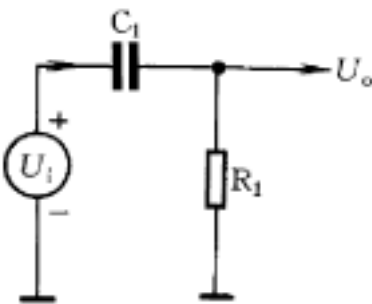


图 2 - 41 所示是微分电路。从这一电路中可以看出,微分电路由电阻 R_1 和电容 C_1 构成,输入信号 U_i 加到电容 C_1 上,输出信号 U_o 取自电阻 R_1 上。从这一 RC 电路结构上看,它是一个由电阻器和电容器构成的分压电路。

如果给这一微分电路输入正弦交流信号,那么电路分析就同前面介绍的 RC 串联电路或电阻分压电路相似,但是,给微分电路输入的不是正弦信号,而是矩形脉冲信号,图 2 - 42 所示是微分电路的输入信号 U_i 和输出信号 U_o 波形示意图。

在微分电路中,要求 RC 时间常数远小于脉冲宽度 t_K , 这一点是微分电路中电阻 R_1 、电容 C_1 必须满足的要求,否则微分电路不能正常地工作。

对微分电路的分析,要根据输入脉冲信号在前沿阶段、平顶阶段、后沿阶段等几种情况进行。下面结合微分电路的输入信号和输出信号波形,对微分电路的工作原理分析说明如下几点。

当输入信号脉冲没有出现时,输入信号电压为 0V,所以输出信号电压也为 0V。

当输入脉冲刚出现,即图中的 t_1 时,输入信号从零突然跳变到高电平,即脉冲的前沿阶段,由于输入信号电压从零突变到最大值时间很短,电容 C_1 内部原来没有电荷,其两端的电压为 0V, C_1 相当于短接,此时的等效电路如图 2 - 43(a) 所示,相当于输入脉冲 U_i 直接加到电阻 R_1 上,此时输入脉冲信号在最大值,所以微分电路此时输出最大电压,即为输入信号脉冲的幅值,见输出信号波形所示。

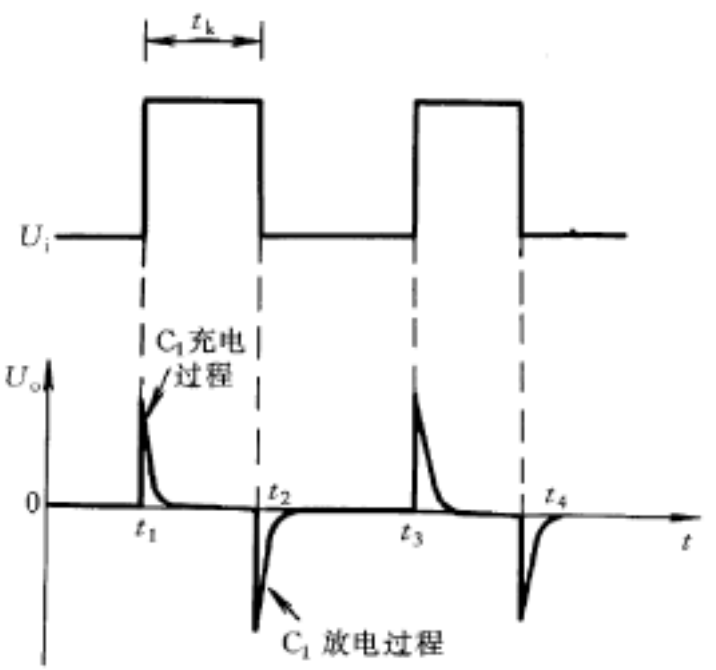


图 2 - 42 微分电路的输入信号和输出信号波形

输入脉冲很快进入平顶阶段,保持最高电压,这一输入信号电压很快通过电阻 R_1 对电容 C_1 进行充电,如图 2 - 43(b) 所示,充电电流流过电容 C_1 ,在这期间对电容 C_1 充电电压极性

为左正右负,见图中所示。随着这一充电的进行,电容 C_1 两端的电压愈来愈大,微分电路输出端的输出电压则愈来愈小,见微分电路输出信号的下降过程所示。

由于 R_1 和 C_1 的时间常数很小,远小于输入信号的脉冲宽度,所以对电容 C_1 充电很快完毕,在 C_1 上充到输入脉冲信号的峰值电压。充满电荷的电容 C_1 相当于开路,此时微分电路的等效电路如图 2 - 43(c) 所示,这时微分电路输出电压为 0V,所以微分电路输出端的电压从最大值快速下降为零,见输出信号波形所示。

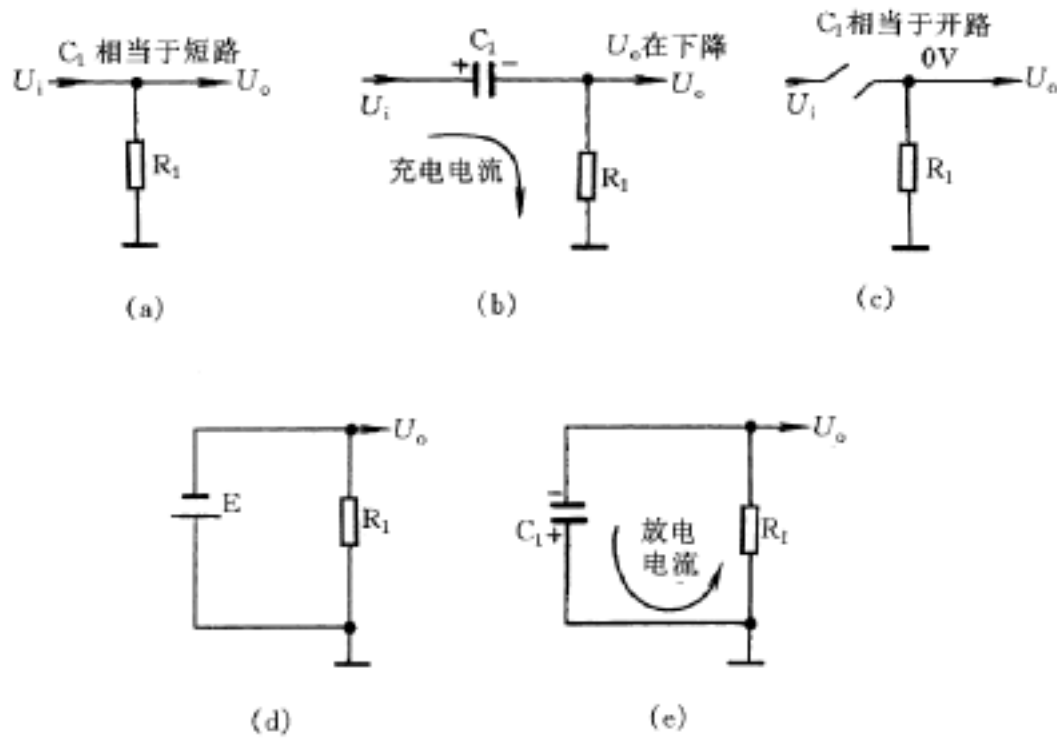


图 2 - 43 微分电路各时段的等效电路

电容 C_1 充满电荷相当于开路之后,输入信号脉冲仍然保持高电平状态,输出信号电压则保持为零。当输入脉冲从高电平跳变到低电平后,即 t_2 时刻后,输入信号脉冲的电压为 0V,这时的微分电路相于输入端对地短接,其等效电路如图 2 - 43(d) 所示。在这一时刻,充满电荷的电容相当于一个直流电源 E ,其极性见图中所示为下正上负,所以这时微分电路输出端的电压为负,其电压值为最大,等于 C_1 上的充电电压,也就是输入脉冲信号的幅值,见微分电路输出信号波形示意图。

在输入脉冲从高电平跳变到低电平之后,电路放电过程开始,这时微分电路的等效电路如图 2 - 43(e) 所示,放电电流从下而上地流过电阻 R_1 ,所以此时的输出信号电压是负的。由于放电回路的时间常数很小,放电很快。放电使电容 C_1 内的电荷减少, C_1 上的电压减小,最后放电电流很快减小直至为零,这样,输出信号电压从负的最大状态减小到为零状态,见微分电路输出信号波形示意图。

通过上述几步分析,微分电路完成了一个周期的工作,当第二个输入脉冲到来后,电路开始第二次循环。

从图 2 - 42 所示微分电路输出信号波形中可以看出,通过微分电路可以将输入的矩形脉冲信号变成尖顶脉冲,在输入脉冲信号的每一个突变处,即 t_1 、 t_2 处微分电路都能输出很大的尖顶脉冲信号,而在输入脉冲的平顶期间(输入信号电压大小不发生改变时)输出信号电压为 0V,所以微分电路能够取出输入信号中的突变成分,这些突变成分是输入信号中的高频分量,说明微分电路具有这样的功能:能够取出输入信号中的高频成分,而去掉其中的低频成分。

2 3 6 积分电路

积分电路可以用于黑白和彩色电视机的扫描电路中。

图 2 - 44 所示是积分电路。从这一电路中可以看出,它与微分电路十分相似,都是由一只电阻 R_1 和一只电容 C_1 构成。

1. 积分电路与微分电路的不同点

积分电路与微分电路相比,存在以下两个方面的不同。

输入脉冲信号 U_i 加在电阻 R_1 上,而输出信号取自电容 C_1 上,这一点与微分电路恰恰相反。

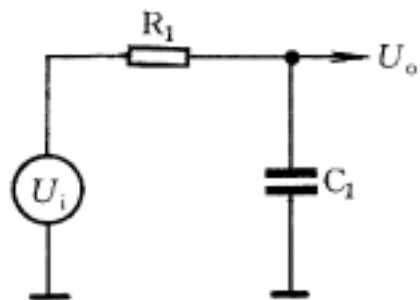


图 2 - 44 积分电路

输入信号也是矩形脉冲信号,图 2 - 45 所示是积分电路的输入脉冲信号和输出信号波形示意图。但是,在积分电路中,要求 RC 电路中的时间常数 远大于脉冲宽度 t_k ,这一点也是与微分电路正好相反的。

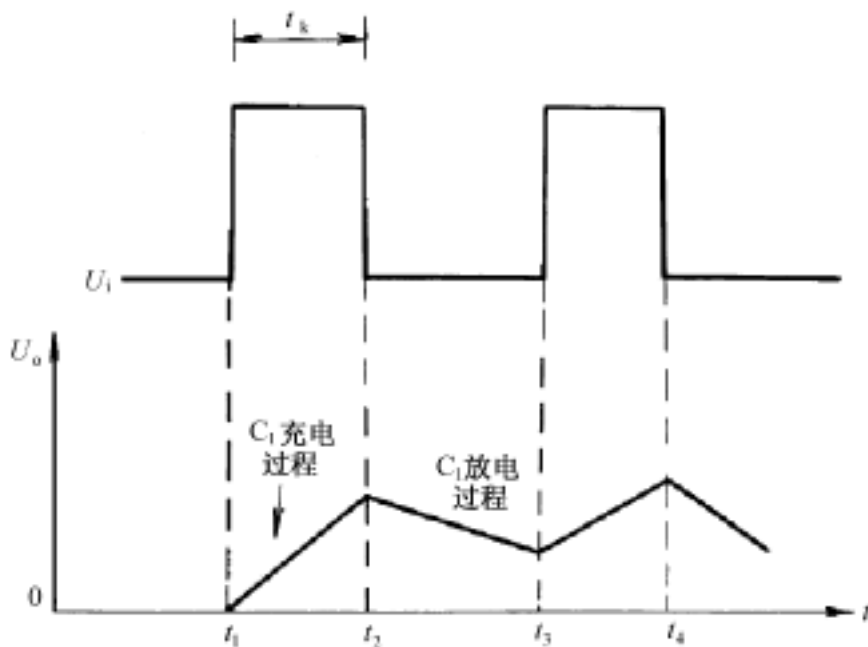


图 2 - 45 积分电路输入脉冲信号和输出信号波形示意图

2. 电路分析

下面结合积分电路输入脉冲信号和输出信号波形示意图,对积分电路的工作原理说明如下。

当脉冲信号没有出现时,因为输入信号电压为零,电路中没有电流流过,所以输出信号电压为零。

当输入脉冲信号出现后,即开始正跳变后,输入信号开始通过电阻 R_1 对电容 C_1 进行充电, C_1 上的电压是按指数规律上升的,在 C_1 上的充电电压极性为上正下负。由于积分电路的 RC 时间常

数比较大,远大于脉冲宽度,所以在 C_1 上的电压上升比较缓慢,也就是 C_1 上电压按指数规律上升了很小一段,由于是指数曲线的起始段,这一段是近似线性的,即近似为直线状。在这一充电期间,电流从上而下地流过 C_1 ,所以在 C_1 上的电压极性为上正下负。

积分电路充电过程中,充电电流 I 的大小可以用下列公式计算

$$I = \frac{U_i - U_o}{R_1}$$

由于积分电路的时间常数很大,输出信号电压还没有升高多少时,输入脉冲电压就消失了,这样,输出信号电压远小于输入信号电压,所以可以忽略输出信号电压大小,这样上式可以写成下列公式

$$I \approx \frac{U_i}{R_1}$$

由上式可以看出,流过电容 C_1 的电流近似与输入信号电压大小成正比,所以 C_1 上的输出

信号电压大小近似地与输入信号电压 U_i 的积分成正比,积分电路由此得名。

在对电容 C_1 充电没有多久,输入脉冲就跳变到为零,这时对电容 C_1 的充电也就结束, C_1 开始放电。在输入脉冲为零后,这相当于输入端对地端是短接的。由于电容 C_1 上已经充到了上正下负电压,此时电容 C_1 开始放电,其放电电流回路是这样:如图 2 - 44 所示, C_1 上端 R_1 输入端即地端(此时信号源 U_i 为 0V,相当于信号源两端短路) C_1 下端即地端。放电也是按指数规律进行的,随着放电的进行, C_1 上的电压在下降,见积分电路输出信号波形中的放电曲线。由于时间常数比较大,所以放电也是缓慢的。

当电容 C_1 中电荷尚未完全放电完毕,输入脉冲就再次出现,又开始对电容 C_1 进行再度充电,这样依次充电、放电循环下去。

前面介绍的微分电路能够取出输入脉冲信号中的突变信号,即高频成分,而积分电路则相反,它能够取出输入脉冲信号的平均值大小,即低频成分。

2 3 7 微分电路和积分电路识图小结

关于微分电路和积分电路的工作原理分析,主要说明以下几点。

微分电路和积分电路在电路形式上类似于电阻分压电路,但电路的工作原理是不同的。

进行电路分析时要将一个周期的输入脉冲信号分成几个时间区间,即分成脉冲前沿、平顶和后沿几个时间区间,分别分析这几个时间区间内输入脉冲信号加到电路后的响应过程。

微分电路和积分电路对输入脉冲信号的响应是不同的。对积分电路而言,输入脉冲宽,输出信号电压大;而对于微分电路,当输入信号电压为低电平或为高电平时,只要电平的大小不发生突变,输出信号电压均为零,当输入信号从低电平跳变到高电平,或从高电平跳变到低电平时,才有输出信号电压,所以这种电路能够从输入信号中取出信号电平突变的成分。

在微分电路中,每当输入信号电平有一次跳变时,输出信号就为一个尖顶脉冲。当输入信号电平从低电平跳变到高电平时,输出正尖顶脉冲;当输入信号从高电平跳变到低电平时,输出负尖顶脉冲。

2 3 8 信号相位的概念

交流信号不仅有幅度大小的变化,而且还有相位的变化。对初学者而言,信号的相位比起幅度来更难以理解。所以,在后面讲解 RC 移相电路之前,必须先解说有关交流信号相位的一些基本概念。

1 . 信号相位的波形表示方法

通俗地讲,交流信号的相位就是信号在某瞬间信号大小变化的方向。信号的相位问题在电路分析中有时显得十分重要,同时也是很难理解的概念,下面通过几种具体的信号相位表示方式来说明信号的相位概念。

图 2 - 46 所示是两个频率相同的正弦信号电压波形示意图。图 2 - 46(a)中所示的 A 和 B 波形同时增大,同时减小,同时为零,同时为正半周,同时为负半周,同时达到正峰点,同时达到

负峰点,这样的两种信号 A 和 B 就是相位相同,A 与 B 信号之间的相位相差 0° ,称为同相信号。

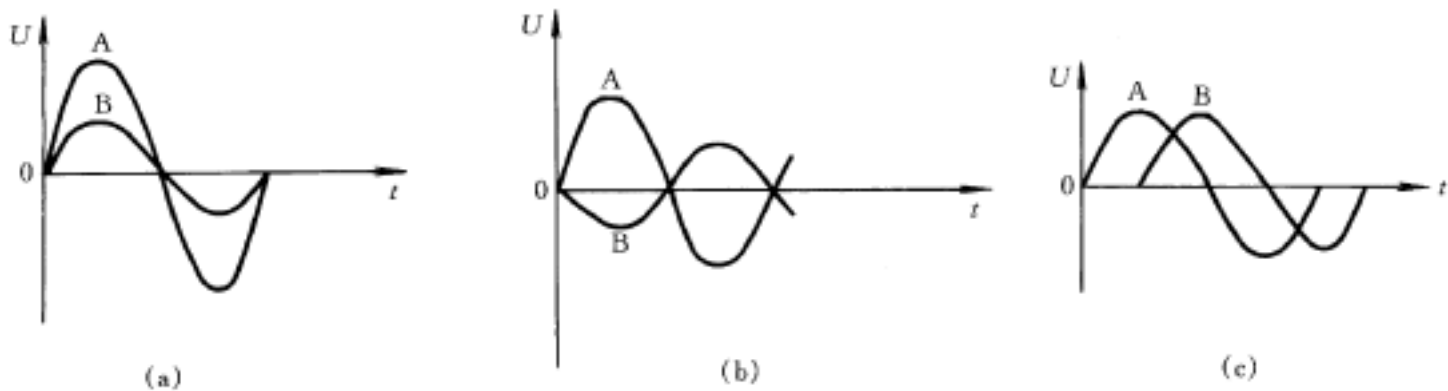


图 2 - 46 信号的相位示意图

如图 2 - 46(b)所示的两个波形中,当一个信号 A 波形达到最大值(正峰点)时,另一个信号 B 波形却在最小值(负峰点),一个信号为正半周时,另一个信号则为负半周,一个信号在增大时,另一个信号在减小,这样的两种信号 A 和 B 就是相位反相,A、B 信号之间的相位相差为 180° ,称为反相信号。

如图 2 - 46(c)所示的两个波形,当信号 A 达到最大值时,信号 B 才为零,当 A 为零时,B 为最大值,两个信号之间相位相差四分之一周期,即相差 90° ,称这样的两个信号 A 和 B 为正交信号。

2 . 信号相位的符号表示方法

在实际的电路分析中,采用上述的信号波形方法来说明两个信号之间的相位关系相当的麻烦,常用一些符号表示方法来说明两个信号之间的简单相位关系,例如采用符号“ + ”和“ - ”表示电路中某一点的信号相位,还可以采用 和 来表示信号在某时刻是增大还是减小。

在用“ + ”和“ - ”这种符号表示相位时,用“ + ”号表示信号幅度在增大,用“ - ”表示信号幅度在减小。分析电路时,往往在电路图中的某些关键点上标出信号相位的这种标记,这样可以方便、清楚地知道哪些端点的信号相位是相同的,哪些是相反的。

这种分析方法称为信号的瞬时极性分析法,往往用于正反馈和负反馈电路的分析,图 2 - 47 所示电路图中标注了这些符号。这是单级放大器电路图(将在后面进行详细讲解),在三极管 VT_1 基极标出“ + ”,在它的集电极标出“ - ”,在它的发射极标出“ + ”,这样,在进行电路分析时,一眼就能看出三极管三个电极上的信号电压之间的相位关系。

用增大符号 和减小符号 可以说明信号相位的变化情况, 表示信号幅度在增大, 表示信号幅度在减小,这种方法主要用于电路分析过程中,只能说明两个信号的相位是同相或反相的关系,即说明相位差为 180° 或为 0° 。两个信号同时增大时,或同时减小时,说明相位是相同的;当一个增大、一个减小时,说明它们之间的相位相反。

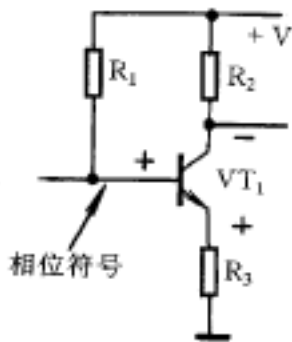


图 2 - 47 相位符号表示示意图

3. 信号相位的矢量表示方法

对于上述三种信号相位的同相、反相、正交情况,也可以用矢量方法来表示,而且矢量表示法可以表现两信号之间的任何相位差,图 2 - 48 所示是两个信号之间三种相位差的矢量表示方式示意图。

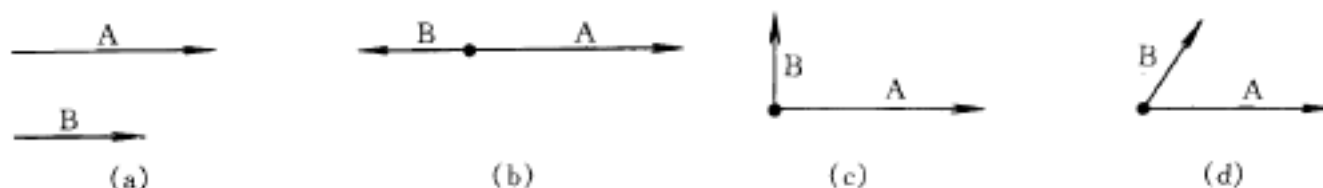


图 2 - 48 用矢量表示信号相位的示意图

如图 2 - 48(a)所示,信号 A 和信号 B 是同方向的,它们之间的相位差为 0° ,所以这两个信号的相位是同相的关系。A 和 B 线段的长度表示这两个信号的幅度大小,图中信号 A 的幅度大于信号 B。

如图 2 - 48(b)所示,信号 A 和信号 B 之间方向相反,所以它们之间的相位相反,说明它们之间相位差为 180° 。

如图 2 - 48(c)所示,信号 A 和信号 B 之间方向垂直,这说明它们之间的相位相差为 90° ,是正交信号。

如图 2 - 48(d)所示,信号 A 和信号 B 之间的夹角大于 0° 而小于 90° 。

2 3 9 电阻器、电容器上电压与电流之间的相位关系

电阻器和电容器电路可以用来对输入的交流信号进行相位的移相,根据阻容元件的位置不同,有两种 RC 移相电路。在讨论 RC 移相电路工作原理之前,先要分别对流过电阻器、电容器的电流与在它们之上的电压降之间的相位进行说明。

电压和电流之间的相位,是指电压在变化时引起电流变化的情况。当电压在增大时,电流也在同时增大,这说明电压和电流之间是同相位的,即相位差为 0° ;当电压在增大时,电流在减小,这说明它们之间相位相反,即它们之间的相位差为 180° 。这里要特别说明的一点是,实际电路中电压与电流之间的相位差不只是可以相差 0° 或 180° ,相位差也可以落在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 范围内。

对于不同的元件,流过该元件的电流与该元件上电压之间的相位是不同的,下面说明电阻器、电容器的电压与电流之间的相位差特性。

1. 电阻器

流过电阻器的电流和电阻器上的电压之间的相位是同相的,当加到电阻器两端的电压在增大时,流过电阻器的电流也在增大,无论是直流信号还是交流信号,电阻器的这一相位都相同,电阻器的这一特性方便了电阻器电路的分析。

电阻器的这一相位特性可以用矢量来表示,如图 2 - 49(a)所示,图中 I 是流过电阻器的电流, U_R 是电阻器两端的电压, I 、 U_R 之间没有夹角,表示相位相同, I 、 U_R 的线段长度分别表示电流的大小和电压的大小。

2. 电容器

流过电容器的交流电流与电容器两端的电压 U_C 之间相位相差 90° ; 并且是电流 I 超前电压 $U_C 90^\circ$, 如图 2 - 49(b) 所示。在画矢量图时, 将超前的量画在逆时针方向的前面, 图中电流超前电压。对于电容器的这一电压与电流之间的相位关系, 也可以说成是电压滞后于电流 90° 。

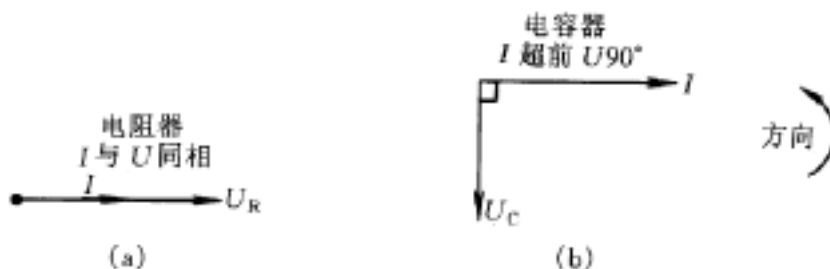


图 2 - 49 电阻器、电容器上电压与电流矢量表示法

可以这样记忆电容器的这一相位特性: 对于电容器而言, 只有对电容器充电之后, 电容器内部有了电荷, 电容器两端才有电压, 所以是先有流过电容器的电流, 然后才有电容器两端的电压, 这样电流就超前电压。

在 RC 移相电路中, 能够进行信号相位的移相是因为电容上的电流超前电压的特性。

2 3 .10 RC 滞后移相电路和 RC 超前移相电路

1. RC 滞后移相电路

图 2 - 50 所示是 RC 滞后移相电路。电路中, U_i 是输入信号电压, U_o 是经这一移相电路后的输出信号电压, I 是流过电阻 R_1 和电容 C_1 的电流。

分析 RC 移相电路工作原理时, 首先要学会画矢量图, 这是分析理解 RC 移相电路的最好方法。画图分成下列四步进行。

首先画出流过电阻器 R_1 和电容器 C_1 的电流 I , 即画出如图 2 - 51 所示中的一条水平线 I , 其线段的长短表示电流的大小, 但是在电路分析中, 一般不必太注意线段的长短, 长度一般就行。

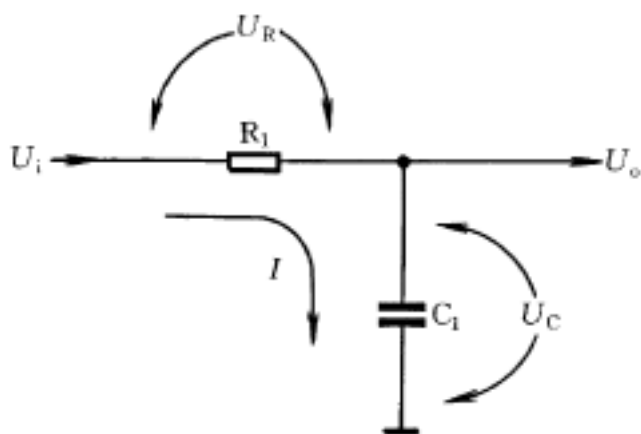


图 2 - 50 RC 滞后移相电路

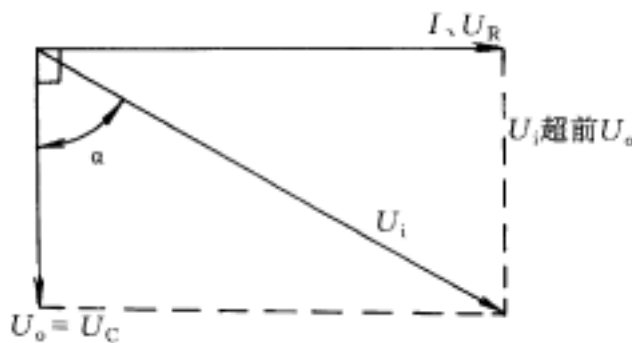


图 2 - 51 RC 滞后移相电路矢量示意图

第二步是画出电阻器 R_1 上的电压矢量 U_R 。由于电阻上的电压降 U_R 与流过电阻 R_1 的电流 I 是同相位的, 所以 U_R 也是一条水平线, 与 I 线之间重合(无夹角表示同相位)。

第三步画出电容器 C_1 上的电压矢量 U_C 。电容两端的电压滞后于流过电容的电流 90° , 所以将电容两端的电压 U_C 画成与电流 I 垂直的直线(垂直时为 90°), 且方向箭头朝下(朝下表示滞后, 以 I 为基准, 顺时针方向为相位滞后), 该线段的长短表示电容上电压的大小, 画图也不必注意长短, 一般即可。

最后一步画矢量相加图,即平行四边形。从图 2 - 50 所示电路中可以看出,输入信号电压 $U_i = U_R + U_C$,这里所说的相加是矢量相加,要画出平行四边形,再画出对角线,即如图 2 - 51所示中的输入信号电压 U_i 。

矢量 U_R 与矢量 U_C 相加后等于输入电压 U_i ,从图 2 - 51 所示中可以看出, U_C 与 U_i 之间有一个夹角,并且是电压 U_C 滞后于输入信号电压 U_i ,或者讲是 U_i 超前 U_C 。由于该电路的输出电压 U_o 取自于电容 C_1 上,所以 $U_o = U_C$,输出电压 U_o 滞后于输入电压 U_i 一个角度。所以,这是 RC 滞后移相电路。

由此可见,这一电路具有滞后移相的作用,即输出信号电压滞后于输入电压一个角度,这个角度大小与电路中 R_1 和 C_1 的标称值有关。在 RC 滞后移相电路分析中,只需要分析这一电路具有滞后功能,一般不必去计算滞后的角度。

2 . RC 超前移相电路

图 2 - 52 所示是 RC 超前移相电路,这一电路与 RC 滞后移相电路相比,只是电路中电阻 R_1 和电容 C_1 的位置相互变换了位置,输出信号电压取自于电阻 R_1 上,输入信号电压加在电容 C_1 的一端。

对 RC 超前移相电路的分析也是采用画图的方法,步骤如下。

首先画出流过电阻器 R_1 和电容器 C_1 的电流 I ,即画出图 2 - 53 所示中的一条水平线 I ,其线段的长短表示电流的大小。

第二步是画出电阻器 R_1 上的电压矢量 U_R 。由于电阻上的电压降 U_R 与流过电阻 R_1 的电流 I 是同相位的,所以 U_R 也是一条水平线,与 I 线之间重合,见图中所示。输出电压 U_o 是取自电阻 R_1 两端的,所以 U_o 等于 U_R ,也是与电流 I 重合的直线。

第三步画出电容器 C_1 上的电压矢量 U_C 。将电容两端的电压 U_C 画成与电流 I 垂直的直线。再画出平行四边形中的对角线,即为输入信号电压 U_i 。从图中可以看出, U_o 与 U_i 之间有一个夹角(且 U_o 超前于 U_i),说明输出信号电压 U_o 超前于输入信号电压 U_i 一个角度,所以这是 RC 超前移相电路。

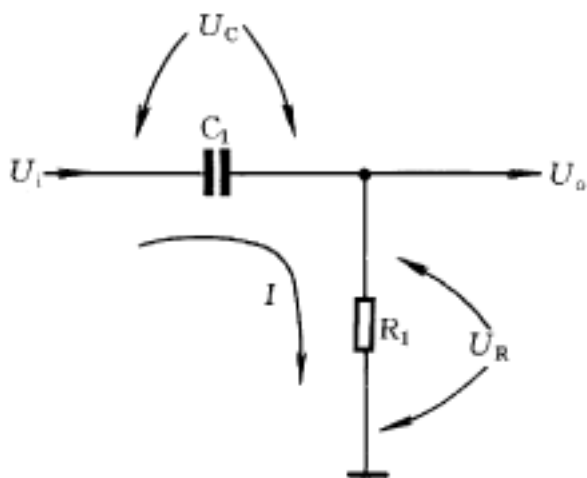


图 2 - 52 RC 超前移相电路

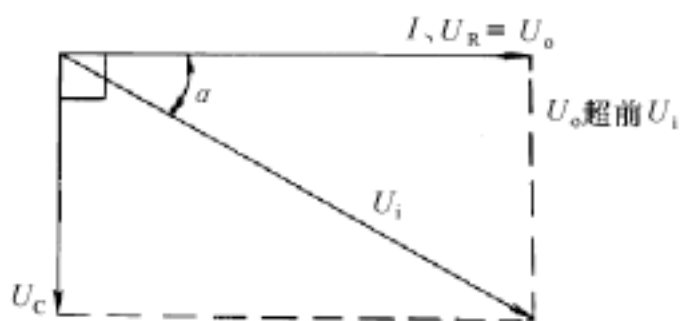


图 2 - 53 RC 超前移相电路矢量示意图

3 . 电路分析小结

关于 RC 移相电路的工作原理分析,小结以下几点。

具体的画图步骤是这样:第一画出电流 I ,第二画出电阻 R_1 上压降 U_R ,第三画出电容

C_1 上压降 U_C , 并画出平行四边形, 第四画出输入电压 U_i 。

这种 RC 移相电路的最大移相量小于 90° , 若用多级 RC 移相电路串联起来, 则总的相移量可以大于 90° 。

改变电路中的电阻 R_1 或电容 C_1 的大小, 可以改变相移量的大小。

在负反馈放大器电路中, 时常要用到这种移相电路, 以破坏正反馈的相位条件, 达到消除高频自激的目的, 具体电路将在有关负反馈放大器消振电路中详细讲解。

2.4 收音电路用微调电容器和可变电容器

可变电容器是一种容量可在较大范围内连续变化的电容器。一些可变电容器中设置有微调电容器。

可变电容器和微调电容器是收音机、调谐器收音电路中必不可少的元器件。可变电容器主要用于输入调谐电路中和本机振荡器电路中, 用来连续改变振荡电路的振荡频率。

微调电容器与可变电容器在结构、工作原理和特性上相差不大, 其容量大小也可以改变, 只是容量变化范围较小, 微调电容器通常与可变电容器一起使用。

2.4.1 微调电容器和可变电容器的种类

1. 微调电容器的种类

微调电容器又称半可变电容器, 它的容量变化范围为几皮法到几十皮法之间, 其容量变化范围远小于可变电容器。

收音电路中的微调电容器可分为以下三种。

瓷介质微调电容器。这种微调电容器的体积比较大, 而且这种微调电容器往往是单个的, 不与可变电容器组合在一起。

有机薄膜介质微调电容器。它还分为单微调、双微调和四微调电容器等几种, 它往往与可变电容器组合在一起, 是目前应用最广泛的一种微调电容器。

拉线微调电容器。一些小型收音机中采用拉线微调电容器, 因为它的体积较小, 成本很低。

2. 可变电容器的种类

可变电容器按照介质划分有下列两种。一是空气介质的可变电容器, 这种可变电容器的体积较大, 过去用在电子管收音机中, 现在使用很少。二是薄膜介质的可变电容器, 这种可变电容器的体积比较小, 现在收音机中主要使用这种可变电容器。

可变电容器按照可变电容器的连数划分, 主要有以下几种。一是单连可变电容器, 它只有一个可变电容器, 主要用于直放式收音机电路中, 现在的直放式收音机体积非常小, 所以这种可变电容器的体积也很小。二是双连可变电容器, 它有两个独立的可变电容器结构。根据两个连的容量是否相等又可分成等容双连和差容双连。双连主要用在调幅收音电路中, 这

是一种目前应用比较广泛的可变电容器。三是四连可变电容器,它又称为调频调幅四连,它用于具有调频、调幅波段的收音电路中,由于这种收音电路是目前的流行电路,故四连应用相当广泛。

可变电容器按照容量随转柄旋转角度变化规律的不同,分为下列四种。一是直线电容式。二是直线波长式。三是直线频率式。四是对数电容式。

2.4.2 外形特征和电路符号

1. 外形特征

图 2 - 54 所示是几种微调电容器的外形示意图。图 2 - 54(a)所示是三种瓷介微调电容器,图 2 - 54(b)所示是两种有机薄膜微调电容器,图 2 - 54(c)所示是拉线微调电容器。

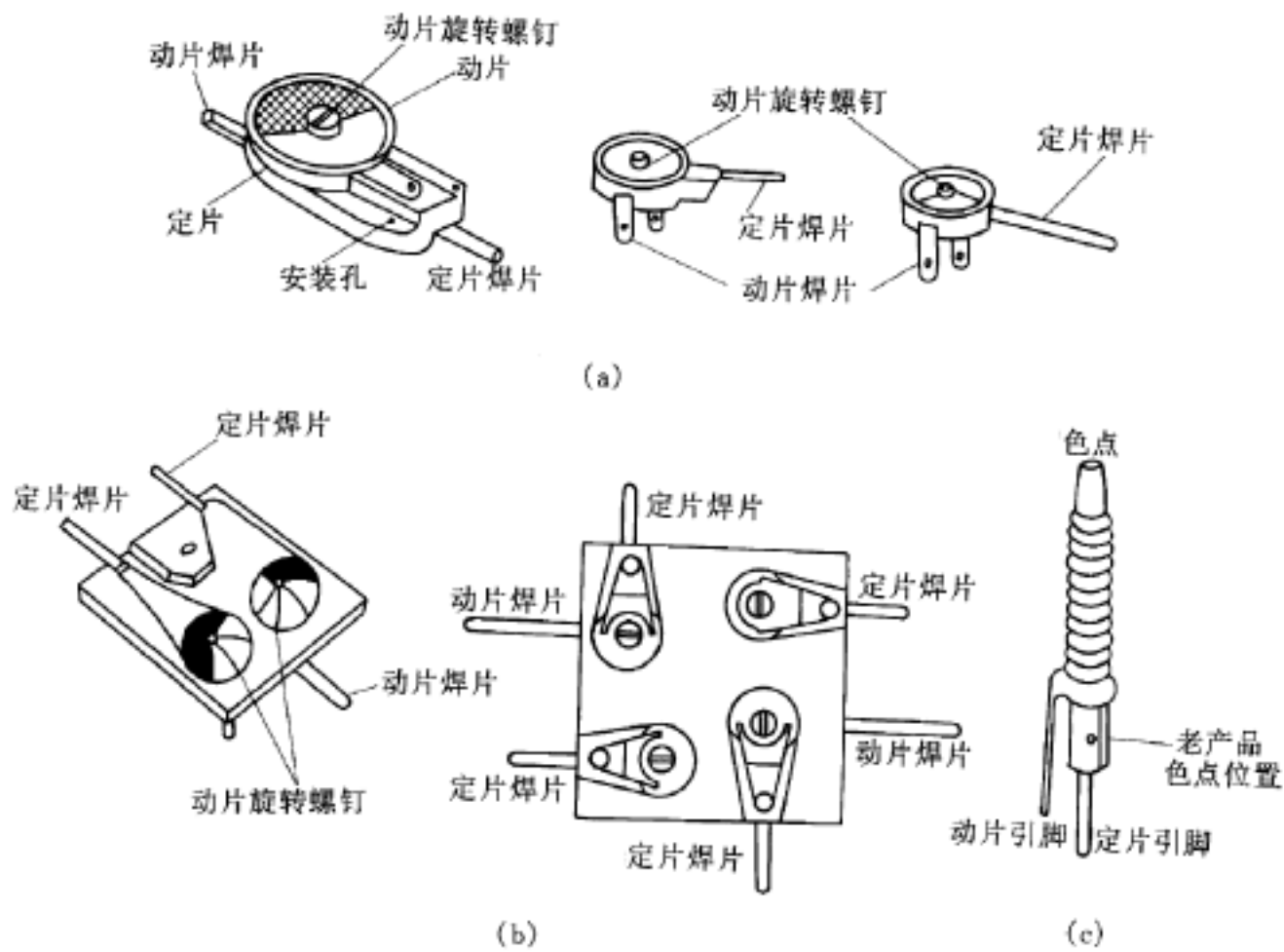


图 2 - 54 几种微调电容器外形示意图

关于微调电容器的外形特征,主要说明下列几点。

它的体积比较大,比普通电容器要大许多。

一只微调电容器共有两根引脚,它有动片和定片之分,当多只微调电容器组合在一起时,各微调电容器的动片可以共用一根引脚。在电路中,动片引脚是接电路中地线的,这样可以减少调整微调电容器电容时对电容工作的干扰。

微调电容器的动片是可以转动的,所以一般情况下微调电容器上设有调整用的螺丝刀缺口,这是调节微调电容器容量之处。

许多情况下,微调电容器固定在可变电容器上。

2. 电路符号

图 2 - 55 所示是可变电容器、微调电容器的电路符号,从图中可以看出,它们是在普通电容器电路符号的基础上,加上一些箭头等符号来表示容量可变或可微调。

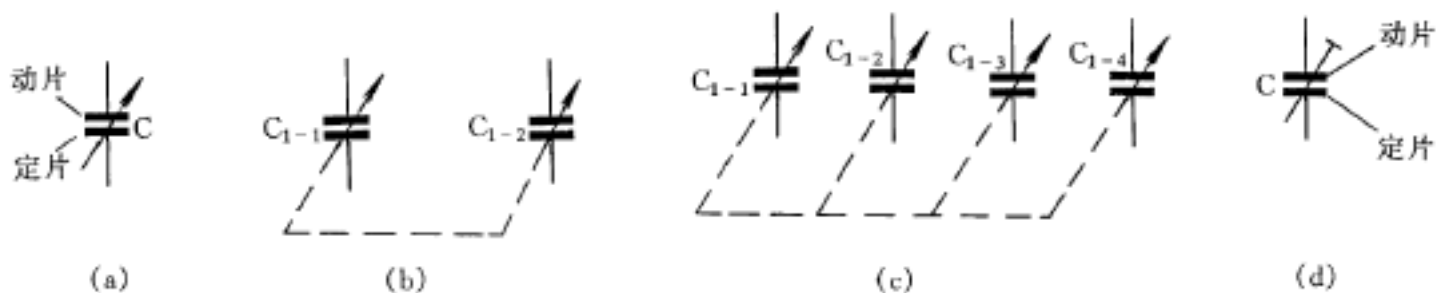


图 2 - 55 微调电容器和可变电容器电路符号

图 2 - 55(a)所示是单连可变电容器的电路符号,这种可变电容器俗称单连。

图 2 - 55(b)所示是双连可变电容器的电路符号,简称双连,用虚线表示它的两个可变电容器的容量调节是同步进行的。

图 2 - 55(c)所示是四连可变电容器的电路符号,简称四连,用虚线表示它的四个可变电容器的容量是可以进行同步调整的。

图 2 - 55(d)所示是微调电容器的电路符号,与可变电容器电路符号的区别在于一个是箭头,一个不是箭头。

可变电容器和微调电容器由于容量是可改变的(要手动调整),所以有动片和定片之分,动片和定片在电路符号中已表示出来,见图 2 - 55(a)所示电路符号,有箭头的一端为定片,下端则为动片,图 2 - 55(b)和图 2 - 55(c)所示各连情况也一样。

微调电容器的动片、定片表示情况见图 2 - 55(d)所示。

2.4.3 结构及工作原理

1. 微调电容器

图 2 - 54 所示是几种常用微调电容器的外形示意图,对它们的结构和工作原理说明如下。

瓷介微调电容器。在图 2 - 54(a)所示的瓷介微调电容器中,左边一个体积最大,中间的为小型微调电容器,右边的为超小型微调电容器。这种微调电容器由上、下两块瓷片构成,瓷片上有半圆状的银层,作为电容器的上、下极板。

中间的瓷片作为介质,作为电容器两极板之间的绝缘体。上片称为动片,可以随调节而转动,下片固定不动,这样调节上片时上、下两片银层的重叠面积随之改变,即改变了电容器两极板的相对面积大小,由前面章节中电容器的结构和工作原理可知,这样能够达到改变电容器容量的目的。

在实用电路中,要将动片接地,这样可消除在调节动片时的有害干扰,因为调整时手指(人体)与动片相接触,动片接地后,相当于人体接触的是线路中的地线,可以大大减小人体对电路工作的干扰。

有机薄膜微调电容器。如图 2 - 54(b)所示,左边的一个微调电容器是双微调,它的结

构和工作原理同瓷介微调电容器基本相同,只是它的动片、定片为铜片,另外动片、定片之间的介质为有机薄膜,当转动动片时可改变动、定片铜片之间的重叠面积,从而可以改变其容量。注意,这一双微调电容器共用一个动片引脚。

图 2 - 54(b)所示右侧是一个四微调电容器,它们之间彼此独立。

有机薄膜微调电容器通常装在双连或四连内。

拉线微调电容器。图 2 - 54(c)所示是拉线微调电容器,它又称拉丝微调电容器。这种微调电容器以瓷管为基体,基体内壁镀层作为定片,外面用细铜丝密集排绕作为动片,细铜丝一端为动片引脚,另一端剪掉空着。

当拉掉的铜丝愈多时(基体上绕的铜丝少了),由于动片、定片之间的面积小了,电容量减小。这种微调电容器的特点是体积很小,但有一个缺点,即调整不方便,当细铜丝拉出后便不能再重新绕上,只能作容量减小的调整,若调整不当将使电容器报废。

2. 单连可变电容器

图 2 - 56(a)所示是空气单连外形示意图,图 2 - 56(b)所示是小型密封薄膜单连外形示意图。

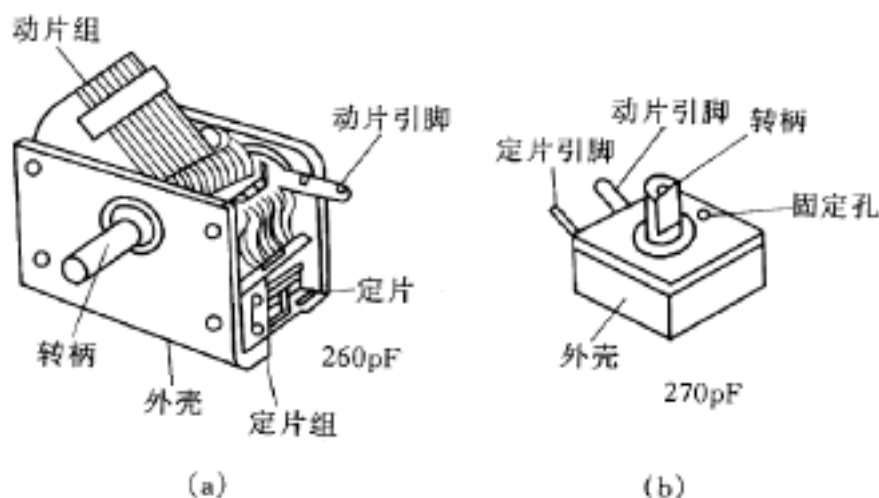


图 2 - 56 单连可变电容器外形示意图

空气单连。图 2 - 56(a)所示是空气介质的单连可变电容器,它有一个可随转柄转动的动片(由许多片组成),还有不能转动的定片(也由许多片组成),动片与定片之间不会相碰(绝缘的),以空气为介质。

当转动转柄时,动片与定片之间的重叠面积改变,达到改变容量的目的。当动片全部旋进时容量为最大(260pF),当动片全部旋出时容量为最小。在实用电路中,为减小调节动片时的干扰影响,将动片引脚接地。

密封单连可变电容器。图 2 - 56(b)所示是小型有机薄膜单连可变电容器,它的动片、定片全部封装在塑料外壳内,只引出动片和定片引脚。在外壳内,动片、定片金属层相互交错叠压,两片之间用绝缘的有机薄膜作为介质。

当转动转柄时,动片随之转动(动片由许多片组成),可改变动片与定片之间的重叠面积(定片也由许多片构成),达到改变容量的目的。在这种单连可变电容器中,定片引脚在左侧端点,而动片引脚设在中间,以便区别动片、定片引脚。

3. 等容双连可变电容器

图 2 - 57 所示是三种等容双连可变电容器的外形示意图。双连就是有两个单连结构的可变电容器组装在一起,一个转柄控制两个单连的动片同步转动。等容双连就是两个单连的容量变化范围和特性是相等的。

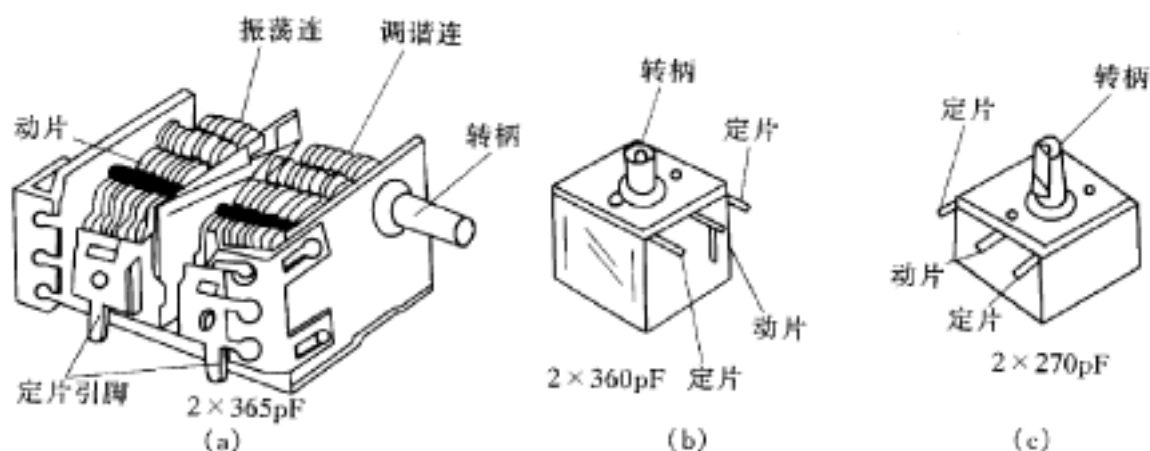


图 2 - 57 等容双连可变电容器外形示意图

图 2 - 57(a)所示是等容空气双连,图 2 - 57(b)所示是等容小型密封双连,图 2 - 57(c)所示是等容超小型密封双连。

等容空气双连。图 2 - 57(a)所示是等容空气双连,它的结构同空气单连基本相同,有两个容量相等的空气单连,用一个转柄来控制两个连的动片同步转动,即在调整中两个连的容量大小同步变化。

在这种双连中,两个连的动片共用一个动片引脚,这样双连共有三根引脚:两根定片引脚,另一个是共用的动片引脚。由于两个连的容量相等,所以可不分哪个是调谐连(用于天线调谐电路),哪个是振荡连(用于本振电路),使用中出于减小干扰的考虑,一般将远离转柄的一个连作为振荡连,见图中所示。

等容密封双连。图 2 - 57(b)和 2 - 57(c)所示都是等容有机薄膜密封双连,它们的结构和工作原理同单连一样。两连容量相等,同步变化,两连共用一个动片引脚,动片引脚设在中间,两侧各是两个连的定片。

4. 差容双连可变电容器

图 2 - 58 所示是三种差容双连可变电容器的外形示意图。所谓差容是指两个连的最大容量不相等,但两个连仍由一个转柄控制两个连动片的转动。

图 2 - 58(a)所示是差容空气双连,图 2 - 58(b)所示是差容小型有机薄膜双连,图 2 - 58(c)所示是差容超小型有机薄膜双连。

差容空气双连。图 2 - 58(a)所示是差容空气双连,它两组动片的片数不等,一个连的片数较多,但与定片之间的间隙较大,由电容器容量大小概念可知,间隙大容量小,所以片数虽多但因间隙大而容量小,这一个连作为振荡连。

另一个连虽片数少,但间隙小,容量大。两连动片受一个转柄控制,两连共用一个动片引脚,此引脚在电路中接地,以减小调节时的干扰影响。从图中可看出,振荡连的最大容量为 250pF,调谐连的最大容量为 290pF,容量小的一个连为振荡连,容量大的是调谐连,因为收音电

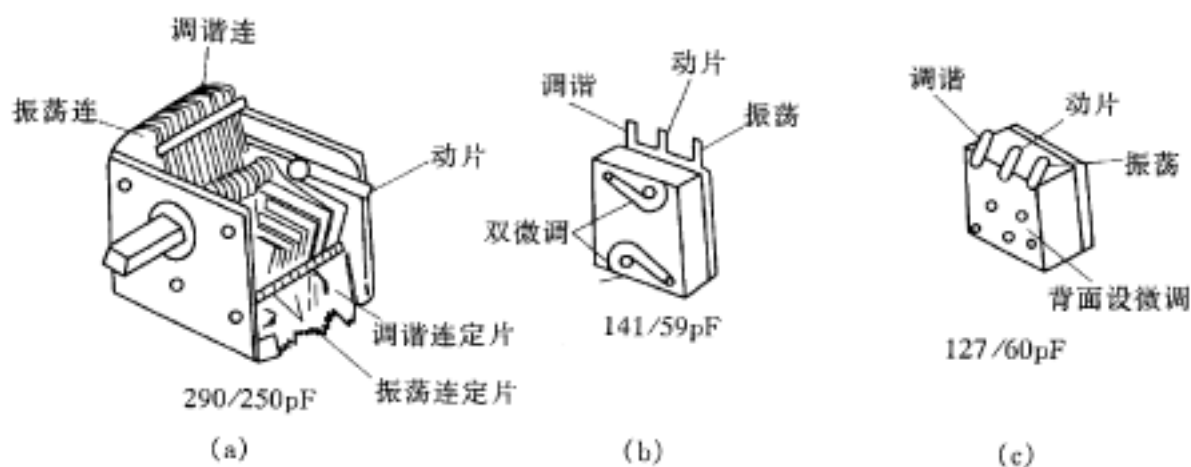


图 2 - 58 差容双连可变电容器外形示意图

路中本机振荡器工作频率高于输入调谐电路工作频率,工作频率高,要求的电容器容量就小。

差容密封双连。图 2 - 58(b)和 2 - 58(c)所示都是差容密封双连,它们的结构和工作原理同等容密封双连一样,只是振荡连的最大容量小于调谐连的最大容量。在这类双连的背面,均设有微调电容器,见图中所示。

在差容双连中,由于两个连最大容量不相等,故在使用中两个连不能互换用,一定要分清振荡连和调谐连,两连的具体位置见图 2 - 58(b)和图 2 - 58(c)所示。

5. 四连可变电容器

图 2 - 59 所示是有机薄膜四连可变电容器的外形示意图。顾名思义,它有四个连,四个连受一个转柄的同步控制。四连可变电容器用于调频、调幅收音电路中。它由两个双连组成,即一个是调频双连,另一个是调幅双连,分别用于调频、调幅波段电路中。

由于调频和调幅波段信号频率相差甚远,要求用容量不等的双连可变电容器,故不能采用一个双连同时用于调频和调幅波段电路中。通常,调频双连的最大容量为 20pF,最小为小于等于 4.5pF,而调幅双连的最大容量为 266pF,最小为小于等于 7pF,可见它们之间相差很多。

通常在四连可变电容器中还设有四个薄膜微调电容器,从图中可看出这些微调电容器。图中,右侧为调频双连和用于调频波段中的两只微调电容器,它们共用一个动片引脚,此引脚接线路的地线。

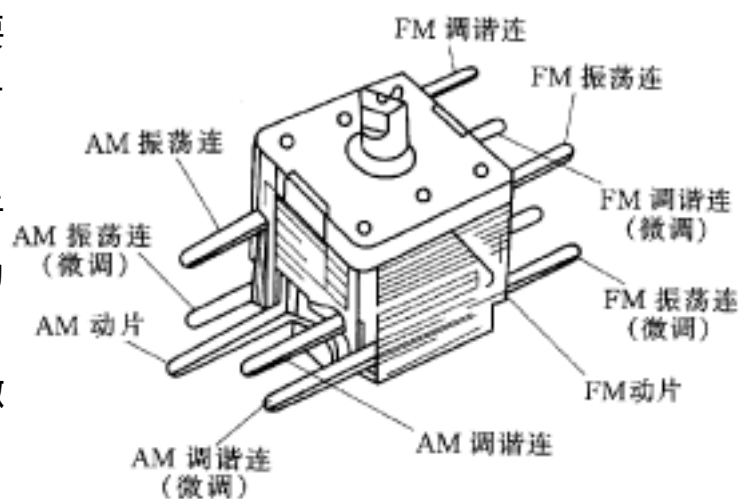


图 2 - 59 四连可变电容器外形示意图

在四连电容器的背面有字母表示各连的作用及引脚(图中未标示字母),用 FC 表示调频连,用 C 表示调幅连。FC₁ 表示调频振荡连,此连接在调频收音机的本振电路中,距此连最近的一个微调电容器是调频振荡器电路中的微调电容器;FC₂ 表示调频调谐连,它附近的一个微调电容器是调频收音机电路天线输入调谐电路中的微调电容器。

在四连可变电容器的左侧是调幅双连,用 C 表示。其中,用 C₁ 表示调幅振荡连,它附近的微调电容器是调幅收音机电路振荡回路中的微调电容器。用 C₂ 表示调幅调谐连,它附近的微调电容器是调幅收音机电路天线输入调谐电路中的微调电容器。这种四连只有四个微调电容

器,当收音电路波段较多时,微调电容器数目不够,此时需再外接微调电容器。

2.4.4 识别方法

1. 微调电容器容量识别方法

瓷介质微调电容器的标称容量范围通常标注在微调电容器的侧面,例如 7/ 30、5/ 20、3/ 10 等,其中分子表示最小容量,分母表示最大容量,单位均为 pF。拉线微调电容器标称容量用色点表示,有的拉线微调电容器的色点位置在顶部,有的拉线微调电容器则将色点标在定片引脚处。

表 2 - 2 所示是拉线微调电容器标称容量色点的含义。

拉线微调电容器标称容量色点含义				
色点	红	黑 或 无色	蓝	白
标称容量 (pF)	3/ 15	5/ 20	7/ 30	10/ 40

2. 薄膜可变电容器型号命名方法

薄膜可变电容器型号组成如下:

CBM	-	2	0	2	B	1
主称		连数	附加微调 电容器数	外形 代号	最大标称 容量代号	电容器曲线 代号

关于这种可变电容器的型号,说明下列几点。

主称中 C 表示电容器,B 表示可变(容量可变),M 表示是薄膜介质。

连数一项用数字表示有多少个连,例如四连用 4 表示,双连用 2 表示。

附加微调电容器一项用数字表示有多少个附加微调电容器,用 0 表示没有附加微调电容器,例如 CBM - 443BF 是一个四连,附有四个微调电容器。

外形代号用数字表示外形尺寸,具体含义如表 2 - 3 所示。

外形数字代号含义					
外形代号	1	2	3	4	5
外形尺寸 (mm)	30 × 30	25 × 25	20 × 20	17.5 × 17.5	15 × 15

最大标称容量代号用字母表示,具体含义如表 2 - 4 所示。

传声器的种类相当多,主要有两大类:一是动圈式传声器,二是电容式传声器(又以驻极体电容传声器最为常见)。

1 . 外形特征

图 2 - 60 所示是常见的驻极体电容传声器外形特征示意图。它的外形为圆柱形,直径约为 1cm,高约为 0.5cm,外壳为金属材料。有三根引线和二根引线两种。

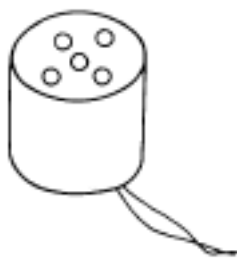


图 2 - 60 驻极体
电容传声器外形
特征示意图

2 . 电路符号

图 2 - 61 所示是几种传声器的电路符号,在电路符号中,用 MIC 表示是传声器,用各种标记表明是什么类型的传声器。

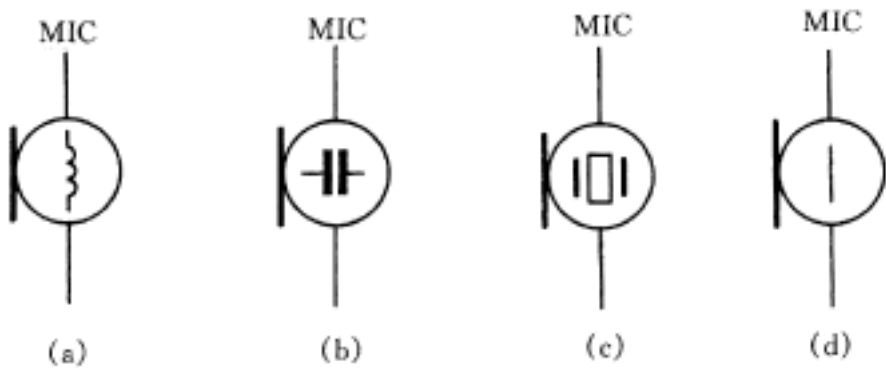


图 2 - 61 几种传声器的电路符号

图 2 - 61 (a)所示是动圈式传声器的电路符号,符号中的电感符号形象地表示这种传声器内部具有线圈结构,表示了动圈式传声器的构造情况。

图 2 - 61 (b)所示是电容式传声器的电路符号,符号中用一个电容器的符号表示这种传声器是电容式传声器。

图 2 - 61 (c)所示是晶体式传声器的电路符号,符号中用一个晶体的符号表示这种传声器是晶体式传声器。

图 2 - 61 (d)所示是铝带式(速率式)传声器的电路符号,这是一种高级传声器,符号中用一条竖线表示这种传声器是铝带式传声器。

3 . 动圈式传声器

动圈式传声器有一个音圈,音圈固定在振膜上,在音圈的附近设有一个磁性很强的永久性磁铁,这一结构相当于扬声器的结构,振膜相当于纸盆。传声器在工作时,声波作用于振膜,使振膜产生机械振动,这一振动带动音圈在磁场中振动,由磁励电,音圈输出音频电信号,完成将声音转换成电信号的任务。

这种传声器的主要特点如下。

- 结构牢固,性能稳定,经久耐用,价格较低。
- 频率特性良好,在 50 ~ 15000Hz 频率范围内幅频特性曲线平坦。
- 无需直流工作电压,使用简便,噪声小。

4. 驻极体电容式传声器引脚识别方法

驻极体电容式传声器由于输入和输出阻抗很高,所以要在这种传声器外壳内设置一个场效应管,作为阻抗转换器,为此,驻极体电容式传声器在工作时需要直流工作电压。

关于这种传声器的主要特点说明如下。

频率特性好,在音频范围内幅频特性曲线平坦,这一性能优于动圈式传声器。

灵敏度高,噪声小,音色柔和。

输出信号电平比较大,失真小,瞬态响应性能好,这是动圈式传声器所做不到的优点。

这种传声器的缺点是工作性能不够稳定,低频段灵敏度随着使用时间的增加而下降。另外,寿命比较短,需要直流电源,使用不够方便。

图 2 - 62 所示是驻极体电容式传声器示意图。图 2 - 62(a)所示是两根引脚的驻极体电容式传声器背面引脚示意图,图 2 - 62(b)所示是三根引脚的示意图,图 2 - 62(c)所示是三根引脚驻极体电容式传声器的内部接线示意图,图 2 - 62(d)所示是两根引脚的内部接线示意图。

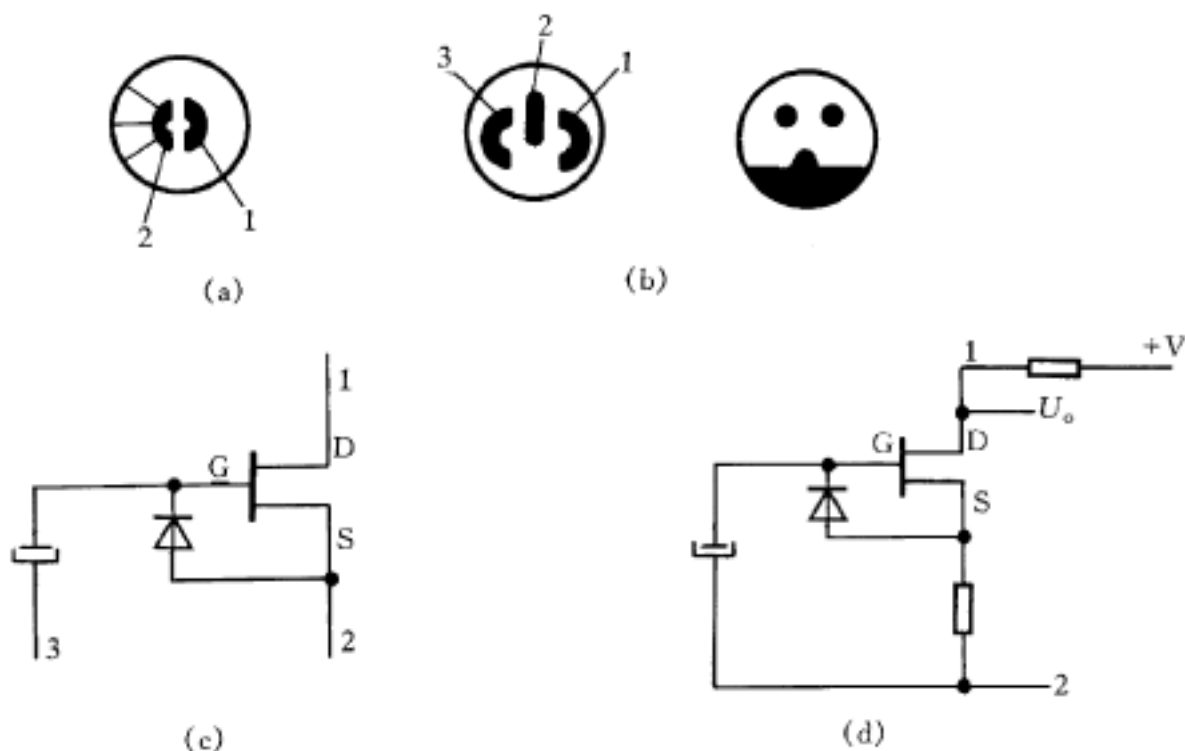


图 2 - 62 驻极体电容式传声器接线示意图及内电路

根据上述接线示意图可以识别这种传声器的种类,看它是两根引脚还是三根引脚的,以及分辨出各个引脚。在使用中,这种传声器的各引脚不能接错。

在两根引脚的驻极体电容式传声器中,1 脚是直流工作电压引脚,兼作信号输出引脚,2 脚是接地引脚;在三根引脚的驻极体电容式传声器中,1 脚是直流工作电压引脚,2 脚是信号输出引脚,3 脚是接地引脚。

5. 三根引脚驻极体电容式传声器电路

图 2 - 63 所示是三根引脚驻极体电容式传声器电路。电路中,MIC 是三根引脚的驻极体电容式传声器,1 脚是它的直流工作电压引脚,2 脚是它的信号输出引脚,3 脚是它的接地引脚。CK₁ 是外接传声器插座。

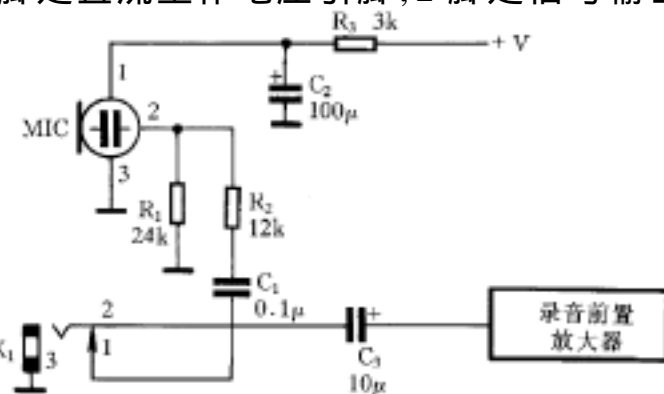


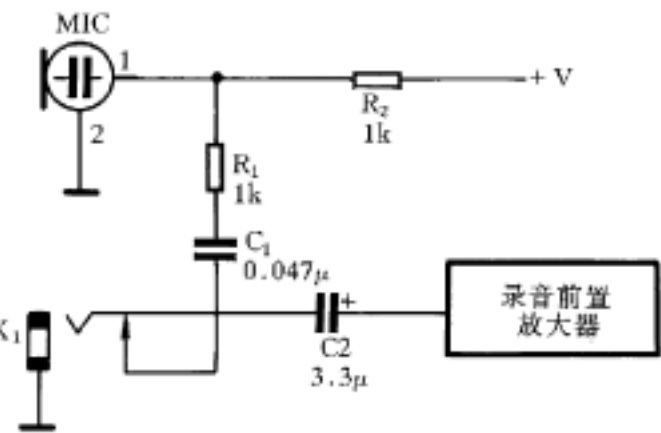
图 2 - 63 三根引脚驻极体电容式传声器电路

直流工作电压 + V 通过电阻 R_3 加到 MIC 的 1 脚上,这样 MIC 进入工作状态。当有声音时,MIC 的 2 脚输出音频电信号,这一音频信号通过 R_2 、 C_1 和 CK_1 的 1、2 触点并经 C_3 加到录音前置放大器电路中,这样 MIC 输出的音频信号就加到了放大器中。

对这一电路工作原理的分析,主要任务之一是上述信号的传输过程分析。电路中其他元器件的作用将在后面有关电路中进行介绍。

6 . 二根引脚驻极体电容式传声器电路

图 2 - 64 所示是二根引脚驻极体电容式传声器电路。电路中,MIC 是二根引脚的驻极体电容式传声器,1 脚是它的直流工作电压引脚,同时也是它的信号输出引脚,2 脚是它的接地引脚。 CK_1 是外接传声器插座。



这一电路中的 MIC 输出信号传输过程是这样：图 2 - 64 二根引脚驻极体电容式传声器电路
通过 R_1 、 C_1 、 CK_1 触点,并经 C_2 加到录音前置放大器电路中。

2 5 2 RC 组合件

所谓 RC 组合件就是由电阻器和电容器组合在一起,用一个封装,引出数根引脚(引脚数多于两根),成为一个整体的元件,体积一般为 $8\text{mm} \times 8\text{mm} \times 1\text{mm}$ 。

1 . 外形特征

图 2 - 65(a)所示是一个 RC 组合件的外形特征示意图,它是一只 2k 电阻和两只 $0.01\mu\text{F}$ 电容构成的 RC 组合件。

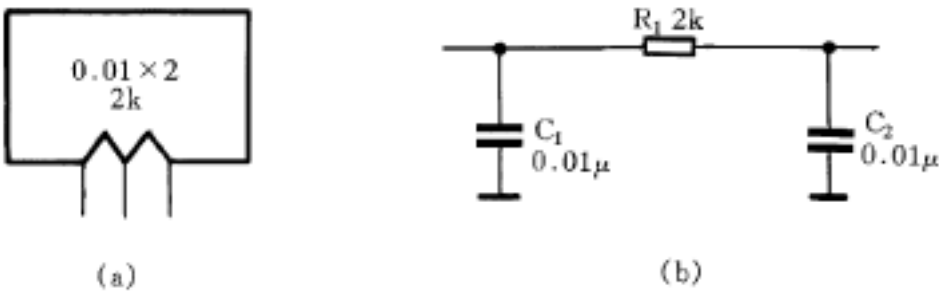


图 2 - 65 RC 组合件

2 . 内电路

图 2 - 65(b)所示是这一 RC 组合件的内电路,这是一个 型 RC 高频滤波器电路,可以用来将高频信号去除。

2 5 3 无脚元器件

一般的电子元器件都有两根以上的引脚,但有一种元器件没有引脚,即无脚元器件。无脚元器件顾名思义为无引脚的元器件,英文为 LeadLess,表示无引脚,简记成 LL,所以无脚元器件

又称 LL 元件。由于无脚元器件的安装方式与一般的有脚元器件是不同的,所以它又称为贴片元器件。

1 . 外形特征

图 2 - 66 所示是几种无脚元器件的结构及外形示意图。无脚电容器、电阻器、跨导线等的结构有圆柱形和矩形两种,图 2 - 66(a)所示是圆柱形结构,图 2 - 66(b)所示是矩形结构。在元件的两端处是金属电极,作为“引脚”,见图 2 - 66(c)所示,焊在线路板上时,就是利用这两端的电极。在无脚元件的外层涂有绝缘层。

另有一种楔形无脚电容器,其外形见图 2 - 66(d)所示,它的两个电极设在基板的两侧,见图中所示。无脚晶体管外形见图 2 - 66(e)所示,它在基体上伸出很短的电极。

无脚元器件由于没有引脚,所以它的装配方法也与普通元器件不同,普通元器件装在线路板的正面,通过线路板上的引脚孔,元器件引脚从引脚孔中伸入到线路板背面的铜箔线路一面上,进行焊接。

无脚元器件的装配方法与此完全不同,如图 2 - 67(b)所示,它直接装在线路板的铜箔线路一面。图 2 - 67(a)所示是普通元器件装配示意图,图 2 - 67(c)所示是楔形电容器的装配示意图。

见图 2 - 67(b)所示,无脚元件与线路之间用粘合剂粘合,无脚元件的两端电极与铜箔线路之间用焊锡焊上。如图 2 - 67(c)所示安装楔形电容器时,要在线路板上开个槽缝,将元件插入,再在两侧电极与铜箔线路之间焊上焊锡。

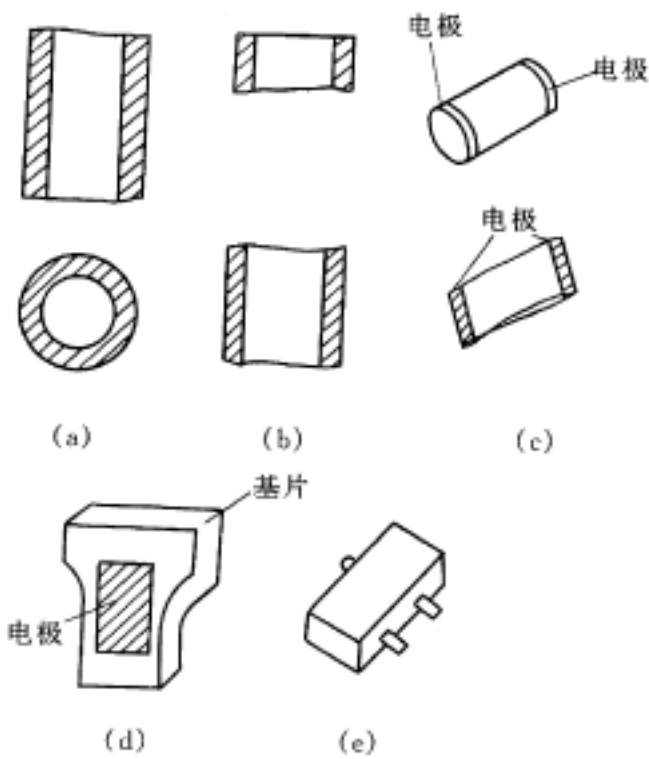


图 2 - 66 几种无脚元器件外形示意图

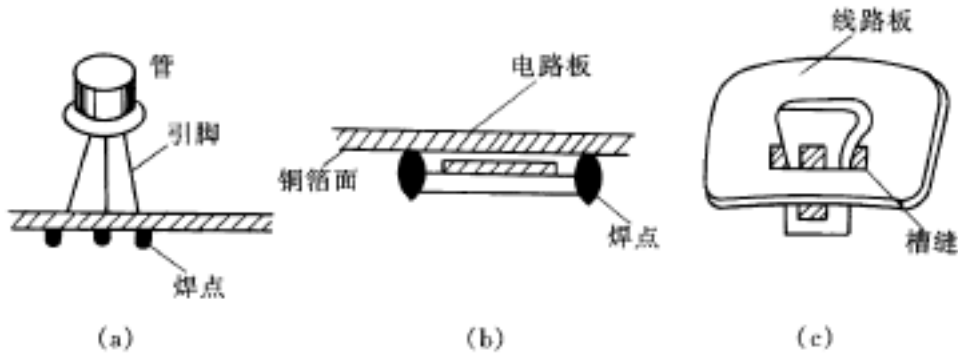


图 2 - 67 无脚和有脚元器件安装方式示意图

无脚元器件具有下列一些特点。

元器件无引脚,装配方式不同。

元器件体积很小,故又称之为微型元器件,一只无脚电阻器、电容器的体积为 $2\text{mm} \times 1.25\text{mm} \times 0.7\text{mm}$,一只三极管的体积为 $2.9\text{mm} \times 2.8\text{mm} \times 1.25\text{mm}$,可见体积之小,所以这种元器件主要用于一些体积很小的电子装备中。

无脚元器件适合于自动化装配、焊接(采用贴片机装配)。

无脚电阻器的阻值从几欧至 10M ,无脚电容器的容量为几皮法至数十万皮法。

无脚晶体管中不仅有普通二极管,还有稳压二极管、开关二极管、低频三极管和特高频三极管等。

2 . 电路符号

图 2 - 68 所示是几种无脚元件的电路符号,它们用一个长方框表示。图 2 - 68(a)所示是无脚电阻器的电路符号,在框内用 $R \times \times$ 表示是电阻器。图 2 - 68(b)所示是无脚电容器的电路符号,在框内用 $C \times \times$ 表示。图 2 - 68(c)所示是无脚跨导线。

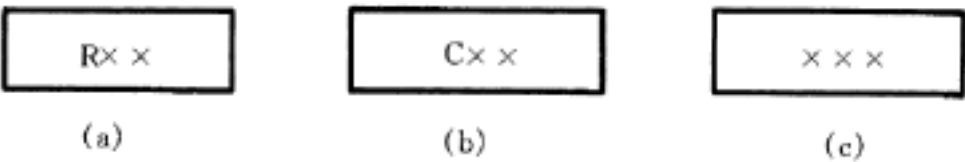


图 2 - 68 几种无脚元件的电路符号

所谓跨导线其实质是一个导线,其阻值为零,它的作用可用如图 2 - 69 所示的线路来说明。图 2 - 69(a)所示是采用导线作为跨导线的示意图,为了使相隔的两条铜箔线路 A、B 连通,但又不能与中间两条铜箔线路相碰,此时可用一根导线跨接于 A、B 两点。这种跨导线在线路板的元器件一面,在打开机壳后可以看到线路板上的这种用导线做的跨导线。

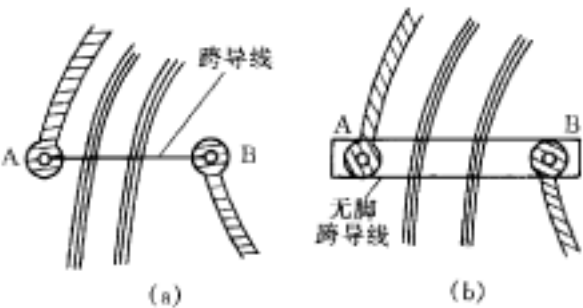


图 2 - 69 跨导线示意图

图 2 - 69(b)所示是采用无脚跨导线的示意图,无脚跨导线的电阻为零,这样也将 A、B 两点连接。不同的是无脚跨导线直接焊在线路板的铜箔线路一面。

3 . 无脚元件颜色表示的含义

常见的无脚元件是无脚跨导线、无脚电阻器和无脚电容器。它们的外形相似,用元件表面的颜色和色环来表示各种元件,表 2 - 5 所示是这些色码的含义。

颜色	无脚元件名称
乳白色(无色环)	跨导线
乳白色(有色环)	碳膜电阻器
绿色(有色环)	陶瓷电容器
粉红色(有色环)	半导体电容器

4 . 标称值表示方法

圆柱形无脚元件的标称值可采用色环表示方法,一般为 3 条色环,有的则是 4 条,其中第 1、2 条表示有效值。为了区分第 1 条色环,第 1 条色环比其他色环要粗一些,如图 2 - 70(a)所示。

表 2 - 6 所示是圆柱形无脚电阻器色码含义(单位为)。

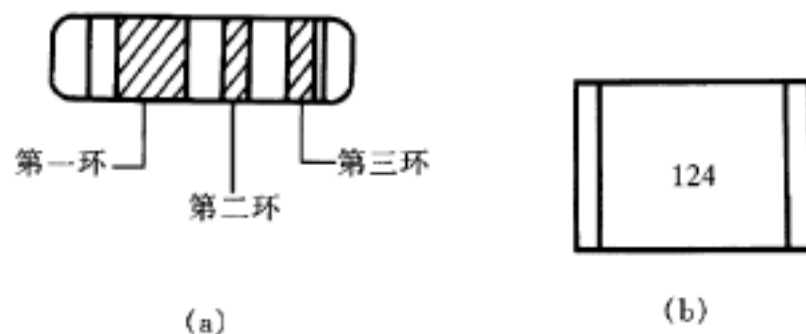


图 2 - 70 标称值表示方法示意图

表 2 - 6 圆柱形无脚电阻器色码含义(单位为)

颜色	第 1 位有效数	第 2 位有效数	倍乘数
黑	0	0	10^0
棕	1	1	10^1
红	2	2	10^2
橙	3	3	10^3
黄	4	4	10^4
绿	5	5	10^5
蓝	6	6	10^6
紫	7	7	10^7
灰	8	8	10^8
白	9	9	10^9
金	10	10	10^{-1}

矩形无脚元件通常采用 3 位数表示方法,如图 2 - 70(b)所示。这种 3 位数表示方法同电容器的 3 位数表示方法含义一样。

5 . 允许偏差表示方法

允许偏差表示方法通常分为三个等级,用字母表示,即 K 为 $\pm 10\%$ 、J 为 $\pm 5\%$ 和 G 为 $\pm 2\%$ 。此外,还有 M 为 $\pm 20\%$ 、S 为 $+5\%$ 至 -20% 、Z 为 $+30\%$ 至 -20% 、C 为 $\pm 0.25\text{pF}$ 、D 为 $\pm 0.5\text{pF}$ 、F 为 $\pm 1\text{pF}$ (C、D、F 适合于电容器)。

6 . CC41 型矩形无脚瓷介电容器型号命名方法

CC41 型无脚电容器是国产元件(四川成都无线电四厂生产),它的型号组成如下:

C C 4 1 - 0 8 0 5 - C G - 1 0 2

1 2 3 4

第 1 项是名称。第 2 项是外形尺寸代号,外形尺寸代号中除 0805 外还有 1206,其中后者尺寸大于前者。第 3 项是温度特性,该项用两个英文大写字母表示,其中表 2 - 7 所示是第一个字母表示的温度系数组别。

纯电感器电路和 LCR 电路

这一章将介绍纯电感器电路和由电感器、电容器、电阻器三种元器件组成的混合电路。电感器在电子电路中虽然使用的量比较少,但是对它的电路分析有时相当困难,特别是电感器与电容器一起构成单元电路时,电路分析显得更为困难。

电感器的许多特性与电容器相反,所以将这两种元器件的有关特性联系起来记忆是一个好方法,应该首先记住电容器及电容电路的有关特性。

在讲解纯电感器电路之前,必须了解有关电磁学的基本概念、电感的常识和电感器的基础知识。

3.1 电磁学基本概念

磁与电是不可分割的统一体,有电流流动就有磁场的存在。在电子电路中,许多电子元器件的工作与磁场有关,有的器件在工作中将电信号转换成磁信号,有的则是将磁信号转换成电信号,在分析这一元器件电路工作原理时经常用到电磁学中的众多概念。

能够将电信号、磁信号之间进行相互转换的器件称为电磁、磁电换能器件。例如,扬声器就是一种将电信号转换成磁场,再由磁场推动纸盆作机构运动发出声音的器件。卡座、录音机、录像机、摄像机中的放音(视频重放)磁头,就是一个将剩磁信号转换成电信号的换能器件。

3.1.1 磁性、磁体、磁极、磁力、磁场和磁力线

1. 磁性和磁体

能够吸引金属铁等物质的性质称为磁性,具有磁性的物体叫磁体,扬声器背面的磁钢就是磁体,俗称磁钢、磁铁。

在电子设备中的许多元器件都采用了磁性材料,例如各种变压器、电感器中的铁心、磁芯都是磁性材料,收音机中的磁棒也是由磁性材料制成的。

2. 磁极和磁力

磁铁两端磁性最强的区域称为磁极。一个磁铁有两个磁极：一个是南极，用 S 表示；另一个是北极，用 N 表示。当一块磁铁分割成几块后，每一小块磁铁上都有一个 S 极和一个 N 极，如图 3 - 1 所示，也就是说 S 极、N 极总是成对出现的，不会出现一个单极性的磁铁，这是磁铁的一个重要特性。

S 极与 N 极之间存在着相互作用的力，这一作用力称为磁力。同极性之间为相斥力，异极性之间为相吸力。两块磁铁如果放在一起时紧紧相吸着，再将其中一块磁铁反一面时，这时两块磁铁之间就变成了相互排斥。

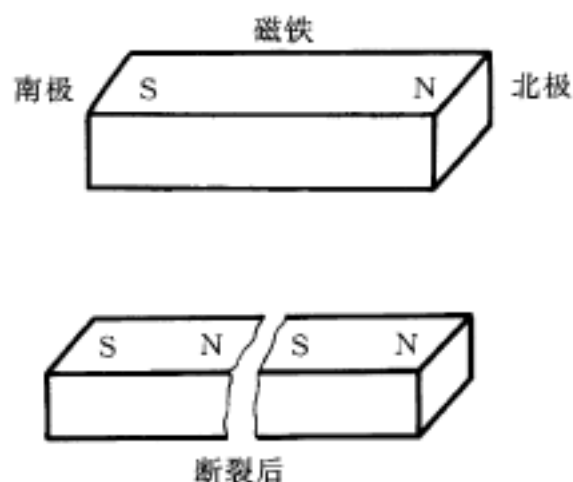


图 3 - 1 磁铁的磁极示意图

3. 磁场和磁力线

磁场和电场一样，是一种特殊的物质，虽然它看不见也摸不着，但的确客观存在。磁体周围存在的磁力作用的空间称为磁场，相互不接触的两个磁体之间所存在的作用力是由磁场传递的。

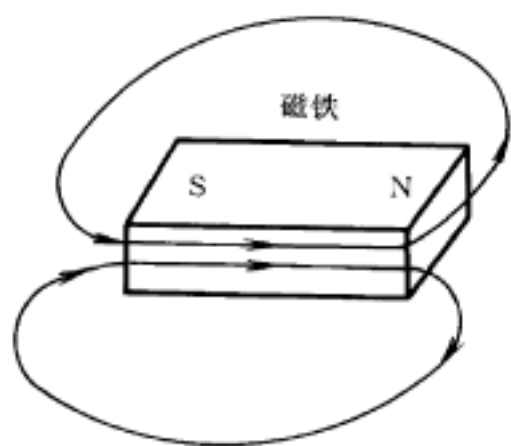


图 3 - 2 磁力线示意图

由于磁场具有看不见、摸不着的特殊性，为了方便和形象地描述磁场，就人为地引入磁力线，所以磁力线是假想出来的线，图 3 - 2 所示是磁力线示意图。

关于磁力线要说明以下几点。

磁力线是闭合的，如图所示，每一条磁力线都是闭合的。

磁力线又是有方向的，规定在磁体的外部，磁力线由 N 极指向 S 极，在磁体内部则是由 S 极指向 N 极，见图中所示。

磁力线的方向可以用来表示磁场方向。

磁力线可以用来表示磁场的强度，从图中可以看出，在磁极 S 和 N 附近，磁力线最为密集，这表示在磁极处的磁场最强。用磁力线的密度来表征磁场的强弱很直观。

磁力线有时还称为磁感线或磁通线。

3.1.2 电流磁场

电流周围存在磁场。磁场总是伴随着电流而存在，电流永远被磁场所包围。换句话说，只要有电流的流动，其周围就存在着看不见、摸不着的磁场。

1. 直导线电流磁场

一根直的导线，当导线中流有电流时，在导线的周围就会存在磁场，如图 3 - 3 所示。判断导线周围磁场的方向，用右手螺旋定则，具体方法如下：右手握住直的导线，并将大拇指指向电流流动的方向，四指所指的方向就是磁场方向。

2 环形电流磁场

将导线绕成环形(称为螺线管或线圈),并给线圈通电,此时的磁场方向也是用右手螺旋定则来判断,方法如下:右手握住螺线管,四指指向线圈中的电流流动的方向,大拇指所指方向则为磁场方向,如图 3 - 4 所示。

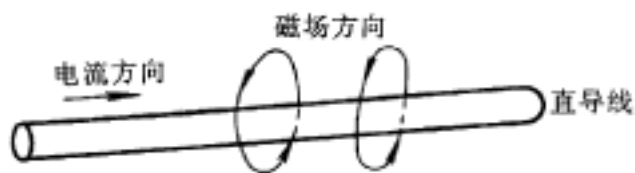


图 3 - 3 直导线电流磁场示意图

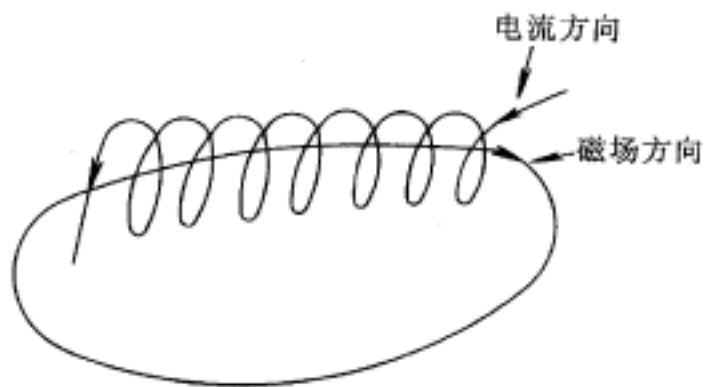


图 3 - 4 通电螺线管磁场示意图

3.1.3 磁通和磁感应强度

1. 磁通

磁通是磁通量的简称。通过与磁场方向垂直的某一截面积上的磁力线总数,称为磁通。磁通用 Φ 表示。当截面积一定时,垂直通过该截面积的磁力线愈多,说明磁场愈强,反之则愈弱。

2. 磁感应强度

垂直通过单位面积上的磁力线数,称为磁感应强度,可见磁感应强度能够表示磁场的强弱。磁感应强度用 B 表示,在均匀磁场中,磁感应强度计算公式如下

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

式中: B 为磁感应强度;

S 为垂直于磁力线的面积;

Φ 为通过 S 的磁通。

关于磁感应强度,还要说明以下几点。

磁感应强度也称为磁通密度。

磁感应强度是一个矢量,它不仅表示了磁场中某点的磁场强弱,也表示了该点的磁场方向。磁力线上某点的切线方向就是该点的磁感应强度方向。

磁场中各点的磁感应强度大小和方向都相同时,这种磁场称为均匀磁场。

3.1.4 磁导率和磁场强度

1. 磁导率

为了表征物质的导磁性能,引入磁导率这个物理量,磁导率用 μ 表示。关于磁导率,说明

以下几个问题。

由实验测量可知,真空磁导率(用 μ_0 表示)为一个常数。

为了比较物质的导磁性能,将任一物质的磁导率与真空磁导率的比值作为相对磁导率,用 μ_r 表示, μ_r 为

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

式中: μ_r 为相对磁导率;

μ 为任一物质的磁导率;

μ_0 为真空磁导率。

相对磁导率没有单位,它表明在其他条件相同的情况下,介质中的磁感应强度是真空中多少倍。

根据物质的磁导率不同,可将物质划分成下列三类:

$\mu_r < 1$ 的物质叫反磁物质,如铜;

$\mu_r > 1$ 的物质叫顺磁物质,如锡;

$\mu_r \gg 1$ 的物质叫铁磁物质,如铁、钴。

2. 磁场强度

磁场强度的定义是:磁场中某点磁感应强度与介质的磁导率的比值,叫该点的磁场强度。磁场强度用 H 表示,计算公式如下

$$H = \frac{B}{\mu}$$

式中: H 为磁场强度;

B 为磁感应强度;

μ 为介质的磁导率。

磁场强度也是一个矢量,在均匀磁场中它的方向同磁感应强度的方向相同。

3.1.5 磁化、磁性材料和磁路

1. 磁化

凡是原来没有磁性的物质,使之具有磁性的过程称为磁化。凡是铁磁物质都能被磁化。例如,录音带、录像带在没有录制前是空白的,是不具有磁性的,在录制后磁带上具有剩磁信号,录制过程就是对空白磁带磁化的过程。

2. 磁性材料

对于铁磁材料,通常可以划分成以下三类。

软磁材料。这种铁磁材料在磁化后,保留磁性的能力很差,这样的磁性材料不能用来作为磁记录材料。

硬磁材料。这种铁磁材料在磁化后,保留磁性的能力很强,录音磁带、录像带就是采用

这种材料制成的。

矩磁材料。这种铁磁材料只要有很小的磁场就能磁化,且一经磁化就达到饱和状态。

3. 磁路

磁通(或磁力线)集中通过的路径称为磁路,相当于电路的概念,图 3 - 5 所示是变压器铁心中的磁路示意图。

关于磁路主要说明以下几点。

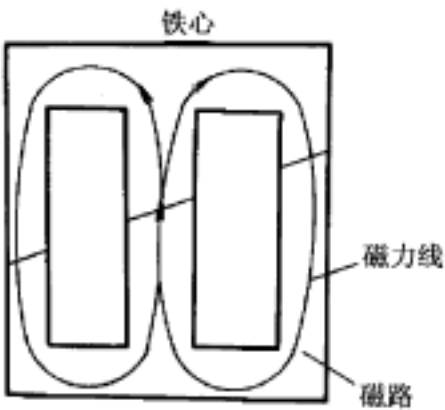


图 3 - 5 磁路示意图

为了获得较强的磁场,需要将磁通集中在磁路中。形成磁路的最好方法,是用铁磁材料做成铁心,将线圈绕在铁心上。

由于铁磁材料制成的铁心其磁导率 μ 远大于空气的磁导率,所以磁通主要是沿铁心闭合,只有很少部分通过空气或其他材料。

通过铁心的磁通称为主磁通,铁心外的磁通称为漏磁通,漏磁通愈小愈好。

磁路按其结构不同,分为无分支磁路和分支磁路两种,其中分支磁路又分成不对称分支磁路 and 对称分支磁路两种。分支磁路相当于电路中的并联电路。

磁路不同于电路,电路可以有开路状态,但磁路没有开路状态,因为磁力线是不可能中断的闭合曲线。

3.1.6 电磁感应和电磁感应定律

1. 电磁感应

前面讲到在一定条件下电能够产生磁,电磁感应定律说明了磁也能够产生电。

电磁感应现象可以用如图 3 - 6 所示来说明。图中,有一个线圈,在线圈的两端接有检流计,另有一块磁铁,磁铁要做穿过线圈的运动。如果磁铁在线圈中运动时检流计的指针发生偏转,则可以说明产生了电流。

当磁铁从上端向下插入线圈时,会在线圈两端得到一个感应电动势,其极性为上正下负,此时检流计指针向右偏转;当磁铁从下向上插入时,感应电动势的方向为下正上负,此时检流计指针向左偏转;如果磁铁在线圈中静止不动,则没有这一电动势,此时检流计指针没有偏转运动。

关于电磁感应主要说明以下两点。

在电磁感应的过程中,产生感应电动势的条件是线圈中的磁通必须发生改变。当磁铁从上方或

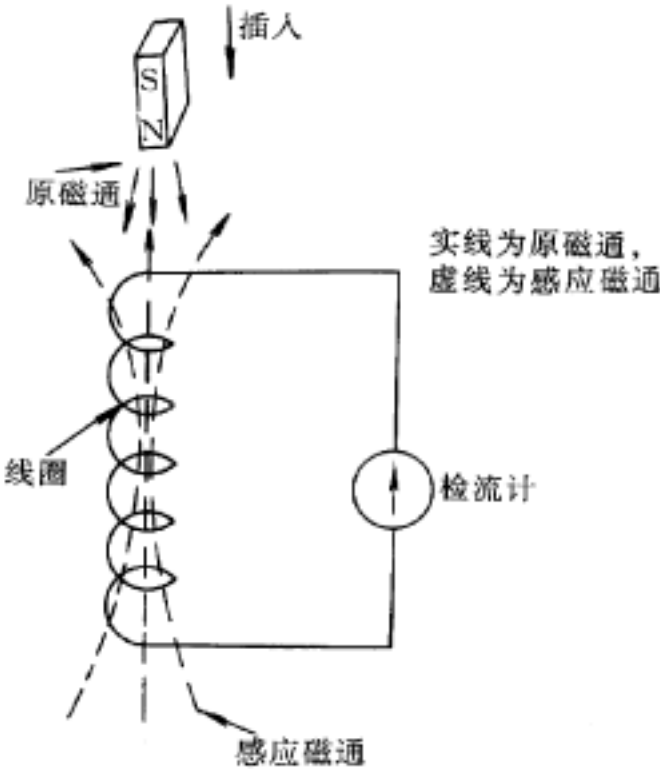


图 3 - 6 电磁感应现象

从下方插入线圈时,都有感应电动势的产生,这是因为磁铁运动引起线圈中的磁通发生了改变。当磁铁在线圈中不运动时,线圈中的磁通没有改变,所以没有感应电动势的产生。

感应电动势产生于线圈的两端,是由磁励电的结果,卡座中的放音磁头就是根据这一原理制成的。感应电动势又称感生电动势、感应电势、感生电势。当线圈闭合时,由感应电动势产生的电流称为感应电流,或称为感生电流。

2. 电磁感应定律

感应电动势的大小与穿过线圈磁通的变化率成正比,这称为法拉弟电磁感应定律。这一定律说明了这样一个事实:磁铁插入线圈中的速度愈快,磁通变化率就愈高,感应电动势就愈大,反之则愈小。

电磁感应定律只能说明感应电动势的大小,不能说明感应电动势的方向。

3. 楞次定律

楞次定律可以说明感应电动势的方向。这一定律指出:感应电流产生的感应磁通总是阻碍原磁通的变化,如图 3 - 6 所示是磁通示意图。原磁通是磁铁产生的磁通,如图中的实线所示,感应磁通是感应电流产生的磁通,见图中虚线所示。

当原磁通增加时,感应磁通总是与原磁通方向相反,以阻碍原磁通的增加;当原磁通减小时,感应磁通又是与原磁通方向相同,以阻碍原磁通的减小。由此可见,感应磁通总是阻碍原磁通的变化。在电路分析中,有时需要判断感应电动势的方向,这时就是使用这一定律进行判断的。

关于感应电动势极性的具体判别方法,可用右手螺旋定则:右手握住线圈,大拇指指向感应磁通方向,四指指向的就是感应电流的方向。注意,将线圈看成是电源,所以感应电流流出端是线圈上感应电动势的正极端,可用如图 3 - 7 所示的示意图来说明。

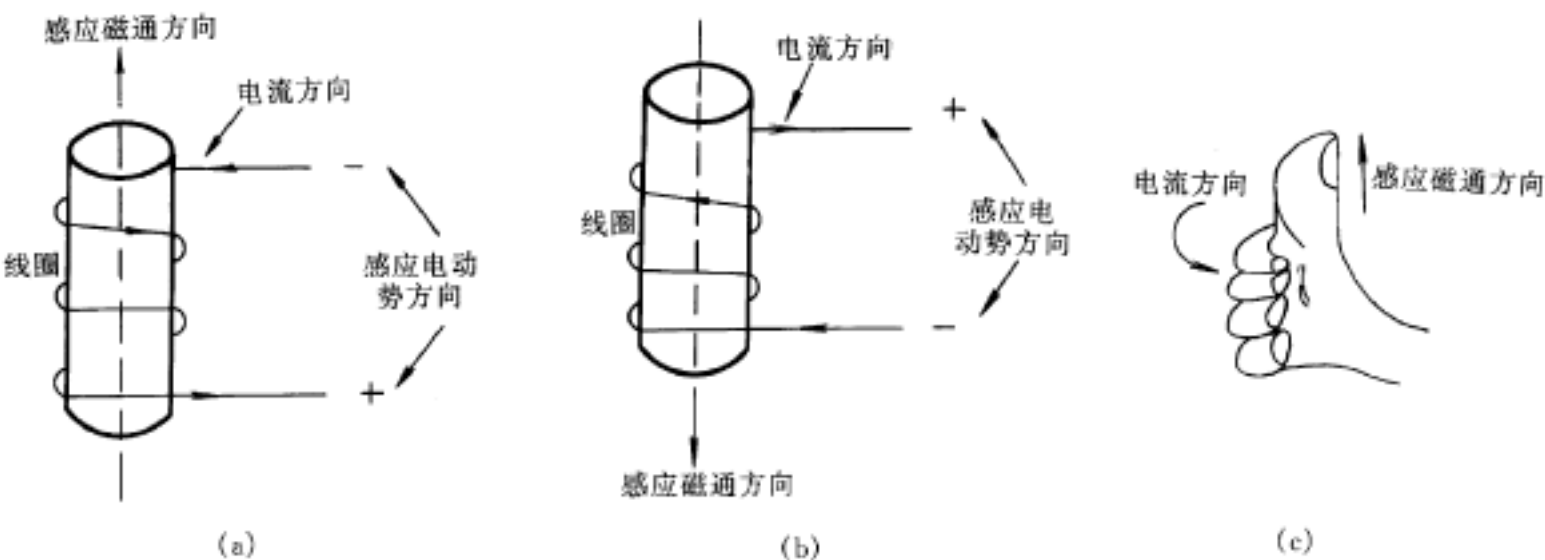


图 3 - 7 感应电动势方向判断示意图

图 3 - 7(c)所示是右手示意图,它的大拇指指向就是感应磁通的方向,四指指向的就是线圈中感应电流的方向。

如图 3 - 7(a)所示,感应磁通方向垂直向上,根据右手定律可知,感应电流应该从线圈的下端流出,这时线圈上的感应电动势方向是下端正、上端负。

如图 3 - 7(b)所示,感应磁通方向垂直向下,感应电流应该从线圈的上端流出,这时线圈

上的感应电动势方向是上端正、下端负。

3.1.7 自感和互感现象

1. 自感现象

由于流过线圈本身的电流发生变化而引起的电磁感应叫自感应,简称自感。自感现象可以用如图 3 - 8 所示电路来说明。电路中,E 是电源,DX 是灯泡, L_1 是线圈(线圈的电阻很小,远小于灯泡的电阻), S_1 是开关。

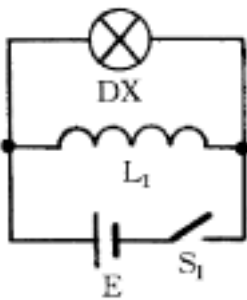


图 3 - 8 自感现象

当开关 S_1 接通时,由于 L_1 的电阻远小于灯泡的电阻,所以电流只流过 L_1 所在支路,没有电流流过灯泡,这样灯泡不亮。但是,当开关 S_1 突然断开时,灯泡却突然很亮后熄灭,这一现象就是自感现象引起的。

出现这一现象是因为开关断开时, L_1 中的磁通突然从有磁通突变到无磁通,这时 L_1 的两端要产生感应电动势以阻止这一磁通的变化(不让原来的磁通消失),这一感应电动势加在灯泡的两端,使灯泡突然很亮。

关于自感还要说明以下几点。

由自感产生的电动势称为自感电动势,简称自感电势。

自感电动势与线圈本身的电感量成正比关系。线圈电感量是线圈的固有参数,电感量用 L 表示, L 与线圈匝数和结构(有无磁芯、铁心)等情况有关。

自感电动势还与线圈中电流的变化率成正比关系,当 L 一定时,电流变化愈快,自感电动势愈大,反之则愈小。这就是说,在线圈的电感量 L 一定时,电流的变化率愈大,线圈两端的自感电动势愈大。

对某一个具体线圈而言, L 的大小反映了线圈产生自感电动势的能力。

自感系数的定义是:当一个线圈流过变化的电流时,电流产生的磁场使每匝线圈具有的磁通叫自感磁通,整个线圈具有的磁通称为自感磁链,将线圈中通过单位电流所产生的自感磁链称为自感系数。

2. 互感现象

互感现象可以用如图 3 - 9 所示来说明。图中有线圈 L_1 和线圈 L_2 ,其中在线圈 L_1 回路中接入电池 E 和开关 S_1 ,在线圈 L_2 回路中接入检流计。当开关 S_1 接通后,检流计指针偏转一下后又停止。检流计的指针偏转说明有电流在线圈 L_2 的回路中流动。

开关 S_1 接通后,线圈 L_1 中的电流从无到有,有电流流过线圈 L_1 后,在线圈 L_1 中便产生了变化的磁通,见图中所示,这一大小变化的磁通穿过了线圈 L_2 (L_1 和 L_2 线圈放置得比较近)。由于线圈 L_2 中存在变化的磁通,所以在线圈 L_2 两端要

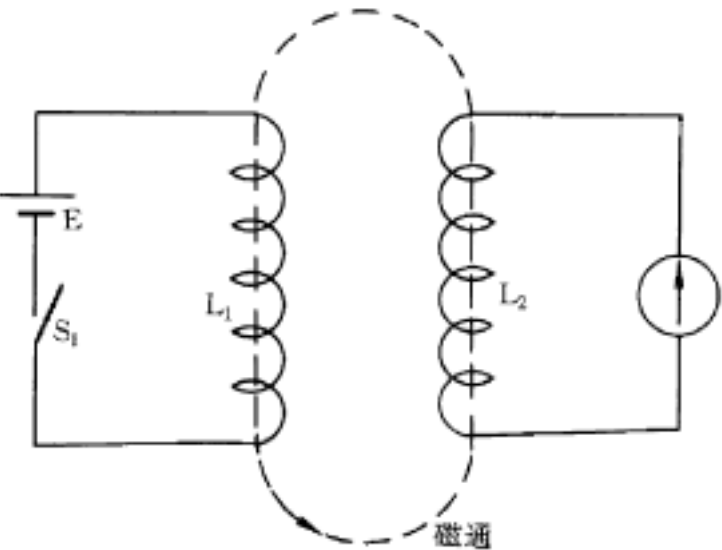


图 3 - 9 互感现象示意图

产生感应电动势,因此便有感应电流流过检流计。

当开关接通一段时间后,由于是直流电源,线圈 L_1 中的电流大小不变,其磁通也不再变化,线圈 L_2 中没有变化的磁通,就不能产生感应电动势,所以检流计的指针不再偏转,回到零位。

一个线圈中的电流变化,引起另一个线圈中产生感应电动势的现象称为互感现象,简称互感。利用互感原理可以制成常见的变压器,变压器的初级线圈就相当于线圈 L_1 ,次级线圈就相当于 L_2 。

关于互感还要说明以下几点。

互感现象说明线圈 L_1 和线圈 L_2 之间存在磁的耦合,又称为互感耦合。线圈 L_1 是通电后产生磁,而线圈 L_2 则是由磁励电。

为了定量表征互感耦合情况,引入了互感系数这个量,互感系数用 M 表示。互感系数 M 的大小等于一个线圈中通过单位电流时,在另一个线圈中产生的互感磁链。互感 M 表征了磁交链的能力。

两个线圈之间具有的互感系数 M 是互感线圈的固有参数,它的大小与两个线圈的匝数、相互间位置、几何尺寸等因素有关。

由互感所产生的电动势称为互感电动势,简称互感电势。当两个线圈确定后,一个线圈中互感电动势的大小正比于另一个线圈中的电流变化率。

互感电动势不仅有大小,还有方向,这一电动势的方向可以用同名端来确定。

3. 互感线圈的同名端

图 3 - 10 所示是电感线圈同名端示意图,将线圈 L_1 、 L_2 绕向一致而感应电动势极性一致的端点称为同名端。图 3 - 10(a)中,线圈 L_1 和线圈 L_2 同绕在一个铁心上,从图中可以看出,1 端和 4 端是两线圈的头,且两线圈的绕向相同,所以它们是同名端,电动势的极性一致。2 和 3 端也是同名端,1 端和 2 端之间、3 端和 4 端之间极性相反,称为异名端。

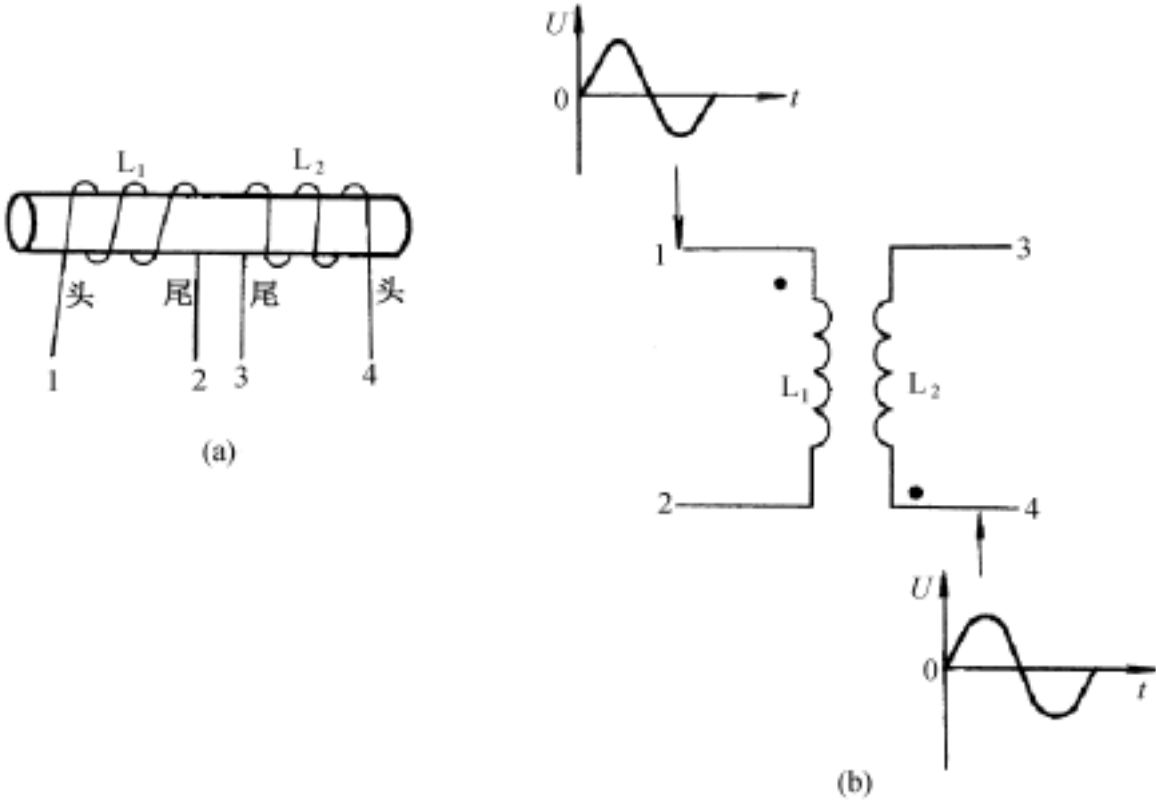


图 3 - 10 互感线圈同名端示意图

同名端常用黑点表示,见图中所示,标有黑点的端是同名端,在电路图中的表示方式如图 3 - 10(b)所示,有时同名端也用符号“ + ”表示。从图中可以看出,同名端的信号相位是相同的。

3.1.8 自感电动势极性判别方法

在分析电感器电路的过程中,常要求分析电感器两端的自感电动势极性,图 3 - 11 所示是电路中可能出现的四种情况。

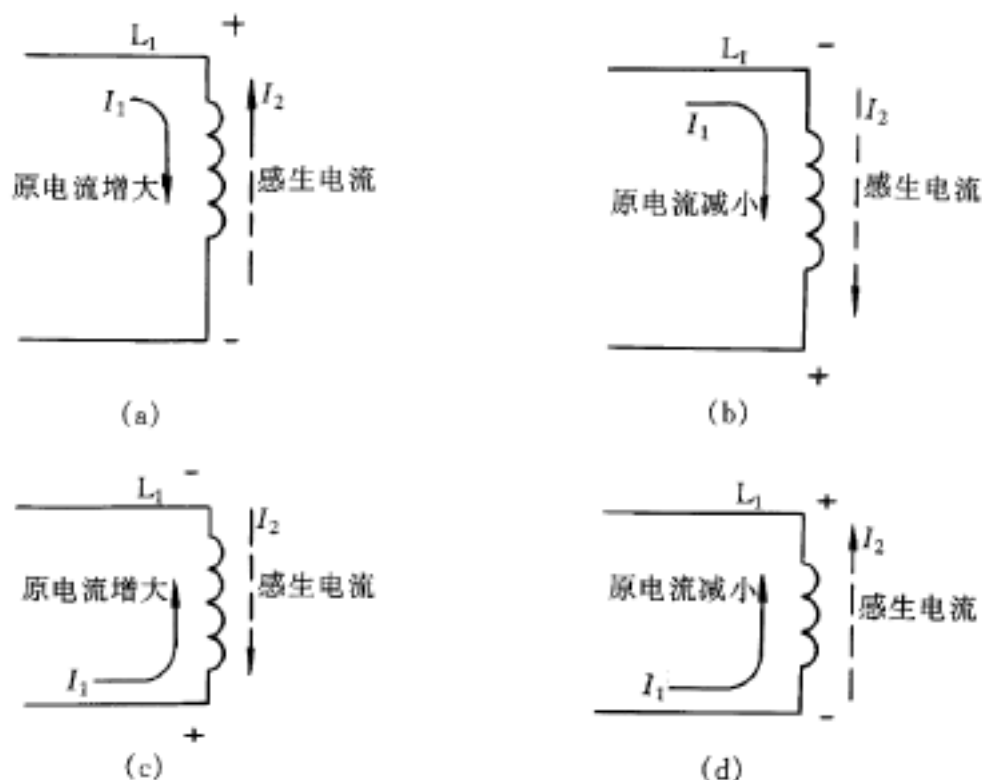


图 3 - 11 四种自感电动势极性判别方法示意图

1. 判别方法

判别电感器两端的自感电动势极性时,要记住下列两点。

自感电动势所产生的电流总是要阻碍原电流的变化。当原电流增大时,自感电动势所产生的电流要使之减小;当原电流减小时,自感电动势所产生的电流要使之增大。

自感电动势产生在线圈两端,线圈两端的内部是自感电动势的内电路,在内电路中自感电动势所产生的电流是从负极流向正极的。

图中, I_1 为原电流,用实线表示; I_2 为自感电动势产生的电流,用虚线表示。通过画出自感电动势所产生电流的方向,可以比较方便地判断线圈上自感电动势的极性。

2. 第一种情况

如图 3 - 11(a)所示,原电流 I_1 自上而下地流过线圈 L_1 ,而且原电流是在增大。根据自感电动势产生的电流要阻碍这一原电流增大的原理,可在线圈内部画出自感电动势产生的电流 I_2 ,其方向为自下而上,与 I_1 方向相反,表示可抵消 I_1 的增大。

自感电动势产生在线圈 L_1 的两端, I_2 在内电路中从负极流向正极,所以在 L_1 两端的自感电动势极性为上端 + ,下端 - 。

在上述自感电动势极性判别过程中,为了确定电动势的方向,先根据线圈中原电流的方向和特性,在图中画出电流 I_2 ,由于原电流 I_1 在增大,所以 I_2 要与 I_1 方向相反。然后,根据内电路中电流流动方向原理,确定线圈两端自感电动势的方向,利用上述方法,可以对其他三种情况下的自感电动势方向进行判别。

3. 第二种情况

如图 3 - 11(b)所示,原电流 I_1 也是自上而下地流过线圈,但是原电流在减小,所以自感电动势所产生的电流 I_2 其方向与 I_1 一样,即 I_2 要加大原电流以维持原电流的不变,这样,自感电动势的方向在 L_1 两端为下 + 上 -。

4. 第三种情况

如图 3 - 11(c)所示,原电流 I_1 自下而上地流过线圈,且原电流在增大,所以自感电动势所产生的电流 I_2 其方向与 I_1 相反,即 I_2 要抵消原电流的增大而维持原电流的不变,这样,自感电动势的方向在 L_1 两端为下 + 上 -。

5. 第四种情况

如图 3 - 11(d)所示,原电流 I_1 也是自下而上地流过线圈,但是原电流在减小,所以自感电动势所产生的电流 I_2 其方向与 I_1 一样,即 I_2 要加大原电流以维持原电流的不变,这样,自感电动势的方向在 L_1 两端为上 + 下 -。

3.2 纯电感器电路

电感器又称电感线圈,俗称线圈、电感。

无线电设备、家用电器中的电感器可分为下列两大类。

应用自感原理的电感器。根据电学原理知道,任何通电的导体其周围存在着磁场,当导体内部的电流发生改变时,包围导体的磁场也要发生相应的改变,而这一磁通的改变又将引起导体内的感应电动势,这就是自感现象。电感就是用来表示自感应特性的一个量,理论上它等于某一回路通过一定电流时所建立的自感应磁通量与该电流的比值。电感器就是用来为电路提供电感的元件。

应用互感原理的变压器。当将两个线圈放置在一起,并将其中的一个通以交流电流时,则该线圈所产生的交变磁通穿过另一个线圈,另一个线圈在这一交变磁通的作用下将产生交变感应电动势,这就是互感现象,变压器就是利用这一原理制成的。

3.2.1 电感器外形特征和电路符号

1. 种类

电感器和电阻器、电容器是电子电路中最基本的元器件,电感器在电路中的应用量远比电

阻器和电容器少。

电感器的种类较多,这里对它进行简单的分类。

电感器按照名称分为单层线圈、多层线圈、蜂房式线圈、带磁芯线圈、固定电感器和低频扼流圈等。

电感器按照有无磁心划分有两种:一是空芯电感器(没有磁芯),二是有磁芯电感器。

电感器按照安装形式划分有:立式电感器、卧式电感器和小型固定式电感器等。

电感器按照工作频率高低划分有两种:一是高频电感线圈,这种线圈的特点是高频损耗小、电感量较小,用于工作频率比较高的电路中;二是低频扼流圈,又称为低频阻流圈,它主要用在低频(音频)电路中,电感量较大。

2. 外形特征

图 3 - 12 所示是几种常见电感器的外形特征示意图。其中,图 3 - 12(a) ~ (c)所示是一般电感器的外形示意图,图 3 - 12(d)所示是新型的小型固定电感器外形示意图,共有四种类型。

关于电感器的特征,主要说明以下几点。

电感器的外形“怪异”,各种形状都有,外形没有一个具体的固定模式,但有一点是可以肯定的,即电感器内部有线圈。

常见的电感器只有两根引脚,这两根引脚是不分正、负极性的,一般情况下两根引脚是可以互换使用的。

除小型固定电感器安装比较方便外,其他电感器的安装不方便。

图 3 - 12(a)所示是空芯电感器,线圈绕在骨架上,无磁芯。

图 3 - 12(b)所示是调帽式电感线圈,骨架上有引脚,这是线圈的引出线,上面有一个带螺纹的磁芯,转动磁芯可将此磁芯伸入或退出线圈,这样可以改变线圈的电感量,所以这是一个电感量可以进行微调的微调电感器。将小磁芯往里面调节,电感量增大;将小磁芯往外面调节,电感量减小。调整磁芯时,要使用有机玻璃的螺丝刀。微调的意思是能够在小范围内改变线圈的电感量。

图 3 - 12(c)是磁罐式电感器,线圈装在磁罐内。

上述这几种电感线圈都有一个共同的缺点,即不能方便地固定在线路板上。固定电感器则做成一个像电容器那样的形

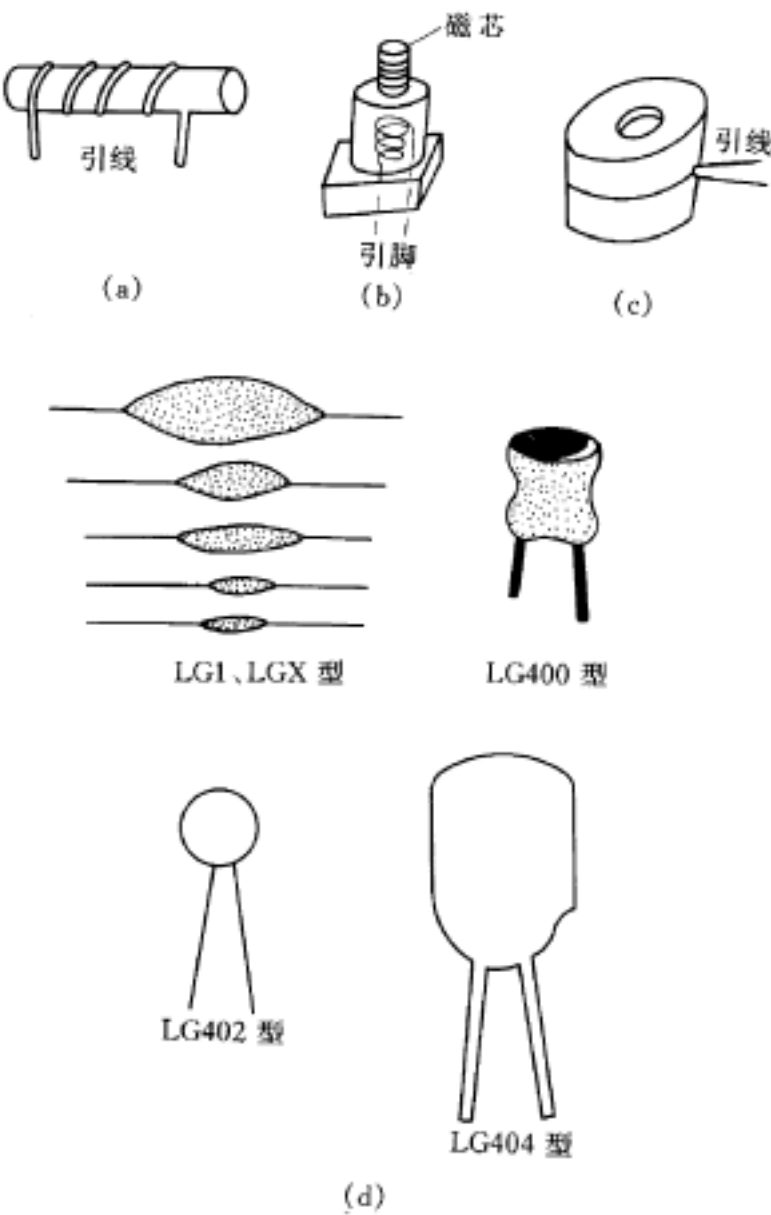


图 3 - 12 常见电感器外形特征示意图

状,引出两根线脚,可以方便地固定在线路板上,使用十分方便,图 3 - 12(d)所示就是固定式电感器。

3. 电路符号

图 3 - 13 所示是电感器的电路符号,电路符号中用大写字母 L 表示电感器。

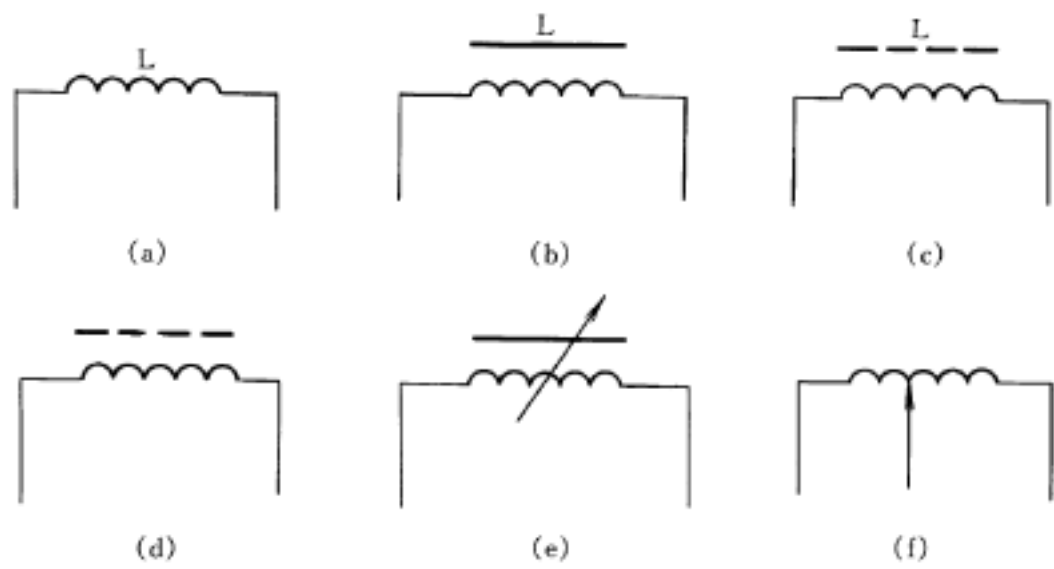


图 3 - 13 电感器的电路符号

图 3 - 13(a)所示是电感器的一般电路符号,这一电路符号所表示的电感器其线圈中不含磁芯或铁心。

图 3 - 13(b)所示是有磁芯电感器的电路符号,过去它只表示是低频磁芯的电感器(电路符号中用一条实线来表示低频磁芯),而高频磁芯电感器的电路符号如图 3 - 13(c)所示(用虚线表示高频磁芯),现在统一用图 3 - 13(b)所示的电路符号,以实线来表示线圈中的磁芯。

图 3 - 13(d)所示是现在用来表示磁芯中有间隙电感器的电路符号。

图 3 - 13(e)所示是表示有磁芯,且电感量可在一定范围内连续调整的电感器的电路符号,符号中的箭头表示电感量可调,这种电感器又称为微调电感器。

图 3 - 13(f)所示是表示无磁芯但有一个抽头的电感器的电路符号,这种电感器有三根引脚。

3 2 2 电感器工作原理和电感量单位

1. 电感器的结构

图 3 - 14(a)所示是最简单的电感线圈,它就是用导线空芯地绕几圈,这就是线圈的基本

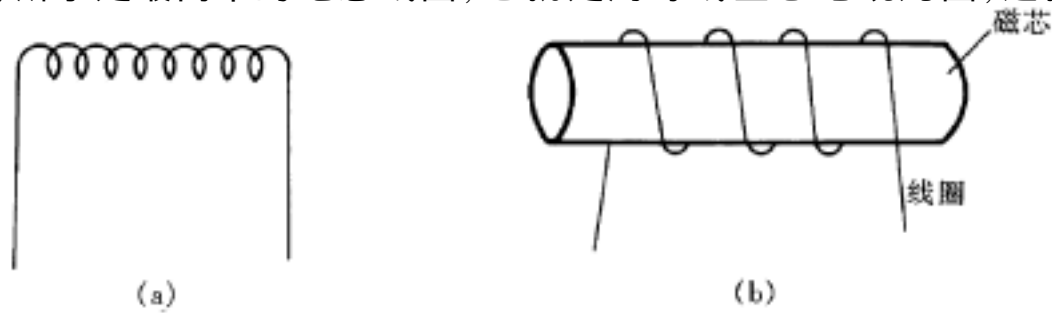


图 3 - 14 电感器结构示意图

结构。

图 3 - 14(b) 所示是有磁芯的电感器结构示意图, 导线绕在磁芯上。无论哪种电感器, 都是用导线绕几圈, 绕的匝数不同时, 有无磁芯时, 电感器电感量大小是不同的, 但是电感器的特性相同。

2. 工作原理

电感器的的工作原理可分成以下两种情况。

通电后的电感器工作过程是这样: 给电感器通入电流, 它会产生磁场。当给线圈中通入交流电流时, 在电感器的四周要产生交变磁场, 交变磁场的变化规律与所通入交流电流的变化规律一样; 当给电感器通入直流电流时, 在电感器四周要产生大小和方向不变的恒定磁场。录音机中的录音磁头、抹音磁头等就是利用上述原理制成的。

交变磁场中电感器的的工作过程是这样: 在交变磁场中的电感器会产生感生电动势。根据电磁感应现象可知, 当线圈中的磁通变化时, 将在线圈两端产生感生电动势, 录音机中的放音磁头就是利用这一原理制成的。

3. 电感量

电感器的电感量和电容器的容量一样, 是它的固有参数, 每一个电感器都有它的标称电感量。电感器的电感量大小与线圈结构有关, 线圈绕的匝数愈多, 电感量愈大; 在相同的匝数情况下, 加磁芯后电感量增大。

电感量的定义公式如下

$$L = \frac{\Psi}{I}$$

式中: L 为电感量, 单位为 H;

为自感磁通量, 单位为 $V \cdot S$;

I 为流过电感器的电流, 单位为 A。

4. 电感量的单位

电感量的单位为亨, 用 H 表示, 实用中 H 太大, 常用毫亨 (mH) 和微亨 (μH), 它们之间的换算关系如下

$$1\text{mH} = 1000\mu\text{H}$$

$$1\text{H} = 1000\text{mH} = 1\,000\,000\mu\text{H}$$

3 2 3 电感器感抗特性和通直流特性

电感器在电路中可以单独使用, 也可以与其他元器件一起构成一个功能电路, 例如 LC 并联谐振电路、串联谐振电路等。

在分析有电感器参与的电路工作原理过程中, 了解电感器的主要特性对电路分析是相当重要的。

1. 感抗特性

电感器对流过它的交流电流存在阻碍作用,这种阻碍交流电流的作用如同电阻和容抗一样,在电感器中称为感抗,感抗用 X_L 表示。

电感器的感抗大小与两个因素有关,即与电感量 L 和频率 f 有关,感抗 X_L 可以用下列公式计算

$$X_L = 2\pi fL$$

式中: X_L 为电感器的感抗;

f 为通过电感器的交流电的频率;

L 为电感器的电感量。

从上述感抗计算式中可以看出,感抗与频率 f 成正比,即频率愈高感抗愈大,频率愈低感抗愈小,这一点同电容器容抗与频率之间的关系是相反的,记住了容抗与频率之间的关系后,要将感抗与频率之间的关系反过来。

感抗还与电感量成正比,这一点同电容器容抗与容量之间的关系也是相反的,电感量愈大其感抗愈大,电感量愈小其感抗愈小。所以,为了便于记忆,可以重点记住电容器容抗与频率、容抗与容量之间的关系,再记住电感器感抗与频率、感抗与电感量之间的关系与电容器的容抗特性正好相反。

当交流电流流过电感器时,感抗对交流电起着阻碍作用,这一作用相当于电阻对电流的阻碍作用,所以在进行电感电路分析时,可以进行这种电阻等效(与前面介绍的电容电路中的等效相同),这样能够方便电感电路的分析。

另外,电感器除存在感抗外,由于电感器是由导线绕制的,导线存在电阻,所以电感器还存在导线的直流电阻,图 3 - 15 所示是一个大电感量的电感器,它等效成一个纯电感 L_0 和一个电阻 R_0 , R_0 就是绕制这一电感线圈的导线的直流电阻。

在电感器的等效电路中,导线电阻 R_0 的阻值是很小的,在交流电路中,导线电阻 R_0 与感抗所起的阻碍作用相比很小,所以线圈直流电阻 R_0 的作用可以忽略不计,认为只存在感抗的作用。进行电路分析时,电感器中起主要作用的是感抗,而不是电感线圈的直流电阻,这样有利于电路中电感器工作原理的分析。

当然,有时在直流电路中分析电感器的的工作原理时,电感器的直流电阻大小是不能忽略不计的,这要看具体电路情况而定,这一问题将是电路分析中的一个难点,即何时可以忽略直流电阻,何时则不能,这一问题将在后面具体电路中再加以说明。

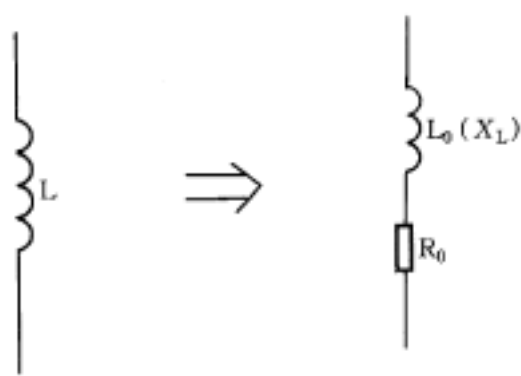


图 3 - 15 电感器等效电路

2. 通直流特性

电容器具有隔直通交的特性,是指电感器可以通过直流电流,而阻碍交流电流的通过。电感器的这一特性与电容器恰好相反。

通直流是指电感器对直流电而言呈通路状态。电感器在直流电路中,只存在线圈本身的电阻对电流的阻碍作用,不存在感抗。由于电感线圈本身的直流电阻通常是相当小的,对直流

电流的这种阻碍作用很小,往往可以忽略不计。所以在分析直流电路中的电感电路时,可以认为电感线圈呈通路。

这里提示一点,电感器的感抗是针对交流电流而言的,对直流电流而言,电感器不存在感抗,从电感器的感抗计算公式 $X_L = 2\pi fL$ 中,也可以看出这一点,因为直流电的频率 f 为零,所以感抗为零。

综上所述,电感线圈在电路中具有通直流阻交流的特性。

3 2 4 电感器的电励磁特性和磁励电特性

1. 电励磁特性

电感线圈的重要特性之一是,当电流流过电感线圈时,要在其四周产生磁场。无论是直流电流还是交流电流流过线圈时,在线圈内部和线圈外部周围都要产生磁场,其磁场的大小和方向与电流的特性有关。

2. 磁励电特性

电感线圈不仅能将电能转换成磁能,还能将磁能转换成电能。当通过线圈的磁通量发生改变时,通俗地讲当电感线圈在一个有效的交变磁场中时,线圈在磁场的作用下要产生感生电动势,这是电感线圈由磁励电的过程。

利用线圈电励磁和磁励电的特性,可以做出多种形式的电—磁、磁—电换能器件,如电动式话筒、电动式扬声器、各种磁性记录磁头等。

3 2 5 电感器电流不能突变和电容器两端电压不能突变的特性

电感线圈中的电流不能发生突变和电容器两端的电压不能发生突变的特性,是分析电感器电路和电容器电路时经常用到的两个重要特性,对这两个特性的理解比较困难,为了便于记忆这两个特性,将它们放在一起讲解。

1. 电感器电流不能突变

当流过电感线圈的电流大小发生改变时(无论是直流电流还是交流电流),在线圈的两端要产生一个自感电动势(有时称反向电动势),这一自感电动势要阻止线圈中原来电流的大小变化,力图让流过电感线圈的电流不能发生改变,这就是流过电感器的电流不能发生突变的特性。

流过电感线圈中的电流变化率愈大,在电感线圈两端产生的自感电动势就愈大,这一自感电动势对电感电路中其他电子元器件的安全工作造成了危害,所以在一些电感器电路中会设置相应的保护电路。

2. 电容器两端电压不能突变

电容两端电压不能突变的特性在许多电路分析中都要用到,这是分析电容器电路工作原

理时的一个重要特性。

从电容两端的电压公式 $U = Q / C$ 可知,电容器两端的电压建立在电容器的内部电荷量的多少之上,由于对电容的充电是有一个过程的,电容器内部的电荷不会从零突然充到很多电荷,所以电容器的内部电荷不会发生突变,这样,电容器两端的电压就不能发生突变。

关于电容器两端电压不能突变的特性在电路分析中的应用,还要说明下列几点。

当电容器内部没有电荷时,电容器两端的电压为 0V,这时相当于电容器的两根引脚之间是接通的,在充电电源接通的瞬间,电容器两根引脚也是相当于接通的,这一点对电容电路的分析相当重要,一定要记牢。

前面所说充电时电容器原先内部没有电荷,若电容器原先内部已经有了电荷,电容器两端便有了一个电压。当该电容器刚开始充电时,电容两端的电压也是不能发生突变的,这时电容器两端的电压仍然为原来的电压大小。

电容器充电时两端电压不能发生突变,在电容器开始放电的瞬间,电容器两端的电压也是不能发生突变的,原理一样,因为只有电容器内部的电荷量发生改变时,电容器两端的电压才能发生改变,刚开始时电容器内部的电荷还没有放电,所以电容器两端的电压也是不能发生突变的。

综上所述,对电容器而言是两端的电压不能突变,对电感器而言则是线圈中的电流不能突变,在这一点上,电容器和电感器又是有所不同的。

3 2.6 电阻器、电容器和电感器特性小结

表 3 - 1 所示是电阻器、电容器和电感器特性小结。

表 3 - 1 电阻器、电容器和电感器特性小结			
元件名称	电阻器	电 容 器	电 感 器
直流电阻特性	等于电阻器的标称阻值	容抗为无穷大,只存在很大的漏电阻,漏电阻愈大愈好	直流电阻很小,等于电感线圈的导线电阻
交流阻抗特性	等于电阻器的标称阻值	存在容抗,频率高容抗小,频率低容抗大,容量大容抗小,容量小容抗大	存在感抗,与电容器特性相反,频率高感抗大,频率低感抗小,电感量大感抗大,电感量小感抗小
直流电压特性	$U = RI$	电路稳定后两端电压等于直流电源的充电电压	电路稳定后两端电压几乎为 0V
直流电流特性	电压高电流大,电压低电流小;电阻小电流大,电阻大电流小	电路稳定后没有电流流过电容器,只存在很小的漏电流,漏电流愈小愈好	电路稳定后直流电流大小不变
交流电压特性	$U = RI$	频率高两端电压小,频率低两端电压大;容量小两端电压大,容量大两端电压小	与电容器特性相反,频率高两端电压大,频率低两端电压小;电感量小两端电压小,电感量大两端电压大

元件名称	电阻器	电 容 器	电 感 器
交 流 电 流 特 性	与直流电流特性相同	有交流电流流过,频率高电流大,频率低电流小;容量大电流大,容量小电流小	有交流电流流过,频率高电流小,频率低电流大;电感量大电流小,电感量小电流大
其他特性	消耗电能,直流电和交流电都呈现相同的阻值,交流电时电阻大小不随频率变化而变化	具有储能特性; 流过电容器的电流超前电容两端的电压 90°; 电容器两端的电压不能突变	具有储能特性; 流过电感器的电流滞后电感器两端的电压 90°; 流过电感器的电流不能突变; 通电后会产生磁场; 在交变磁场中会产生感应电动势等

3 2.7 电感器串联和并联电路

1. 电感器在电路中的作用

电感器在电路中所起的作用主要有以下几个方面。

电感器在电源电路中的应用最多,在电源电路中作为滤波电感,阻止交流成分通过,让直流电流通过。

电感器另一个重要的应用,是与电容器构成 LC 并联或串联谐振电路,构成各种带通滤波器、选频放大器等。

电感器在电路中还可以用来进行信号耦合、信号延时,对信号进行相位移动和进行阻抗匹配等。

2. 电感器串联电路

在实用电路中,电感器的串联、并联电路不常见。

电感器的串联有多种情况,分别说明如下。

在各串联电感器之间不存在相互影响的前提下,即各电感器之间磁路隔离时,串联后的总电感量 L 为各串联电感之和,即

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \dots\dots$$

由上式可知,电感器愈串联其电感量愈大,这一点与电容器的串联恰好相反。

电感线圈顺串联方式。如果两个电感线圈之间存在着互感的影响,如图 3 - 16(a)所示,电感线圈 L_1 和 L_2 同绕制在一个磁芯上,这样,参与串联的各电感线圈之间磁路并不隔离,这时电感线圈存在着绕制方向和线圈头、线圈尾之分,见图中所示。线圈 L_1 的 1 端和 L_2 的 3 端是同名端。

由于两组线圈有了头与尾之分,这样电感线圈的串联有两种情况。图 3 - 16(b)所示是电感线圈顺串联电路示意图,所谓顺串联就是在两个线圈的绕向一致时,一个线圈的头接另一个线圈的尾,即电路中 2 端和 3 端相连。

线圈顺串联后仍然等效成一个电感线圈,其等效电感也有头与尾之分。电感线圈顺串联

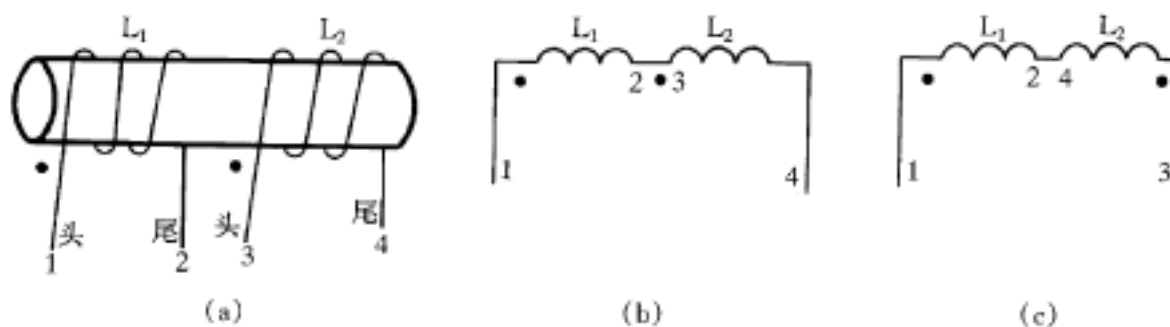


图 3 - 16 电感线圈顺、逆串联电路

后,电流是从两个线圈的同名端流入或流出,这样总磁场被加强,所以其等效电感线圈的电感量也是增大的。

图 3 - 16(c)所示是电感线圈逆串联电路示意图。电路中,线圈 L_1 的尾与 L_2 的尾相连,这时电流从一个线圈的头流入,从另一个线圈的头流出,而两个线圈的绕向是相同的,这样两线圈产生的磁场相互抵消了一部分,所以逆串联后的等效电感是减小的。

3. 电感器并联电路

电感器的并联也有多种情况,分别说明如下。

在各并联电感器之间不存在相互影响的前提下,电感器并联后仍然等效成一个电感,但是总电感量要下降,总电感的倒数等于各电感倒数之和,即

$$1/L = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + \dots$$

从上式可知,电感器愈并电感量愈小,这与电容器的并联恰好相反。

电感线圈顺并联方式。如果两个电感线圈之间存在着互感的影响,如图 3 - 16(a)所示那样,电感线圈 L_1 和 L_2 的并联也有顺并联和逆并联两种情况。图 3 - 17(a)所示是电感器顺并联电路,同名端相并联;图 3 - 17(b)所示是逆并联电路,异名端相并联。根据理论计算,两个具有互感的线圈并联电路,顺并联时的等效电感量大于逆并联时的等效电感量。

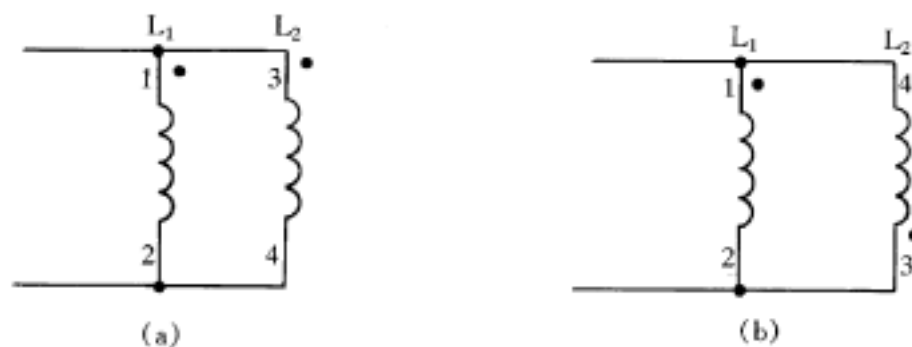


图 3 - 17 电感线圈顺、逆并联电路

3 2 8 电阻器、电容器和电感器串并联电路特性小结

表 3 - 2 所示是纯电阻器、纯电容器和纯电感器的串联电路、并联电路和串并联电路特性小结。

表 3 - 2 电阻器、电容器和电感器串并联电路特性小结

电路名称	阻抗特性	直流电特性	交流电特性
电阻串联电路	愈串联电阻愈大,阻值不随频率变化而变化	电路中流过直流电流,阻值大的电阻两端电压大	电路中流过交流电流,特性与直流电路相同
电阻并联电路	愈并联电阻愈小	电路中流过直流电流	同上
电阻串并联电路	阻值不随频率变化而变化	同上	同上
电容串联电路	容量愈串愈小,随频率升高,容抗下降	没有直流电流流过	有交流电流流过,频率愈高电流愈大,容量大的电容上电压小
电容并联电路	容量愈并愈大,随频率升高,容抗下降	各并联支路中都没有直流电流流过	有交流电流流过,容量大的支路中电流大
电容串并联电路	随频率升高,容抗下降	各支路中都没有直流电流流过	有交流电流流过
电感串联电路	电感量愈串联愈大	有直流电流流过	有交流电流流过,但存在感抗,频率愈高感抗愈大
电感并联电路	电感量愈并联愈小	各支路都有直流电流流过	各并联支路都有交流电流流过,都存在感抗

3 .3 LC 谐振电路和 RL 电路

LC 谐振电路是一种由电感器 L 和电容器 C 构成的电路。L 与 C 通常构成 LC 串联谐振电路和 LC 并联谐振电路。

RL 电路是由电阻器 R 和电感器 L 构成的电路,R 与 L 可以构成 RL 移相电路等。

3 3 .1 LC 谐振电路

根据电路中电感器 L 和电容器 C 的连接方式不同,共有两种基本的 LC 谐振电路:一是 LC 并联谐振电路;二是 LC 串联谐振电路。

在放大器电路和其他形式的信号处理电路中,大量使用 LC 并联谐振电路和 LC 串联谐振电路。LC 并联、串联谐振电路在电路中可以构成下列一些功能电路或单元电路。

构成选频电路或选频放大器电路,用来在众多的频率信号中选出所要频率的信号进行放大,这种电路在收音机、电视机等电路中有着广泛的应用。在正弦波振荡器电路中也有着广泛的应用。

构成吸收电路,在众多频率信号中将某一频率信号进行吸收,也就是进行衰减,将这一频率信号从众多频率信号中去掉。

阻波电路,这一电路的功能与吸收电路相似,即从众多频率信号中阻止某一频率信号通过放大器电路或其他电路。

构成移相电路,对信号进行相位移动。

LC 并联、串联谐振电路在应用电路中的变化繁多,是电路分析中的一个难点,掌握 LC 并联、串联电路的阻抗特性等基本概念,才能正确、方便地理解含有 LC 并联、串联谐振电路的各种形式电路的工作原理。

图 3 - 18 所示是 LC 谐振电路。电路中, L_1 是电感器, C_1 是电容器, L 和 C 构成一个并联电路。

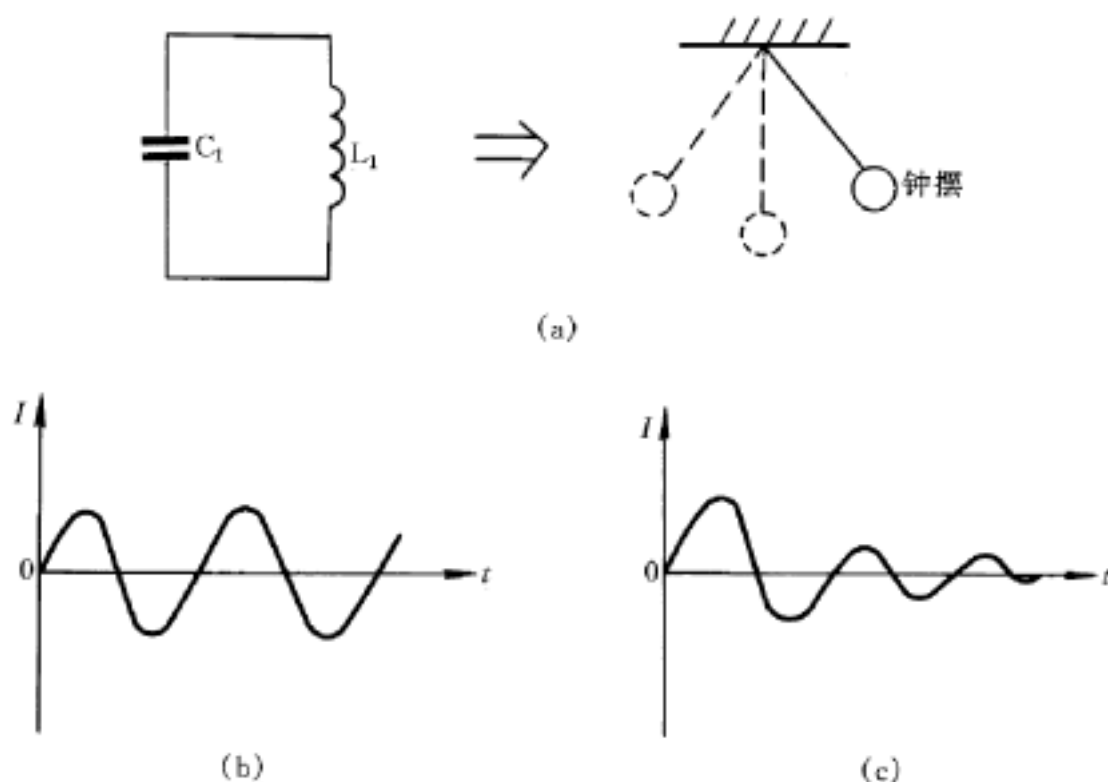


图 3 - 18 LC 谐振电路

1. 谐振过程描述

LC 谐振过程由于看不见摸不着,所以理解起来相当的不方便,为此可以用钟摆的左右摆动来说明。在给钟摆一个初始能量后,摆就会左右摆动起来,如果不给钟摆电力或弹簧的机械力,在摆动过程中钟摆摆幅会愈来愈小,直至停止摆动。若给 LC 谐振电路一个初始能量后,该电路便会发生自由振荡,这一自由振荡过程如同没有动力的钟摆一样,振荡将逐渐衰减至零。

LC 谐振电路的基本谐振过程是这样:设一开始电容 C_1 中已经充有电能,这时电容 C_1 中的电能对线圈 L_1 放电,这一过程是电容 C_1 中的电能转换成线圈 L_1 中磁能的过程,电容 C_1 放电结束时,能量全部以磁能的形式储存在线圈 L_1 中。

电容 C_1 放电完毕之后,线圈 L_1 中的磁能又以线圈两端自感电动势产生电流的方式,开始对电容 C_1 进行充电,这一充电过程是线圈 L_1 中的磁能转换成电容 C_1 中电能的过程。电容 C_1 充电完毕之后,电容 C_1 两端的电压再度对线圈 L_1 进行放电,开始新一轮新的振荡及能量转换过程。

若不考虑电路中电感 L_1 和电容 C_1 存在的各种能量损耗,认为谐振回路中的能量没有损耗,谐振回路的振荡电流就是等幅的,为正弦波形,如图 3 - 18(b)所示。但是,线圈 L_1 存在着直流电阻和其他一些因素,对电能是有损耗的,电容 C_1 也是一样,存在各种损耗,这就导致谐振回路的电流不是等幅的,而是不断衰减的,如图 3 - 18(c)所示。如果在 LC 谐振电路的振荡过程中,能够不断地给 LC 电路补充电能,那么这一振荡将一直等幅振荡下去,这就是 LC 谐振

电路的振荡过程。

2. 谐振频率

在谐振过程中,电容 C_1 不断地重复进行充电、放电,它有一个周期,称为振荡周期,也可以用振荡频率来描述。

对于一个特定参数的 LC 谐振电路,即电感器 L_1 和电容器 C_1 大小确定后,就有一个确定不变的谐振频率 f_0 , f_0 与电感 L_1 和电容 C_1 的大小有关,由下式决定

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \times C_1}}$$

在 LC 自由谐振电路中,振荡过程中的谐振频率即为 f_0 ,改变 L_1 或 C_1 的标称值大小,就能改变振荡频率 f_0 。无论是 LC 并联谐振还是 LC 串联谐振电路,其谐振频率的计算公式都是相同的。

谐振频率与电感 L_1 和电容 C_1 的大小相关,在 L_1 和 C_1 确定后,谐振频率就确定了,所以谐振频率又称为固有频率,或自然频率。

3 3 2 LC 并联谐振电路

图 3 - 19(a)所示是 LC 并联谐振电路。电路中, L_1 和 C_1 构成 LC 并联谐振电路, R_1 是线圈 L_1 的直流电阻, I_s 是交流信号源,这是一个恒流源。所谓恒流源就是输出电流不随负载大小的变化而变化,如图 3 - 19(b)所示,恒流源输出电流 I_s 是一条水平直线,这表示电流的大小不改变。

LC 并联谐振电路的谐振频率为 f_0 , f_0 的计算公式与串联谐振电路中的计算公式一样。

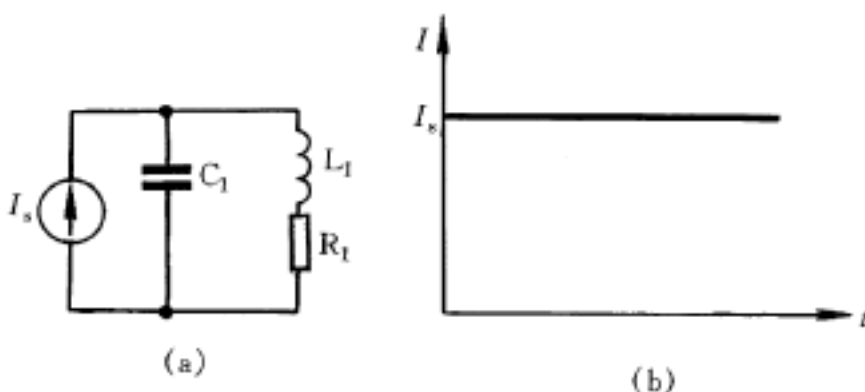


图 3 - 19 LC 并联谐振电路

下面讲解 LC 谐振电路的有关主要特性,这些特性是分析由 LC 并联谐振电路构成的各种单元电路和功能电路工作原理的依据。

1. 阻抗特性

LC 并联谐振电路的阻抗可以等效成一个电阻,这是一个特殊的电阻,它的阻值大小是随频率高低变化而变化的。图 3 - 20 所示是 LC 并联谐振电路的阻抗特性曲线。图中, X 轴方向为输入 LC 并联谐振电路的信号频率, Y 轴方向为该电路的阻抗。

下面将输入信号频率分成几种情况,来说明并联谐振电路的阻抗特性。

从图中可以看出,这一阻抗特性是以谐振频率 f_0 为中心轴,左右对称,曲线上面窄,下面宽。

当输入信号 I_s 的频率等于该电路的谐振频率 f_0 时,LC 谐振电路发生谐振,此时谐振电路的阻抗达到最大,并且为纯阻性,即相当于一个阻值很大的纯电阻,其值为 $Q^2 R_1$ (Q 为品质因数)。若线圈 L_1 的直流电阻 R_1 为零的话,此时 LC 并联谐振电路的阻抗为无穷大,见图中

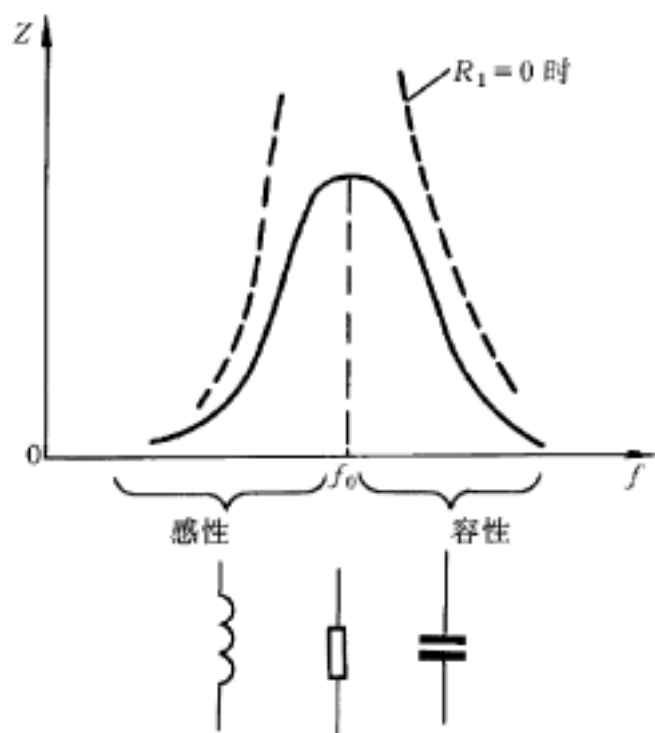


图 3 - 20 LC 并联谐振电路的阻抗特性曲线

虚线所示。

要记住 LC 并联电路的重要特性: 并联谐振时电路的阻抗达到最大状态。

当输入信号频率高于谐振频率 f_0 后, LC 谐振电路处于失谐状态, 电路的阻抗下降, 这是指比电路谐振时的阻抗有所减小, 而且信号频率愈是高于谐振频率, LC 并联谐振电路的阻抗愈小, 并且此时 LC 并联电路的阻抗呈容性, 见图中等效成一个电容。

在输入信号频率高于谐振频率后, LC 并联谐振电路等效成一只电容可以这么去理解: 在 LC 并联谐振电路中, 当输入信号频率升高后, 电容 C_1 的容抗在减小, 而电感 L_1 的感抗在增大, 容抗和感抗是并联的。由并联电路的特性可知, 并联电路中起主要作用的是阻抗小的一个, 所以当输入信号频率高于谐振频率之后,

这一并联谐振电路中的电容 C_1 的容抗小, 起主要作用, 整个电路相当于是一个电容, 但等效电容的容量大小不等于 C_1 。

当输入信号频率低于谐振频率 f_0 后, LC 并联谐振电路也处于失谐状态, 谐振电路的阻抗也要减小(比谐振时小), 而且是信号频率愈低于谐振频率, 电路的阻抗愈小, 这一点从曲线中可以看出。信号频率愈低于谐振频率时, LC 并联谐振电路的阻抗呈感性, 电路等效成一个电感(但电感量大小不等于 L_1)。

在输入信号频率低于谐振频率后, LC 并联谐振电路等效成一只电感可以这么去理解: 由于信号频率降低, 电感 L_1 的感抗减小, 而电容 C_1 的容抗则增大, 感抗和容抗是并联的, 这样 L_1 和 C_1 并联后, 电路中起主要作用的是电感而不是电容, 所以这时 LC 并联谐振电路等效成一只电感。

2. 品质因数(Q 值)的概念

LC 谐振电路中的 Q 值称为品质因数, 它是衡量 LC 谐振电路振荡质量的一个重要参数, LC 并联谐振电路的 Q 值大小由下式计算

$$Q = \frac{2 \times f_0 \times L_1}{R_1}$$

式中: 2 为常数;

f_0 为谐振电路的谐振频率;

L_1 为谐振电路中的电感;

R_1 为线圈 L_1 的直流电阻。

Q 值大小对谐振电路的工作特性有许多影响, 这一点将在后面详细介绍。

当谐振电路的 Q 值不同时, 谐振电路的阻抗特性也有所不同, 图 3 - 21 所示是不同 Q 值下 LC 并联谐振电路的阻抗特性曲线。图中, Q_1 为最大, 此时曲线最

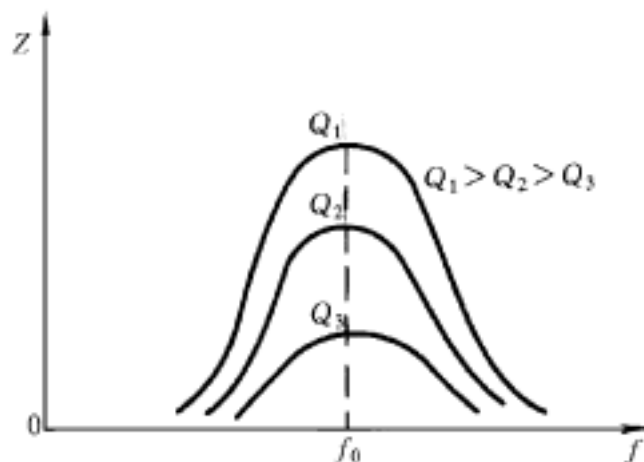


图 3 - 21 不同 Q 值下 LC 并联谐振电路的阻抗特性曲线

尖锐,谐振时电路的阻抗为最大; Q 为最小,谐振时电路的阻抗小,且曲线扁平。由此可知,不同的 Q 值下有不同的阻抗特性。

由于 Q 值的大小不同,会有不同的阻抗特性曲线,在实用电路中,就是通过适当调整 LC 并联谐振电路的 Q 值大小,来达到所需要的频率特性。

3. 通频带概念

LC 并联谐振电路的通频带可以用如图 3 - 22 所示的曲线来说明。 X 轴方向是频率, Y 轴方向是振荡幅度。曲线中, f_0 是 LC 并联谐振电路的谐振频率。

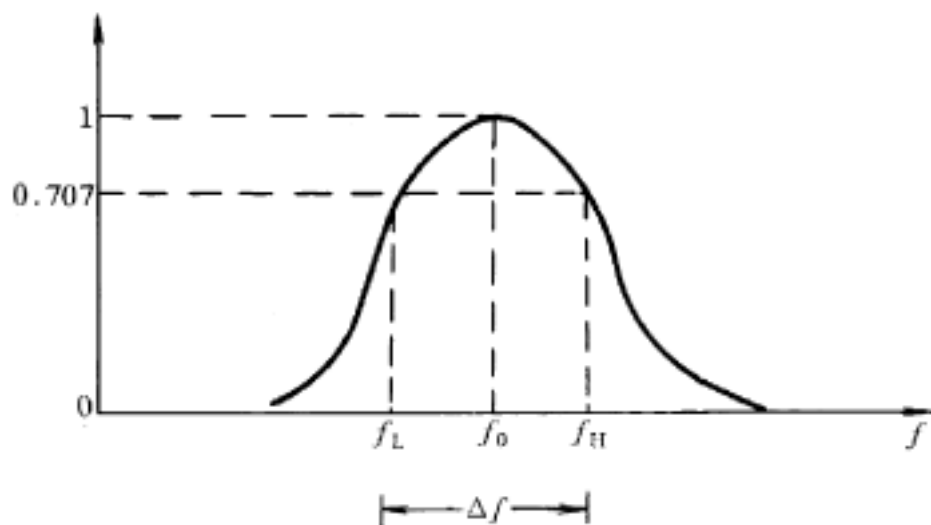


图 3 - 22 LC 并联谐振电路频带示意图

在频率为 f_0 时,设振荡幅度为 1,当振荡幅度下降到 0.707 时,对应曲线上有两点,频率较低处的一点是 f_L ,这一频率称为下限频率;频率较高处的一点是 f_H ,这一频率称为上限频率,频带 $\Delta f = f_H - f_L$,即上限频率和下限频率之间的频率范围。

一个 LC 并联谐振电路的频带宽度是有具体要求的,在不同的电路中,为了实现特定的电路功能,对频带宽度的要求也大不相同,有的要求频带宽,有的要求频带窄,有的则要求有适当的频带宽度。

从这一频率曲线中可以看出,当信号的频率低于下限频率或高于上限频率时,曲线快速下跌,信号幅度大幅减小,这一特性要记牢。

在实用的 LC 并联谐振电路中,为了获得所需要的频带宽度,要求对 LC 并联谐振电路的 Q 值进行调整,如图 3 - 23(a)所示。

电路中, L_1 和 C_1 构成 LC 并联谐振电路,电阻 R_1 并联在 L_1 和 C_1 上,它称为阻尼电阻。并上阻尼电阻后,一部分的谐振信号能量要被电阻 R_1 所分流,使 LC 并联谐振电路的品质因数下降,导致频带变宽。当阻尼电阻 R_1 的阻值愈小时, R_1 所分流的谐振电流愈多,谐振电路的品质因数愈小,频带愈宽,如图 3 - 23(b)所示。图中, Q_1 大于 Q_2 , Q_2 曲线的频带宽于 Q_1 曲线。 Q 值愈小,频带愈宽,反之则愈窄。

曲线 Q_1 是阻尼电阻 R_1 的阻值较大时的曲线,因为 R_1 比较大,品质因数 Q_1 较大,对 LC 并联谐振电路的分流衰减量比较小,所以谐振电路振荡质量比较好,此时频带窄;曲线 Q_2 是阻尼电阻 R_1 的阻值较小时的曲线,因为 R_1 比较小,品质因素 Q_1 较小,LC 并联谐振电路的分流衰减量比较大,所以频带比较宽。

通过上述分析可知,为了获得所需要的频带宽度,可以通过调整 LC 并联电路中的阻尼电

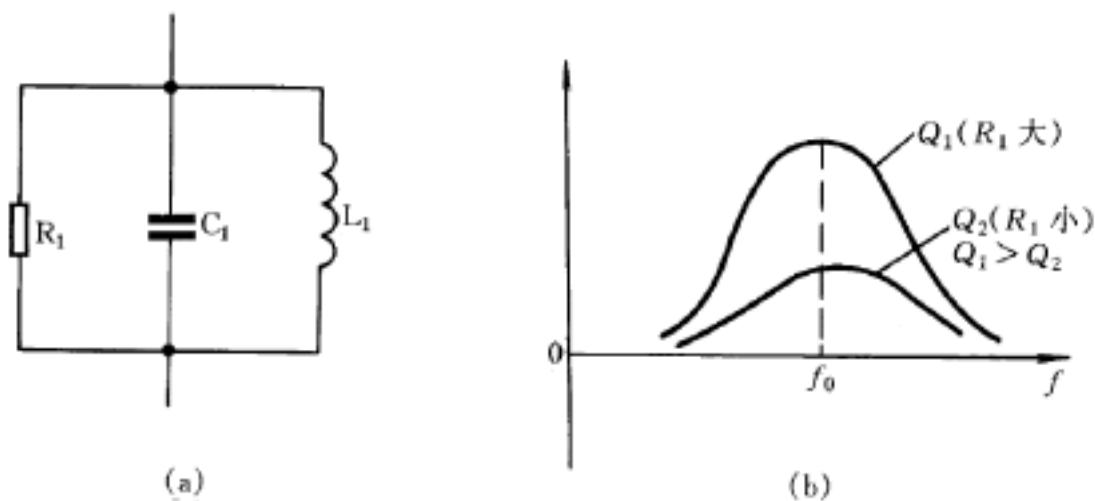


图 3 - 23 调整 Q 值电路示意图

阻来实现。

4. 谐振时电流最小

LC 并联谐振电路中,当输入信号的频率等于电路的谐振频率 f_0 时,电路发生并联谐振,此时电路的阻抗为最大,所以频率为 f_0 的信号流过 LC 并联谐振电路的电流最小。此时的电流大小等于并联电路两端的信号电压除以 $Q^2 R_1$, Q 为电路的品质因数,它一般为 100 左右,可见此时流过 LC 并联电路的总电流是很小的。

对于其他频率的信号电流,因为 LC 并联谐振电路失谐之后阻抗迅速减小,所以信号电流都有明显的增大,信号频率愈是偏离电路的谐振频率,其信号电流愈大,而且 Q 值愈大,偏离谐振频率的信号电流增大得愈迅速。这是 LC 并联谐振电路的重要特性,在分析由 LC 并联谐振电路参与的各种放大器电路、滤波器电路时,都需要运用这一特性。

5. 电流谐振

前面提到,在 LC 并联谐振电路发生谐振时,电路总的阻抗很大,流过 LC 并联谐振电路的总信号电流很小,也就相当于 LC 并联谐振电路与输入信号源之间开路了。此时,电容 C_1 与电感 L_1 这两个并联元件之间发生谐振, C_1 和 L_1 之间进行电能和磁能的相互转换,这就是谐振现象。

在这个谐振过程中,流过 C_1 的信号电流等于电感 L_1 的信号电流,而且是等于此时流过整个 LC 并联电路总电流的 Q 倍, Q 为品质因数, Q 一般为 100 左右。由此可见,在 LC 并联谐振电路发生谐振时,在电容 C_1 和 L_1 中的信号电流升高了许多倍。所以,LC 并联谐振又称为电流谐振。

在 LC 并联谐振电路发生谐振时,由于流过电容 C_1 上的信号电流与流过电感 L_1 的信号电流相位相反,所以这两个信号电流之和为零,电容 C_1 中的电流和电感 L_1 中的电流不流过信号源电路。

3 3 3 LC 串联谐振电路

LC 串联谐振电路是另一种 LC 谐振电路,图 3 - 24 所示是 LC 串联谐振电路。电路中, R_1 是线圈 L_1 的直流电阻,也是这一 LC 串联谐振电路的阻尼电阻,电阻器是一个耗能元件,它在

这里要消耗谐振信号的能量。 L_1 与 C_1 串联后再与信号源 U_s 相并联,这里的信号源是一个恒压源。

在 LC 串联谐振电路中,电阻 R_1 的阻值愈小,对谐振信号的能量消耗愈小,谐振电路的品质也愈好,电路的 Q 值也愈高;电路中的电感 L_1 愈大,存储的磁能也愈多,在电路损耗一定时,谐振电路的品质也愈好,电路的 Q 值也愈高。

电路中,输入信号源与 LC 串联谐振电路之间不存在能量相互转换,只是电容 C_1 和电感 L_1 之间存在电能和磁能之间的相互转换。外加的输入信号只是补充由于电阻 R_1 消耗电能而损耗的信号能量。

LC 串联谐振电路的谐振频率计算公式与并联谐振电路是一样的,下面介绍串联谐振电路的主要特性。

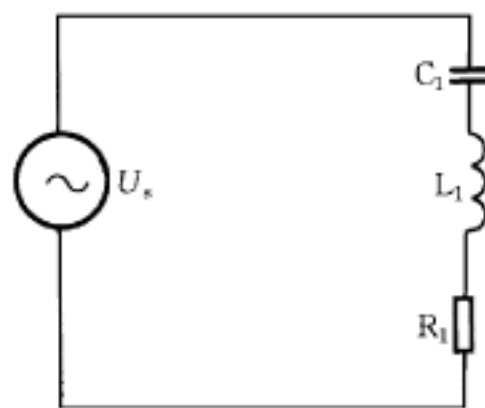


图 3 - 24 LC 串联谐振电路

1. 阻抗特性

图 3 - 25 所示是 LC 串联谐振电路的阻抗特性曲线。当信号频率等于 LC 串联谐振电路的谐振频率 f_0 时,电路发生串联谐振,串联谐振时电路的阻抗为最小且为纯阻性(不为容性也不为感性),见图中所示,其值为 R_1 (纯阻性)。

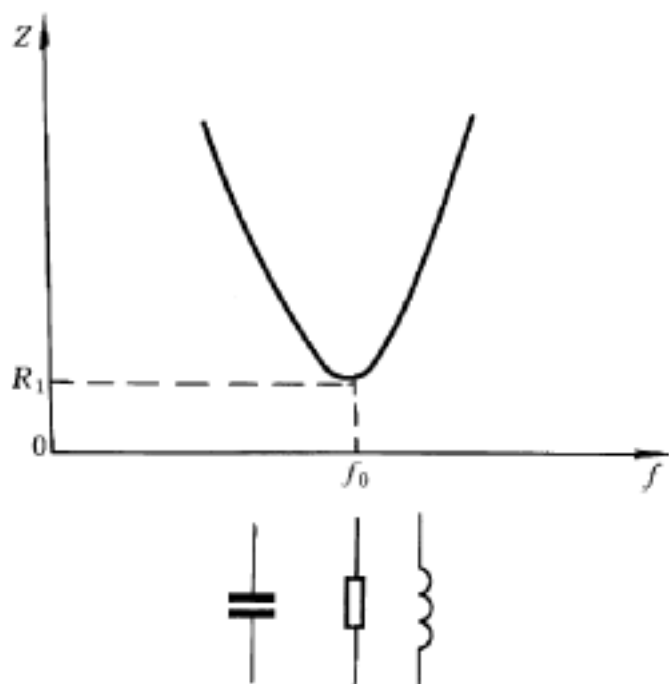


图 3 - 25 LC 串联谐振电路的阻抗特性曲线

当信号频率偏离 LC 谐振电路的谐振频率时,电路的阻抗均要增大,且频率偏离的量愈大,电路的阻抗就愈大,这一点恰好是与 LC 并联谐振电路相反的。要记住:串联谐振时电路的阻抗为最小。

当输入信号频率高于谐振频率时,此时 LC 并联谐振电路为感性,相当于是电感(电感量大小不等于 L_1),这一点可以这么去理解:在 L_1 和 C_1 串联电路中,当信号频率高于谐振频率之后,由于频率升高, C_1 的容抗减小,而 L_1 的感抗却增大,在串联电路中起主要作用的是阻抗大的一个元件,这样 L_1 起主要作用,所以在输入信号频率高于谐振频率之后,LC 串联谐振电路等效于一个电感。

当输入信号频率低于谐振频率时,此时 LC 并联谐振电路为容性,相当于一个电容(容量大小不等于 C_1),这一点也可以这样理解:当信号频率低于谐振频率之后,由于频率降低, C_1 的容抗增大,而 L_1 的感抗却减小,这样在串联电路中起主要作用的是电容 C_1 ,所以在输入信号频率低于谐振频率之后,LC 串联谐振电路等效于一个电容。

2. 品质因数 Q

LC 串联谐振电路的 Q 值由下式计算

$$Q = \frac{2 \times f_0 \times L_1}{R_1} = \frac{1}{2 f_0 C_1 R_1}$$

从该公式中可以看出, Q 值与 L_1 成正比关系, 而与 C_1 和 R_1 成反比关系。从上述公式中也可以看出, 阻尼电阻 R_1 大时, Q 值小。

图 3 - 26 所示是 LC 串联谐振电路阻抗与 Q 值之间的关系示意图。图中三条阻抗曲线中, Q_1 曲线的品质因数最大, Q_2 曲线其次, Q_3 曲线最小, Q 值愈大曲线愈尖锐, 谐振时的电路阻抗愈小, 流过串联谐振电路的信号电流愈大。

LC 串联谐振电路的频带特性与并联谐振电路是一样的, 也是谐振电路的 Q 值愈大, 频带愈窄, 反之则愈宽。

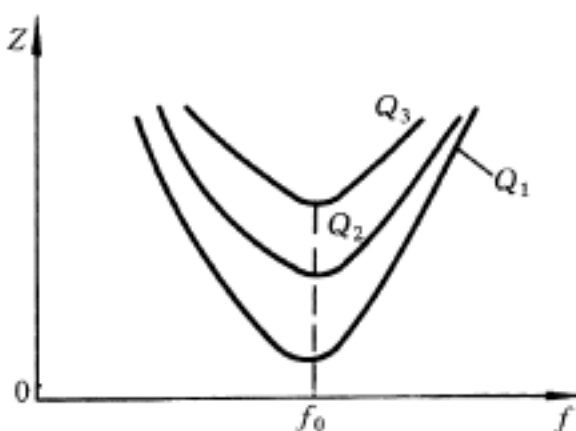


图 3 - 26 LC 串联谐振电路阻抗与 Q 值之间的关系

3. 谐振时电流最大

LC 串联谐振电路中, 当输入信号的频率等于电路的谐振频率 f_0 时, 电路发生串联谐振, 此时电路的阻抗为最小, 所以频率为 f_0 的信号流过 LC 串联谐振电路的电流最大。此时的电路电流等于外加到 LC 串联谐振电路两端的信号电压除以 R_1 。

对于其他频率的信号电流, 因为 LC 串联谐振电路失谐之后阻抗迅速增大, 所以信号电流都明显有所下降, 信号频率愈是偏离电路的谐振频率, 其信号电流愈小, 而且 Q 值愈大, 偏离谐振频率的信号电流下降得愈迅速。这是 LC 串联谐振电路的重要特性, 在分析由 LC 串联谐振电路参与的放大器电路、滤波器电路时, 都需要运用这一特性。

4. 电压谐振

在 LC 串联谐振电路发生谐振时, 电容 C_1 上的信号电压等于电感 L_1 上的信号电压, 且是加到 LC 串联谐振电路上信号电压的 Q 倍, Q 为品质因数, Q 一般为 100 左右。由此可见, 在 LC 串联谐振电路发生谐振时, 在电容 C_1 和 L_1 上的信号电压升高了许多倍。所以, LC 串联谐振又称为电压谐振。

在无线电电路中, 由于输入信号通常十分微弱, 所以时常利用 LC 串联谐振电路的这一电压特性, 在电容 C_1 和电感 L_1 上获得频率与输入信号频率相同, 但信号电压幅度比输入信号电压幅度大 100 倍左右的信号电压。

在 LC 串联谐振电路发生谐振时, 电容 C_1 上的信号电压与电感 L_1 上的信号电压相位相反, 所以这两个信号电压之和为 0V。此时, 加到 LC 串联谐振电路上的信号电压全部加到电阻 R_1 上。

3 3 4 LC 谐振电路分析说明

对于 LC 串联和并联谐振电路的分析, 主要说明以下几点。

了解这两种谐振电路的一些主要特性, 是分析它们应用电路的基础, 其中最主要的是两种谐振电路的阻抗特性, 因为在各种电路的工作原理分析中, 主要是依据电路的阻抗对电路进行分析。LC 并联谐振电路谐振时阻抗为最大, LC 串联谐振电路则为最小, 将它们对应起来比较容易记忆。

在运用 LC 并联谐振电路的阻抗特性分析电路时要注意几点: 一是输入 LC 并联谐振电

路的信号频率是很广泛的,其中含有频率为谐振频率的这一信号;二是在众多频率的输入信号中,只在信号频率为谐振频率时发生谐振,电路的阻抗为最大;三是对于频率偏离谐振频率的信号,因为谐振电路有一个频带宽度,在电路分析中,可以认为频带内的信号都与谐振频率信号一样,受到了同样的电路放大或处理,但对频带之外的信号则认为没有受到放大或处理,这是电路分析中所要掌握的;四是频带的宽度与 Q 值大小有关, Q 值大,频带窄, Q 值小,频带宽。

分析 LC 串联谐振电路时要注意的事项同并联谐振电路相同,只是谐振时电路的阻抗最小,而并联谐振时阻抗最大。

对于 LC 并联谐振电路而言,电路失谐时电路的阻抗很小,此时对于频率低于谐振频率的信号,主要是从电感 L_1 支路流过的,而对于频率高于谐振频率的信号,主要是从电容 C_1 支路通过的。

对于 LC 串联谐振电路而言,电路失谐时电路的阻抗很大,此时对于频率低于谐振频率的信号,主要是因为电容 C_1 的容抗大了;对于频率高于谐振频率的信号,主要是因为电感 L_1 的感抗大了。

分析这两种 LC 谐振电路的应用电路时,要将输入信号频率分成两种情况:一是输入信号频率等于谐振频率时的电路工作情况,二是输入信号频率不等于谐振频率时的电路工作情况。

在并联谐振电路中加入阻尼电阻后,要了解加阻尼电阻的目的,是为了获得所需要的频带宽度。所加电阻的阻值愈小,频带愈宽,反之则愈窄。

3 3 5 RL 暂态电路

通过 RL 暂态电路的分析,可以对电感器电路有一个更深入的了解。

RL 暂态电路包括三部分:一是 RL 接通直流电源,二是 RL 电路的短接,三是通电 RL 电路的断开。

1. RL 接通直流电源

如图 3 - 27 所示电路可以说明 RL 接通直流电源时的电路工作情况。电路中, E 是直流电源, S_1 是开关, L_1 是电感器, R_1 是电阻器。

在开关 S_1 接通瞬间,电路中有了直流电压。由于线圈 L_1 中原来没有电流流动,它从无电流到有电流,线圈 L_1 中的磁通发生了改变,所以 L_1 要产生一个自感电动势,以阻碍 L_1 中的电流变化,使流过 L_1 的电流不能突然变大,而是缓慢增大,图 3 - 28(a)所示是流过 L_1 的电流变化特性曲线。在 $t = 0$ 时,电流为零,然后,电流在增大,之后的电流上升速率变缓。

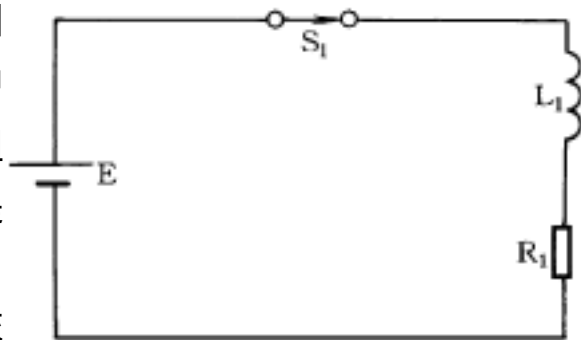


图 3 - 27 RL 接通直流电源时的电路

讲解了流过电感 L_1 的电流特性后,再讨论它的电压特性。在 $t = 0$ 时,电路中的电流为零,在电阻 R_1 上的压降为 $0V$,所以电感器 L_1 上的电压等于 E 。电流为零、电压等于 E 称为电感器 L_1 的初始状态。

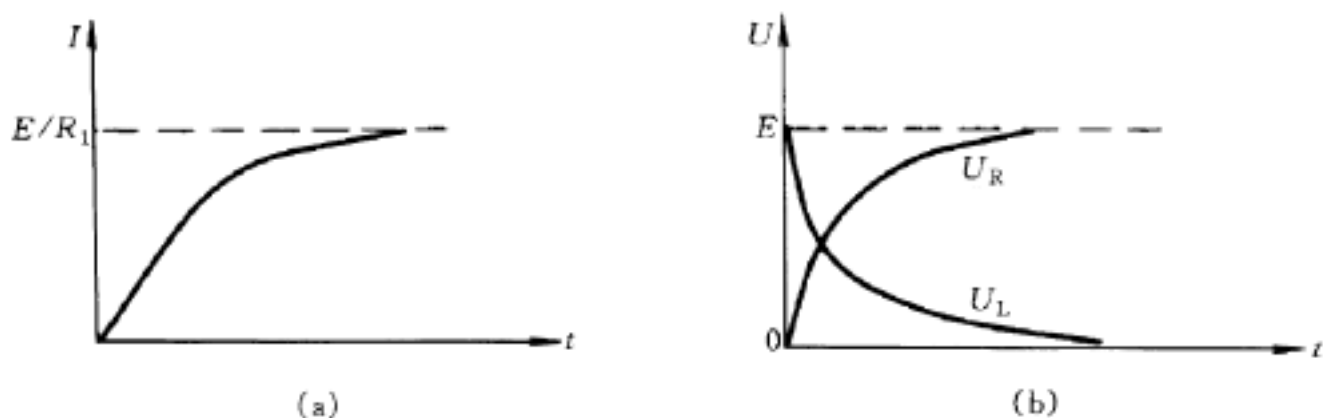


图 3 - 28 RL 电路中的电流、电压特性曲线示意图

随着电路中的电流增大,在电阻 R_1 上的压降增大,这样在电感器 L_1 上的电压减小,图 3 - 28(b)所示是电感 L_1 上的电压 U_L 和电阻 R_1 上的电压 U_R 特性曲线。电感 L_1 上的电压是从最大值 E 迅速减小,然后缓慢减小到 $0V$ 。电阻 R 上的电压则相反,开始迅速增大,然后缓慢增大到 E 。

2. RL 电路的短接

图 3 - 29 所示是 RL 电路的短接示意图。电路中,开关 S_1 是一个单刀双掷开关,这种开关的特点是,它有两个转换位置,即图中的开关 1 位置和 2 位置,图示在 2 位置。当 S_1 在 1 位置时,直流电源 E 给电感充电,在电路进入稳定状态(简称稳态)后,电感 L_1 中储有磁能,这时再将开关 S_1 转换到 2 位置。

在开关 S_1 转换到 2 位置前,电路中的电流是稳定的,其大小为 E/R_1 。在开关 S_1 转换到 2 位置瞬间,由于电感上的电流不能发生突变,所以电路中的电流仍然是 E/R_1 大小。随后,电流开始迅速减小,然后缓慢减小,直至为零,图 3 - 30(a)所示是这一电路中的电流变化曲线。

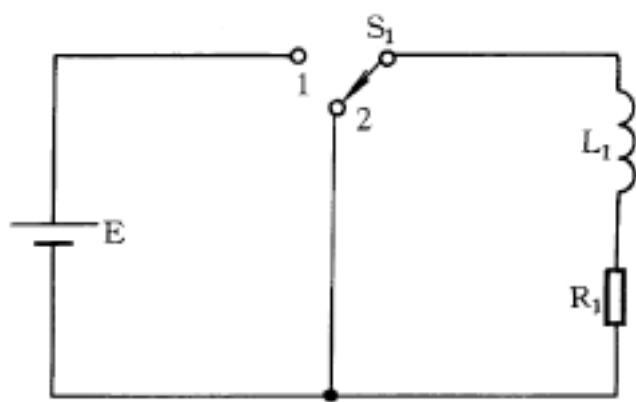


图 3 - 29 RL 电路的短接示意图

随着电路中的电流减小,电感 L_1 和 R_1 上的电压都在按照指数规律下降,其电压特性曲线如图 3 - 30(b) 所示。

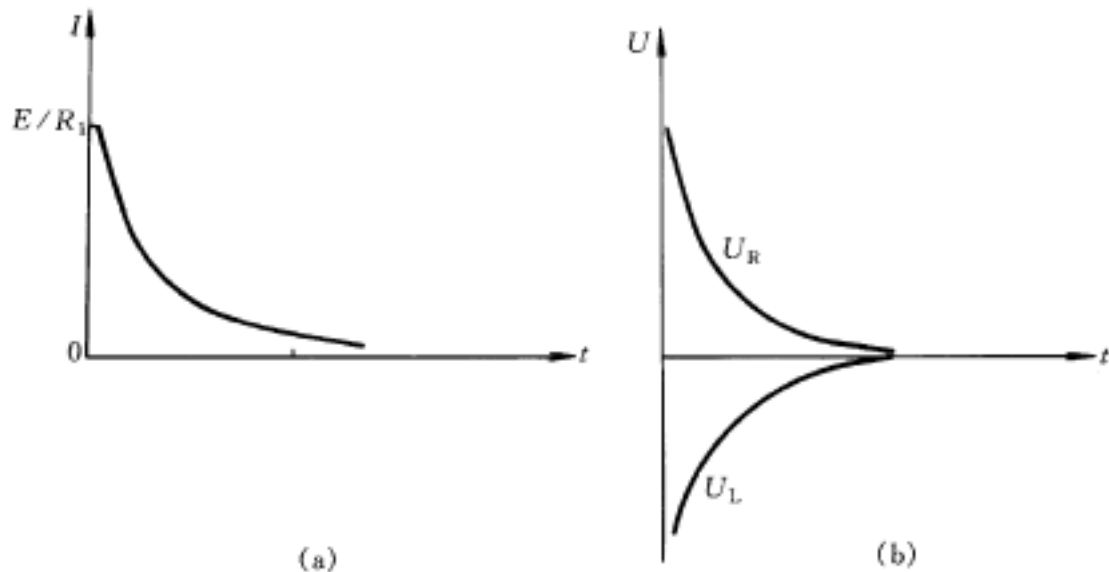


图 3 - 30 RL 电路短接中的电流、电压特性曲线示意图

3. 通电 RL 电路的断开

图 3 - 29 所示电路是充电后电感器迅速转换到短路状态,如果充电后的电感器不是转换到短路状态,而是转换到开路状态,如图 3 - 31 电路所示,通电后的 RL 电路断开,这是 RL 电路发生改变的另一种情况。

在开关 S_1 没有断开时,电路有稳态时的电流,其大小为 E/R_1 。如果只是有一个电阻的电路,则在开关 S_1 断开时,电路中的电流立即为零。但是,对于电感器电路而言,由于电感要阻碍流过 L_1 的电流变化,所以在 S_1 断开瞬间,在 L_1 两端要产生自感电动势,自感电动势所产生的电流要阻止原电流的减小,所以自感电动势产生的电流方向也是从上而下地流过 L_1 , 见图中所示。

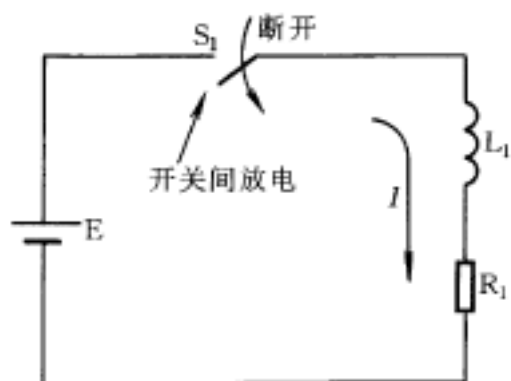


图 3 - 31 通电 RL 电路的
断开示意图

这里有一个疑问,开关 S_1 已经断开了,那么线圈 L_1 两端自感电动势所产生的电流就没有回路,可是电路中的电流必须有回路。那么开关 S_1 断开时,自感电动势所产生的电流是如何成回路的?

众所周知,感性负载回路中的开关在断开时有打火的现象。在开关 S_1 断开瞬间,由于电感器 L_1 两端的自感电动势很大,将开关 S_1 两触点之间的空气瞬间击穿,构成电感器 L_1 的放电电流回路,这一打火放电释放了线圈 L_1 两端的自感电动势能量。

电感器的电感量愈大,或是电感在稳态时流过的电流愈大,电感器中所存储的能量就愈大,在开关 S_1 断开时的自感电动势就愈大,开关 S_1 两触点之间的打火就愈严重,平时所说的开关拉弧就是这种原因产生的。

开关的打火现象不仅会损坏开关本身,烧坏开关触点,而且还会损坏开关所在电路中的其他元器件,所以在许多具有电感器的电路中要设置保护电路。例如,在一些电感器两端并联一只二极管(将在后面介绍),防止电感器在断电时产生的自感电动势损坏电路中的其他元器件,这样的二极管称为“续流二极管”。

3.3.6 RL 移相电路分析

前面介绍了 RC 滞后移相电路和 RC 超前移相电路,电阻器和电感器也能构成移相电路,这种移相电路称为 RL 移相电路。RL 移相电路也有超前移相电路和滞后移相电路两种,这两种移相电路都是利用了电感器的电流和电压之间的相位特性。

在介绍 RL 移相电路之前,先要介绍流过电感的电流与电感两端电压之间的相位关系。

1. 电感器上电流与电压之间的相位特性

电感器的许多特性是与电容器相反的,在相位关系上也是如此。流过电感器的电流是滞后电感器上电压 90° 的,如图 3 - 32 所示,或者说,电感器上的电压矢量超前电流矢量。而电容器的电流超前电压 90° , 将它们的相位关系联系起来记忆是有益的,牢记其中的一个,另一个则相反,一般是记忆电容的特性。

2. RL 超前移相电路

图 3 - 33 所示是 RL 超前移相电路,从电路中可以看出,交流输入信号 U_i 加到电阻 R_1 上,输出信号电压 U_o 是从 L_1 上取出的。

分析 RL 移相电路也是采用画矢量图的方法,同分析 RC 移相电路时一样,只是要注意画矢量图时,电感器上的电压超前电流 90° 。

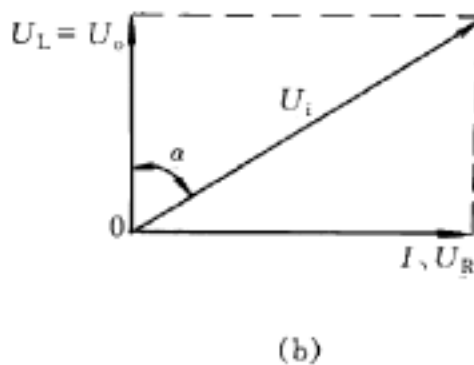
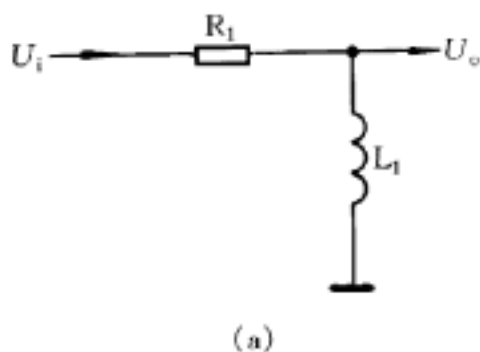


图 3 - 32 电感器的电流与电压之间的相位特性

图 3 - 33 RL 超前移相电路

如图 3 - 33(b) 所示,先画出流过电阻器和电感器的电流 I 线段,然后画出电阻上的电压 U_R ,注意,电阻上的电压与流过电阻的电流是同相位的,所以电压 U_R 与 I 重合。

画出电感器 L_1 上的电压 U_L ,它与电流相差 90° ,而且为超前 90° 。再画出输出电压 U_o ,输出电压就是电感器 L_1 上的电压。然后,画出平行四边形,画出输入信号电压 U_i ,这样就可以看出输入信号电压 U_i 与输出信号电压 U_o 之间的相位关系,输出信号电压 U_o 超前输入信号电压 U_i 一个角度,所以这是一个超前式 RL 移相电路。

3. RL 滞后移相电路

图 3 - 34 所示是 RL 滞后移相电路,从电路中可以看出,输入信号电压 U_i 加到电感器 L_1 上,输出信号电压 U_o 取自电阻 R_1 上。

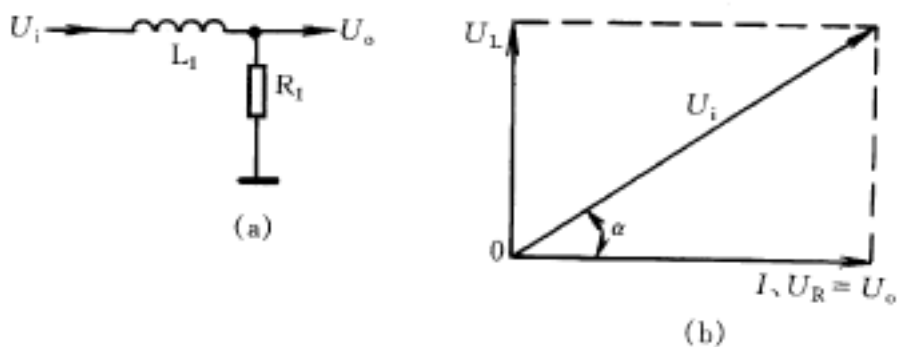


图 3 - 34 RL 滞后移相电路

同 RL 超前移相电路的画矢量图方法一样,如图 3 - 34(b) 所示,由于输出信号电压 U_o 取自电阻 R_1 上,所以输出信号电压 U_o 就等于电阻 R_1 上的电压 U_R ,与电流 I 重合。从图中可以看出,输出信号电压 U_o 滞后于输入信号电压 U_i 一个角度,所以这是一个滞后式 RL 移相电路。

4.RL 移相电路分析说明

关于 RL 移相电路分析,主要说明以下几点。

RL 移相电路的分析方法同 RC 移相电路一样,采用画矢量图的方法,但要注意对于电感器而言,电压是超前电流的。

要注意画矢量图的步骤,在分析电路的过程中,一般只需要分析是超前还是滞后式 RL 移相电路,对于具体的移相量大小不必作计算、分析,因为这种计算是相当复杂的。

RL 移相电路的应用没有 RC 移相电路多。

3 3 .7 RC、LC、RL 电路特性小结

表 3 - 3 是 RC、LC、RL 电路特性小结,供电路分析时参考。

表 3 - 3 RC、LC、RL 电路特性小结	
电 路 名 称	主 要 特 性
RC 串联电路	有一个转折频率,频率高于转折频率时电路阻抗等于 R_1 , 低于转折频率时阻抗随频率降低而增大
RC 并联电路	有一个转折频率,频率高于转折频率时电路阻抗随频率升高而下降,直至为零,低于转折频率时电路阻抗等于 R_1
RC 串并联电路	有多于一个的转折频率,各个频段内电路的阻抗不同
LC 串联谐振电路	谐振时电路的阻抗最小,且为纯阻性,电路中的电流最大;失谐时电路阻抗增大,频率愈是偏离谐振频率,电路的阻抗愈大,电路中电流愈小; Q 值愈大,频带愈窄
LC 并联谐振电路	谐振时电路的阻抗最大,且为纯阻性,电路中的电流最小;失谐时电路阻抗减小,频率愈是偏离谐振频率,电路的阻抗愈小,电路中电流愈大; Q 值愈大,频带愈窄
RC 超前移相电路	输出信号电压取自电阻 R_1 上,输出信号超前输入信号,超前量不大于 90°
RC 滞后移相电路	输出信号电压取自电容 C_1 上,输出信号滞后输入信号,滞后量不大于 90°
RL 超前移相电路	输出信号电压取自电感 L_1 上,输出信号超前输入信号,超前量不大于 90°
RL 滞后移相电路	输出信号电压取自电阻 R_1 上,输出信号滞后输入信号,滞后量不大于 90°
积分电路	输出信号电压取自电容 C_1 上,输出信号为输入信号中的低频成分,去掉输入信号中的高频成分
微分电路	输出信号电压取自电阻 R_1 上,输出信号为输入信号中的高频成分,是输入信号中的突变信号部分,去掉输入信号中的低频成分

3 3 .8 LC 组合件

在电视机中要用到许多吸收电路、滤波器,它们用电感 L 或电容 C 元件构成,在采用了 LC

组合件之后,可大大缩小体积,简化电路结构。

所谓 LC 组合件,就是由 L、C 元件按一定的电路结构组成一体、封装起来的组合元件。

LC 组合件有陷波器、带通滤波器、高通滤波器和低通滤波器。这些 LC 组合件不仅适用于彩色电视机使用,在黑白电视机中也有应用。LC 组合件可以代替一些固体滤波器。

LC 组合件陷波器可以用来衰减(吸收)某一频率的信号;LC 组合件高通滤波器的作用是让大于某频率的信号通过,而抑制(不让通过)低于这一频率的信号;LC 组合件带通滤波器用来让某一频带内信号通过,而将频带外信号衰减;LC 组合件低通滤波器的频率特性与高通滤波器相反,它是让低于某一频率的信号通过,而对大于这一频率的信号进行衰减。

3 4 变压器电路

变压器是利用线圈互感特性构成的一种元器件,在各种电子电器中有着广泛的应用。变压器的种类较多,特性各异,这里只介绍变压器的基本知识。

变压器的种类较多,下面按使用情况来简单分类。

电源变压器。它是用于电源电路中的变压器,这是应用最多的一种变压器。所谓电源电路,通俗地讲就是将交流市电转换成直流工作电压的电路。电源变压器在电路中的主要作用是将 220V 的交流市电电压降低到合适的电压,少数情况下也有将电压升高的变压器,这称为升压变压器。

中频变压器。它主要用于中频放大器电路中,在收音机、电视机的中频放大器电路中都使用这种变压器。

输入和输出变压器。它是音频变压器,主要用于一些音频功率放大器电路中。

其他各种功能的变压器。

3 4 .1 外形特征和电路符号

1. 外形特征

图 3 - 35(a)所示是一种常见的电源变压器的外形示意图,一般情况下,变压器的外形特

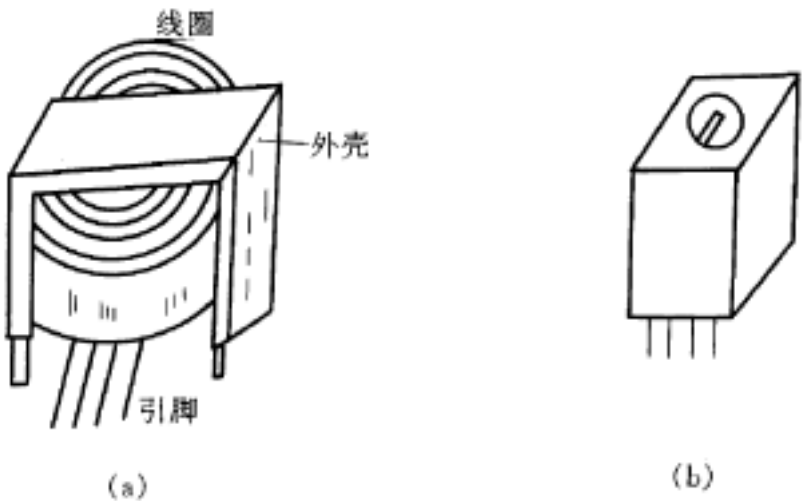


图 3 - 35 两种变压器外形示意图

征与图示中的很相似,图 3 - 35(b)所示是中频变压器,又称为中周,主要用于无线电接收电路中。各种功能的变压器其外形特征变化比较大。

关于变压器的外形特征主要说明以下几点。

变压器通常有一个外壳,有的是金属的外壳,但有些变压器是没有外壳的。

一般变压器是长方体形的,体积有大有小,家用电器中变压器大的比茶杯大,小的只有花生般大小。变压器的体积愈大,其功率愈大。电源变压器体积一般比较大,中频和高频变压器体积则比较小。

变压器的引脚有许多根,最少也应该有三根,有的多达十多根,各引脚之间一般不能互换使用。

通常电源变压器固定在整机的机壳上,而其他一些变压器则是固定在线路板上。

变压器与其他元器件在外形特征上有明显的不同,所以在整机电路中、线路板上很容易识别它。

2. 电路符号

图 3 - 36 所示是几种变压器的电路符号,从变压器的电路符号上,可以看出变压器的线圈结构等情况。在变压器电路符号中,变压器用字母 B 或 T 表示,其中 T 是英文 Transformer(变压器)的缩写。

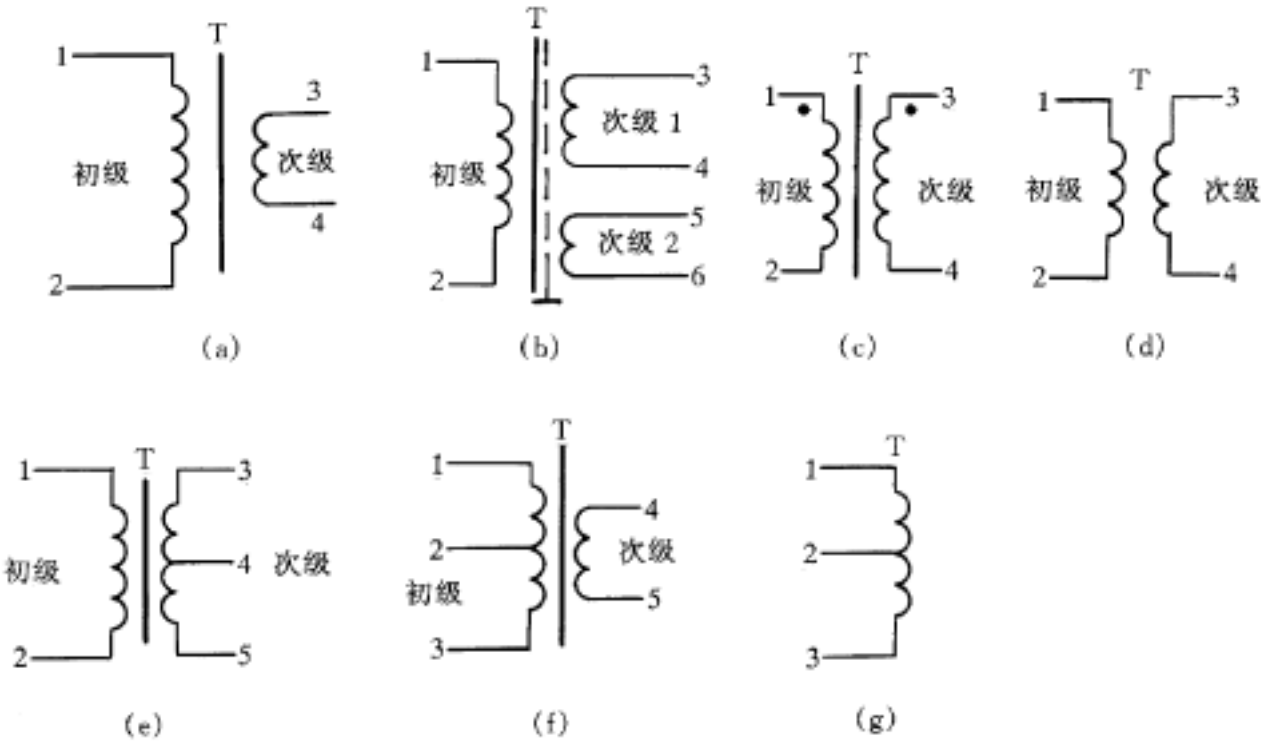


图 3 - 36 变压器的电路符号

图 3 - 36(a)所示是变压器的电路符号,它有两组线圈,即 1 ~ 2 为一次线圈(又称为初级线圈,这里的线圈又可以称为绕组),3 ~ 4 为二次线圈(又称次级线圈)。电路符号中的垂直实线表示这一变压器有铁心。

图 3 - 36(b)所示是变压器的电路符号,从图中可以看出,它有两组次级线圈,即 3 ~ 4 为一组,5 ~ 6 为另一组。另外,电路符号中在有实线的时候还有一条虚线,这表示这一变压器的初级线圈和次级线圈之间设有一个屏蔽层。在使用中,这一屏蔽层一端要接线路中的地线(绝不能两端同时接地),起抗干扰作用,这种变压器主要用在电源变压器中。

图 3 - 36(c)所示是变压器的电路符号,在初级线圈和次级线圈的一端画有一个黑点,这

是同名端的标记符号。

图 3 - 36(d) 所示是变压器的电路符号, 它没有实线, 表示这种变压器没有铁心。在有些情况下, 用一条虚线来表示变压器的磁芯(此时电路符号中没有实线), 这表示是高频或中频变压器, 这也是过去的表示方式, 现在规定当变压器有铁心或磁芯时, 均用一条实线来表示, 不分高频和低频磁芯。

图 3 - 36(e) 所示是变压器的电路符号, 它的次级线圈有抽头, 即 4 脚是次级线圈 3 ~ 5 的抽头。关于抽头有两种情况: 一是中心抽头, 当 3 ~ 4 之间的匝数等于 4 ~ 5 之间的匝数时, 4 端称为中心抽头; 二是非中心抽头, 即此时 3 ~ 4、4 ~ 5 之间的匝数不等。

图 3 - 36(f) 所示是变压器的电路符号, 它的初级线圈中有一个抽头 2。

图 3 - 36(g) 所示是变压器的电路符号, 它只有一个线圈, 2 是抽头, 这是一个自耦变压器。若 2 ~ 3 之间为初级线圈, 1 ~ 3 之间为次级线圈, 此时它是一个升压变压器。若 1 ~ 3 之间为初级线圈, 2 ~ 3 之间为次级线圈, 这时是一个降压变压器。

除上述几种变压器的电路符号外, 各种专门用途的变压器还有自己的电路符号。关于变压器的电路符号, 还要说明以下几点。

从它的电路符号上, 可以看出变压器的各线圈结构情况, 这对分析变压器电路及检测变压器都有利。

变压器的电路符号不像其他元器件的电路符号, 没有一个统一的具体形式, 变化比较多, 但对识图影响不大。

自耦变压器的电路符号与电感器的电路符号有些类似, 但前者必有一个抽头, 而后者没有抽头, 要注意它们之间的这一区别。

3.4.2 结构和工作原理

1. 结构

无论哪种变压器, 它们的基本结构相同, 主要由下列几部分组成。

初级和次级线圈。这是变压器的核心部分, 变压器中的电流由它构成回路。初级线圈与次级线圈之间高度绝缘, 若次级线圈有多个时, 各线圈之间也高度绝缘。各线圈与变压器其他部件之间也高度绝缘。

骨架。线圈绕在骨架上, 通常一个变压器中只有一个骨架, 初级和次级线圈均绕在同一个骨架上。骨架装在铁心或磁芯上。

铁心或磁芯。它用来构成磁路。铁心或磁芯用导磁材料制成, 它的磁阻很小。有的变压器中不设铁心或者磁芯, 但这并不妨碍变压器的正常工作, 因为各种用途的变压器有不同的要求。

外壳。它用来包住铁心, 同时具有磁屏蔽和固定变压器的作用, 外壳用金属材料制成。有的变压器没有外壳。

引脚。它引出初级、次级线圈的头和尾。

2. 工作原理

如图 3 - 37 所示的示意图可以说明变压器的工作原理。图中,左侧的是初级线圈,右侧的是次级线圈,初级和次级线圈均绕在铁心上。

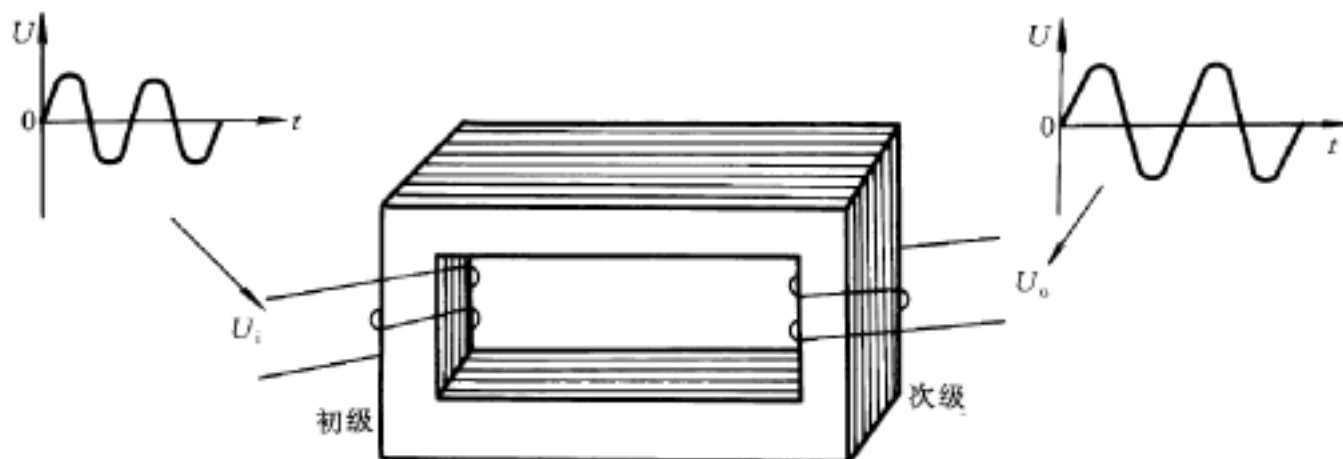


图 3 - 37 变压器工作原理示意图

图中, U_i 是输入初级线圈的交流电压, U_o 是次级线圈输出的交流电压, 输入电压和输出电压波形见图中所示。在变压器中, 输入交流电压, 电压加到初级线圈两端, 输出电压取自于次级线圈两端。

由前面介绍的线圈通电和线圈在交变磁场中的特性可知, 当给初级线圈输入交流电压后, 初级线圈中便有交流电流的流动, 交流电流流过初级线圈, 产生交变磁场, 磁场的磁力线绝大多数由铁心或磁芯构成回路。次级线圈也绕在铁心或磁芯上, 这样交变的磁场通过次级线圈, 从而产生感生电动势, 在次级线圈两端便有交流电压输出。

关于变压器的工作原理, 还要说明下列几点。

次级线圈输出的交流电压的频率与初级线圈输入的交流电压频率一样, 且输出交流电压的变化规律与输入交流电压的变化规律一样, 如输入正弦的交流电压, 输出的也是正弦交流电压。

当初级线圈输入直流电压时, 次级线圈不能输出电压。

如果输入电压是一个直流和交流电压的复合电压, 那么次级线圈只能输出其中的交流电压成分, 不能输出其中的直流电压成分。

从上述分析可知, 当给变压器初级线圈通入交流电压时, 它的次级线圈两端会输出交流电压, 这是变压器的基本工作原理。

3.4.3 主要参数

变压器的主要参数有下列几项。

1. 额定功率

额定功率是指在规定的频率和电压条件下, 变压器长时间工作而不超过规定温升的最大输出功率, 单位为 VA(伏安), 一般不用 W(瓦特)表示, 这是因为在额定功率中会有部分无功功率。

对于一些变压器而言,额定功率是一种重要参数,如对电源变压器来讲,这是一个重要的参数,因为电源变压器对功率输出有要求,而对另一些变压器而言(如中频变压器),这一项参数并不重要。

2. 变压比

变压比的概念将在后面详细介绍,不同的变压比参数表示了某变压器是降压变压器还是升压变压器。

3. 频率响应

频率响应参数是衡量变压器传输不同频率信号能力的重要参数。在低频和高频段,由于各种原因(初级绕组的电感、漏感)会造成变压器传输信号的能力下降(信号能量损耗的增大),使频率响应变劣。有时,这一参数用频带宽度来表示(变压器的频带宽度同放大器的频带宽度定义一样),关于放大器的频带宽度含义将在后面介绍。

变压器的频率响应参数主要是针对音频变压器和一些中周变压器、高频变压器,对于电源变压器,通常没有频率响应要求。

在电路分析中时常用到低频(或低频段)信号、中频(或中频段)信号、高频(或高频段)信号的概念,这指的是信号频率的高低,同时也是信号频率的相对高低,可以用如图 3 - 38 所示的示意图来说明。从图中可以看出,低频段信号的频率最低,高频段信号的频率最高,中频段信号的频率居中。

在电路分析中,往往是对某一个整机电路的工作频率在低、中、高频段分别进行解说,不同类型的整机电路,其低、中、高频段的具体含义也是有所不同的。例如,在收音电路中,将变频之前的信号称为高频信号,中频信号则是在变频级与检波级之间的信号,低频信号则是在检波级之后的信号。在调频收音机中,高频信号频率为 $88 \sim 108\text{MHz}$,变频后的中频信号频率是 38MHz ,解码后的低频(音频)信号频率为 $20 \sim 20000\text{Hz}$;在调幅收音机中,高频信号频率为 $540 \sim 1600\text{kHz}$,变频后的中频信号频率是 465kHz ,解码后的低频(音频)信号频率为 $20 \sim 20000\text{Hz}$ 。可见,同样是低频、中频和高频信号,但在不同的电路中所说的具体频率是不同的。

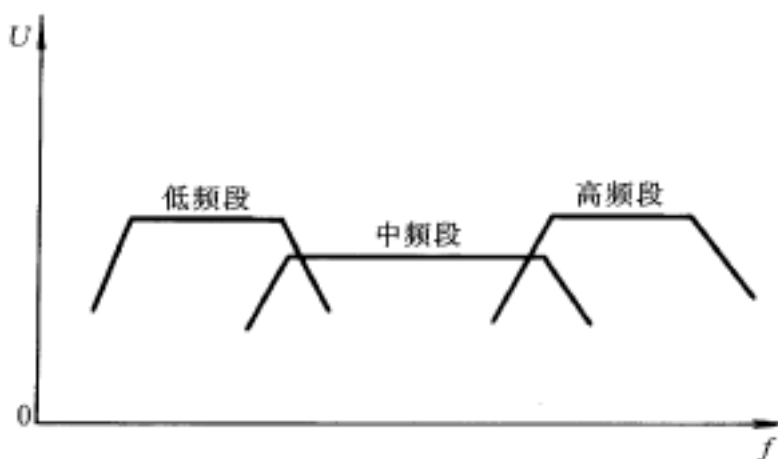


图 3 - 38 信号频段示意图

4. 输出阻抗

在介绍输出阻抗概念之前,先讲解负载和负载获得最大输出功率的条件。

在家庭照明电路中,灯泡是电表的负载,电视机也是电表的负载,灯泡、电视机都是电表的服务对象,所以称为电源负载。但是,在电子电路中,负载的含义很广,下一级放大器可以说成是前一级放大器的负载,所以负载可以是某一个元件,如小灯泡,也可以是由许多元件构成的电路,如某一级放大器。

在什么情况下负载可以获得最大功率?如图 3 - 39 所示电路可以说明这一问题。电路

中, R_L 是电源的负载, R_0 是电源的内阻。通过计算可知, 当 $R_L = R_0$ 时, 负载 R 能够获得最大的功率 P_{MAX} 。

当 $R_L = R_0$ 时, 负载 R_L 只得到电源的一半功率, 另一半消耗在电源内阻上, 这时的效率只有 50%。

电子电路中, 主要是为了使负载获得最大功率, 往往要求负载电阻等于或接近于电源内阻, 电子电路中更多的是让负载电阻等于信号源 (相当于电源) 的内阻。当电路处于 $R_L = R_0$ 时, 电路的状态称为匹配状态。

电源的内阻在变压器中或放大器中称为输出阻抗, 输出阻抗的概念在电路分析中时常用到, 将输出阻抗与电源的内阻等同联系, 可以更好地理解输出阻抗的概念。

在一些音频输出变压器中, 为了方便输出变压器与负载 (扬声器) 之间的连接, 给出了这种变压器的输出阻抗。例如某音频输出变压器的输出阻抗是 8 Ω , 那么这一输出变压器只有接 8 Ω 的扬声器时, 才能获得最大的输出功率。

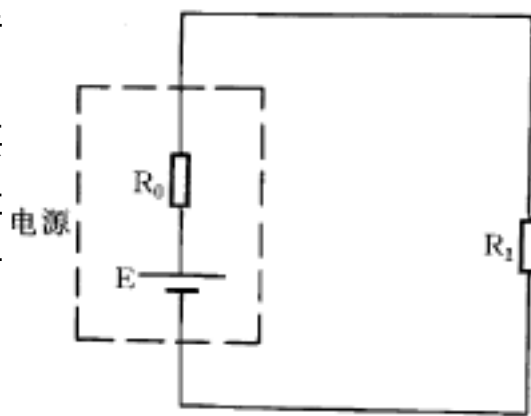


图 3 - 39 示意图

5. 温升

温升是指变压器通电工作一段时间后, 变压器温度上升到稳定值时, 变压器温度比环境温度高出的数值。这一参数关系到变压器发烫的程度, 一般针对有功率输出要求的变压器, 例如电源变压器。要求变压器的温升愈小愈好, 有时变压器不用温升来表示, 而是用最高工作温度来表示, 其意义一样。

6. 效率

变压器在工作时对电能有损耗, 用效率来表示变压器对电能的损耗程度。效率用 % 表示, 它的定义如下

$$\text{效率} = \frac{\text{输出功率}}{\text{输入功率}} \times 100\%$$

式中, 输出功率指变压器次级线圈输出的功率, 输入功率指给变压器初级线圈输入的功率。当变压器不存在电能损耗时, 输出功率等于输入功率, 此时的效率为 100%, 但变压器不可避免地存在各种形式的损耗, 这样输出功率小于输入功率, 所以效率小于 100%。显然, 变压器的各种损耗愈小, 变压器的效率愈高。

7. 绝缘电阻

绝缘电阻的大小不仅关系到变压器的性能如何, 在电源变压器中还与人身安全有关。理想的变压器在初级和次级线圈之间 (自耦变压器除外), 各线圈与铁心之间应完全绝缘, 但实际上做不到这一点, 所以用一个绝缘电阻参数来衡量绝缘程度。

绝缘电阻由试验结果获得, 如下所示

$$\text{绝缘电阻} = \frac{\text{施加的电压 (V)}}{\text{产生的漏电流 } (\mu\text{A})} (\text{M } \Omega)$$

绝缘电阻在用 1kV 摇表测量时, 应在 10M Ω 以上。

除上述几项参数外,对不同用途的变压器,还有其他一些具体的参数要求。

3.4.4 表示方法

1. 标注方法

变压器的参数表示方法通常用直标法,各种用途变压器标注的具体内容不相同,无统一的格式(变压器型号除外),下面举几例加以说明。

某电源变压器上标注出 DB - 50 - 2。DB 是电源变压器;50 表示额定功率为 50VA;2 表示产品的序号。VA 是伏安,是电压与电流之积的单位。

某音频输出变压器在次级线圈引脚处标出 $8\ \Omega$,这说明这一变压器的次级线圈输出阻抗为 $8\ \Omega$,只能接阻抗为 $8\ \Omega$ 的扬声器。

有的电源变压器在外壳上标出变压器的电路符号(表示了各线圈的结构),然后在各线圈符号上标出电压数值,说明各线圈的输出电压(对初级线圈而言是输入电压)。

2. 变压器型号命名方法

变压器的型号共由三部分组成,具体格式如下:

X X - X X - X X

[illegible]

主称用大写字母表示变压器的种类,主称字母的具体含义如表 3-4 所示。额定功率直接用数字表示,单位为 VA,但音频输入变压器除外。序号用数字表示。

表 3 - 4

主称字母的具体含义

字 母	含 义
DB	电 源 变 压 器
CB	音 频 输 出 变 压 器
RB	音 频 输 入 变 压 器
GB	高 频 变 压 器
SB 或 ZB	音 频 (定 阻 式) 输 出 变 压 器
SB 或 EB	音 频 (定 压 式) 输 出 变 压 器

上述变压器型号表示方法中不包含中频变压器、行输出变压器等特种变压器。

3.4.5 电压比概念

1. 电压比公式

电压比又称变压比,俗称匝数比,用 n 表示,它是次级线圈匝数与初级线圈匝数之比,可

用下式表示

$$n = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1}$$

式中: n 为变压比;

N_2 为次级线圈的匝数;

N_1 为初级线圈的匝数;

U_2 为次级线圈两端的输出电压;

U_1 为初级线圈两端的输入电压。

在初级线圈上加的电压 U_1 大小确定之后, 设初级线圈的匝数为 N_1 , 那么初级线圈每伏电压(V)占几匝线圈就确定了, 可由下列公式计算

$$\text{每伏电压的匝数} = \frac{N_1}{U_1}$$

对于变压器而言, 它的初级、次级线圈每伏电压所占的匝数相同。这样, 在初级线圈的匝数和所加的电压大小确定后, 次级线圈的匝数愈多, 次级线圈输出的电压就愈大。

通过将变压比公式进行如下变换, 可以证明变压器的初级和次级线圈每伏电压占多少匝相同

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1}$$

$$\frac{N_1}{U_1} = \frac{N_2}{U_2}$$

再将变压比公式作如下的变换

$$U_2 = \frac{N_2}{N_1} \times U_1 = n \times U_1 \quad (n = \frac{N_2}{N_1})$$

2. 三种变压器

从上式可知, 当 n 确定之后, 次级线圈输出电压 U_2 大小与初级线圈的输入电压 U_1 大小成正比关系, 即 U_2 随 U_1 的大小变化而变化。若输入电压 U_1 的大小确定之后, 那么次级线圈输出电压 U_2 大小就与 n 成正比的关系。当 n 大小不同时, 就有三种不同的变压器, 具体说明如下。

当 $n < 1$ 时是降压变压器。这时应该是 $N_2 < N_1$, 则有 $U_2 < U_1$, 即次级线圈的输出电压小于初级线圈上的输入电压, 通过这种变压器可将输入电压降低, 所以称这种变压器为降压变压器, 最常用的就是这种电源变压器。降压变压器的特征是次级线圈的匝数少于初级线圈的匝数。

当 $n > 1$ 时是升压变压器。这时应该是 $N_2 > N_1$, 则有 $U_2 > U_1$, 次级线圈的输出电压大于输入电压, 通过变压器将输入电压升高了, 所以这是升压变压器, 这种变压器应用不是很多, 只是用于一些振荡器电路中。升压变压器的特征是次级线圈的匝数多于初级线圈的匝数。

$n = 1$ 时是 1:1 变压器。这时应该是 $N_2 = N_1$, 则有 $U_2 = U_1$, 即次级线圈的输出电压等于初级线圈上的输入电压, 变压器没有改变电压大小, 这种变压器称之为 1:1 变压器, 隔离

变压器就是这种变压器。这种变压器的特征是初级线圈的匝数和次级线圈的匝数相等。

注意,当一个变压器制造出来后,它的变压比 n 就确定了。

3.4.6 电压、电流和阻抗之间的关系

1. 电压与电流之间的关系

通过如图 3 - 40 所示的示意图,可以说明变压器初级、次级线圈电压和电流之间的关系。为了分析的方便,假设变压器不存在能量的损耗。

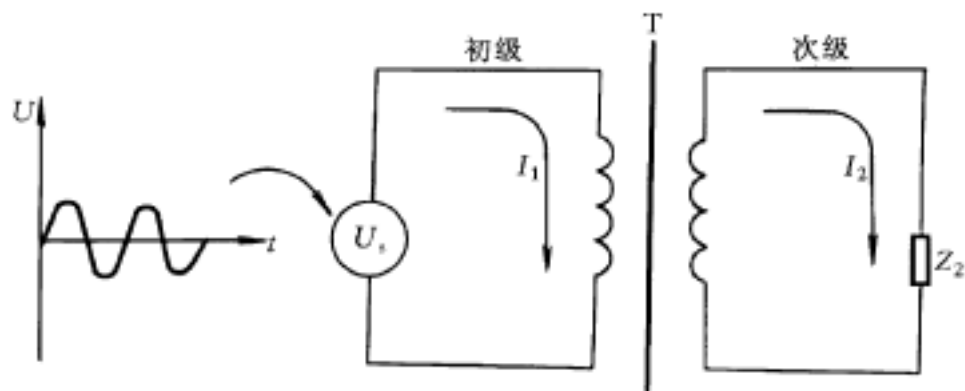


图 3 - 40 变压器电路示意图

设初级线圈的输入功率为 P_1 , P_2 是次级线圈的输出功率,不考虑变压器的损耗,有下式成立

$$P_2 = P_1$$

由 $P = I \times U$ 公式可知

$$P_1 = I_1 \times U_1$$

$$P_2 = I_2 \times U_2$$

$$I_1 \times U_1 = I_2 \times U_2 (P_1 = P_2)$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

式中: I_1 为初级线圈回路中的输入电流;

U_1 为初级线圈两端的输入电压;

I_2 为次级线圈回路中的输出电流;

U_2 为次级线圈两端的输出电压。

从上述公式中可以看出:当 $U_1 > U_2$ 时(降压变压器),有 $I_1 < I_2$ 。这说明降压变压器的输入电压高,电流小,输出电压虽然低,但输出电流大,所以在降压变压器中次级线圈的线径比初级线圈要粗。

当 $U_1 < U_2$ 时(升压变压器),有 $I_1 > I_2$ 。这说明升压变压器的输出电压虽然高,但输出电流小,所以在升压变压器中次级线圈的线径比初级线圈的要粗。

实际上,变压器存在各种形式的能量损耗,但各线圈电压和电流之间的关系仍然可以用上面的公式进行计算。

2. 初级和次级线圈之间的阻抗关系

变压器可以进行电压的大小转换,此外,还可以进行阻抗的变换,这里介绍变压器的阻抗变换特性。利用欧姆定律($U = I \times R$),通过对前面的公式作适当的变换,有下列一些关系式成立

$$\begin{aligned}P &= \frac{U^2}{Z} \\P_1 &= \frac{U_1^2}{Z_1} \\P_2 &= \frac{U_2^2}{Z_2} \\\frac{U_1^2}{Z_1} &= \frac{U_2^2}{Z_2} (P_1 = P_2) \\\frac{Z_2}{Z_1} &= \frac{U_2^2}{U_1^2} = \left[\frac{U_2}{U_1} \right]^2 = \left[\frac{N_2}{N_1} \right]^2 = n^2 \\Z_2 &= n^2 \times Z_1 \\Z_1 &= \frac{Z_2}{n^2}\end{aligned}$$

式中: Z_1 为变压器初级线圈的输入阻抗;

Z_2 为变压器次级线圈的负载阻抗。

3. 三种阻抗情况

由上述公式可知, Z_1 、 Z_2 之间与 n^2 有关。当 n 为不同值时,阻抗变换有下列三种情况。

当 $n = 1$ 时, $Z_1 = Z_2$, 这说明变压器初级线圈的输入阻抗等于次级线圈的负载阻抗,此时,变压器无阻抗变换作用。

当 $n > 1$ 时(为升压变压器),由 $Z = Z_2 / n^2$ 可知,此时变压器的输入阻抗比变压器次级线圈的负载阻抗低 n^2 倍。

当 $n < 1$ 时(为降压变压器),此时变压器初级线圈的输入阻抗大于次级线圈的负载阻抗,因为此时 n 小于 1。

在放大器的级间耦合电路中,为了能够使负载获得最大的激励功率,往往采用变压器来进行阻抗的匹配。

3.4.7 隔离特性和同名端

1. 隔离特性

变压器具有隔离的特性,可以用如图 3 - 41 所示电路来说明。电路中, T 是电源变压器,输入的电压是 220V 的交流市电,这一市电电压加在初级线圈 1 ~ 2 之间。由市电电压的有关特性可知,它的火线与零线之间有 220V 的交流电压,而零线与大地(地球)等电位。人站在大

地上直接接触火线有生命危险,直接接触零线则没有触电的危险。

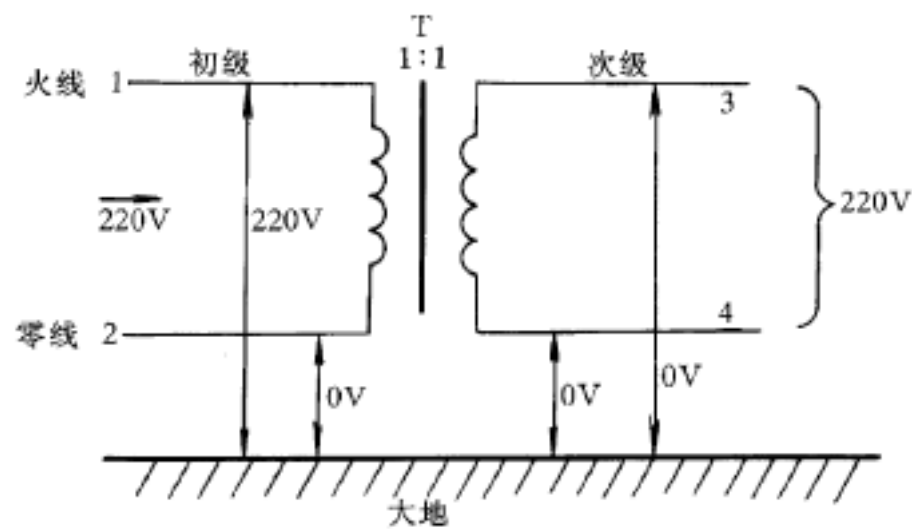


图 3 - 41 变压器隔离特性示意图

假设这一电路中的变压器 T 是一个 1 : 1 变压器,当给初级输入 220V 交流电压时,它的次级线圈输出电压也是 220V,但要注意一点:变压器输出的 220V 电压是指次级线圈两端之间的电压,即 3、4 端之间的电压。次级线圈的任一端(如 3 端或 4 端)对大地端之间的电压均为 0V,这是因为次级线圈的输出电压不以大地为参考端,同时初级和次级线圈之间高度绝缘。

这样,当人站在大地上时,只要只接触这一电路中变压器的次级线圈任一端,都没有生命危险,而不像接触初级线圈的火线端那样,有触电危险。在这个电路中,同样也是使用 220V 的交流电压,但使用次级线圈两端的 220V 电压时,只要不同时接触 3、4 端,就没有触电的危险,这说明变压器对初级线圈上的交流电压存在隔离作用。

这里特别提醒一点,当人身同时接触次级线圈的两个端点时,便有 220V 的电压加到人身上,仍然有生命危险。在大多数家用电器中,电源变压器次级线圈输出的交流电压很低(不会达到 220V),所以采用变压器之后不存在触电的危险,这对修理很有益。收录机、黑白电视机、组合音响等均采用电源变压器,具有隔离作用。但是,彩色电视机、录像机等不采用电源变压器,所以在修理时最好要用一个隔离变压器,这样可提高安全性。

2. 同名端特性

图 3 - 42 所示电路可以说明变压器的同名端概念。电路中,T 是一个变压器,从图中可以看出,这一变压器有两个次级,在两个次级线圈和初级线圈上标出了同名端,用黑点表示线圈的同名端。

所谓同名端,就是表示这两个端点电压相位是同相的关系,同相位就是指这两个端点上的电压同时增大、同时减小,如图中电压波形所示,在三个线圈同名端上的电压同时增大,同时减小。

有同名端就有异名端,当一个端点上的电压在增大而另一个端点上的电压在减小时,这两个端点之间就称为异名端,见图中的电压波形。对于同一个线圈的两个端点,它们之上的电压是大小相等、相位相反的,电压波形一个在正半周时另一个在负半周,所以是异名端。

同名端与初级、次级线圈的绕制方向有关,当初级和次级线圈以同一个方向绕在铁心上时,两个线圈的头是同名端,两个线圈的尾也是同名端,同一个线圈的头和尾其电压相位是反相的关系。

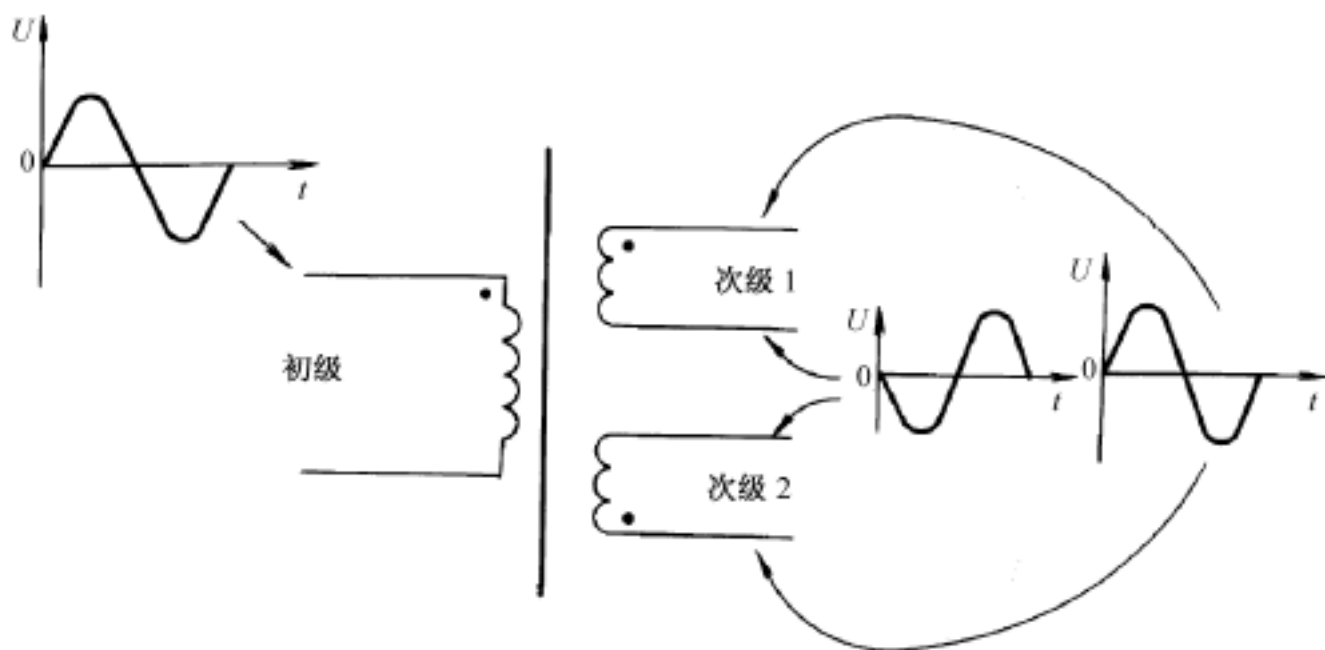


图 3 - 42 变压器同名端示意图

当只考虑变压器输出电压大小而不考虑输出电压相位时,可不标出同名端。但是,在有些振荡器的正反馈电路中,为了分析正反馈过程的方便,要求了解变压器初级和次级线圈输出电压的相位,此时要在变压器中标出同名端。

注意,同名端只出现在紧耦合的变压器中,即初级线圈和次级线圈之间耦合很紧密的变压器,还有一种称之为松耦合的变压器,用于调频收音电路的鉴频器电路中,这种变压器初级与次级线圈的磁耦合不是很紧密。

3.4.8 通交隔直特性

1. 隔直流通交流

由变压器的工作原理可知,当给变压器的初级线圈加上直流电压时,初级线圈中流过的是直流电流,此时初级线圈产生的磁场大小和方向均不变,由于没有变化的磁通通过次级线圈,所以次级线圈就不能产生感生电动势,也就是次级线圈两端无直流电压输出。

由此可知,变压器不能将初级线圈中的直流电流加到次级线圈中,具有隔直的特性。当流过变压器初级线圈中的电流为交流电流时,次级线圈两端有交流电压输出,所以变压器能够让交流电通过,具有通交的作用。利用变压器的通交流隔直流特性,可以用它作为多级放大器电路中的耦合元器件。

2. 输出、输入电压的频率相同

在变压器中,次级线圈的输出电压一定是交流电压,这一电压的频率也一定与加到初级线圈两端的交流电压频率相同。因为初级线圈产生的交变磁场变化规律与输入交流电压的变化规律相同,而次级线圈输出的交流电压变化规律是同磁场变化规律一样的,这样输出电压频率与输入电压的频率相同。

3.4.9 互感现象和屏蔽

1. 互感现象

前面在电感器中讲到了自感现象,变压器则利用互感原理工作。当给变压器的初级线圈通入交流电时,初级线圈产生交变磁场,次级线圈中的交变磁通引起感生电动势。由上述介绍可知,变压器在工作过程中有两次能量转换,一次是初级线圈中由电激励磁的过程转换,第二次是次级线圈中由磁激励电的过程转换。

变压器次级线圈的输出电压大小与初级、次级线圈的互感量有关。初级和次级线圈之间的相互作用称之为耦合,用耦合系数表示其耦合程度。耦合程度与初级、次级线圈的相互安装位置、方式和有无磁芯等有关。变压器的耦合有紧耦合和松耦合两种,在绝大多数变压器中采用紧耦合,如电源变压器是采用的紧耦合,而在鉴频变压器中则要求采用松耦合,前面介绍的变压器有关特性都是针对紧耦合变压器,松耦合变压器主要用于鉴频电路中,这种变压器的有关性能相当复杂。

2. 屏蔽

在给变压器的初级线圈通入交流电后,在线圈周围产生了磁场,尽管有铁心给绝大部分磁力线构成了磁路,但仍有一小部分磁力线散布在变压器附近的一定空间范围内。若这些残余磁力线通过了变压器附近的其他线圈(或电路),在其他线圈中也要产生感生电动势,这便是磁干扰,是不允许的。为此,要给变压器加上屏蔽壳,使变压器中的磁场不向外辐射。变压器的屏蔽壳不仅可以防止变压器干扰其他电路的正常工作,同时也可以防止其他散射磁场对变压器正常工作的干扰。

在低频变压器中,采用铁磁材料制成一个屏蔽盒(如铁皮盒),将变压器包起来,如图 3 - 43 所示。由于铁磁材料的磁导率高,磁阻小,所以变压器产生的磁力线由屏蔽壳构成回路,防止了磁力线穿出屏蔽壳,使壳外的磁场大大减小。同理,外界的杂散磁力线也被屏蔽壳所阻挡,不能穿到壳内来。

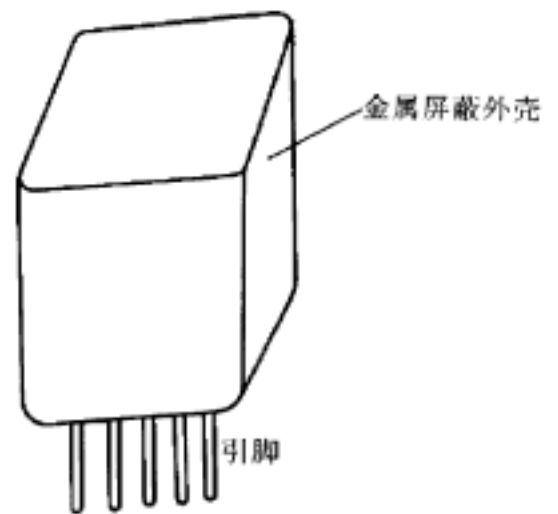


图 3 - 43 屏蔽盒示意图

在高频变压器中,由于铁磁材料的磁介质损耗大,所以不用铁磁材料作为屏蔽壳,而是采用电阻很小的铝、铜材料制成。当高频磁力线穿过屏蔽壳时,产生了感生电动势,此电动势又被屏蔽壳所短路(屏蔽壳电阻很小),产生涡流,此涡流又产生反向磁力线去抵消穿过屏蔽壳的磁力线,使屏蔽壳外的磁场大大减小,达到屏蔽的目的。

3.4.10 电路分析说明

关于变压器电路分析主要说明以下几点。

变压器各种具体应用电路的分析方法是有所不同的,有的只要知道次级线圈输出电压

大小和正、负半周情况,如电源电路中的变压器。有的则要了解初级和次级线圈上的信号电压相位,如分析振荡器电路中的变压器时,就要知道这一点。

从变压器电路符号中可以了解到次级线圈的结构情况,如有几组次级线圈和有无抽头等,有时还可以了解到初级线圈中的抽头情况。

要注意变压器次级线圈两端输出的电压相位是相反的。

注意,次级线圈的一端不一定要接电路中的地线。但是,大多数情况下变压器的初级线圈是接地的,此时接的是整机电路的共用参考点,即电路中的地线,而不是大地中的地。

3 5 磁头、扬声器和直流电机

磁头、扬声器和直流电机都是由电感构成的元器件,它们都属于感性负载。这里所讲解的磁头和直流电机是录音机、卡座中的各种磁头和直流电机,扬声器则在音响设备和电视机中都有广泛应用。

3 5 .1 磁头外形特征和电路符号

磁头种类按声道数目划分主要有以下几种。

单声道磁头。这种磁头用于单声道机器中,现在比较少见。单声道磁头只有两根引脚。这两根引脚在直流偏磁、直流抹音电路中有极性之分,相互接反将会造成录音声音很小的故障,但对放音没有影响。

双声道磁头。这种磁头用于双声道机器之中,目前主要使用这种磁头。这种磁头有四根引脚,每个声道各两根引脚,每个声道的两根引脚之间不能相互接反,否则放音、录音时的声场位置有错误,即左、右声部相反。

四声道磁头。这种磁头用于具有 A、B 面连续放音功能的双声道机器中,这种磁头共有八根引脚,每个声道各两根引脚,各声道磁头之间不能接错。

磁头种类按功能划分主要有以下几种。

放音磁头用于放音卡或放音机中。

录音磁头在民用机器中不用,主要用于专用机器中作为录音磁头。

录放磁头用于录放卡中,作为录放磁头,它能录音也能放音,是一种复合功能的磁头,现在普遍采用这种磁头。

抹音磁头用于录放卡中作为抹音磁头,在录音时要先对磁带进行抹音,这由抹音磁头来完成。

旋转式放音磁头用于具有 A、B 连续放音功能的机器中。

此外,还有一种三合一磁头,它是将放音、录音和抹音磁头合三为一,一个磁头具有三种功能。

上述诸磁头中,除抹音磁头没有单、双声道之分(都是单声道,专用抹音磁头除外),其他磁头有单声道、双声道磁头等之分。另外,上述各种磁头中,除抹音磁头外壳是塑料的外,其他磁头都是金属外壳,外壳通过接地达到抗干扰的目的。

1. 外形特征

图 3 - 44 所示是磁头的外形示意图。从图中可以看出,它由支架、导向卡等组成。支架用来固定磁头,导向卡用来引导磁带通过磁头的工作表面。固定螺丝孔用来固定磁头,方位角调整螺丝孔内装方位角调整螺丝,调整这一螺丝可以改变磁头的方位角。工作表面是磁头与磁带接触、进行磁与电转换的表面。

关于磁头的外形特征,主要说明下列几点。

磁头的外形为长方体形状,长约 2cm,宽 1.5 cm,高约 1cm。

磁头的外壳材料有两种情况:一是塑料外壳,为白色或黑色,这是抹音磁头;二是金属外壳的磁头,这是录放磁头或放音磁头、录音磁头。

各种磁头的固定支架上有两个螺丝孔。抹音磁头的两颗固定螺丝是全部拧紧的,其他磁头中一只螺丝拧紧,另一只螺丝中装有弹簧,不拧紧,这颗螺丝用来调整磁头的方位角,所以称为方位角调整螺丝。

磁头的引脚有多种情况,单声道磁头只有两根引脚,双声道磁头则有四根引脚,四声道磁头有八根引脚。这些引脚在连接时有具体要求,上下方向同一侧的引脚连接方式要相同,如要接地均接地。

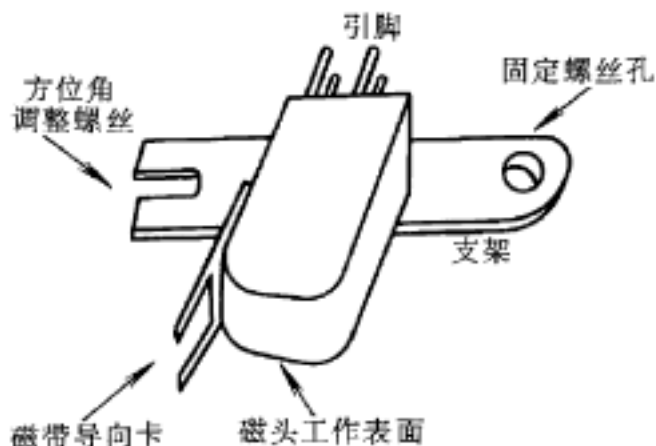


图 3 - 44 磁头外形特征示意图

2. 电路符号

图 3 - 45 所示是几种磁头的电路符号,通常在各种磁头的电路符号中用大写字母 HD 表示磁头。

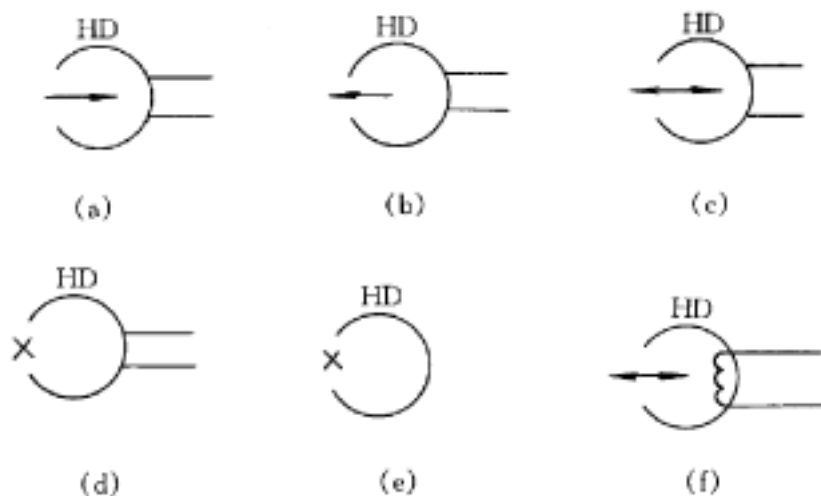


图 3 - 45 几种磁头的电路符号

图 3 - 45(a) 所示是放音磁头的电路符号,图中箭头方向是由外向里,这一方向形象地表示这一磁头的功能是放音磁头,放音磁头在机器放音时从磁带上拾取剩磁信号,然后转换成电信号,从放音磁头两根引脚输出放音信号(电信号),加到后面的放音通道电路中。

图 3 - 45(b) 所示是录音磁头的电路符号,它的箭头方向是由里向外,表示当机器工作在录音状态时,录音磁头将电信号转换成磁场信号,在其工作表面缝隙处产生磁场,磁化通过录

音磁头的磁带,所以这是录音磁头。

图 3 - 45(c)所示是录放磁头,它的箭头是双向的,表示能放音也能录音。当机器工作在放音状态时,它作为放音磁头;当机器工作在录音状态时,它作为录音磁头。电路符号中箭头的双向表示了录放磁头的放音和录音两种功能兼于一身。

图 3 - 45(d)所示是电磁式抹音磁头,符号中的“×”形象地表示抹去,它的两根引脚表示这种抹音磁头需要通入抹音电流才能正常工作。

图 3 - 45(e)所示是永磁抹音磁头,这种抹音磁头实际上是一块永久磁铁,它在工作时不需要给磁头加入抹音电流,就能正常地进行抹音工作,所以在它的电路符号中没有两根引脚。

图 3 - 45(f)所示是进口机器中常见的录放磁头电路符号。从这一电路符号中可以看出有一个线圈的符号,表示了磁头是由线圈构成的,同时在电路符号中通过箭头方向也表示出了磁头的功能,如是录放磁头还是放音磁头等。

3 5 2 磁头的结构和工作原理

1. 磁头与磁带相对工作位置

图 3 - 46 所示是磁头与磁带相对工作位置示意图。从图中可以看出,在机器进入放音或录音状态时,磁头的工作表面与磁带表面紧密接触,磁带自左向右以恒定的速度运走;在停止状态下,磁头所在的滑板机构后退,这时磁头工作表面与磁带脱离接触。

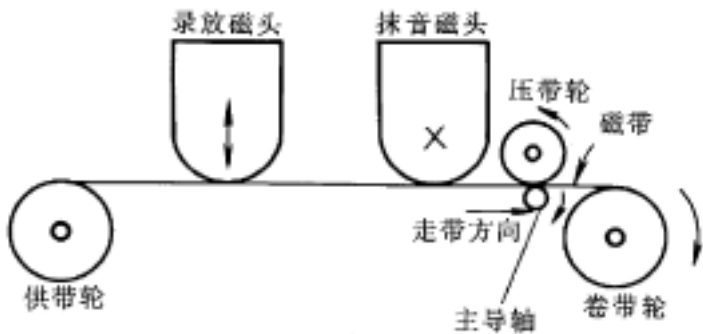


图 3 - 46 磁头与磁带相对工作位置示意图

2. 磁带恒速运走原理

在放音或录音状态下,磁带以恒定的 4.76cm/s 速度自左向右走带,磁带的这一恒速走带是由主导轴驱动机构完成的。如图 3 - 46 所示,主导轴与压带轮将磁带夹在中间,主导轴是主动轮,它以稳定的角速度转动,压带轮压向主导轴,这样,磁带借助于压带轮表面的摩擦力进行走带。主导轴顺时针方向转动,带动磁带自左向右运走。卷带轮卷起磁带,供带轮释放磁带。

3. 放音磁头工作原理

图 3 - 47 所示是放音磁头工作原理示意图。图 3 - 47(a)所示是录音磁带上的录音剩磁信号示意图,在磁带上录有很微弱的磁信号。

图 3 - 47(b)所示是放音工作过程中放音磁头拾取录音磁带上录音信号的示意图。从图中可以看出,放音磁头的工作表面有一个工作缝隙,这一缝隙与磁带紧密贴合,磁带上剩磁信号产生的磁通通过放音磁头的铁心,当录音磁带运走时,这一录音剩磁信号的磁通发生改变,这样放音磁头线圈中存在变化的磁通,所以会产生感生电动势,就是放音信号,这样,放音磁头就从磁带上拾取了录音信号。

在放音时,抹音磁头是不工作的,即不给抹音磁头通入抹音电流。

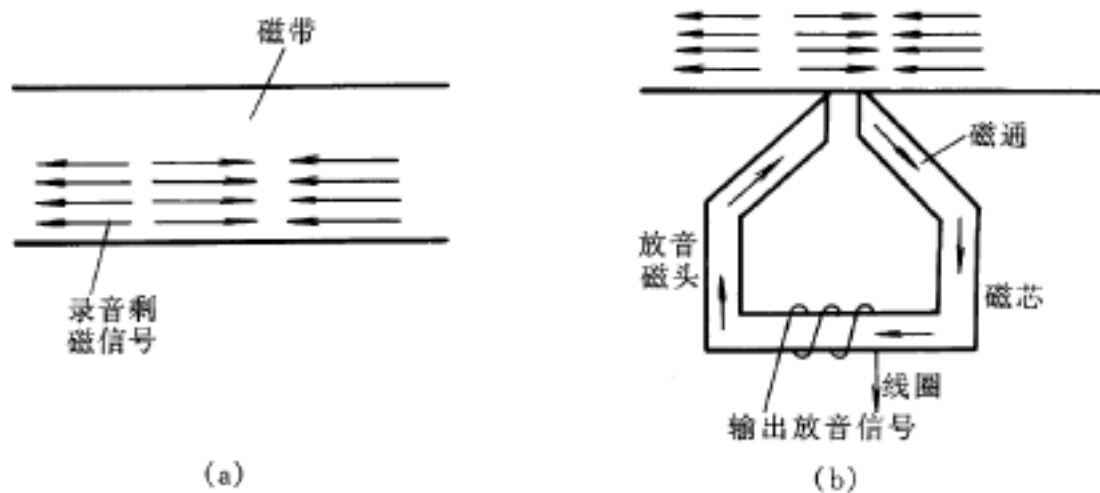


图 3 - 47 放音磁头工作原理示意图

4. 录音磁头工作原理

图 3 - 48(a)所示是录音磁头工作原理示意图。录音时,录音磁头工作表面与录音磁带紧贴,录音信号电流通入录音磁头线圈中,交变的录音信号电流产生交变的录音磁场,在录音磁头的工作缝隙处对空白的磁带进行磁化。随着录音磁带的走带,在录音磁带上就留下了录音剩磁信号,如图 3 - 48(b)所示。

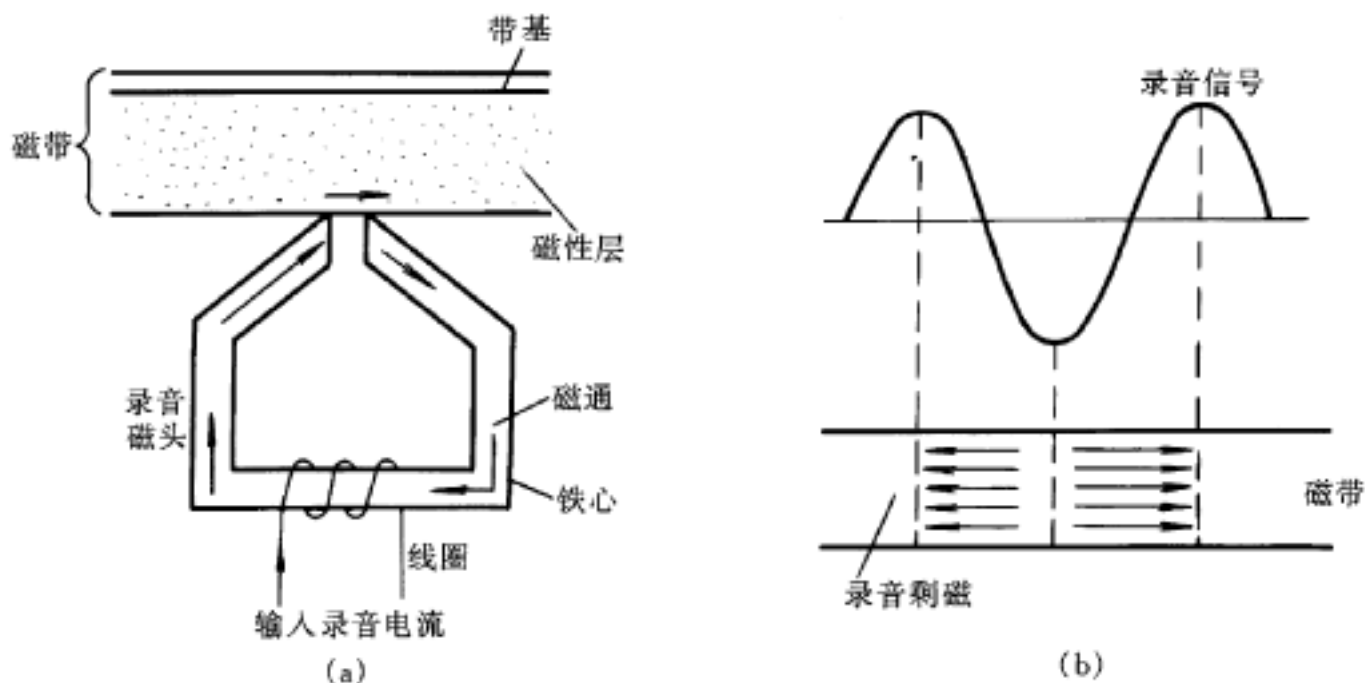


图 3 - 48 录音磁头工作原理示意图

在录音过程中,抹音磁头的位置在录音磁头的前面,如图 3 - 46 所示,磁带在运走过程中是先通过抹音磁头,将录有信号的磁带抹音,使之成为空白的录音磁带。然后,录音磁头再对空白的录音磁带进行录音。

5. 抹音磁头工作原理

抹音磁头的工作过程与录音磁头对磁带磁化的过程基本相同,只是给抹音磁头通入的抹音电流与给录音磁头通入的录音信号电流不同。给抹音磁头通入抹音电流后,抹音磁头在工作缝隙处将磁带退磁,使之成为没有磁性的空白磁带。

3 5 3 磁头的主要特性和命名方法

1. 录放磁头的主要性能参数

录放磁头的主要性能参数有下列几项。

阻抗。它是指录放磁头工作在频率为 1kHz 时的阻抗,一般有低阻抗、中阻抗和高阻抗三种磁头,在更换录放磁头时这是一个主要依据。

频率响应。它是表征录放磁头对信号进行电 - 磁、磁 - 电转换能力的重要指标,主要是指磁头的幅频特性,这一特性与磁头的工作缝隙宽度相关,工作缝隙愈狭窄,磁头频率响应特性愈好。

偏磁电流。这是对录音磁头工作在录音状态下的一项参数要求,每一个具有录音功能的磁头都有一个特定偏磁电流值,称为最佳录音偏磁电流,磁头只有工作在这一偏磁电流下,才能获得最佳的录音效果,否则将出现录音轻、录音失真等问题。

使用寿命。由于磁头与磁带之间是机械接触,这样就存在磨损的问题,磁头的抗磨损能力愈强,磁头的使用寿命就愈长。磁头的使用寿命与磁头的铁心材料相关,一般坡莫合金磁头的使用寿命为 500 ~ 1000 小时,铁氧体磁头的使用寿命为 2000 ~ 3000 小时,更高级的铁硅铝磁头使用寿命为 4000 小时。

抹音磁头由于铁心材料的原因,其抗磨损能力很强,基本上不存在磨损的问题,所以修理中也不存在更换抹音磁头的问题。

录放磁头和放音磁头都存在磨损问题,磁头在使用一段时间后要进行更换处理。

2. 抹音磁头主要性能参数

抹音磁头主要性能参数有下列几项。

抹音方式。抹音存在多种方式,电磁式抹音磁头有直流抹音和交流抹音两种,在交流抹音中,要规定交流抹音电流的频率和大小,当抹音电流的频率和大小最佳时,才能获得最好的抹音效果。

抹音效果。它是表征抹音磁头抹音能力的一项重要指标,单位为 dB,一般要求达到 50 ~ 70dB。

交流阻抗。这是交流抹音磁头的一项参数,表示抹音磁头在特定工作频率下的阻抗,一般为几百欧,但交流抹音磁头的直流电阻一般只有几欧。

3. 磁头型号命名方法

国产录音机、卡座用磁头的型号通常由 5 部分组成(第 6 部分只用于交流抹音磁头),如下所示:

第 1 部分 第 2 部分 第 3 部分 第 4 部分 第 5 部分 第 6 部分

第 1 部分用大写字母表示磁头的功能,具体意义是:L 为录音磁头,F 为放音磁头,X 为抹音磁头,J 为录放磁头,S 为录、放、抹组合磁头,Z 为录、放组合磁头。

第 2 部分用数字表示磁头的通道数目,其中 1 表示单通道,2 表示双通道,3 表示四通道。

第3部分数字表示磁头的磁迹数目,其中用1表示单磁迹,2表示双磁迹,3表示四磁迹。

第4部分用字母表示阻抗、材料,用大写字母A~F表示是坡莫合金磁头,其中A表示阻抗为600(测试频率为1kHz),B为900,C为1400,D为2400,E表示直流抹音磁头,F表示永磁抹音磁头。用小写字母a~f表示是铁氧体抹音磁头,a表示阻抗为100k(测试频率为50kHz),b为300k,c为500k。

第5部分用数字表示性能,1为部标一级,2为部标二级,3为部标三级。

第6部分用D表示是单缝抹音磁头,用S表示是双缝抹音磁头。

3.5.4 放音磁头实用电路大全

这里介绍几种形式的磁头应用电路,包括放音磁头、录放磁头和抹音磁头的实用电路,以便初步学会分析电路工作原理的方法和步骤。

1. 放音卡放音磁头输入电路

由于放音卡中的放音磁头只工作在放音状态,所以放音磁头输入电路中不设录放开关转换电路,图3-49所示是常见的放音卡放音磁头输入电路。根据磁头输入电路中没有录放开关这一特征,可以在双卡录音座中分辨出放音卡、录放卡电路,由于输入电路中没有录放开关,所以这是放音卡放音磁头输入电路。

电路中,L、R分别是左、右声道放音磁头(电路符号中箭头向里表示放音磁头从磁带上拾取信号), C_1 和 C_2 分别是两个声道的放音高频补偿电容,用来提高放音磁头输出信号中的高频成分。

C_3 和 C_4 分别是两个声道的输入端耦合电容,其作用是隔开直流电流,让放音信号通过,加到集成电路 A_1 的脚、脚内电路中。耦合电容 C_3 和 C_4 容量足够的大,所以对放音信号的容抗很小,可以认为放音信号直接通过了耦合电容。

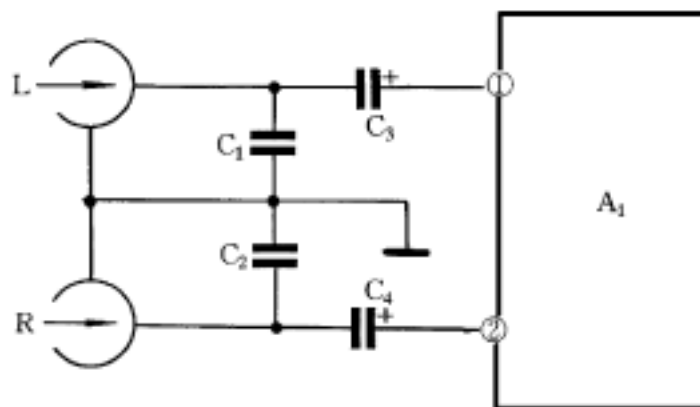


图 3-49 放音卡放音磁头输入电路

这一电路工作原理是这样:左、右声道电路是对称的,即完全一样。这里以左声道电路为例。左声道放音磁头L下端引线直接接地,放音时磁头上端引线输出的放音信号经 C_3 耦合,加到左声道前置放大器集成电路 A_1 的输入引脚脚,完成信号的传输,即完成放音磁头输出信号到集成电路 A_1 输入引脚脚的信号传输。

放音高频补偿电容 C_1 与放音磁头内部电感并联,以提升放音信号中的高频信号成分。其原理是这样:放音高频补偿电容 C_1 在放音时与磁头并联,磁头的内部结构是一个线圈,这样电容与线圈构成了LC并联谐振电路,其谐振频率落在放音高频信号的上限处,利用并联谐振的特性,使放音信号中的高频成分更多地输入前置放大器中,达到提升放音高频信号的目的。由于这种高频补偿电路提升放音高频信号有效、方便,所以在各种放音输入电路中广泛采用。

输入端耦合电容 C_3 起隔直通交作用。隔直是指不让前置放大器集成电路 A_1 输入引脚脚上的直流电流通过磁头内部的线圈到地,因为磁头内部线圈的直流电阻很小。通交是指将放音磁头输出的放音信号无损耗地加到前置放大器集成电路 A_1 输入引脚脚内电路中。

2. 特殊的放音磁头输入电路

图 3 - 50 所示是一种比较特殊的放音磁头输入电路,由于是放音磁头,所以输入电路中没有录放开关,由于前置放大器集成电路 A_1 的特殊性,在放音磁头输入电路中不设输入端隔直耦合电容。

电路中,L、R 分别是左、右声道放音磁头, A_1 是双声道的集成电路放音前置放大器, C_1 和 C_2 分别是左、右声道磁头的放音高频补偿电容, C_3 是电源滤波电容。

关于这一电路的工作原理,主要说明以下几点。

集成电路 A_1 的 ③脚和 ⑤脚分别是左、右声道的输入引脚,即左、右声道的放音信号分别从 ③脚和 ⑤脚送入内部的前置放大器电路中。

集成电路 A_1 的 ④脚是基准直流电压输出端,这一引脚可以输出一个直流电压。

从集成电路 A_1 的 ④脚输出的直流工作电压,分别经左、右声道磁头内部的线圈加到 ③脚和 ⑤脚,为这两个引脚内部的前置放大器电路提供直流工作电压,没有这一直流工作电压时,机器将出现左、右声道放音无声故障,这一点与普通放音输入电路不同。对集成电路 A_1 的 ④脚输出直流工作电压而言,电容 C_3 起滤波作用。

左声道放音磁头 L 下端引线经 C_3 交流接地(C_3 让交流信号通过,构成放音信号的电流回路),上端引线输出的放音信号直接输入集成电路 A_1 的 ③脚(无耦合电容,因为直流电流也要流入 ③脚),完成左声道放音输入。右声道输入电路工作原理同左声道电路一样。

电容 C_3 对放音信号而言起交流接地作用,这一点与普通磁头输入电路不同,普通机器中的磁头一根引脚将直流和交流同时接地。

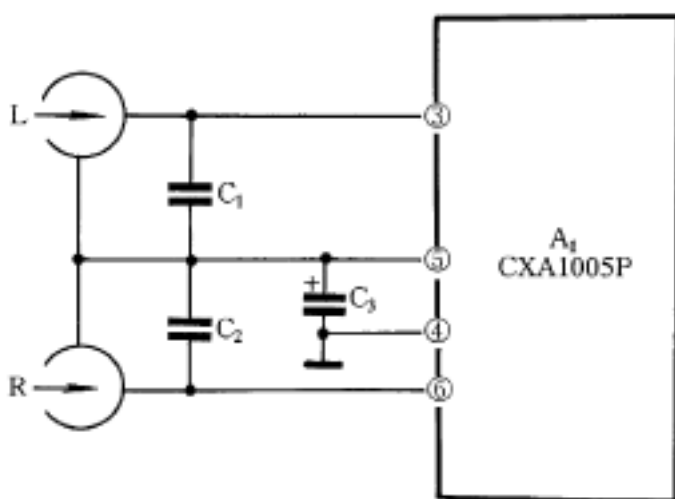


图 3 - 50 特殊的放音磁头输入电路

3. 引脚直接接地式录放磁头电路

图 3 - 51 所示是录放磁头一根引脚直接接地的放音输入电路,图中只画出了一个声道电路,另一个声道电路与此电路完全一样。电路中, HD_1 是录放磁头, S_{1-1} 和 S_{1-2} 分别是录放开关的两个刀组,它们都接在磁头的一根引线上,磁头的另一根引线直接接地。 C_1 是放音高频补偿电容, C_2 是前置放大器输入端耦合电容。

录放开关转换原理是这样:当开关在图示 P(放音位置)时,磁头 HD_1 下端的引线接地,上端引线输出的放音信号经录放开关 S_{1-1} 和耦合电容 C_2 加到前置放大器中,完成放音信号的传输。

当机器工作在录音状态时,录放开关转换到另一个位置 R(录音)上,录音信号源输出的录音信号经 S_{1-1} 和 C_2 加到前置放大器中,经录音放大器放大后的录音信号从录音输出级电路输出,经 S_{1-2} 加到录放磁头 HD_1 中,再通过磁头下端引线接地构成回路。由此可知,通过录放开关可以完成录放磁头的放音和录音工作状态转换。

放音高频补偿电容 C_1 在放音时与录放磁头 HD_1 并联,提升放音高频信号。注意,在录音时由于 S_{1-1} 转换到 R 位置, C_1 与 HD_1 断开,因此没有高频提升作用,所以 C_1 只有补偿放音高

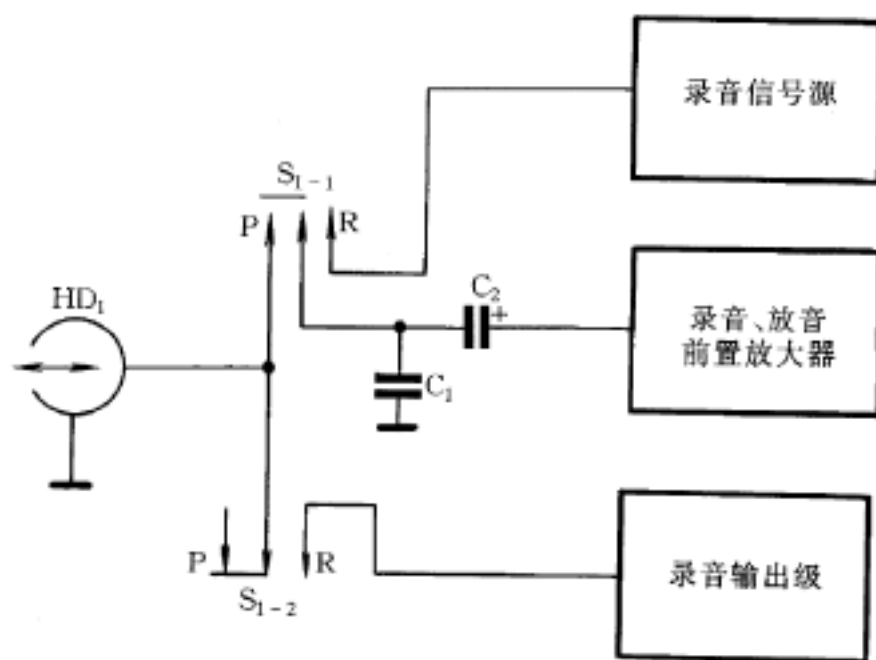


图 3 - 51 引脚直接接地式录放磁头电路

频信号的作用。

4. 磁头引脚不接地式录放磁头电路

图 3 - 52 所示电路中的录放磁头两根引线均不直接接地,而是在放音和录音状态时有一根引线通过录放开关来接地。

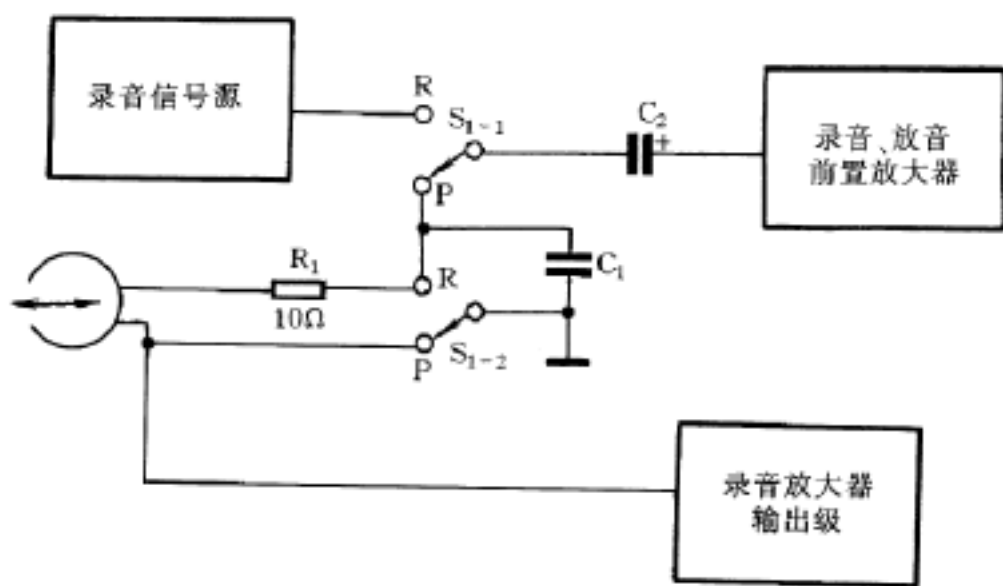


图 3 - 52 磁头引脚不接地式录放磁头电路

这一电路的工作原理是这样:在放音状态下,录放开关在图示位置上,录放磁头 HD_1 的下端引线通过录放开关 S_{1-2} 接地,磁头上端引线输出的放音信号通过偏磁测量电阻 R_1 (该电阻在放音时不起作用)、录放开关 S_{1-1} 、输入端耦合电容 C_2 加到前置放大器中,完成放音信号的输入。

在录音状态下,录放开关转换到另一个位置上,录音信号源输出录音信号经 S_{1-1} 和 C_2 加到前置放大器电路中,录音信号经放大后从录音输出级电路输出,经 HD_1 、 R_1 、 S_{1-2} 的 R 触点到地构成回路,完成录音状态的转换。

这一电路的特点是由录放开关 S_{1-2} 来控制磁头的接地状态,在放音时磁头的下端引线接地,在录音时磁头的上端引线接地。电路中, C_1 是放音高频补偿电容。

R_1 为偏磁测量电阻,因为阻值很小(通常为 $10\ \Omega$),在放音时对放音信号基本无影响。

5. 直流抹音磁头电路

图 3 - 53 所示是直流抹音磁头电路。电路中, HD_1 是直流抹音磁头, S_{1-1} 是录放开关, R_1 是直流抹音电流供给电阻, $+V$ 是直流工作电压。

这一电路的工作原理是这样:在机器进入录音状态后,录放开关转换到图示录音(R)位置,这时直流工作电压 $+V$ 经电阻 R_1 和录放开关 S_{1-1} 加到抹音磁头上,为抹音磁头提供直流抹音电流,抹音磁头抹去磁带上原来的录音剩磁信号。

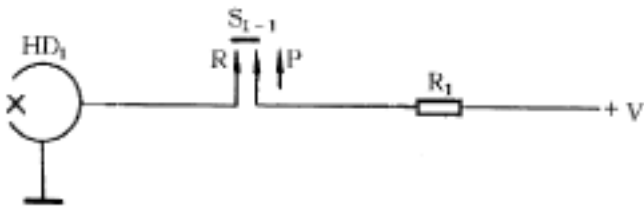


图 3 - 53 直流抹音磁头电路

当机器工作在放音状态时,录放开关转换到放音(P)位置,这时直流工作电压 $+V$ 不能加到抹音磁头 HD_1 上,所以抹音磁头不能工作,无抹音功能。

3 5 5 扬声器外形特征和电路符号

扬声器俗称喇叭,是一种十分常用的电声器件,在收音机、录音机、黑白和彩色电视机中均有应用,凡是要出声音的机器中都能见到它。

扬声器的种类繁多,而且价格相差很大。扬声器有下列几种。

扬声器按照换能机理和结构划分,有电动式(动圈式)、电磁式(舌簧式)、压电式(晶体或陶瓷)、静电式(电容式)、电离子式和气动式扬声器等,其中电动式扬声器由于具有电声性能好、结构牢固、成本低等优点,而被广泛应用。

扬声器按照工作频率划分,有低音、中音和高音扬声器,有的还分成录音机专用、电视机专用、普通和高保真扬声器等。

扬声器按照纸盆划分,有圆形、椭圆形、双纸盆扬声器等。

扬声器在电子元器件中是一个最薄弱的器件,而对于音响效果而言,它又是一个最重要的器件。扬声器的转换效率(由电信号转换成声音)只有 10% 左右,好的扬声器也只有 20% 左右。

1. 外形特征

图 3 - 54 所示是两种常见扬声器的外形示意图。图 3 - 54(a)所示是外磁式扬声器,用于音响设备中;图 3 - 54(b)所示是内磁式扬声器,用于电视机中。

关于扬声器的外形特征,主要说明以下几点。

扬声器有两个接线柱,即它应该有两根引线,有时这两根引脚不分正、负极性,有时则要分清,关于这一点将在后面详细介绍。

扬声器的外形有圆形和椭圆形两大类。

扬声器有一个纸盆,它的颜色通常为黑色,也有白色。

扬声器纸盆背面是磁铁,在外磁式的扬声器中,用金

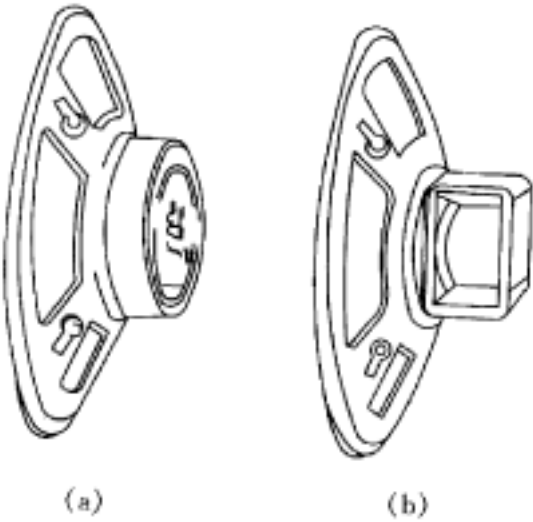


图 3 - 54 两种常见扬声器外形示意图

属螺丝刀去接触磁铁时会感觉到磁性的存在。在内磁式的扬声器中,则不会感觉磁性的存在,但的确有磁铁,磁铁被隔离起来了。

扬声器装在机器面板上,或装在音箱内。

2. 电路符号

图 3 - 55 所示是几种扬声器的电路符号。其中,图 - 55(a)所示是最新规定的电路符号,用字母 B 或 BL 表示;图 3 - 55(b)所示是永磁动圈式扬声器的电路符号,以前用字母 SP 表示;图 3 - 55(c)所示是晶体或压电扬声器的电路符号。现在,扬声器统一用图 3 - 55(a)所示的电路符号,并用字母 B(BL)表示。

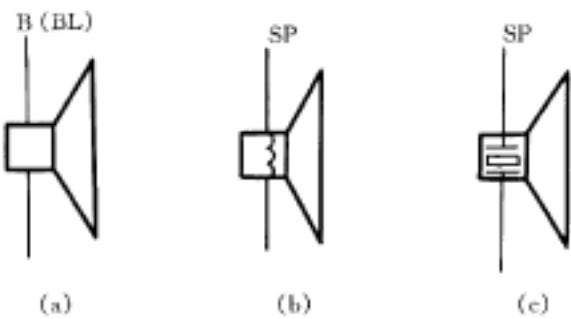


图 3 - 55 几种扬声器的电路符号

3 5 .6 扬声器的结构和工作原理

1. 结构

这里以电动式扬声器为例,说明扬声器的结构,图 3 - 56 所示是这种扬声器的结构示意图。从图中可以看出,这种扬声器主要由纸盆、支架、音圈、永久磁铁等组成。

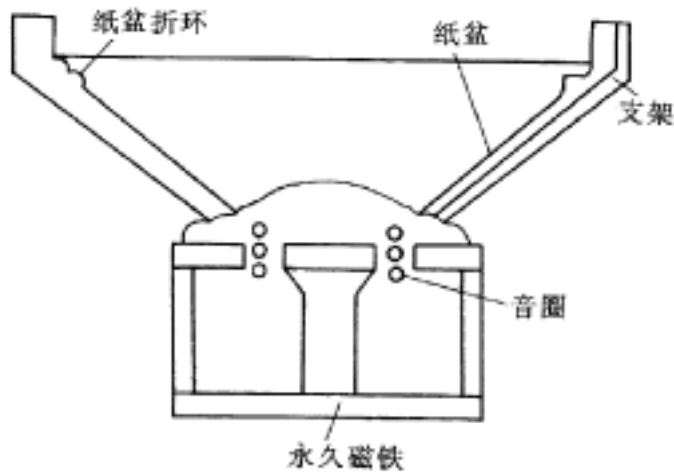


图 3 - 56 电动式扬声器结构示意图

纸盆用来振动发出声音,支架用来支撑纸盆等部件,音圈用来将电信号转换成机械振动,磁铁用来给音圈一个恒定磁场。

2. 工作原理

电动式扬声器的工作原理是这样:扬声器是一个换能器件,它可以将电信号转换成机械振动,通俗地讲是转换成声音。当给扬声器的音圈中通入交流电流时,音圈在输入信号电流的作用下产生交变磁场,而音圈又放置在永久磁铁中(这一磁铁产生一个大小和方向不变的恒定磁场),音圈在这两个磁场的作用下作垂直于音圈电流方向的运动,即音圈由输入信号作用而运动。

由于音圈与纸盆连接在一起,这样,音圈运动时带动纸盆运动(前、后振动)。纸盆的前后振动,推动空气的相应振动,人耳便能感受到空气振动而产生的声音感觉。这样,输入扬声器的电信号通过扬声器的换能作用,就转换成声音。

当输入到扬声器中的交流电信号愈大时,流过音圈的交流电流也愈大,磁场作用愈强,扬声器的纸盆振幅愈大,声音愈响。反之,当输入扬声器的交流信号电流较小时,扬声器发出的声音小。

当输入扬声器的电信号为直流电流时,扬声器的纸盆也要产生一个位移,但纸盆没有振动,此时空气也不振动,所以扬声器没有声音。由此可知,当通入扬声器的电流为直流电流时,扬声器无声,扬声器不能将直流电流转换成声音。

此外,当输入扬声器的交流信号频率不同时,扬声器纸盆振动的频率也是不同的,扬声器的纸盆振动频率与输入扬声器的交流信号频率相同。当输入信号的频率愈高时,扬声器发出声音的频率愈高,反之,输入信号的频率愈低时,扬声器发出声音的频率愈低。

理论和实验表明,当扬声器工作在低频段时,主要是纸盆的外缘在振动,当纸盆口径大,纸盆外缘柔软时,低音效果比较好;当扬声器工作在高频段时,主要是纸盆的中央部分在振动,当纸盆口径较小,且纸盆中央质硬时,高音效果比较好。

显然,扬声器的这一工作特性是矛盾的,同一个扬声器不能很好地兼顾高音和低音。为了解决这一问题,出现了低音、高音和中音扬声器。将低音扬声器的纸盆做大些,外缘柔软些,让低音扬声器只工作在低音频段。再根据高音扬声器的工作特点,制成高音扬声器,让高音扬声器只工作在高音频段,这样可以很好地兼顾扬声器的高频、低频工作特性。

根据上述介绍可知,纸盆口径大的是低音扬声器,纸盆口径小的是高音扬声器,纸盆口径中等的是中音扬声器,依据纸盆的口径大小可以方便地分辨出高音、低音和中音扬声器。

3 5 .7 扬声器的主要参数和命名方法

扬声器的参数较多,这里只介绍一些常用的参数。

1. 标称阻抗

扬声器的阻抗由电阻抗及机械振动系统、声辐射系统综合而成。图 3 - 57 所示是一般扬声器的阻抗特性曲线。图中, X 轴方向是输入扬声器信号的频率, Y 轴方向是扬声器在不同频率下的阻抗大小,从曲线中可以看出,扬声器在不同频率处的阻抗不同。

从曲线中可以看出,在 400Hz 处曲线比较平坦,在扬声器铭牌上的阻抗就是扬声器以 400Hz 正弦波作为测试信号时的阻抗。从曲线中还可看出,在低频段扬声器还有一个谐振现象,其频率约为几十赫兹。扬声器的这一频率愈低愈好,一般

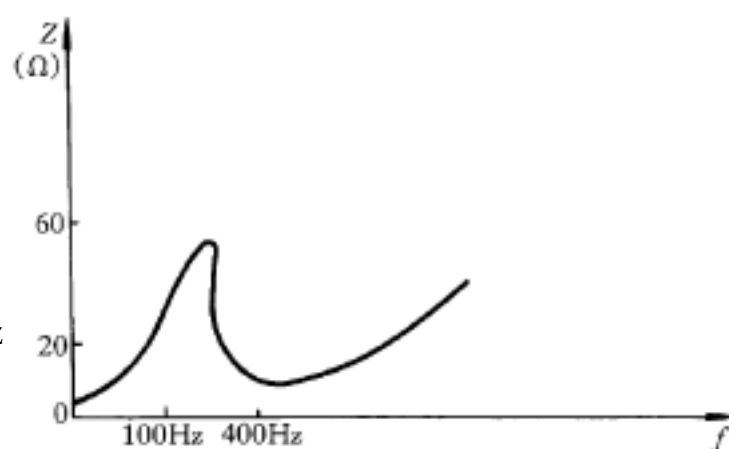


图 3 - 57 扬声器阻抗特性曲线

8 英寸的扬声器为 80 ~ 100Hz, 10 英寸的扬声器为 60 ~ 70Hz, 12 英寸的扬声器为 50Hz 左右。

扬声器的阻抗随频率的升高而增大,这一点从阻抗特性曲线中可以明显地看出,这是因为扬声器是一个感抗负载(它的音圈是一个线圈)。扬声器音圈的直流电阻与阻抗是两个不同的概念,音圈的直流电阻是导线的电阻。音圈的直流电阻与音圈的阻抗之间有一个近似的公式,如下所示

$$R = \frac{Z}{1.2}$$

式中: R 为音圈的直流电阻;

Z 为扬声器的标称阻抗。

常见扬声器的标称阻抗为 3.2、4、8。

2. 额定功率

扬声器的额定功率又称标称功率,它是指扬声器在最大允许失真条件下,所允许输入扬声器的最大电功率。标称功率的单位是 VA(伏安)或 W(瓦)。

3. 频率特性

频率特性是用来表征扬声器转换各种频率电信号能力的指标,它反映了在输入扬声器电信号电压不变的条件下,改变输入信号的频率,所引起扬声器的声压大小变化。一般规定扬声器声压变化的不均匀度为 15dB,这比对放大器的要求要低得多。

不同扬声器的频率特性不同。对于低音扬声器而言,其频率范围一般为 30Hz ~ 3kHz,中音扬声器的频率范围为 500Hz ~ 5kHz,高音扬声器的频率范围为 2(3)kHz ~ 15kHz。

4. 失真度

扬声器的失真度主要是指谐波失真。一般扬声器的失真度小于等于 7%,对于高保真扬声器而言,为小于等于 1% ~ 2%。

5. 指向特性

扬声器的指向特性用来表征扬声器在空间各个方向辐射的声压分布特性,图 3 - 58 所示是扬声器的指向特性曲线。

从曲线中可以看出,指向特性与频率有关。当频率愈高时,指向性愈狭,见图中的 8000Hz 与 100Hz 两条曲线,它们之间相差很多。另外,在相同频率下,不同纸盆大小时的指向性也不同,纸盆愈大,指向性愈强,即指向面愈狭。扬声器的指向性影响了听音区域的范围。

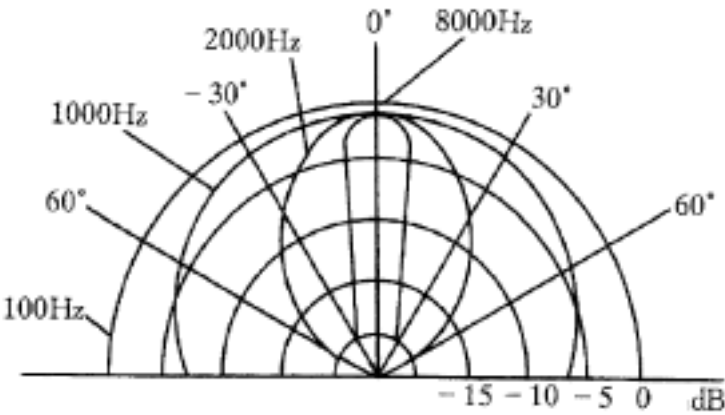


图 3 - 58 扬声器指向特性曲线

3 5 8 扬声器的型号命名方法和引脚极性识别方法

1. 型号命名方法

扬声器的型号组成如下所示:

Y	D	x x	x x x
扬声器主称	表示扬声器种类	额定功率	纸盆直径
	D 是电动式	单位为 W	单位为 mm

例如,型号为 YD0.5 - 100 的扬声器,它是电动式扬声器,标称功率为 0.5W,纸盆直径为 100mm。

在扬声器背面的磁铁上贴有铭牌,在这一铭牌上标注有型号,从型号上可以了解到该扬声器的种类、标称功率、阻抗大小和纸盆尺寸等。

2. 引脚极性识别方法

扬声器有两根引脚,它们分别是音圈的头和尾。当两只扬声器在一起同时运用时,要注意扬声器的引脚极性,当电路中只是用一只扬声器时,它的两根引脚便没有极性之分。另外,扬声器的引脚极性是相对的,不是绝对的,只要在同一电路中运用的各扬声器极性规定一致即可。

在多于一只扬声器运用时,一定要分清各扬声器引脚极性,因为当两只扬声器不是同极性相串联或并联时,流过这两只扬声器的电流方向不同,一个是从音圈的头流入,另一个是从音圈的尾流入,这样当一只扬声器的纸盆向前振动时,另一只扬声器的纸盆向后振动,两只扬声器纸盆振动的相位相反了,有一部分空气振动的能量被抵消。所以,要求多于一只扬声器在同一电路中运用时,各扬声器要同极性相串联或相并联,以使各扬声器纸盆振动的方向保持一致。

这里介绍几种识别扬声器引脚极性的方法。

直接识别方法。扬声器背面的接线支架上已经标出了两根引线的正、负极性,此时可以直接识别出来,这种识别方法适用于同一厂家生产的扬声器。

试听判别方法。扬声器的引脚极性可以采用试听判别的方法,如图 3 - 59 所示,将两只扬声器按图示方式接好线,即将两只扬声器并联起来,再接在功率放大器的输出端。给两只扬声器馈入电信号,此时两只扬声器同时发出声音。然后,将两只扬声器口对口地接近,此时若声音愈来愈小,说明两只扬声器反极性并联,即一只扬声器的正极与另一只扬声器的负极相并联。

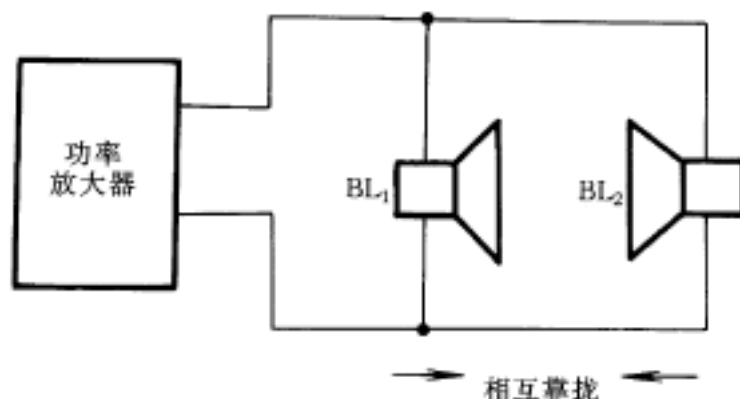


图 3 - 59 识别扬声器极性示意图

上述识别方法的原理是这样:当两只扬声器

反极性并联时,一只扬声器的纸盆向里运动,另一只扬声器的纸盆向外运动,这时两只扬声器口与口之间的声压减小,所以声音低。当两只扬声器相互接近之后,两只扬声器口与口之间的声压更小,所以声音更小。

万用表识别方法。利用万用表的直流电流挡也可以方便地识别出扬声器的引脚极性,具体方法是这样:取一只扬声器,万用表置于最小的直流电流挡(μA 挡),两支表棒任意接扬声器的两根引脚,再用手指轻轻而快速将纸盆向里推动,此时表针有一个向左或向右的偏转。自己规定,当表针向右偏转时(若是向左偏转,将红、黑表棒相互反接一次),红表棒所接的引脚为正极,则黑表棒所接的引脚为负极。用同样的方法和极性规定,去检测其他扬声器,这样各扬声器的极性就一致了。

这一方法能够识别扬声器引脚极性的原理是这样:在按下纸盆时,由于音圈有了移动,音圈切割永久磁铁产生的磁场,在音圈两端要产生感生电动势,这一电动势虽然很小,但万用表处于电流挡状态,电流挡的表内电阻很小,电动势产生的电流流过了万用表,使表针发生偏转。由于表针偏转方向与红、黑表棒接音圈的头还是尾有关,这样可以人为确定扬声器引脚的极性。

3. 注意事项

在识别扬声器的引脚极性过程中,要注意以下几点。

直接观察扬声器背面引线架时,对于同一个厂家生产的扬声器,它的正、负引脚极性规定是一致的,对于不同厂家生产的扬声器,则不能保证是一致的,此时最好用其他方法加以识别。

采用万用表识别高音扬声器引脚极性的过程中,由于高音扬声器的音圈匝数较少,表针偏转角度比较小,不容易看出。此时,可以快速按下纸盆,可使表针偏转角度大些。

识别扬声器极性过程中,按下纸盆时要小心,切不可损坏纸盆。

3 5 9 直流电机外形特征和电路符号

录音机和卡座中一般使用直流有刷电机,并且为直流电子稳速电机,在额定工作电压范围内电压波动时,这种电机的转速稳定不变。

直流稳速电机有多种,说明如下。

单速电机。这种电机只有一种转速,但转速可以微调。

双速电机。这种电机只有两种转速,一个常速,一个倍速,在常速和倍速下的转速都可以进行微调。

单方向转动的单向电机,这种电机只能顺时针或逆时针方向转动,一般电机都是这种电机。

两个方向转动的双向电机,这种电机能够正向转动,也可以反向转动。

直流稳速电机按照直流工作电压划分,有 6V、7.5V、9V、12V、15V 几种。

按照实现稳速的方式分,有电子稳速电机和机械稳速电机两种,目前录音机、卡座中主要使用电子稳速电机。

按照有刷和无刷划分,有两种:一是直流有刷电机,这是目前大量使用的电机;二是直流无刷电机,主要用于高级机芯和录像机中。

1. 外形特征

图 3 - 60 所示是直流稳速电机的外形示意图。它的转子轴细而长,电机的背面有一个转速调整孔。

关于直流稳速电机的外形特征,主要说明下列几点。

这种电机的体积不大,有一根转轴伸出外壳,一般情况下外壳背面有一个小孔(转速调整孔)。

单速电机有两根引脚线,有正、负极性之分。

双速电机有四根引脚,其中一根是电源引脚,一根为接地引脚,另两根是转速调整引脚(这两根引脚没有极性之分)。

2. 电路符号

图 3 - 61 所示是录音机、卡座所使用的直流电机电路符号,其中图 3 - 61(a)所示是单速电

机的电路符号,图中表示这种直流电机有两根引脚;图 3 - 61(b)所示是双速直流电机,图中表示这种直流电机有四根引脚。

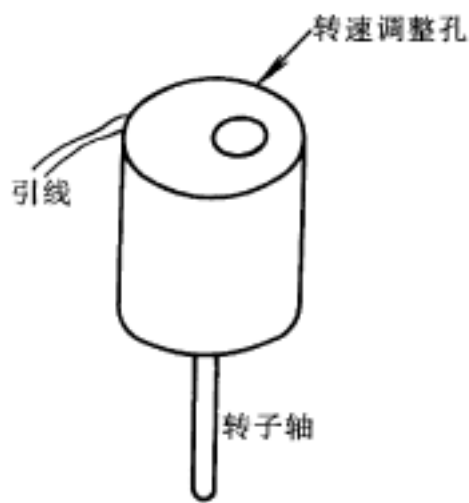


图 3 - 60 直流稳速电机外形示意图

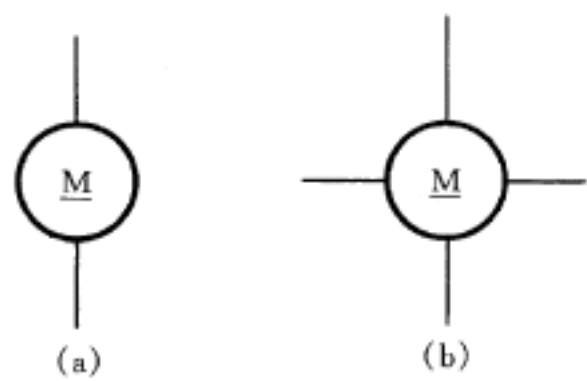


图 3 - 61 直流电机电路符号

3 5 .10 直流电机的结构和工作原理

1. 结构

图 3 - 62 所示是直流有刷电机的结构示意图。从图中可看出,电机主要由外壳、屏蔽带、

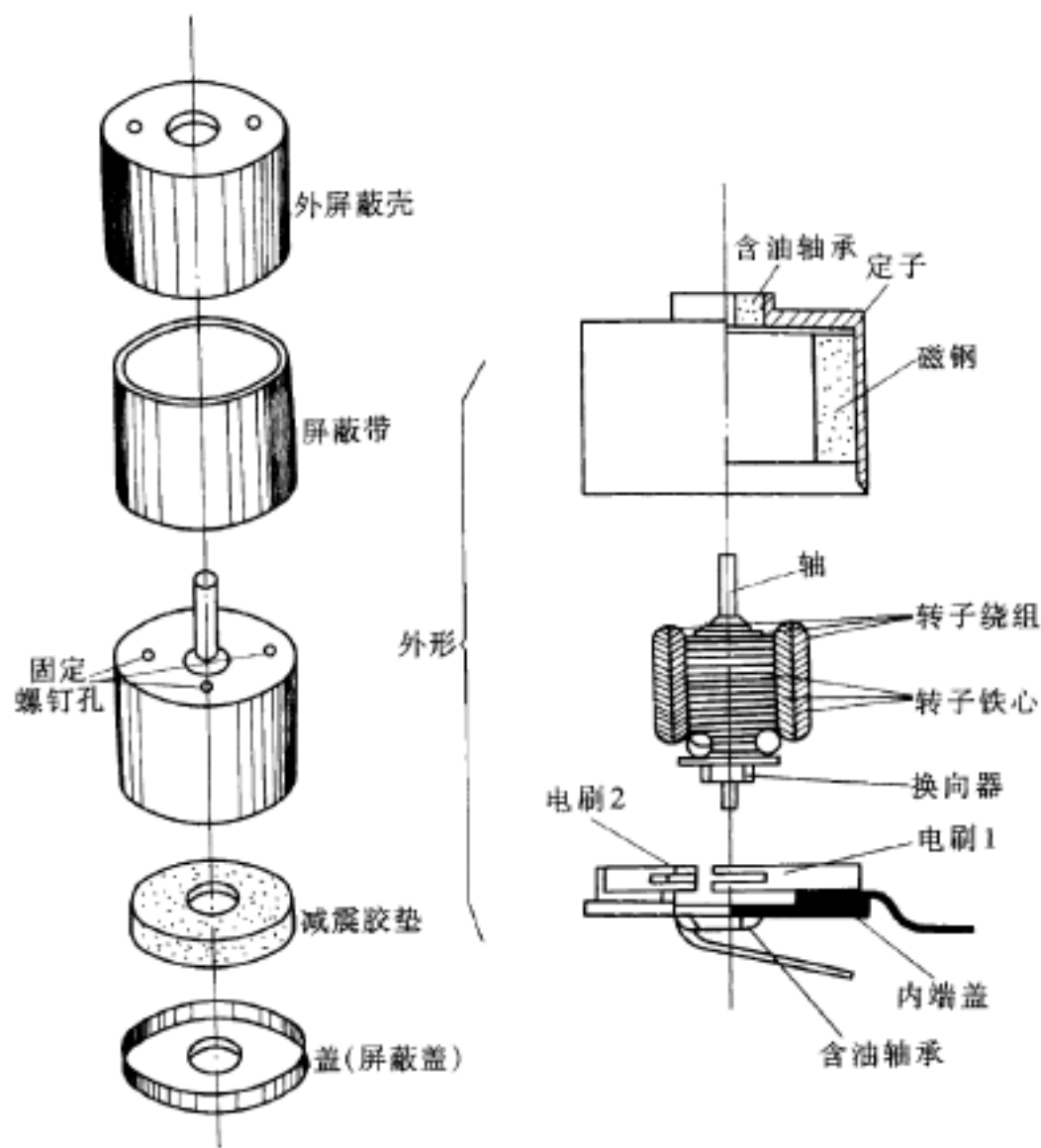


图 3 - 62 直流有刷电机结构示意图

减振圈、转子结构、定子结构、换向器、电刷、含油轴承等构成。

2. 工作原理

当直流工作电压加到直流电机的两根引脚上时,有直流电流在转子绕组(转子线圈)中流动,便产生一个磁场,这一磁场与定子结构中的永磁磁场相斥,使电机产生转矩,开始转动。由于不断地给转子绕组换相,所以便能持续产生转矩。

直流稳速电机在其外壳内设有电子稳速电路,这一稳速电路用来保证电机在一定的直流工作电压范围内,工作电压波动或转矩大小波动时,直流电机能够以恒定的角速度转动。

3 5 .11 直流电机的主要性能参数

直流有刷电机的主要性能参数有下列几项。

1. 使用寿命

直流有刷电机在机器上的使用寿命大于 600 小时,连续运转寿命为 1000 小时。

2. 额定转矩

直流有刷电机的额定转矩愈大愈好,一般在 $10\text{g}\cdot\text{cm}$ 左右。

3. 额定转速偏差

直流有刷电机的额定转速偏差要求小于等于 1%,稳速精度要求小于等于 2%。

4. 转速

直流有刷电机的转速有多种规格,一般为 $2000\text{r}/\text{min}$ 、 $2200\text{r}/\text{min}$ 和 $2400\text{r}/\text{min}$,在双速电机中,为 $1400\text{r}/\text{min}$ 、 $2800\text{r}/\text{min}$ 和 $2400\text{r}/\text{min}$ 等多种。

5. 额定工作电压

直流有刷电机的直流额定工作电压有多种规格: 3V、6V、7.5V、9V 和 12V 等,目前用得最多的是 9V 和 12V 电机。

6. 机械噪声

直流有刷电机的机械噪声要求愈小愈好,一般要求小于 35dB,引线的无线电干扰为 0.15~0.5MHz 小于 66dB,0.5~25MHz 小于 52dB。

7. 轴向间隙

直流有刷电机的轴向间隙要求小于 0.5mm。

8. 额定工作电流

直流有刷电机的额定工作电流一般为 100mA,这一参数对判断电机工作是否正常有重要

作用。

3 5 .12 直流电机的识别方法

1. 型号命名方法

录音机、卡座用国产直流电机的型号由四部分组成,说明如下:

第 1 部分 第 2 部分 第 3 部分 第 4 部分

表示机座号 表示产品名称 表示性能参数 表示结构派生情况

第 1 部分用两位数字表示机座号,即表示电机外壳直径,单位是 mm,直流电机主要有 20、28、32、34 和 36mm 几种。

第 2 部分用字母 L 表示录音机、卡座用电机。

第 3 部分用两位数字表示性能参数序号,其中 01 ~ 49 表示机械稳速电机,51 ~ 99 表示电子稳速电机。

第 4 部分用大写汉语拼音字母表示结构派生代号。

例如:某电机型号为 36L03,36 表示电机外壳直径为 36mm,L 表示录音机用直流电机,03 为机械稳速电机。

又如:某电机型号为 36L52,这是外壳为 36mm 的电子稳速电机。

2. 识别单、双速电机的方法

识别是单速还是双速电机的方法是:如果电机只有两根引脚,说明这是单速电机。如果电机有四根引脚,则说明是双速电机。

3. 识别电机引脚的方法

电机引脚共有下列三种方式。

采用双股并行胶合线,一根为红色,另一根为白色,其中红色线为正电源引线,白色线是接地引线。

采用屏蔽线作为电机的引线,此时芯线为正电源引脚,金属网线为接地引线。

采用小块印制板作为接线端,此时板上会印出“ + ”、“ - ”的标记,这是电源极性的标记。

对于双速电机,通常采用第三种表示方式,另两根引脚没有标记,是转速控制引脚,这两根引脚不分极性。

4. 识别是否是稳速电机的方法

识别是否是稳速电机的方法是:对于小型电机(直径只有 5 分硬币大小),其内部不设稳速电机,它的稳速电路设在整机电路中。对于其他电机,可以通过测量电机两根引脚之间的电阻来分辨,当测量的电阻大于十几欧时,说明该电机是稳速电机。

5. 识别稳速类型的方法

识别电机是机械稳速还是电子稳速的方法是:万用表的 $R \times 1$ 挡,测量电机两根引脚之间的直流电阻,测量电阻小于十几欧的是机械稳速电机,测量阻值大于十几欧的是电子稳速电机。

注意:双速电机都采用的是电子稳速方式。另外,电机外壳背面若有一个小圆孔,说明这是电子稳速电机。

6. 识别电机转向的方法

识别电机转向的方法是:看电机铭牌上的标记,标出 CW 是顺时针方向转动的电机,即手拿着电机,转轴对着自己,此时转轴顺时针方向转动。若是 CCW,则说明是逆时针方向转动的电机。如果是双向电机,则用 CW/CCW 表示。

如果没有这样的标记,可以给电机通电,通过观察转轴的转动方向来分辨。

3 5 .13 直流电机控制电路

直流电机控制电路是比较简单的,主要是控制电机的直流工作电压,给直流电机加上直流工作电压时,电机将转动;断开电机的直流工作电压时,电机停止转动。对直流电机的控制电路分析,就是电机的转动与停止控制过程分析。

1. 直流电机控制电路

图 3 - 63 所示是一种直流电机的控制电路。电路中,M 是直流电机, S_1 是控制开关,在录音机和卡座中这一开关称为机芯开关。 $+V$ 是电机的直流工作电压。

当开关 S_1 接通时,直流工作电压 $+V$ 通过 S_1 加到直流电机 M 的电源引脚上,M 的地线直接接地,这样电机获得了直流工作电流,电机开始转动。当开关 S_1 断开时,切断了电机 M 的直流工作电压,电机停止转动。

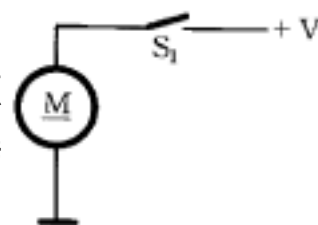


图 3 - 63 直流电机控制电路

2. 控制地线的直流电机控制电路

图 3 - 63 所示是一种控制地线的直流电机控制电路。电路中,M 是直流电机, S_1 是控制开关,它与前一种直流电机控制电路的不同之处是,开关 S_1 接在电机 M 的地线回路中。 $+V$ 是电机的直流工作电压。

在开关 S_1 没有接通时,直流工作电压 $+V$ 就加在了电机 M 的电源引脚上,但是由于开关 S_1 在断开状态,电机的电流不能形成回路,所以电机不能转动。当开关 S_1 接通后,电机的电流形成了回路,这时电机开始转动。

上述两种直流电机控制电路对电机的控制功能是相同的,但电路的结构形式不同,这样的电路称为同功能不同电路形式的电路,在各种整机电路中,这样的电路有许多,这类电路也是电路分析中的重点和难点之一。

上述两种电路的功能是一样的,但是电路的故障分析是不同的。例如,在检修电机不能转动故障时,习惯于测量电机 M 上的直流工作电压是否正常,对于图 3 - 63 所示电路,只要开关

S_1 接触不良,直流工作电压就不能加到电机 M 上,这样的测量非常有效。但是,对于图 3 - 64 所示电路,当开关 S_1 断开时,也能测量电动机 M 上的直流工作电压,因为这时就是在测量 + V 端的电压,对这种电路,只能通过测量电机回路的电流来进行判断。

由此可知,对不同的电路,同样的测量方法可能会给电路检修带来错误的判断,在电路分析中要能够分析出这一点,以指导对电路的正确检修。

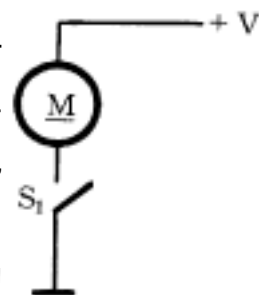


图 3 - 64 控制地线的直流电机控制电路

3. 双速直流电机控制电路

图 3 - 65 所示是双速直流电机的控制电路。电路中, M 是双速电机, S_1 是机芯开关, + V 是直流工作电压。这一电路对电机 M 的控制原理同第一种电路一样。

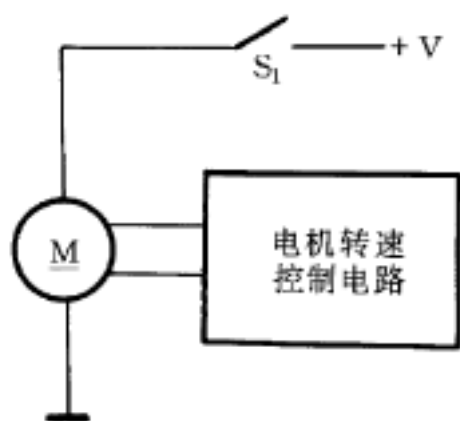


图 3 - 65 双速直流电机控制电路

由于 M 是双速电机, 所以它有四根引脚, 除电源引脚和接地引脚外, 另外两根转换控制引脚接电机转速控制电路。

上述三种直流电机控制电路中, 都有一个开关 S_1 , 它在录音机、卡座上称为机芯开关, 它位于机芯上。当按下放音键、录音键、快倒键、快进键时, 这一机芯开关 S_1 接通, 使直流电机转动。当按下停止键时, 机芯开关 S_1 断开, 电机停止转动。

识图方法和电阻器、电容器、电感器实用 电路详解总汇

前面三章分别介绍了电阻器、电容器和电感器电路及它们混合而成的典型电路,这一章将详细讲解由这三种元器件组成的各种实用电路的工作原理。

在介绍实用电路分析方法之前,先讲解一些学习中会遇到的困难和问题,以及有关电路图的基础知识,这对学会电路分析是相当有益的。

4.1 识图学习方法和动手实践指南

工欲善其事,必先利其器。古人早就总结出这样的道理:在做一件事情前,选择一个得心应手的工具,做起事来就比较顺利。学习电子技术也一样,有一套适合于自己,且行之有效的学习方法,将事半功倍。

初涉电子天地,面对眼花缭乱、错综复杂的电路图,怎么办、怎样学、如何做,看什么样的图书等问题一个接一个,具体学习过程中的困难更是一个难似一个,到底应该怎样做?在进行实用电路分析之前,本节先介绍有关学习方法和动手操作的问题。

4.1.1 识图学习方法

1. 怎样才能学好这门技术

这个问题很大,解决这个问题是一个系统工程,首先需要时间,其次还要多看书和多实践,边看书边实践。

电子技术、无线电维修技术绝不是一门容易学好、短时间内就能够掌握的学科。这门学科所涉及的方方面面很多,各方面又相互联系,首先要在整体上了解,初步掌握它。如果认为通过三到五个月的学习就能掌握这门技术,那是非常天真的想法。

学好这门学科至少包括下列三方面的内容:

掌握电路工作原理,也就是能够看懂电路图,这是其一;

了解故障分析理论和检查方法,也就是面对变化万端的故障现象能够做到心中有“谱”,有思路、有方法,能下手,这是其二;

具备动手操作的能力,也就是能够参与实践活动,在游泳中学会游泳,在动手实践中巩固学到的理论知识,这是其三。

这三方面技能缺一不可,并且相互影响,它们之间是一个不可分割的整体。

从学习方法上讲,看一遍书是不能解决问题的,看一本书是不行的。看书时,要先通读一至二遍,在通读过程中能看懂就去记忆下来,不能看懂的问题就暂时放一边,继续向下看,不要第一遍就精读,就想搞懂书中的所有问题,对初学者来讲这是不可能的,也不科学。通过几遍的通读,对电路工作原理有一定的整体了解之后,再去精读全书。学习中,要以一本书为主教材,辅以多本同类型的书作为参考书,在主教材中有看不懂的部分时,可参考其他书的相关部分,搞懂问题。

从理论与实践之间的关系上讲,理论不能脱离实践,实践要由理论来指导。看看书,动动手,交错进行是一个良性循环的好方法。实践中遇到的问题去请教书本,这种带着问题读书的方法比单纯地读书效果要好得多。在实践中学到的感性知识又可以加深对理论知识的认识和理解。

从动手操作上讲,应先从简单的开始,例如先熟悉一些常见元器件的外形特征,学着用万用表去检测它们的质量,不要一开始就去动手修理电器。

对这门学科有些了解之后,应该集中精力和时间解决一个个小问题,积少成多,不要全面开花,例如,先分析电源电路工作原理,再试着自己装一个小小的稳压电源,然后去学着修理电源电路,在一段相对集中的时间内专门学习电源电路,这样就会对电源电路有比较更为深入的了解,直至能够掌握。

2. 学习应从哪里入手

学习电子技术的面很广,但学习应该从元器件入手。

元器件是组成电子电路的最小单位,是分析电路工作原理的基础,也是修理中最终检测、更换的对象,从了解、掌握元器件的外形特征、结构、工作原理、主要特性、检测方法入门,再进入电路工作原理的学习。当然,也不是要求了解所有的元器件,入门阶段主要是了解电阻器、电容器等最基本的元器件。

3. 无线电类图书有哪几种类型

家用无线电类图书主要有下列六种类型。

基础电路工作原理类图书,可以作为理论知识的入门读物。

元器件常识和检测方法类图书,可以作为动手操作学习的入门读物。

各种电子电器的整机电路工作原理类图书,可以作为系统学习整机电路的入门教材。

修理技术类图书,有故障分析和修理实例,可以作为系统学习修理技术的入门教材。

修理资料类图书,它是修理时的工具书。

使用和保养类图书,它是家用电器使用的好参谋。

4. 初学者选择什么样的教材比较好

初学时应选择入门性的教材,如元器件知识基础、晶体管电路入门等初级性的图书,不要去选择中专、大学的电子技术、电子线路等教科书,否则书中繁多的计算公式、深奥的理论,将使你望而生畏,丧失继续学习的信心。

5. 初学时选择图书还是杂志作为主教材

初学时应该选择图书作为学习的主教材,因为图书的内容系统性强,不受字数的限制,讲解比较详细,图文兼备,适合初学者入门学习。当然,杂志上的一些初学者园地栏目也可以作为参考读物。

6. 如何购买学习用书

购买图书时仅看内容提要是不够的,要详细看目录和粗略翻阅内容。看目录可以了解全书的内容,看目录标题时还要看有多少页码,如对 $\times \times \times$ 标题很感兴趣,看它有多少页码,页码多说明这部分内容讲解比较详细。再看看具体内容,什么都看不懂的书说明不适合自己当前的水平,基础知识还不够,要选更基础一些的图书。

适合自己当前看的同类型书要买二三本,因为不同的作者讲解电路的方式有所不同、侧重点也有可能不同,多看几本参考书有助于电路分析理解水平的提高。

7. 学习感到很困难怎么办

万事开头难,初学阶段感到学习无线电这门学科很困难是非常正常的事情,看不懂、记不住等问题是必然会遇到的,但是总有开头、起步的过程。认识到学习电子技术这门学科的难度,树立一定能够学好的信心,运用科学的学习方法,学习中不断总结适合自己的记忆技巧,坚持数月必有好处。

入门阶段产生许多困难的原因主要有下列几个方面。

所选的教材起点高了一些,应从更基础的教材学起。

学习的方法不对,要加大基础知识学习的力度,并更多地投入实践活动,扩展知识的结构和面,建立更多的感性认识。

暂时适当缩小、调整学习计划,调整一下学习目标,订一个通过努力能够达到的学习计划,重新建立学好这门技术的自信心。

学习的配套工作不全面,比如只是看书没有去动手等。

8. 从基础开始,循序渐进,欲速则不达

电路分析或修理中问题特别多者,说明基础知识掌握不好。有的基础知识在书上一看就懂,一用就错,这时问题就自然来了。如果发现自己看书时不懂的问题特别多,说明看这本书的准备知识还不够,应从更基础的书看起。

学习中不能采取跳跃式,认为自己已经懂的就不去认真学习,跨过几节看后面的内容,这时必然会出现问题很多的现象。

古人云:欲速则不达。

9. 通过一段时间学习后觉得水平没有提高怎么办

经过一段时间学习后,还是不能修理电子设备或家用电器,就觉得自己水平没有提高,这种认识是片面的,甚至是错误的。修理技术所包含的方方面面很广,是一项要求综合能力很强的技术,几个月的学习就能全面了解、初步掌握是不现实的,没有相当长时间的知识积累是很难办到的。

水平有没有提高不能用一二次失败来下结论,因为在某一方面学习进步比较大,但所遇的问题是属于另一方面的,这时当然要失败。

要使某一方面的水平在较短时间内提高是容易的,但是要想在整体上提高识图和修理技术水平就难了。

10. 几个人在一起学习对各人都有好处

初学者因为学习中遇到的问题特别多而影响学习的连续性和计划进度,几个人在一起以讨论的方式学习则可以相互取长补短,相互解答问题,能够大大提高学习质量和速度,这种互助式学习方式是适合初学者学习的好形式。

11. 记不住怎么办

学习中记不住是一种很正常的现象,也普通存在于初学者之中,凡是记不住的东西都是自己接触次数少的、不常用的东西。要在学习过程中找出适合自己的记忆方法,电路图成千上万,靠死记硬背是根本行不通的。

凡是在实践中遇到的问题,通过理论学习后解决的都记得都比较清楚,实践活动可以加强记忆。

12. 画电路图是学习电路工作原理的好方法

学习电路工作原理的过程中,在看懂电路工作原理之后,可以对电路图多画几次,它可以检验学习的效果,也可以加深对电路工作原理的理解。凡是很快能够画出的电路,说明对其工作原理掌握得比较好,总是画不出或画错的部分,就是学习中的薄弱环节。

画电路图时要根据电路工作原理来画,不要死记、默画。

13. 用什么方法能够检验自己的学习效果

对看过的电路图能够很快而准确地进行分析,并能用自己的语言讲出电路的工作原理,能够在不看书的情况下画出学过的电路图,说明电路工作原理的学习已经达到良好的效果。能够在不看书的情况下用万用表检测一般元器件,在不看书的情况下能够有步骤地修理一些简单故障,说明已经具备了一定的动手能力和初步的故障分析水平。

4.1.2 动手操作方法

1. 学习修理时要购置什么样的电烙铁

电烙铁要买 20W 内热式的,它体积小巧、预热时间短。买回来的烙铁是塑料线的,最好换

成防火、防烫的花线,以保证安全。

2. 如何练习焊接技术

焊接技术看起来简单,其实焊好焊点并不是一件容易的事情,这种练习要一步一步进行。先取一根细的多股导线,将它剪成十段,再将它们焊成一个圆圈。然后,在多股导线中抽出一根来,也将它们分成十段,也焊接成一个圈。通过焊接导线练习之后,再去焊接元器件、线路板时就会得心应手,应付自如。

3. 为什么烙铁头上不粘锡

当烙铁烧死后就不能粘锡,这是因为烙铁长时间通电不用所致。此时,断开烙铁电源后,用锉刀将烙铁头锉出紫铜色,然后给烙铁通电,待烙铁头有些热后搪些松香,再搪些焊锡,使焊锡包住整个烙铁头部,即可使用。

长时间通电而不使用电烙铁时,就会出现这种烧死现象,应该避免这种现象的发生,在不用烙铁时应及时切断电源。

4. 怎样的操作程序才能焊出合格的焊点

初学者往往认为焊接是学习中最简单的事,这是非常错误的,要引起足够的重视。严格按照焊接规定进行操作,才能焊出合格的焊点。

先要在焊接处表面除去氧化层(可用刀片刮),再加松香后搪上锡,最后去焊接,对于每一个焊点都要进行上述处理。不作上述处理而直接去焊接时,焊出的焊点很可能是不合格的焊点。

当焊点表面不光滑、有毛刺、有气孔时,说明这一焊点很可能是假焊或虚焊。正常的焊点呈半球形状,其表面光滑、均匀,各焊点大小一致。

5. 如何练习从线路板上拆下元器件

这种练习可以找一块坏的收音机线路板,练习使用电烙铁从线路板上将各元器件一一拆下,拆卸中要做到不烫坏线路板上的铜箔线路和元器件。电烙铁在焊点上停留的时间不可太久,否则会烫坏线路板上的铜箔线路。

6. 购置什么样的万用表比较好

万用表可以买只几十元左右的,如 MF78 型万用表,它有交流电流、直流电流、交流电压、直流电压、电阻等 21 挡,还设有电平、电容、电感和晶体管直流参数这四种附加参考量程。

也可以买再好一点一百多元的,如 MF47 型万用表,它设有直流电流、交流电压、直流电压、电阻等 26 挡,还设有电平、电容、电感和晶体管直流参数这七种附加参考量程。

初学阶段不必买很好的万用表,一方面是不会操作容易损坏,另一方面是简易万用表已经够用。

最好不要去买数字式万用表,因为许多图书中所介绍的元器件检测方法都是采用普通万用表的检测方法。

7. 如何学会使用万用表

只是看万用表的使用说明书是不行的,在一些初学者入门的书中,均介绍万用表的使用方法,有些介绍元器件检测的书中,内容虽然更加接近实际,但是仅看这类使用说明之类的书还是不行的,要采用边看边动手操作的学习方法,即根据书中的介绍,找一些元器件来,按照书中的操作步骤一步步进行元器件检测,通过一二次的实际操作,很快就会掌握万用表的使用,而且记得牢固。

8. 初学时采取哪些措施能保护万用表

初学时对万用表的操作不熟悉,搞不好就会损坏万用表。为了尽可能地避免损坏万用表,开始时应学习欧姆挡的使用,这一测量练习中就是操作错误也不会损坏万用表。

在有了一些万用表实际操作经验后,再去练习测量电压和电流,注意,其中的电流测量最容易损坏万用表。

9. 电子制作和维修中要注意哪些安全问题

对于初学者而言,由于不懂,“胆量”很大,盲目性也大,这时容易有触电危险,触电主要来自于 220V 的交流市电,在操作中要养成单手操作的习惯,鞋子要绝缘良好。

220V 交流市电主要来自于电烙铁的外壳漏电和电源引线烫破、电源插座、交流供电的电器设备,测量 220V 电压时手不能碰到万用表的表棒金属部位。要经常检查电烙铁、电源引线等。

10. 如何识别电子元器件

在一些介绍元器件的书中,有元器件的外形示意图,可通过看图识别。

最好的学习方法是到元器件商店里去看看,各种元器件旁均标出了元器件名称,这样可以很快将名称与实物对照起来。

为了验证一下自己的学习效果,可以再找些坏的收音机或其他电子产品的线路板,在线路板上分辨各种元器件。这一步的练习虽然很简单,但是却很重要,在学习的开始阶段应尽快过这一关。

11. 如何识别线路板上的元器件

首先要认识各种常见元器件,这样才能认识线路板上的其他元器件。对于线路板上某些不认识的元器件,可通过电原理图去认识它,此时在线路板上找出它在电原理图中的电路编号,再到电原理图中根据电路编号找出电原理图中的相应元器件电路符号,通过电路符号或电路来认识该元器件。

12. 如何在线路板上找到电原理图中的元器件

这个问题要在实践中才能解决,开始做这种练习时,要用结构简单的机器,或只用整机电路中的某一部分电路,如电源电路部分,有了一定经验后,再进行整机电路图中元器件的识别练习。

在线路板上找到电原理图中元器件的具体做法是这样:在电路图中选定某个元器件,例如电源电路中的电阻器 R_1 ,先在线路板上找到电源电路,线路板上有许多二极管在一起,还有一只体积很大的电解电容器,这堆元器件就是电源电路中的元器件。然后,在这堆元器件中,找出标注为 R_1 的电阻器。

13. 如何学习用万用表检测元器件

这种练习可以这样进行:根据书中介绍的元器件检测方法,在已经初步掌握万用表的使用方法后,找一些元器件,边看书边检测,根据书中介绍的检测步骤一步步进行检测,这样的学习比单纯看书或只动手不看书要好许多,有了感性认识容易记得住。

14. 学习中要买哪些元器件

初学阶段可以不去买什么元器件,找一只坏收音机的线路板,将线路板上的元器件拆下来,整理一下就可以用来进行元器件的检测练习。

15. 电子小制作对学习有什么益处

有了一定的理论和动手能力后,进行一些电子小制作对提高自己的理论水平、动手技能、故障分析和处理能力都是有益的,初次制作时涉及的东西较多,什么工具、元器件、制作线路板、外壳等等,为了使第一次自己动手获得成功,应买套件而不是什么都自己去配。选择套件时要注意选简单的,太复杂的也不行,如可以选择装一个电子音乐门铃等。

16. 通过电子制作来提高动手能力是否最好

电子制作是一种锻炼自己动手能力的好方法,它可以得到多方面的锻炼,如用万用表检测元器件质量,练习焊接元器件,学会根据印制线路图装配元器件,能够将电原理图、印制线路图和元器件三者对应起来。当装配后有故障时,还可以学着用万用表进行电压、电流的测量,元器件的在路检测等。

17. 修理无线电与电子制作先进行哪一项最好

在经济条件允许的情况下,应该多进行几次电子制作后再进行修理实践,因为电子制作是有思想准备的动手实践活动,可以比较容易地做到从简单到复杂,而家电维修中故障的种类繁多,知识结构不完备时很难达到预期效果。

18. 在初次装配电子制作套件前要做哪些工作

将套件中的电阻器和电容器等元器件分开别在一张纸上,通过万用表测量或识别,在每个元件旁标出电阻器的阻值大小,电容器的容量大小,并标出它们在电原理图中的电路编号,以方便装配。

用万用表检测套件中各元器件的质量,并清除元器件引脚上的氧化层。看懂电原理图的工作原理,在有装配说明时要认真阅读。

19. 如何焊接套件中的元器件

先将套件中的各元器件根据印制线路图一一插入线路板相应引脚孔中,元器件插入孔中

后,将引脚弯曲,以防止元器件脱落。

在核对元器件没有插错位置后进行焊接,焊接时选用细的焊锡丝,将焊锡丝放在引脚与铜箔线路上,用烙铁同时接触焊锡和引脚,适当用力,焊锡熔解,焊锡丝中的助焊剂流出,有助于焊接。

要求焊点大小适中,表面光滑。全部元器件焊好后,用剪刀或斜口钳剪掉多余的引脚。然后,将线路板上的有关引线接上(如电源线、地线、信号传输线等)。

在检查装配、焊接无误后通电试验。如果装配后出现故障,则进入检修程序。

20. 装好配件后电路没有实现正常功能怎么办

若一次性装好套件后就能正常工作,这样的装配实验意义并不大,出现问题反而是好事,通过修理会学到更多的东西。

修理时,先检查元器件是否装错位置、二极管正极和负极是否装反、三极管的三根引脚是否搞错等,再重新熔焊各元器件的引脚焊点(对初学者而言这是一个大问题),必要时可以全部拆下后重新焊接。

上述检查无收效后,仔细分析电路的工作原理,再进行测量直流电压、检测有关元器件(在焊接过程中容易损坏元器件)等检查。

21. 具备哪些条件后才能进行家电维修

比较清楚家用电器的电路工作原理,有初步的故障分析能力,已了解检查故障的一般步骤,最好已多次目睹他人的修理活动。

同时,要有万用表并会用它进行电阻、电压、电流的测量,有所要检修机器的电原理图,初次修理时,最好能有一位高手在旁边加以指导。

22. 初次修理家用电器时应注意什么

初次修理家用电器若能获得成功,无疑对自己是一个极大的鼓舞,所以应选择容易修理的故障,如完全无声故障、简单电源电路中的一些故障,对于很难处理的故障,可以暂不去接触它,修不好会挫伤自己的信心。

23. 修理中无从下手怎么办

初次修理遇到这一问题是非常正常的。此时,先通过试听检查了解故障的具体现象,这样可以确定是什么类型的故障,然后找书,根据书中介绍的故障检查步骤和具体方法,一步步去检查。

有可能根据书中的指导还没有发现故障部位,这可能是书没有找对,也可能是没有正确地按照书中介绍的方法去进行检查,也有可能所修理的故障比较特殊,书中没有具体介绍这种故障的检查方法。

24. 修理中遇到问题怎么办

在进入整机电路修理时,自己的理论知识、动手技能、故障分析水平都应该有一定基础了,否则就不要去接触修理。

修理中遇到问题时去请教书本,可以找介绍故障实例的书,在众多修理实例中,根据故障现象找一例与自己所修机器非常接近的实例,参考书中的检修过程、所用方法和具体步骤,指

导自己一步步修理。

另一种方法是找故障分析的图书,这种书中没有修理实例,但它给出了各种故障的可能原因,根据书中所提示的各种故障原因,在自己所修机器中一一去检查、排除、确定。

当通过自己的努力而无收获后,可以请教他人,但不能一开始就去问别人,否则对自己的修理水平提高没有益处。

25. 接触几台机器都没有修好怎么办

连着修理几台机器都没有修好,说明当前的水平还没有达到自己独立修理的程度,应该将主要精力回到理论学习上,靠运气或盲目动手是不科学的。

26. 影响修理的因素有哪些

除前面介绍的理论水平、故障分析能力、动手技能外,影响修理的因素还有:是否有电原理图、修理资料是否齐全、工具是否得心应手、元器件配件是否齐备等。

理论指导实践不是口号,是普遍真理,不可不信。

27. 修理之后要做些什么工作

在修好一台机器后,要及时总结修理过程中的得失,好好想一想,做一个修理记录,如记下机器型号、故障现象、检修过程、检查结论等,在总结过程中的收获要比实际修好一台机器的意义更大。

4 2 电路图常识

4 2 .1 电子电路图和种类

1. 电路图举例

图 4 - 1 所示是一张简单电路图的例子。电子电路图用来表示实际电子电路的组成、结构、元器件标称值等信息。

从这一电路图中可以看出,这一电路由电阻器 R_1 、 R_2 、 R_3 、电容器 C_1 、 C_2 、 C_3 和三极管 VT_1 等元器件组成。各元器件之间的连接线路表明了这一电路中各元器件之间的连接关系, R_1 下面的 270k 表示该电阻的标称阻值, C_1 下面的 100 是该电容的标称容量,不标单位是 pF, VT_1 下面的 2SC536 是该三极管的型号。

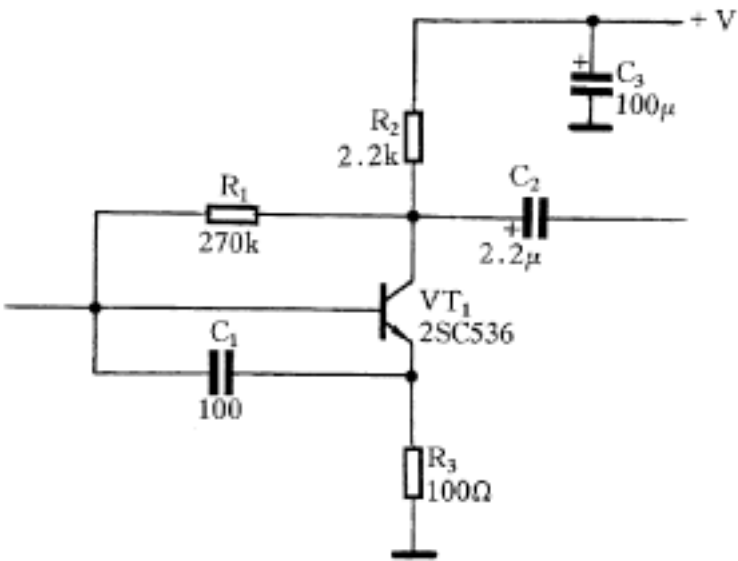


图 4 - 1 电路示意图

2. 电路图种类

了解电路图种类和掌握各种电路图的基本分析方法,是学习电子电路工作原理的第一步。无线电路图主要有以下 6 种。

方框图,这其中还包括整机电路方框图、系统方框图等。

单元电路图。

等效电路图。

集成电路应用电路图。

整机电路图。

印制线路图。

4 2 2 方框图功能及识图方法

1. 方框图举例

图 4 - 2 所示是一个两级音频信号放大系统的方框图,从图中可以看出,这一系统电路主要由信号源电路、第一级放大器、第二级放大器和负载电路构成,从这一方框图也可以知道,这是一个两级放大器电路。

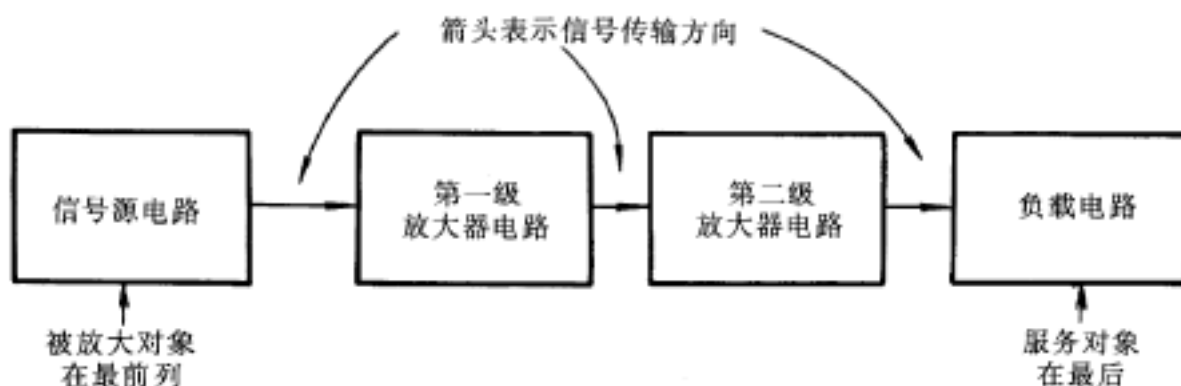


图 4 - 2 方框图示意图

2. 方框图种类

方框图种类较多,主要有如下三种。

整机电路方框图。

系统电路方框图。

集成电路内电路方框图。

3. 整机电路方框图

这是表达整机电路图的方框图,也是众多方框图中最为复杂的方框图,关于整机电路方框图,主要说明下列几点。

从整机电路方框图中,可以了解到整机电路的组成和各部分单元电路之间的相互关系。

在整机电路方框图中,通常在各个单元电路之间用带有箭头的连线进行连接,通过图中的这些箭头方向,还可以了解到信号在整机各单元电路之间的传输途径等。

有些机器的整机方框图比较复杂,有的用一张方框图表示整机电路结构情况,有的则将整机电路方框图分成几张。

并不是所有的整机电路在图册资料中都给出整机电路的方框图,但是,同类型的整机电路其整机电路方框图基本上是相似的,所以利用这一点,可以借助于其他整机电路方框图了解整机电路组成等情况。

整机电路方框图不仅是分析整机电路工作原理的有用资料,更是故障检修中逻辑推理、建立正确检修思路的依据。

4. 系统电路方框图

一个整机电路通常由许多系统电路构成,系统电路方框图就是用方框图形式来表示该系统电路的组成等情况,它是整机电路方框图下一级的方框图,往往系统方框图比整机电路方框图更加详细,图 4 - 2 所示就是一个两级音频放大系统电路的方框图。

5. 集成电路内电路方框图

集成电路内电路方框图是一种十分常见的方框图。集成电路内电路的组成情况可以用内电路或内电路方框图来表示,由于集成电路内电路十分复杂,所以在许多情况下,用内电路方框图来表示集成电路的内电路组成情况更利于识图。

从集成电路的内电路方框图中,可以了解到集成电路的组成、有关引脚作用等识图信息,这对分析该集成电路的应用电路是十分有用的,图 4 - 3 所示是某型号收音中放集成电路的内电路方框图。

从这一集成电路内电路方框图中可以看出,这一集成电路内电路由本机振荡器电路,第一、二、三级中频放大器电路和检波器电路组成。

集成电路一般引脚比较多,内电路功能比较复杂,所以在进行电路分析时,能有集成电路的内电路方框图是很有帮助的。

6. 方框图的功能

方框图具有下列一些功能。

粗略表达了某复杂电路(可以是整机电路、系统电路和功能电路等)的组成情况,通常是给出这一复杂电路的主要单元电路位置、名称,以及各部分单元电路之间的连接关系,如前级和后级关系等信息。

方框图表达了各单元电路之间的信号传输方向,从而能了解信号在各部分单元电路之间的传输次序;根据方框图中标出的电路名称,可以知道信号在这一单元电路中的处理过程,为分析具体电路提供了指导性的信息。

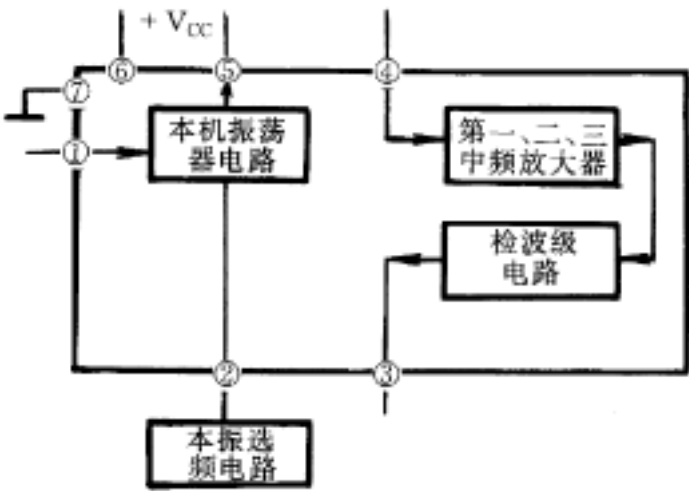


图 4 - 3 集成电路内电路方框图

如图 4 - 2 所示的方框图给出了这样的识图信息:信号源输出的信号首先加到第一级放大器中放大(信号源电路与第一级放大器之间的箭头方向提示了信号传输方向),然后送入第二级放大器中放大,再激励负载。

方框图是一张重要的电路图,特别是在分析集成电路应用电路图、复杂的系统电路、了解整机电路组成情况时,没有方框图将造成识图的诸多不便和困难。

7. 方框图的特点

提出方框图的概念主要是为了识图的需要,了解方框图的下列一些特点对识图、修理具有重要意义。

方框图简明、清楚,可方便地看出电路的组成和信号的传输方向、途径,以及信号在传输过程中受到的处理过程等,例如信号是得到了放大还是受到了衰减。

由于方框图比较简洁、逻辑性强,所以便于记忆,同时它所包含的信息量大,这就显得方框图更为重要。

方框图有简明的也有详细的,方框图愈详细为识图提供的有益信息就愈多,在各种方框图中,集成电路的内电路方框图最为详细。

方框图中往往会标出信号传输的方向(用箭头表示),它形象地表示了信号在电路中的传输方向,这一点对识图是非常有用的,尤其是集成电路内电路方框图,它可以帮助了解某引脚是输入引脚还是输出引脚(根据引脚上的箭头方向得知这一点)。

分析一个具体电路工作原理之前,或者在分析集成电路的应用电路之前,先分析该电路的方框图是必要的,有助于分析具体电路的工作原理。在几种方框图中,整机方框图是最重要的方框图,要牢记在心中,这对修理中逻辑推理的形成和故障部位的判断十分重要。

8. 方框图识图方法

关于方框图的识图方法,说明以下三点。

了解整机电路图中的信号传输过程时,主要是看图中箭头的方向,箭头所在的通路表示了信号的传输通路,箭头方向指示了信号的传输方向。在一些音响设备的整机电路方框图中,左、右声道电路的信号传输指示箭头采用实线和虚线来分开表示。

记忆一个电路系统的组成时,由于具体电路太复杂,所以要用方框图。在方框图中,可以看出各部分电路之间的相互关系(相互之间是如何连接的),特别是控制电路系统,可以看出控制信号的传输过程,控制信号的来路和控制的对象。

分析集成电路的应用电路过程中,没有集成电路的引脚作用资料时,可以借助于集成电路的内电路方框图来了解、推理引脚的具体作用,特别是可以明确地了解哪些引脚是输入脚,哪些是输出脚,哪些是电源引脚,而这三种引脚对识图是非常重要的。当引脚引线的箭头指向集成电路外部时,这是输出引脚,箭头指向朝里是输入引脚。

举例说明:如图 4 - 3 所示方框图,集成电路的 脚引线箭头向里,为输入引脚,说明信号是从 脚输入到变频级电路中,所以 脚是输入引脚; 脚引脚上的箭头方向朝外,所以 脚是输出引脚,变频后的信号从该引脚输出。 脚也是输入引脚,输入的是中频信号,因为信号输入到中频放大器电路中,所以输入的信号是中频信号。 脚也是输出引脚,输出经过检波后的音频信号。

当引线上没有箭头时,例如集成电路的脚,说明该引脚外电路与内电路之间不是简单的输入或输出关系,方框图只能说明脚内、外电路之间存在着某种联系,脚要与外电路中本机振荡器电路中的有关元器件相连,具体是什么联系,方框图就无法表达清楚了,这也是方框图的一个不足之处。

另外,在一些集成电路内电路方框图中,有的引脚上箭头是双向的,这种情况在数字集成电路中多见,这表示信号能够从该引脚输入,也能从该引脚输出。

9. 方框图识图注意事项

方框图的识图要注意以下几点。

厂方提供的电路资料中,一般情况下都不给出整机电路方框图,不过大多数同类型机器其电路组成是相似的,可以利用这一特点用一种机器的整机方框图作为参考。

一般情况下,对集成电路的内电路是不必进行分析的,只需要通过集成电路内电路方框图来理解信号在集成电路内电路中的放大和处理过程。

方框图是众多电路中首先需要记忆的电路图,所以记住整机电路方框图和其他一些主要系统电路的方框图,是学习电子电路的第一步。

4 2 3 单元电路图的功能及识图方法

单元电路是指某一级控制器电路,或某一级放大器电路,或某一个振荡器电路、变频器电路等,它是能够完成某一电路功能的最小电路单位。从广义角度上讲,一个集成电路的应用电路也是一个单元电路。

学习整机电子电路工作原理过程中,单元电路图是首先遇到的具有完整功能的电路图,这一电路图概念的提出,完全是为了方便电路工作原理分析之需要。

1. 单元电路图的功能

单元电路图具有下列一些功能。

单元电路图主要用来讲述电路的工作原理。

单元电路图能够完整地表达某一级电路的结构和工作原理,有时还会全部标出电路中各元器件的参数,如标称阻值、标称容量和三极管型号等。

单元电路图对深入理解电路的工作原理和记忆电路的结构、组成很有帮助。

2. 单元电路图的特点

单元电路图具有下列一些特点。

单元电路图主要是为了分析某个单元电路工作原理的方便,而单独将这部分电路画出的电路,所以在图中已省去了与该单元电路无关的其他元器件和有关的连线、符号,这样,单元电路图就显得比较简洁、清楚,识图时没有其他电路的干扰,这是单元电路的一个重要特点。单元电路图中对电源、输入端和输出端已经加以了简化,如图4-4所示。

电路图中,用 $+V$ 表示直流工作电压,其中正号表示采用正极性直流电压给电路供电,地端接电源的负极;用 $-V$ 表示直流工作电压,其中负号表示采用负极性直流电压给电路供电,

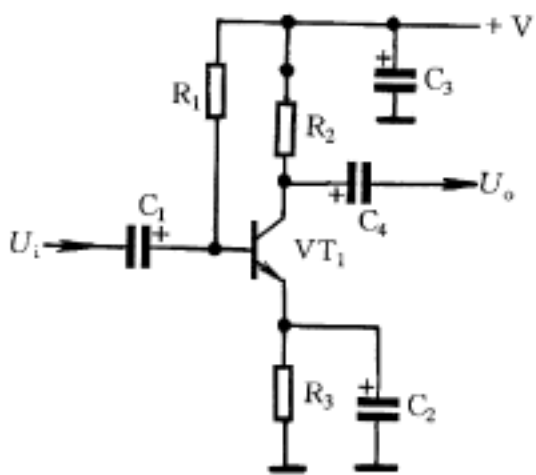


图 4 - 4 单元电路图示意图

地端接电源的正极; U_i 表示输入信号, 是这一单元电路所要放大或处理的信号; U_o 表示输出信号, 是经过这一单元电路放大或处理后的信号。通过单元电路图中这样的标注可方便地找出电源端、输入端和输出端, 而在实际电路中, 这三个端点的电路均与整机电路中的其他电路相连, 没有 $+V$ 、 U_i 、 U_o 的标注, 给初学者识图造成了一定的困难。

例如: 见到 U_i 可以知道信号是通过电容 C_1 加到三极管 VT_1 基极的; 见到 U_o 可以知道信号是从三极管 VT_1 集电极输出的, 这相当于在电路图中标出了放大器的输入端和输出端, 无疑大大方便了电路工作原理的分析。

单元电路图采用习惯画法, 一看就明白, 例如元器件采用习惯画法, 各元器件之间采用最短的连线, 而在实际的整机电路图中, 由于受电路中其他单元电路中元器件的制约, 该单元电路中的有关元器件画得比较乱, 有的在画法上不是常见的画法, 有的个别元器件画得与该单元电路相距较远, 这样, 电路中的连线很长且弯弯曲曲, 造成电路识图和电路工作原理理解的不方便。

单元电路图只出现在讲解电路工作原理的书刊中, 实用电路图中是不出现的。对单元电路的学习是学好电子电路工作原理的关键。只有掌握了单元电路的工作原理, 才能去分析整机电路。

3. 单元电路图识图方法

单元电路的种类繁多, 而各种单元电路的具体识图方法有所不同, 这里只对共同性的问题说明几点。

有源电路(需要直流电压才能工作的电路称为有源电路, 例如放大器电路)要先分析直流电压供给电路, 此时将电路图中的所有电容器看成开路(因为电容器具有隔直特性), 将所有电感器看成短路(电感器具有通直流电的特性)。直流电路的识图方向一般是先从右向左, 再从上而下。

信号传输过程分析, 即信号在该单元电路中是如何从输入端传输到输出端的, 信号在这一传输过程中受到了怎样的处理(如放大、衰减、控制等)。信号传输的识图方向一般是从左向右进行。

元器件作用分析, 即电路中各元器件起什么作用, 主要是从直流和交流两个角度去分析这些元器件在电路中的作用。

电路故障分析, 即假设当电路中元器件出现开路、短路、性能变劣后, 对整个电路工作会造成什么样的不良影响, 使输出信号出现什么故障现象(如没有输出信号、输出信号小、信号失真、出现噪声等)。进行电路故障分析时, 主要是对电路中的主要元器件进行这种分析。在搞懂电路工作原理之后, 元器件的故障分析才会变得比较简单。

整机电路中的各种功能单元电路繁多, 许多单元电路的工作原理十分复杂, 若在整机电路中直接进行分析, 就显得比较困难, 通过单元电路图分析之后, 再去分析整机电路就显得比较简单, 所以单元电路图的识图也是为整机电路分析服务的。

4 2 4 等效电路图的识图方法

等效电路图是一种简化形式的电路图,它的电路形式与原电路有所不同,但电路所起的作用与原电路是一样的(等效的),关于等效电路图在前面已经介绍,这里不再说明。

4 2 5 集成电路应用电路的功能及识图方法

在无线电设备中,集成电路的应用愈来愈广泛,对集成电路应用电路的识图是电路分析中的一个重点。

1. 集成电路应用电路图功能

集成电路应用电路图具有下列一些功能。

它表达了集成电路各引脚外电路结构、元器件参数等,从而表示了某一集成电路的完整工作情况。

有些集成电路应用电路中,画出了集成电路的内电路方框图,这时对分析集成电路应用电路是相当方便的,但采用这种表示方式的情况不多。

集成电路应用电路有典型应用电路和实用电路两种,前者在集成电路手册中可以查到,后者出现在实用电路中,这两种应用电路相差不大,根据这一特点,在没有实际应用电路时,可以用典型应用电路图作为参考电路,这一方法在修理中常常采用。

一般情况下,集成电路应用电路表达了一个完整的单元电路,或一个电路系统,但有些情况下,一个完整的电路系统要用到两个或更多的集成电路。

2. 集成电路应用电路特点

集成电路应用电路图具有下列一些特点。

大部分应用电路不画出内电路方框图,这对识图不利,尤其对初学者进行电路工作分析时更为不利。

对初学者而言,分析集成电路的应用电路比分析分立元器件的电路更为困难,这是由于对集成电路内部电路不了解而造成的,实际上识图也好、修理也好,集成电路比分立元器件电路更为简便。

对集成电路应用电路而言,大致了解集成电路内部电路和详细了解各引脚作用的情况下,识图是比较方便的。这是因为同类型集成电路具有规律性,在掌握了它们的共性后,可以方便地分析许多同功能不同型号的集成电路应用电路。

3. 了解各引脚的作用是识图的关键

了解各引脚的作用可以查阅有关集成电路应用手册。知道了各引脚作用之后,分析各引脚外电路工作原理和元器件作用就方便了。例如:知道集成电路的 脚是输入引脚,那么与脚所串联的电容是输入端耦合电路,与 脚相连的电路是输入电路。

4. 了解集成电路各引脚作用的三种方法

了解集成电路各引脚作用有下列三种方法。

查阅有关资料。

根据集成电路的内电路方框图分析。

根据集成电路的应用电路中各引脚外电路的特征进行分析。

对第三种方法要求有比较好的电路分析基础。

5. 电路分析步骤

集成电路应用电路的具体分析步骤如下。

直流电路分析。这一步主要是进行电源和接地引脚外电路的分析。注意:电源引脚有多根引脚时,要分清这几个电源之间的关系,例如是否是前级、后级电路的电源引脚,或是左右声道的电源引脚;对多个接地引脚也要这样分清。分清多个电源引脚和接地引脚,对修理是有用的。

信号传输分析。这一步主要分析信号输入引脚和输出引脚外电路。当集成电路有多个输入、输出引脚时,要搞清楚是前级还是后级电路的输出引脚;对于双声道电路,还要分清左、右声道的输入和输出引脚。

其他引脚外电路分析。例如找出负反馈引脚、消振引脚等,这一步的分析是最困难的,对初学者而言,要借助于引脚作用资料或内电路方框图。

有了一定的识图能力后,要学会总结各种功能集成电路的引脚外电路规律,并要掌握这种规律,这对提高识图速度是有用的。例如,输入引脚外电路的规律是:通过一个耦合电容或一个耦合电路与前级电路的输出端相连;输出引脚外电路的规律是:通过一个耦合电路与后级电路的输入端相连。

分析集成电路内电路的信号放大、处理过程时,最好是查阅该集成电路的内电路方框图。分析内电路方框图时,可以通过信号传输线路中的箭头指示,知道信号经过了哪些电路的放大或处理,最后信号是从哪个引脚输出。

了解集成电路的一些关键测试点、引脚直流电压规律对检修电路是十分有用的。OTL 电路输出端的直流电压等于集成电路直流工作电压的一半;OCL 电路输出端的直流电压等于 0V;BTL 电路两个输出端的直流电压是相等的,单电源供电时等于直流工作电压的一半,双电源供电时等于 0V。当集成电路两个引脚之间接有电阻时,该电阻将影响这两个引脚上的直流电压;当两个引脚之间接有线圈时,这两个引脚的直流电压是相等的,不等时必是线圈开路了;当两个引脚之间接有电容或接 RC 串联电路时,这两个引脚的直流电压肯定不相等,若相等说明该电容已经击穿。

一般情况下不要去分析集成电路的内电路工作原理,这是相当复杂的。

4 2 6 整机电路图和识图方法

1. 整机电路图的功能

整机电路图具有下列一些功能。

整机电路图表明整个机器的电路结构、各单元电路的具体形式和它们之间的连接方式,从而表达了整机电路的工作原理,这是电路图中最大的一张电路图。

整机电路图给出了电路中所有元器件的具体参数,如型号、标称值和其他一些重要数据,为检测和更换元器件提供了依据。更换某个三极管时,查阅图中的三极管型号标注就能知道。

许多整机电路图中还给出了有关测试点的直流工作电压,为检修电路故障提供了方便,例如集成电路各引脚上的直流电压标注,三极管各电极上的直流电压标注等,都为检修这部分电路提供了方便。

整机电路图给出了与识图相关的有用信息。例如:通过各开关件的名称和图中开关所在位置的标注,可以知道该开关的作用和当前开关状态;引线接插件的标注能够方便地将各张图纸之间的电路连接起来。一些整机电路图中,将各开关件的标注集中在一起,标注在图纸的某处,并有开关的功能说明,识图中若对某个开关不了解时,可以去查阅这部分说明。整机电路图中还有其他一些有益识图的信息。

2. 整机电路图的特点

整机电路图与其他电路图相比,具有下列一些特点。

整机电路图包括了整个机器的所有电路。

不同型号的机器其整机电路中的单元电路变化是十分丰富的,这给识图造成了不少困难,要求有较全面的电路知识。同类型的机器其整机电路图有其相似之处,不同类型机器之间则相差很大。

各部分单元电路在整机电路图上的画法有一定规律,了解这些规律对识图是有益的,其分布规律一般情况是:电源电路画在整机电路图右下方;信号源电路画在整机电路图的左侧;负载电路画在整机电路图的右侧;各级放大器电路是从左向右排列的,双声道电路中的左、右声道电路是上下排列的;各单元电路中的元器件是相对集中在一起的。记住上述整机电路的特点,对整机电路图的分析是有益的。

3. 整机电路图识图方法和注意事项

关于整机电路图的识图方法和注意事项如下。

一般情况下,信号传输的方向是从整机电路图的左侧向右侧。

直流工作电压供给电路的识图方向是从右向左进行,对某一级放大电路的直流电路识图方向则是从上而下。

对整机电路图的分析内容主要有:各部分单元电路在整机电路图上的具体位置;单元电路的类型;直流工作电压供给电路分析;交流信号传输分析;对一些单元电路的工作原理进行重点分析,这些单元电路是以前未见过的、比较复杂的。

对于分成几张图纸的整机电路图,可以一张一张地进行识图,如果需要进行整个信号传输系统的分析,则要将各图纸连起来进行分析。

对整机电路图的识图,可以在学习了一种功能单元电路之后,在几张同类型的整机电路图中去找到这一功能的单元电路,分别进行分析。由于在整机电路图中的单元电路变化多,且电路的画法受其他电路的影响而与单个画出的单元电路不一定相同,所以加大了识图的难

度。

分析整机电路过程中,若对某个单元电路的分析有困难,例如对某型号集成电路应用电路的分析有困难,可以查找这一型号集成电路的识图资料(内电路方框图、各引脚作用等),以帮助识图。

一些整机电路图中会有许多英文标注,能够了解这些英文标注的含义,对识图是相当有利的。在某型号集成电路附近标出的英文说明,就是该集成电路的功能说明。

4 2.7 印制线路图的识图方法

印制线路图与修理密切相关,对修理的重要性仅次于整机电原理图,印制线路图主要是为修理服务的。

1. 印制线路图的种类

印制线路图有下列两种表现形式。

图纸表示方式。用一张图纸(称之为印制线路图)画出各元器件的分布和它们之间的连接情况,这是传统的表示方式,在过去大量使用。

直标方式。没有一张专门的印制线路图纸,而是采取在线路板上直接标注元器件编号的方式,如在线路板上某三极管附近标有 $1VT_2$, 这 $1VT_2$ 是该三极管在电原理图中的编号,用同样方法将各种元器件的电路编号直接标注在线路板上。这种表示方式在进口机器广泛采用,近年来国产机器中也大量采用这种表示方式。

这两种印制线路图各有优、缺点。对前者,由于印制线路图可以拿在手中,在印制线路图中找出某个所要找的元器件相当方便,但是在图上找到元器件后,还要用印制线路图到线路板上进行对照后,才能找到该元器件实物,有两次寻找、对照的过程,比较麻烦。另外,图纸容易丢失。

对后者,在线路板上找到了某元器件编号便找到了该元器件,所以只有一次寻找过程。另外,这份“图纸”永远不会丢失。不过,当线路板较大、有数块线路板或线路板在机壳底部时,寻找就比较困难。

2. 印制线路图的功能

印制线路图是专门为元器件装配和机器修理服务的图,它与各种电路图有着本质上的不同。印制线路图的主要功能如下。

印制线路图是一种十分重要的修理资料,它将线路板上的情况一比一地画在印制线路图上。

印制线路图表示了电原理图中各元器件在线路板上的分布状况和具体的位置,给出了各元器件引脚之间连线(铜箔线路)的走向。

通过印制线路图,可以方便地在实际线路板上找到电原理图中某个元器件的具体位置,没有印制线路图时,查找就不方便。

印制线路图起到电原理图 and 实际线路板之间的沟通作用,是方便修理不可缺少的图纸资料之一,没有印制线路图将影响修理速度,甚至妨碍正常检修思路的顺利展开。

3. 印制线路图的特点

印制线路图具有下列一些特点。

从印制电路设计的效果出发,线路板上的元器件排列、分布不像电原理图那么有规律,这给印制线路图的识图带来了诸多不便。

铜箔线路排布、走向比较“乱”,而且经常遇到几条铜箔线路并行排列,给观察铜箔线路的走向造成不便。

印制线路图上画有各种表示铜箔线路的线条,这些线条的画法没有固定的规律,给识图造成不便。

印制线路图中表示元器件时用其电路符号,表示各元器件之间连接关系时用铜箔线路,有些铜箔线路之间还用跨导线连接,或者用直线连接,所以印制线路图看起来很“乱”,这些都影响识图。

4. 印制线路图识图方法和技巧

由于印制线路图比较“乱”,采用下列一些方法和技巧可以提高识图速度。

找地线时,线路板上大面积铜箔线路是地线,一块线路板上的地线是相连的。另外,一些元器件的金属外壳是接地的。找地线时,上述任何一处都可以作为地线使用。在一些机器的各层线路板之间,它们的地线也是相连接的,但是当每层之间的接插件没有接通时,各层之间的地线是不通的,这一点在检修时要注意。

尽管元器件的分布、排列没有什么规律,但同一个单元电路中的元器件相对而言是集中在一起的。

根据一些元器件的外形特征可以在线路板上找到这些元器件,例如集成电路、功率放大管、开关件、变压器等。对于集成电路而言,根据集成电路上的型号可以找到某个具体的集成电路。

整机电路中的一些单元电路是比较有特征的,根据这些特征可以方便地找到它们。例如,整流电路中的二极管比较多,当线路板上有几只二极管在一起时,这很可能是整流电路中的二极管。另外,功率放大管上有散热片,滤波电容的容量最大、体积最大等,利用这些特征可以方便地在线路板上找出这些元器件。

找某个电阻器或电容器时,不要直接去找它们,因为电路中的电阻器、电容器很多,找起来很不方便,可以间接地找到它们,方法是先找到与它们相连的三极管或集成电路,再找到它们。

举例:如图 4 - 5(a)所示,如果要寻找电路中的 R_1 ,先找到集成电路 A_1 ,因为电路中的集成电路较少,目标明显,找到集成电路 A_1 比较方便。然后,利用集成电路的引脚分布规律找到脚和 脚,这两根引脚之间就是电阻 R_1 。如图 4 - 5(b)所示,找 C_1 时,先找到三极管 VT_1 ,再找出它的发射极,发射极上接的是 C_1 。

观察线路板上元器件与铜箔线路连接情况、观察铜箔线路走向时,可以用灯照着,如图 4 - 6 所示,将灯放置在有铜箔线路的一面,在装有元器件的一面可以清晰、方便地观察到铜箔线路与各元器件的连接情况,这样可以省去线路板的翻转。不断翻转线路板不但烦,而且容易折断线路板上的引线。

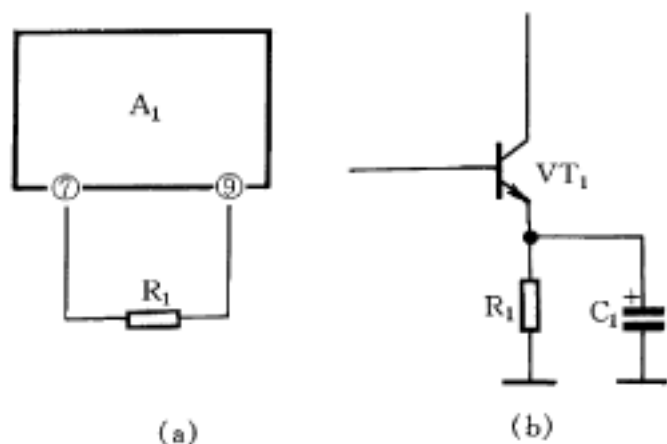


图 4 - 5 寻找元器件示意图

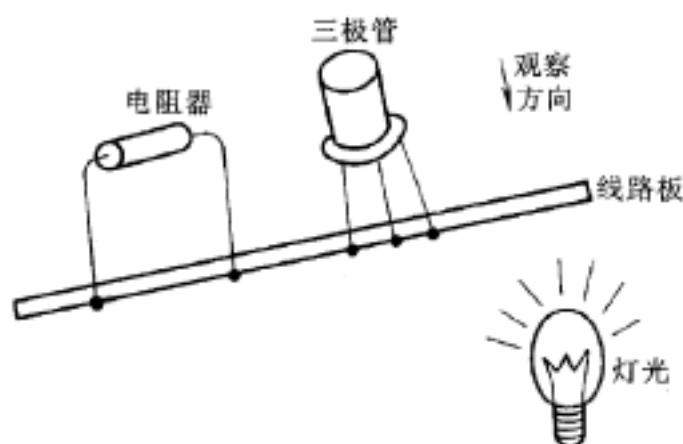


图 4 - 6 观察线路板示意图

印制线路图与实际线路板对照过程中,在印制线路图和线路板上分别画出一根方向一致的线条,作为识图的方向,以便拿起印制线路图就能与线路板有同一个识图方向,省去每次都要对照识图的方向。

4 2 8 修理识图方法和注意事项

修理识图是指在修理过程中对电路图的分析,这一识图与学习电路工作原理时的识图有很大的不同,是围绕着修理进行的电路故障分析。

1. 修理识图项目

修理识图主要有以下四部分内容。

在整机电路图中建立检修思路,根据故障现象,判断故障可能发生在哪部分电路中,确定下一步的检修步骤(是测量电压还是电流,在电路中的哪一点测量)。

根据测量得到的有关电压或电阻、电流数据,在整机电路图的某一个局部单元电路中对相关元器件进行故障分析,以判断是哪个元器件出现了开路或短路、性能变劣故障,导致了所测量的数据发生异常。例如,初步检查发现功率放大电路出现了故障时,可找出功放电路图进行具体分析。

查阅所要检修的某一部分电路图,了解这部分电路的工作情况,如信号是从哪里来,送到哪里去。

查阅整机电路图中某一点的直流电压数据。

2. 识图方法和注意事项

进行修理识图过程中,要注意以下四个问题。

修理识图是针对性很强的电路分析,是带着问题对局部电路的识图,识图的范围不广,但要有一定深度,还要会联系故障的实际。

主要是根据故障现象和所测量的数据决定分析哪部分电路。例如:根据故障现象决定是分析低放电路还是分析前置放大器电路,根据所测量的有关数据决定是分析直流电路还是分析交流电路。

测量电路中的直流电压时,主要是分析直流电压供给电路;在使用干扰检查法时,主要是进行信号传输通路的识图;在进行电路故障分析时,主要是对某一个单元电路进行工作原理

的分析。在修理识图中,无需对整机电路图中的各部分电路进行全面的系统分析。
修理识图的基础是十分清楚电路的工作原理,不能做到这一点就无法进行正确的修理识图。

4 3 电阻器实用电路分析

这一节将介绍由电阻器构成的各种实用电路,通过这些电阻电路的分析,可以初步熟悉、掌握其电路工作原理的分析方法、思路和步骤。

4 3 .1 分流电阻电路

分流电阻电路是将电阻器与另一个元器件相并联,让一部分电流通过电阻器,以减少流过另一个元器件的电流,减轻这个元器件的负担。分流电阻电路根据参与并联的元器件不同,有许多种电路。

1. 分流电阻电路之一

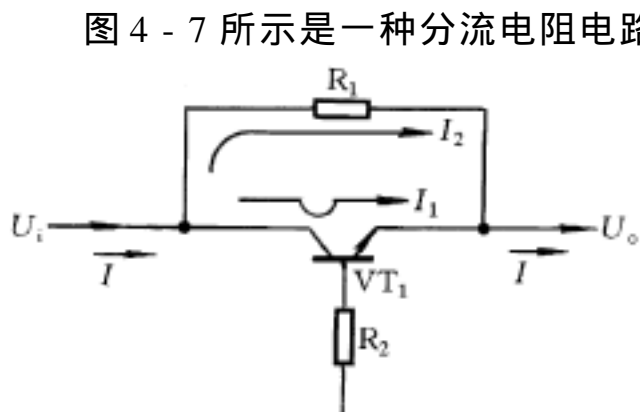


图 4 - 7 分流电阻电路之一

这一电路的工作原理是这样:如果电路中没有分流电阻 R_1 ,那么全部电流 I 都要流过三极管 VT_1 ,这时有可能因为电流太大而使三极管 VT_1 烧坏。

在加入分流电阻 R_1 之后,电流 I 中的一部分 I_2 流过电阻 R_1 ,这样流过三极管 VT_1 的电流有所减小,而到达输出端的总电流并没有减小,电流 I 为流过三极管 VT_1 和电阻 R_1 电流之和。显然,接入分流电阻 R_1 后,可以起到保护三极管的作用,这样的电阻 R_1 称为分流电阻,又称分流保护电阻。

2. 分流电阻电路之二

图 4 - 8 所示是另一种分流电阻电路。电路中, R_1 是分流电阻, VT_1 和 VT_2 是两只三极管。从图中可以看出,三极管 VT_1 的发射极直接与 VT_2 的基极相连接,两管的集电极直接相连接,两只三极管的这种连接方式称为复合管。 R_1 接在 VT_2 基极与地线之间。

从电路中可以看出,如果没有电阻 R_1 的接入,从三极管 VT_1 发射极输出的称之为穿透电流的电流将全部流入 VT_2 管的基极,经 VT_2 管放大后,从其发射极输出的穿透电流很大,而三极管的穿透电流受温度的影响大,对三极管稳定工作是十分不利的。为了减小复合管的穿透电流,采用了如图 4 - 8 所示

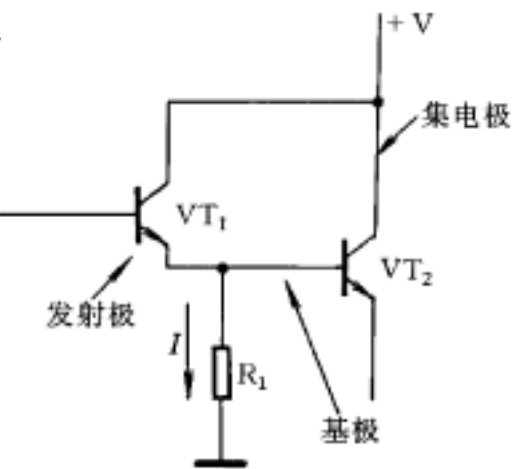


图 4 - 8 分流电阻电路之二

接入分流电阻 R_1 的方法。

这一电路的工作原理是: 电路中, 接入电阻 R_1 后, 使 VT_1 管输出的部分穿透电流被 R_1 分流到地, 减小了流入 VT_2 管基极的电流, 以达到减小复合管穿透电流的目的, 稳定这两只三极管的工作。

3. 识图小结

关于这一电路的工作原理, 还要说明下列几点。

分流电路的具体形式有许多种类, 但总的原则是对某个电路或某个元器件进行分流, 可以采用电阻器来分流, 也可以采用其他元器件来构成分流电路, 其分流特性根据担任分流任务的元器件或电路的特性不同而有所不同。

由于电阻器对直流、交流所呈现的阻值特性相同, 所以电阻器分流电路对直流和交流电路的分流电路工作原理是一样的, 对不同频率的交流信号分流工作原理也是相同的, 如果采用其他元器件或电路来构成分流电路, 则分流电路特性将可能发生变化。

分流电路应用广泛, 形式多变, 但是只要抓住分流电路的基本特征, 即与被分流元器件或电路是并联电路结构, 就能比较方便地进行分辨。

4 3 2 隔离电阻电路

1. 隔离电阻电路之一

图 4 - 9 所示是一种隔离电阻电路。电路中, 在前级放大器与后级放大器电路之间接有 R_1 和 C_1 , R_1 是隔离电阻, C_1 是耦合电容。 S_1 是开关。

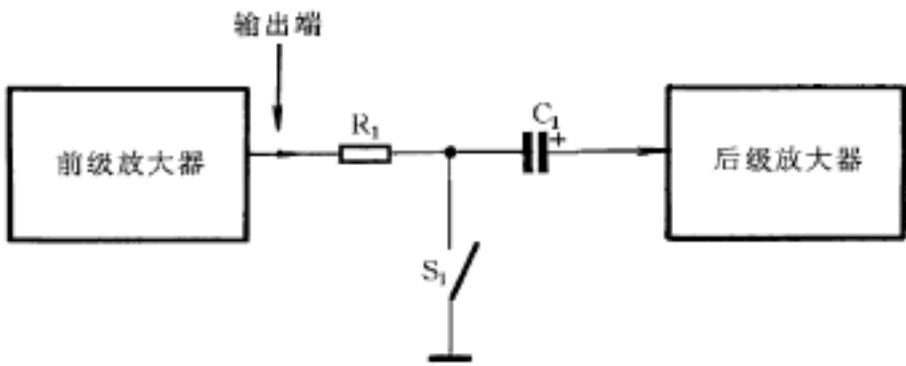


图 4 - 9 隔离电阻电路之一

这一电路的工作原理是这样: 当开关 S_1 处于图示断开位置时, 从前级放大器输出的信号通过电阻 R_1 和电容 C_1 加到后级放大器电路的输入端, 完成信号从前级到后级电路的传输过程。

当开关 S_1 处于接通状态时, 前级放大器输出的信号通过 R_1 被开关 S_1 短路到地, 而无法加到后级放大器电路中。

隔离电阻 R_1 的作用是防止在开关 S_1 接通时, 将前级放大器电路的输出端对地短路, 而造成前级放大器电路的损坏。如果没有电阻 R_1 , S_1 接通时就相当于将前级放大器电路的输出端对地短路, 这相当于一个电源短路, 会损坏前级放大器电路。在加入 R_1 后, 当开关 S_1 接通时, 前级放大器输出端与地线之间接有电阻 R_1 , 这时 R_1 是前级放大器的负载电阻, 可以防止前级

放大器电路输出端对地的短路。

2. 隔离电阻电路之二

图 4 - 10 所示是另一种隔离电阻电路。这是 OTL 功率放大器电路中的自举电路。电路中, R_1 是隔离电阻, $+V$ 是直流工作电压, C_1 是自举电容, C_2 是电源滤波电容。

隔离电阻 R_1 的作用是将电路中的 A 点与直流工作电压 $+V$ 端之间隔离, 使 A 点的电压能够随输入信号电压 U_i 的增大而增大, 且使 A 点的电压有可能在某瞬间超过 $+V$ 。

在静态时(指没有输入信号), 直流工作电压通过电阻 R_1 对电容 C_1 充电, 在 C_1 上充到了上正下负的直流电压 U_c , 见图中所示。

当输入信号电压 U_i 在大小变化时, 由于电容 C_1 的容量比较大, 它的放电比较缓慢, 所以在输入信号电压大小变化时, 电容 C_1 两端的电压 U_i 基本保持不变, 这样电路中 A 点的电压就会随输入信号电压 U_i 的大小变化而变化, 且 A 点的电压比输入信号电压 U_i 高出一个电容 C_1 上的电压 U_c 。

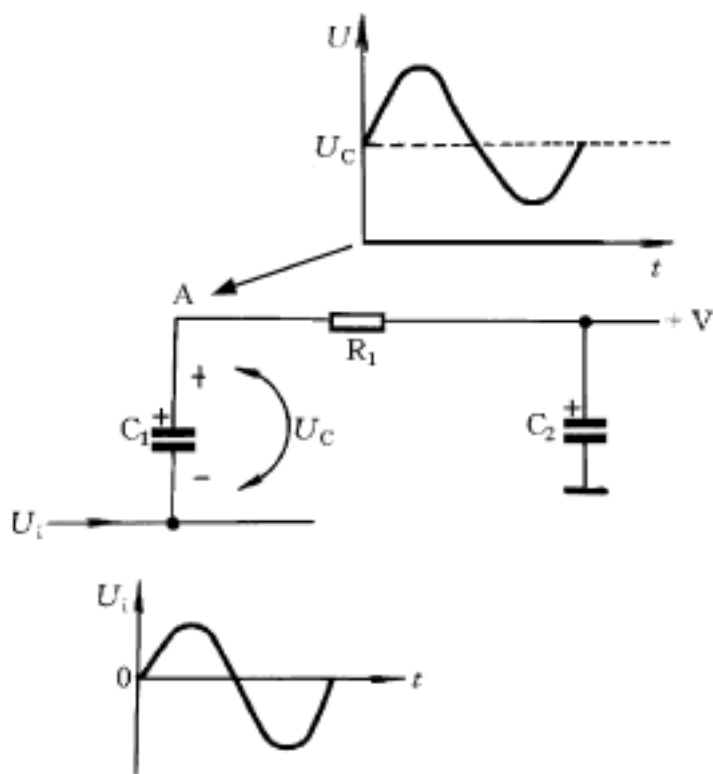


图 4 - 10 隔离电阻电路之二

当输入信号电压的正半周信号幅度很大时, A 点电压接近直流工作电压 $+V$, 且有可能超过直流工作电压 $+V$, 此时 A 点的电流经 R_1 流向电源 $+V$ (相当于对直流电源 $+V$ 充电)。此时若没有电阻 R_1 的隔离作用(将 R_1 短接), 则电路中 A 点的直流电压最高为 $+V$, 而不可能超过 $+V$, 因为对直流电源 $+V$ 的充电最大值也只能是等于 $+V$ 大小。

从上述电路分析可以知道, 电阻 R_1 将电路中的 A 点与 $+V$ 端隔离, 使 A 点电压能够随输入信号电压 U_i 的大小变化而变化, 没有 R_1 这样的隔离电阻器, 就不可能实现上述电路功能, 这样的电阻器称为隔离电阻。

3. 识图小结

关于这一电路的工作原理, 还要说明下列几点。

分析隔离电阻电路原理时, 要分成两种情况: 一是不加入隔离电阻时, 电路为什么不能实现特定的电路功能; 二是加入隔离电阻后, 为什么电路能实现特定的功能。

电阻隔离电路工作原理的理解有时显得相当困难, 抓住隔离电阻两端的电压不相等这一隔离电路的特性, 理解隔离电路作用时就会比较容易。

加入隔离电阻的目的是为了分开同一个电流通路中的两个点, 使这两个电路点之间的电压不相等, 但电路要求也不能使这两个点之间断开, 所以要在这两个电路点之间接入隔离电阻。如果没有隔离电阻的接入, 电路中的这两个点就会相连通, 其电压是相等的。

隔离电阻电路的变化相当多, 应用也是比较广泛的。

4 3 3 分压衰减电阻电路

1. 直流电压分压衰减电阻电路

图 4 - 11 所示是直流电压分压衰减电阻电路。电路中, R_1 和 R_2 构成分压衰减电路, $+V$ 是直流工作电压。

在整机电路中,一般直流工作电压为一个或多个大小等级,但是具体电路中所需要的直流工作电压大小等级有许许多多,这就要靠直流分压来完成,以获得合适的直流工作电压大小,图 4 - 11 所示直流电压分压衰减电阻电路就是达到这样目的电路。

电路中,直流工作电压 $+V$ 比较大,而集成电路 A_1 的脚只需要比 $+V$ 低的直流电压,这时可以采用电阻分压电路。电阻 R_1 和 R_2 构成分压电路,分压后,比较低的直流电压加到集成电路 A_1 的脚,以满足集成电路 A_1 脚内电路对直流工作电压的需要。由于集成电路 A_1 的脚是输入直流电压,所以脚是直流电压输入引脚。

在分压电路中,改变电阻 R_1 或 R_2 的阻值大小,可以改变加到集成电路 A_1 脚的直流工作电压大小。

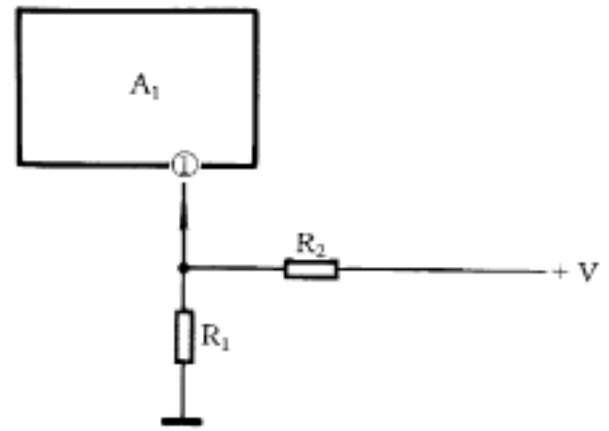


图 4 - 11 直流电压分压衰减电阻电路

图 4 - 11 所示电路是一个为了讲解电路工作原理的单元电路,在实用电路中并不标出直流工作电压 $+V$,这时电路分析就比较难判断了。例如,图 4 - 12 所示电路,电阻 R_1 和 R_2 结构与如图 4 - 11 所示电路中的 R_1 和 R_2 一样,但是集成电路 A_1 的脚是一个信号输出引脚,它所输出的信号通过电阻 R_2 加到后级电路中。

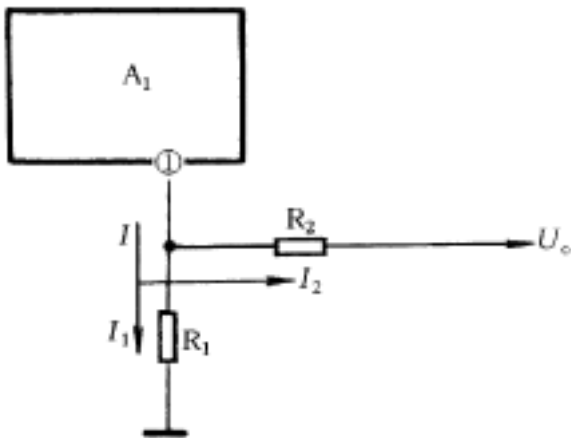


图 4 - 12 实用电路中的变化情况

由于集成电路 A_1 的脚是一个信号输出引脚,所以电阻 R_1 和 R_2 并不是构成分压电路,而是一个信号分流电路,从脚输出的信号电流一部分经电阻 R_1 到地线,另一部分信号经电阻 R_2 作为输出信号 U_o ,加到后级电路中。

通过上述两种电路的分析可知,实用电路中由于没有标出输入信号 U_i 、输出信号 U_o 和直流工作电压 $+V$,会对电路的分析造成一定的困难。

2. 交流信号分压衰减电阻电路

电阻分压电路不仅可以对直流电压进行分压衰减,也可以对交流信号电压进行同样的分压衰减。图 4 - 13 所示是一种交流信号分压衰减电阻电路,这是一个话筒输入电路和线路信号输入电路。

电路中, CK_1 是线路输入信号插座,线路输入信号的电平大小一般是 100mV。 CK_2 是外接话筒输入插座,话筒的信号电平一般只有 1mV。由于这两种输入信号的电平相差很大,不能直

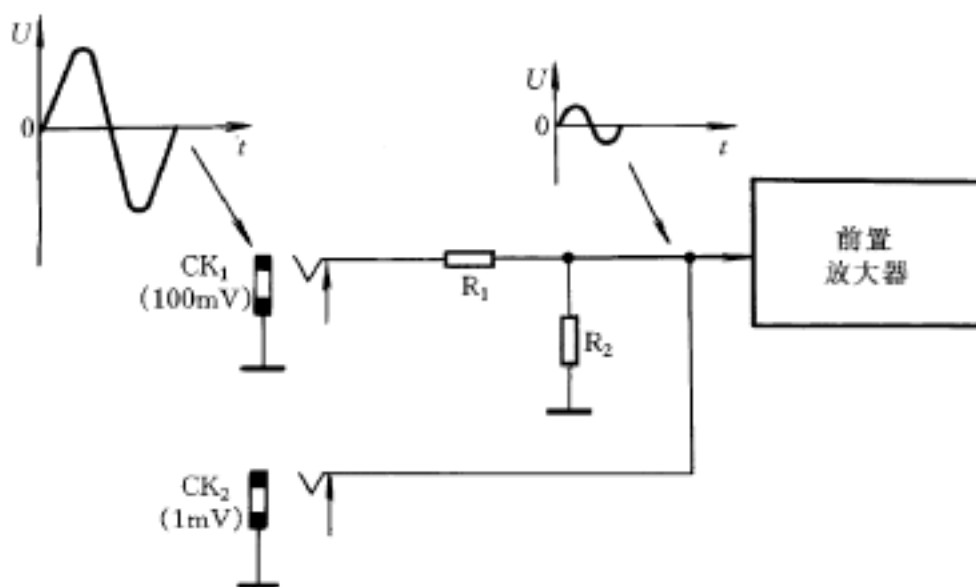


图 4 - 13 交流信号分压衰减电阻电路

接加到前置放大器电路中,因为前置放大器的输入信号电平大小要求在 1mV 左右。如果将 100mV 的线路输入信号直接加到前置放大器电路中,前置放大器将不能正常工作,为此要将线路输入信号进行分压衰减。

线路输入信号从 CK_1 输入后,首先加到电阻 R_1 和 R_2 构成的分压电路中,经过约 100 倍左右的分压衰减后,得到大约 1mV 大小的线路信号,这样,这一分压衰减后的线路信号可以直接加到前置放大器电路中。

从图中可以看出, CK_1 插座上的输入信号电压幅度比较大,经过 R_1 和 R_2 分压电路后,加到前置放大器电路输入端的信号电压幅度已经比较小。

3. 识图小结

关于这一电路的工作原理还要说明下列几点。

电阻分压电路可以用来对直流电压进行分压,也可以用来对交流信号电压进行分压。对于交流信号电压的分压而言,经过电阻分压电路后的信号只是幅度比较小了,其他特性(如频率、相位)等没有改变。

构成对交流信号的分压电路可以是电阻器,也可以采用电容器等其他元器件,而且整机电路中采用其他元器件构成分压电路的情况相当普遍。

当采用其他元器件构成分压电路时,这时的分压电路工作原理分析还要结合构成分压电路元器件本身的特性进行,例如用电容器构成分压电路时,对直流而言它不能完成对直流电压的分压。

4 3 4 信号分路电阻电路

1. 电路分析

如果一个信号要分成两路,可以使用如图 4 - 14 所示的信号分路电阻电路。

从电路中可以看出,信号源电路输出的信号被电阻 R_1 和 R_2 分成两路,一路经电阻 R_1 加到放大器 1 电路中,另一路经电阻 R_2 加到放大器 2 电路中。这样,一个信号被分成了两路信

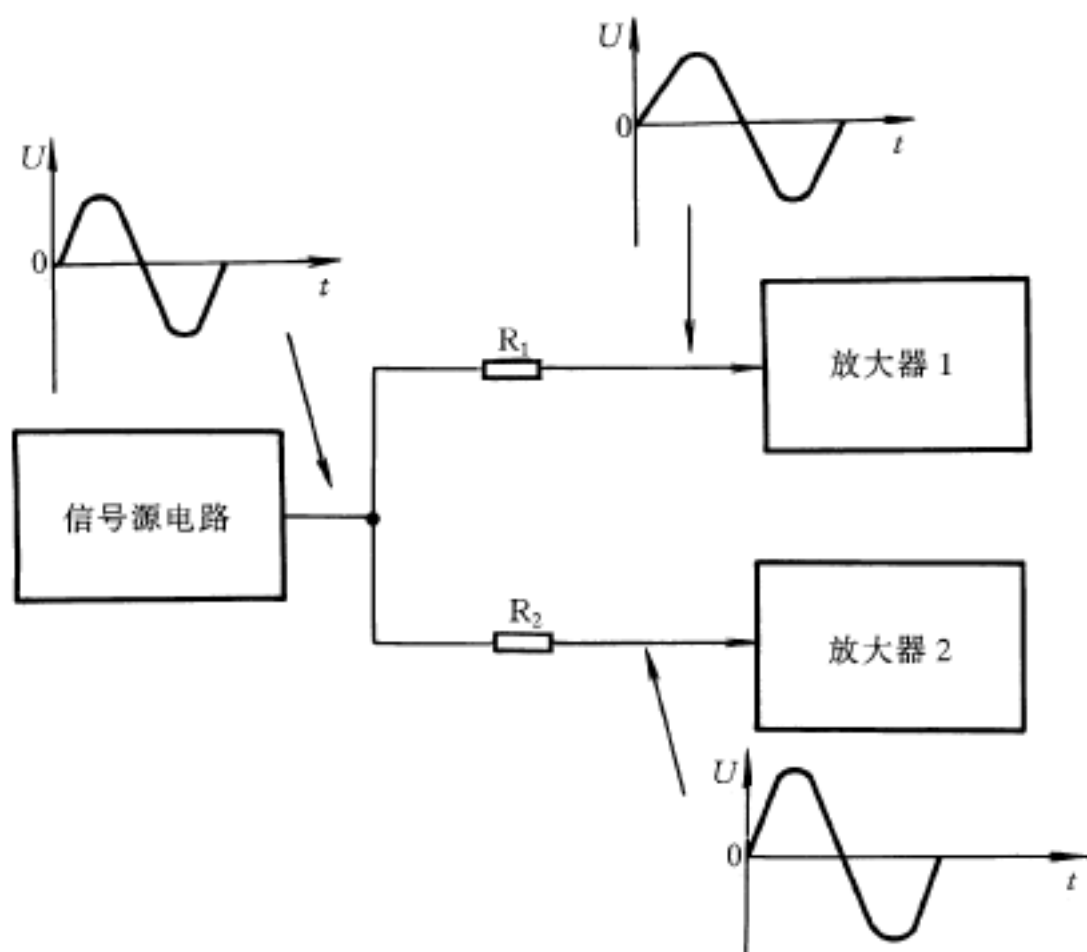


图 4 - 14 信号分路电阻电路

号,同样的道理,可以将一个信号源的输出信号分成更多路。

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理,还要说明下列几点。

从图中可以看出,在放大器 1 和放大器 2 输入端都有一个与信号源电路输出端相同的交流信号,它们的幅度大小相近,频率等特性完全一样。

如果需要分出更多路的信号,可以再并入电阻器。这种形式的分路信号电路中,不一定只是采用电阻器,还可以采用其他元器件或其他形式的电路。

这种分路信号的方式是采用并联电路的形式,这要求信号源电路能够输出足够大的电流,以便能够推动各路放大器工作。

4 3 5 信号分等级电阻电路

1. 电路分析

如果一个信号要分成几个电压等级的信号,可以使用如图 4 - 15 所示的信号分等级电阻电路来实现这一电路功能。

电路中,电阻 R_1 、 R_2 和 R_3 构成一个特殊的分压电路,分出三路信号分别给三级放大器电路,而且分配给各个放大器的信号电压大小是不同的。

从电路中可以看出,信号源电路产生的信号电流 I 流过电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 , 设三级放大器电路的输入阻抗都很大,即不考虑三级放大器电路的输入阻抗对 R_1 、 R_2 和 R_3 分压电路的影响,

这样,流过三个电阻的电流 I 是相同的。

信号源电路输出的信号一路直接加到放大器 1 的输入端,这一路信号的电压在三路信号电压中为最大,没有经过分压衰减。

第二路信号从电阻 R_1 和 R_2 的连接点处输出信号,这是经过分压衰减后的信号,所以其信号电压大小比第一路的信号电压要小。第二路信号电压的具体大小为 $I \times (R_2 + R_3)$,即电流流过 R_2 和 R_3 上的电压降。

第三路信号从电阻 R_2 和 R_3 的连接点处输出信号,这一路信号电压最小,因为这一路信号电压大小为 $I \times R_3$, $R_3 < (R_2 + R_3)$,所以第三路信号电压最小。

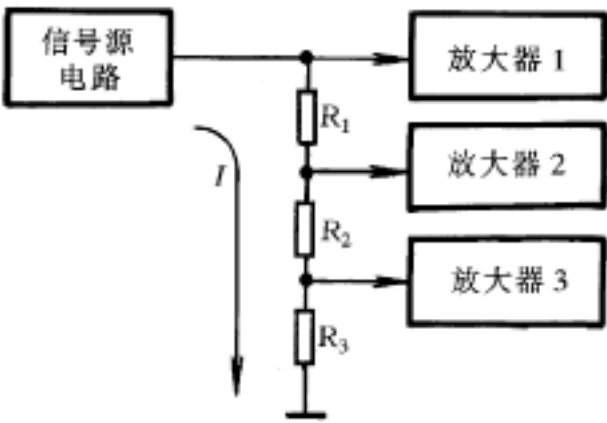


图 4 - 15 信号分等级电阻电路

2. 识图小结

对上述电路的分析主要是搞懂下列几点。

如果需要对一个信号源电路进行更多的电压等级分压,可以在 R_1 、 R_2 、和 R_3 的基础上再串联电阻器。

这种信号分路的电路与前面一种电路有着不同,前面的如图 4 - 14 所示电路所分出的各种信号电压大小基本相等,且等于信号源电路的输出信号电压,而如图 4 - 15 所示电路所分出的各路信号电压不相等,有明显的电压等级差异。

各分路所分出的信号电压只是大小不相同,但是其频率、相位特性都是与输入信号电压相同的,这一点与上面的电路也是相同的。

4 3 6 信号混合电阻电路

1. 电路分析

图 4 - 16 所示是信号混合电阻电路。电路中,有两个信号源电路,有两只信号混合电阻 R_1 和 R_2 ,有一个放大器电路。

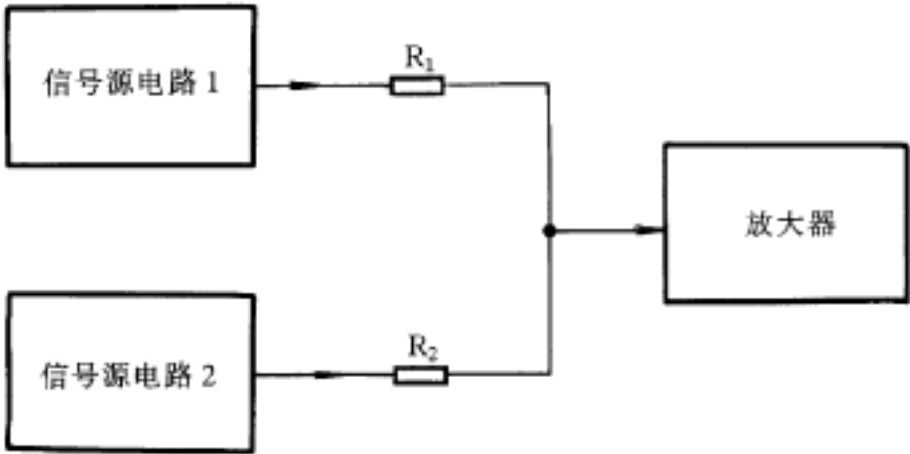


图 4 - 16 信号混合电阻电路

从电路中可以看出, 信号源电路 1 输出的信号经电阻 R_1 加到放大器的输入端, 信号源电路 2 输出的信号经电阻 R_2 也加到放大器的输入端, 这样, 两个信号源的信号在放大器输入端合并, 混合后一起加到放大器电路中。

电阻 R_1 和 R_2 不仅起着分别将各自信号源电路的信号加到放大器输入端的作用, 而且还起着信号源电路 1 输出端与信号源电路 2 输出端之间的隔离作用, 从图中可以看出, 如果没有电阻 R_1 和 R_2 , 信号源电路 1 输出端与信号源电路 2 输出端之间就变成了直接相连, 这会造成两个信号源电路之间的相互影响。

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理, 还要说明下列几点。

构成信号混合电路的元件不仅可以是电阻器, 还可以是其他元器件。

如果信号源电路 1 是一个直流信号输出电压, 信号源电路 2 是一个交流信号输出电压, 那么在放大器输入端就得到一个直流和交流信号的混合信号; 如果两个信号源电路都是输出的交流信号电压, 但它们的频率和相位特性不同时, 在放大器输入端就得到两个不同特性的交流信号。

图 4 - 17 所示信号波形说明了两种情况。图 4 - 17(a)所示是一个直流信号 U_1 和一个交流信号 U_2 的混合示意图, 从图中可以看出, 混合后的信号是一个交流信号叠加到直流信号上的复合信号; 图 4 - 17(b)所示是两个交流信号 U_1 和 U_2 的混合示意图, 从图中可以看出, 混合后的信号是两个交流信号叠加的复合信号。两种交流信号混合后的信号波形有时会显得相当的复杂, 在理解时只要认为是两个信号相加即可。

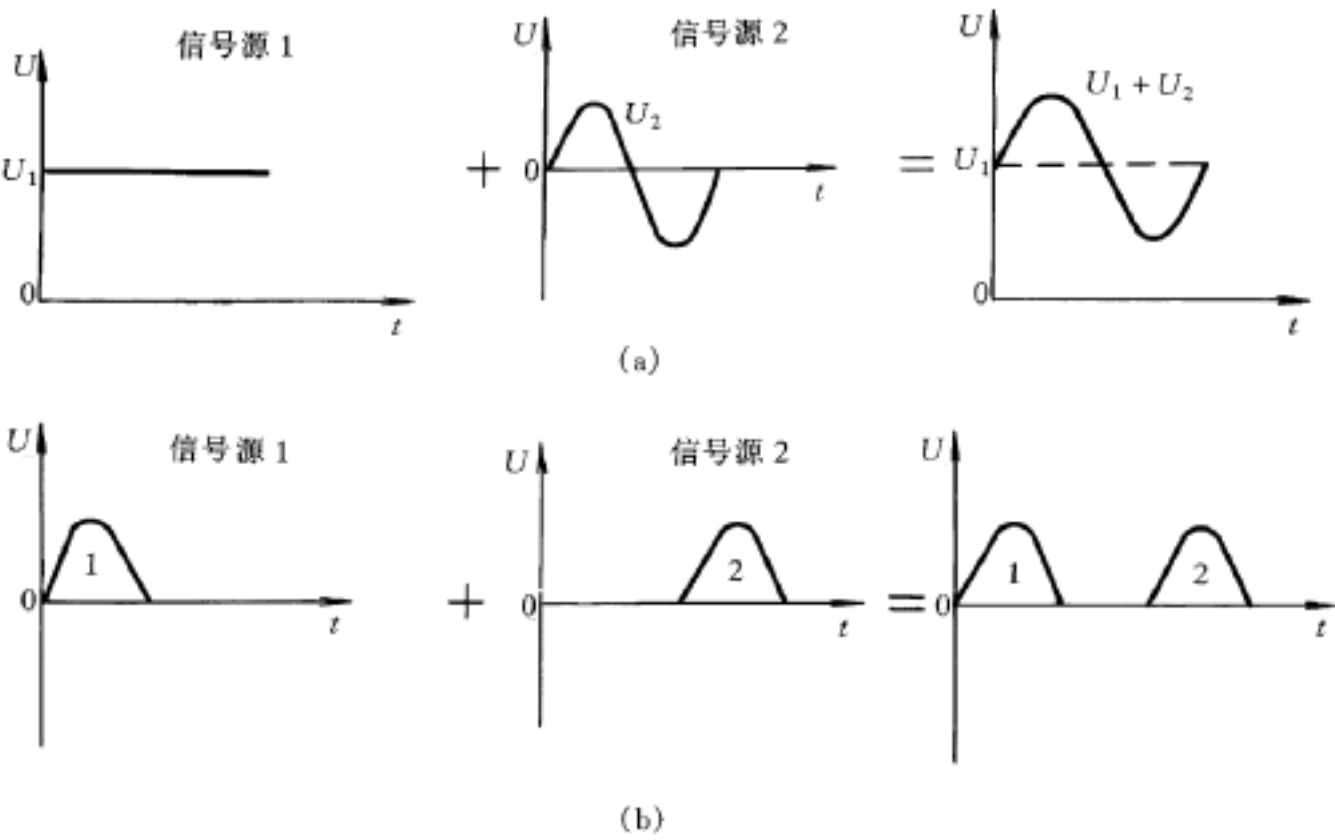


图 4 - 17 两个信号叠加示意图

这种信号源混合电路与前面介绍的信号源分路电路不同, 混合后的信号源特性与两个信号源电路输出信号的特性有关, 为相加的关系。

4 3 .7 阻尼电阻电路

1. 电路分析

图 4 - 18 所示是阻尼电阻电路。电路中, VT_1 是三极管, L_1 和 C_1 构成 LC 并联谐振电路, R_1 并联在这一 LC 并联谐振电路上, 是阻尼电阻。

由 LC 并联谐振电路的特性可知, LC 并联谐振电路的频带宽度与电路的品质因数 Q 有关。 Q 值愈大, 频带宽度愈窄, Q 值愈小, 频带宽度愈宽。可见, 调整频带的宽度时只要调整谐振电路的品质因数 Q 值即可。

谐振电路的品质因数 Q 值大小与阻尼电阻 R_1 的阻值大小相关。阻值 R_1 大, Q 值大, R_1 小, Q 值小。这样, 只要适当选取阻尼电阻器 R_1 的阻值大小, 就能获得所需要的 Q 值, 也就能得到所需要的频带宽度。

在 LC 并联谐振电路中, 并联一只阻尼电阻 R_1 就是为了获得恰当的谐振频带宽度。

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理, 主要说明下列几点。

分析阻尼电阻 R_1 的作用时, 如果不了解 LC 并联谐振电路的有关特性, 那么就无法分析电阻 R_1 的作用, 可见电路工作原理的分析需要有很宽的电子技术的基础知识面, 且要运用恰当的电路特性来理解电路的工作原理。

阻尼电阻 R_1 在影响频带宽度的同时, 也影响了信号的幅度, 这可以用如图 4 - 19 所示的频率特性来说明。从图中可以看出, 当电阻 R_1 的阻值大于 R_2 时, 频带窄, 但信号的幅度大, 而 R_2 曲线频带宽了, 但信号幅度小了。电路中, 以保证频带宽度为先决条件, 当信号幅度较小时, 可以通过提高放大器的放大倍数来解决。

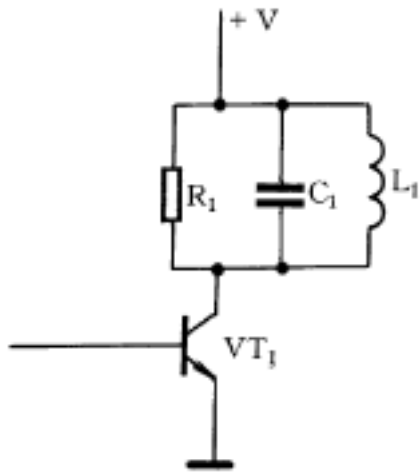


图 4 - 18 阻尼电阻电路

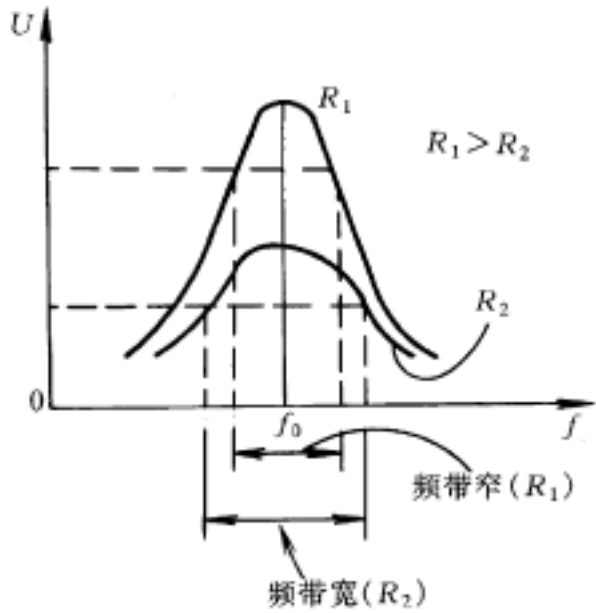


图 4 - 19 频带宽度与信号输出幅度之间的关系

4 3 8 偏磁测量电阻电路

1. 电路分析

图 4 - 20 所示是录音机、卡座中的偏磁测量电阻电路。电路中, HD_1 是录放磁头, 电路所示工作在录音状态下, HD_1 作为录音磁头使用。 R_1 是偏磁测量电阻。

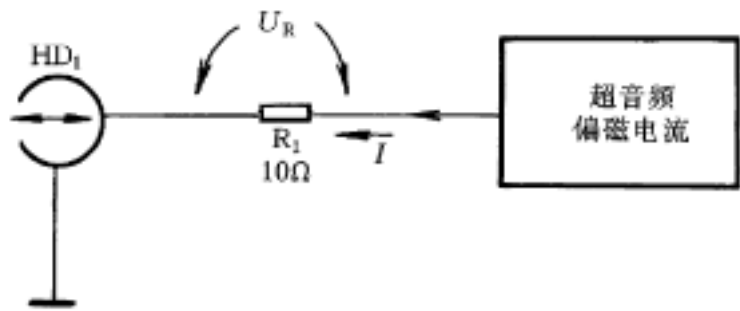


图 4 - 20 偏磁测量电阻电路

电阻 R_1 很小, 只有 10Ω , 它的作用是测量流过录放磁头的超音频偏磁电流大小。所谓超音频偏磁电流, 是一种正弦波电流, 它的频率比音频频率高, 所以称之为超音频电流, 超音频就是指频率超过音频频率的意思。

由于超音频电流的频率比较高, 测量高频电流很不方便 (远没有测量直流电流那样方便), 为此加入电阻 R_1 后, 改测量电流为测量电压 (测量高频电压比较方便)。

通过真空管毫伏表可以方便地测量电阻 R_1 两端的电压 U , 然后通过公式 $I = U / R_1$, 便能很方便地得到流过录放磁头 HD_1 的超音频电流大小。所以, R_1 称为偏磁测量电阻。

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理, 还要说明下列几点。

电阻 R_1 在电路中只起方便测量偏磁电流的作用, 由于它的阻值相当小, 对流过 R_1 的录音信号电流基本不存在影响。

在一些高级的录音机、卡座中, 为了减小偏磁测量电阻 R_1 对录音信号的影响, 采用了短路线的方式将该电阻在电路中短路, 如图 4 - 21 所示, 在不需要进行电流测量时, 将测试口处的铜箔线路断口用焊锡焊好, 在需要测量时再熔化这一测试口处的焊锡, 这时偏磁测量电阻 R_1 就接入电路中。

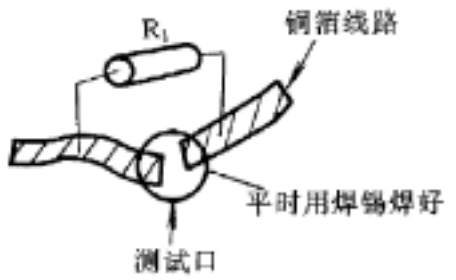


图 4 - 21 测试口示意图

在整机电路中, 还有一些情况也采用上述那样的测试口, 例如收音机中的各中放三极管集电极电流测试口就是这样的。

4 3 9 恒流录音电阻电路

1. 电路分析

图 4 - 22 所示是录音机、卡座中的录音放大器输出电路。电路中, HD_1 是录放磁头, 它在录音时作为录音磁头使用, 它是录音放大器的负载。由录音磁头的结构及工作原理可知, 录放磁头 HD_1 是一个电感性负载, 设录放磁头的电感量为 L , 则录放磁头的感抗 X_L 由下列公式计算

$$X_L = 2 \pi f L$$

式中: f 为录音信号的频率;

L 为录音磁头的电感量。

从上式可以看出, 当录音信号频率 f 升高时, 负载阻抗 X_L 也愈大。当录音输出级输出的录音信号电压大小一定时, 显然流过录音磁头的高频信号电流小于低频信号电流, 因为高频信号的录音磁头感抗大, 这

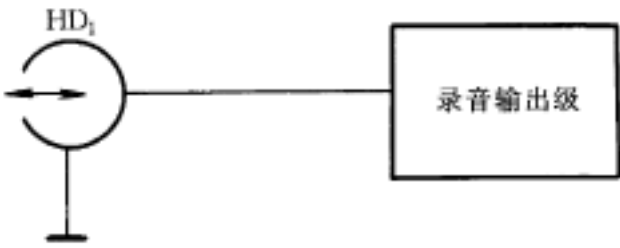


图 4 - 22 录音放大器输出电路

将造成高频录音信号比低频录音信号小的结果, 这就是录音过程中的高频损耗。为此, 要求通过恒流录音电阻电路使流过录音磁头的录音电流不能随录音信号频率的高低变化而变化。

为了简化恒流录音电路, 通常采用一只恒流录音电阻串联在录音磁头回路中, 如图 4 - 23 所示。电路中, R_1 称为恒流录音电阻。在加入 R_1 之后, 录音输出级放大器的负载阻抗 Z 由下列公式计算

$$Z = R_1 + X_L$$

上式说明录音放大器总的阻抗为恒流电阻 R_1 的阻值与录音磁头感抗 X_L 之和。在电路设计时, 令 R_1 的阻值远大于(5 倍以上)录音磁头的最大感抗(最高录音信号频率下的感抗), 这样上述公式可简化为 $Z \approx R_1$ 。

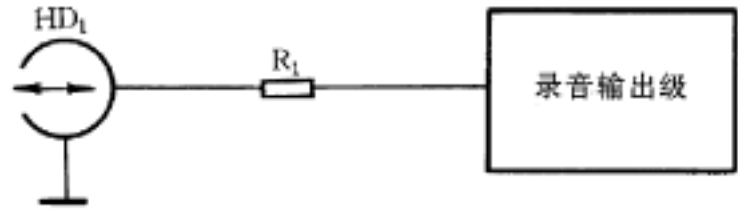


图 4 - 23 恒流录音电阻电路

由于电阻 R_1 对各种频率信号的阻值是相同的, 所以流过录音磁头的各种频率录音信号电流大小一样, 这样可达到恒流录音的目的。

显然, 在录音信号电压一定时, 加入恒流录音电阻后录音磁头中的录音信号电流减小了, 这可以通过适当提高录音放大器的放大倍数来补偿, 即提高录音信号输出电压来弥补这一不足。

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理, 还要说明下列几点。

在上述电路中, 如果不了解录音磁头是一个感性负载, 那么就无法理解为什么录音时会出现录音信号频率愈高, 录音信号电流愈小的现象。

恒流录音电阻与录音磁头的感抗构成一个串联电路, 由串联电路的特性可知, 当其中的一个电阻远大于另一个时, 串联电路中起主要作用的是电阻大的那个元件, 恒流录音电阻电路就是利用了这一原理。

4.4 电容器实用电路分析

这一节将介绍由电容器构成的各种实用电路, 通过这些电容电路的分析, 可以初步掌握复杂电容器电路和其他由电容器参与的混合电路的分析方法、思路和步骤。

4.4.1 耦合电容电路

1. 电路分析

图 4 - 24 所示是耦合电容电路。电路中, C_1 是耦合电容, 它接在第一级放大器和第二级放大器电路之间。

所谓耦合就是将交流信号传输到后级电路中, 而将直流信号阻断, 由于电容器具有隔直通交的特性, 所以可以使用电容器来完成耦合任务, 电路中具有这种功能的电容器称为耦合电容。

从图中可以看出, 在第一级放大器输出端是一个直流和交流信号相混合的信号, 通过电容 C_1 后, 只有交流信号而没有直流信号, 完成耦合任务。在多级放大器电路中, 一般不希望前级的直流信号加到后级, 只希望前级的交流信号加到后级, 此时就要采用耦合电路, 这种在两级放大器电路之间的耦合电路也称为级间耦合电路。

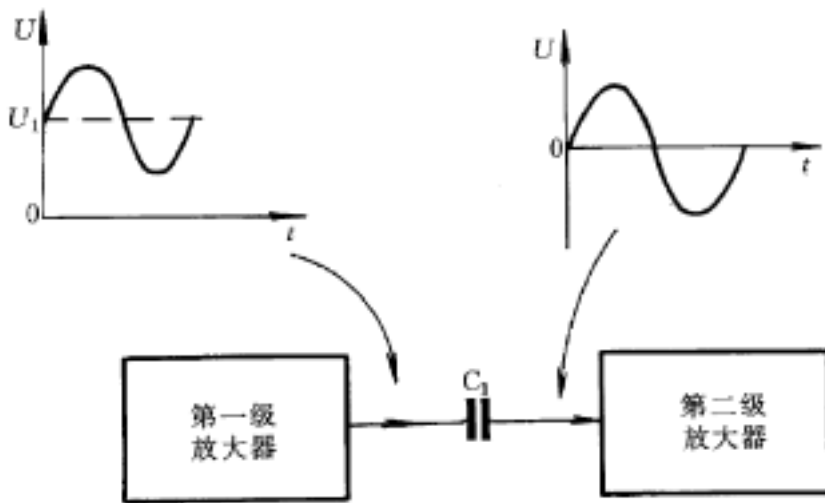


图 4 - 24 耦合电容电路

电容 C_1 在让交流信号通过时, 要求它对交流信号的容抗很小, 这样交流信号通过 C_1 时才不会信号的损耗, 否则就失去了耦合电容的作用。由于交流信号通常不是一个频率的信号, 而是频率从高到低一个频段的信号, 这就要求耦合电容 C_1 的容量足够的大, 对频段内最低频率的信号其容抗也要小到为零的程度。这样, 频段内其他频率的信号因为频率高, C_1 的容抗小, 所以对信号的损耗更小。

从上述分析可知, 电容耦合电路中, 在耦合电容 C_1 的容量一定后, 对频率低的信号其信号损耗比频率高的信号损耗大。

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理, 还要说明下列几点。

电容耦合电路的使用相当广泛, 除了上述的两级放大器电路之间的耦合电容电路之外, 还与耦合电容有许多其他形式的耦合电容电路。

耦合电容 C_1 的容量大小与许多因素有关。首先与交流信号的频率相关, 因为电容的容抗与频率成反比关系, 频率高, 容抗小, 频率低, 容抗大。所以, 在频率比较高的电路中, 其耦合电容的容量比较小, 在频率比较低的电路中, 其耦合电容的容量比较大。

耦合电容的容量并不是愈大愈好, 因为电容量大的电容器其漏电流比较大, 这一漏电流就是噪声, 是电路所不需要的, 且是应该尽最大可能降低的。

耦合电容的容量大小还与下一级放大器的输入阻抗相关, 图 4 - 25(a) 所示电路可以说明放大器的输入阻抗概念。从放大器的输入端向里面看, 到地端的等效电阻称为这一放大器的输入阻抗, 用 R_i 表示。

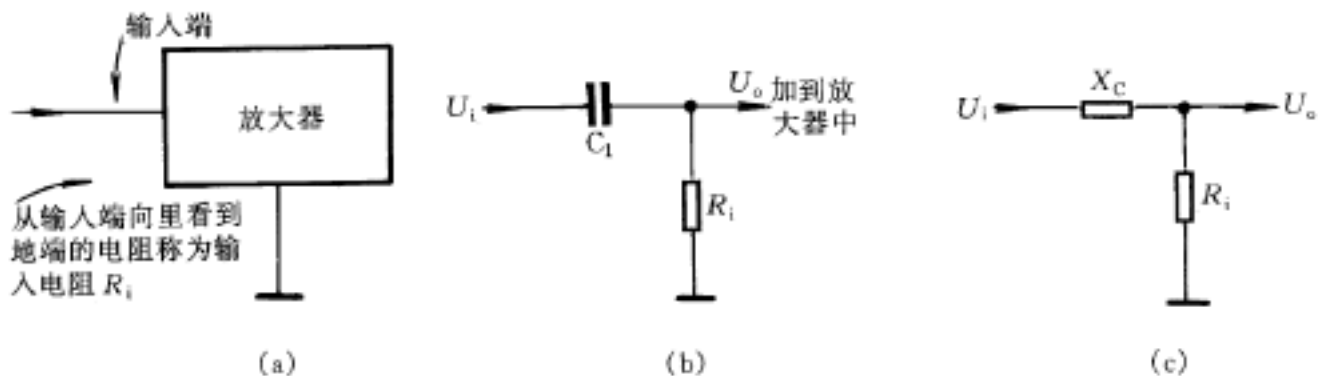


图 4 - 25 放大器输入阻抗示意图

有了放大器的输入阻抗概念之后,可以将电容耦合电路画成如图 4 - 25(b)所示电路,即由耦合电容 C_1 和输入阻抗 R_i 构成的分压电路,图 4 - 25(c)所示是电阻等效电路,电路中, X_c 为电容 C_1 的容抗。

根据分压电路特性可知,当电容 C_1 的容量大小不变时,如果后级放大器的输入阻抗 R_i 比较大,输出信号 U_o 就比较大,即加到后级放大器的信号 U_o 比较大。反之,当后级放大器的输入阻抗 R_i 比较大时,可以适当减小耦合电容 C_1 的容量,这样可以减小耦合电容的漏电流,从而可以降低电路的噪声。

在一些电容耦合电路中,除耦合电容外,还与耦合电容串联一只 $2k$ 的电阻,这只电阻可以稳定电路的工作。

4.4.2 各种接地概念和退耦合电容电路

1. 共用参考点

接地有下列两种情况。

电子仪器的外壳接地是接的大地,这是保护性接地,这一接地措施可以使仪器的外壳与大地等电位,从而避免了仪器因漏电而使外壳带电造成的触电危险。图 4 - 26(a)所示是接大地的接地电路符号。

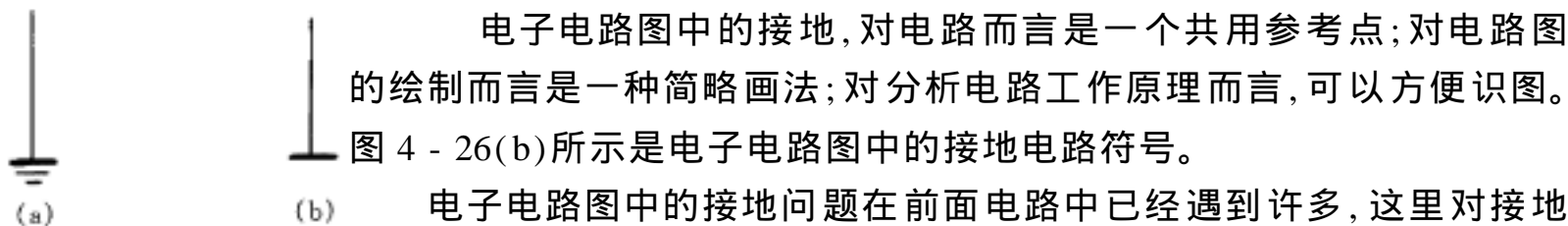


图 4 - 26 两种接地
电路符号

电子电路图中的接地,对电路而言是一个共用参考点;对电路图的绘制而言是一种简略画法;对分析电路工作原理而言,可以方便识图。图 4 - 26(b)所示是电子电路图中的接地电路符号。

电子电路图中的接地问题在前面电路中已经遇到许多,这里对接地概念小结以下几点。

相同接地点之间的连线称为地线。

接地符号是一种电路连线的省略画法,接地点表示与电源的正极或负极相连,这一接地与仪器外壳接地概念不同。

接地点是电路中的共用参考点,这一点的电压为 $0V$,电路中其他各点的电压高低都是以这一参考点为基准的,这样电路图中所标出的各点电压数据都是相对于地端的大小,这可以大大方便修理中的电压测量。

一般情况下,一张电路图中只有一种接地符号,此时所有的地端是相连的。在少量的

电路图中会出现两种不同的接地符号,表示这种电路中存在两个彼此独立的直流电源供电系统(相互之间没有共用参考点),这时两种接地点之间是高度绝缘的,修理中不能将这两个地线接通,这一点要注意。

采用正极性供电的电路图中,接地点是电源的负极,如图 4 - 27(a)所示,电路中所有与电源负极相连的元器件、线路都可以用同一个接地符号来表示,这样,同一个电路图中相同符号接地点之间是相通的,这一接地点就是共用参考点。采用这种方法后,可以减少电路图中的连线,从而可以方便电路的分析。

采用负极性供电的电路图中,接地点是电源的正极,如图 4 - 27(b)所示,电路中所有与电源正极相连的元器件、线路都可以用同一个接地符号来表示,这一接地点也是共用参考点。一般电路中采用正极性电源供电的情况比较多。

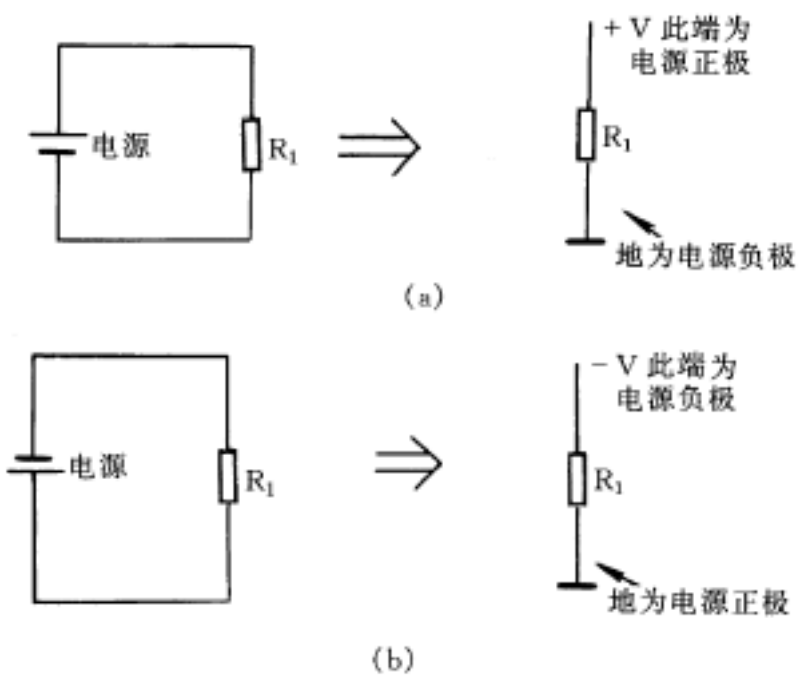


图 4 - 27 正电源和负电源供电电路接地示意图

2. 正、负电源同时供电的接地

一般电子电路中只采用正电源或只采用负电源供电,但在一些电路中则要同时采用正、负电源供电,而且这两种电源之间也有共用参考点,图 4 - 28 所示的电路图可以说明双电源供电时的接地概念。

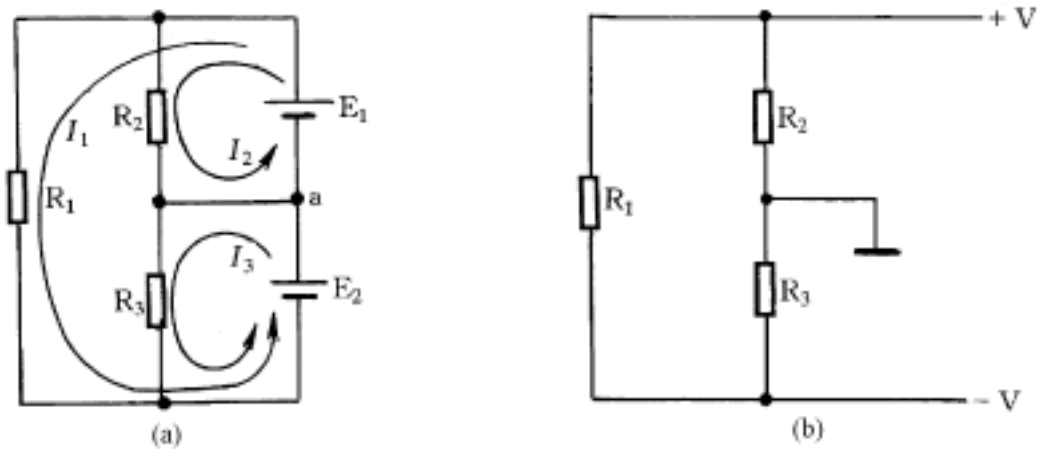


图 4 - 28 双电源同时供电的接地

图 4 - 28(a)所示是原理图,这一电路中没有接地的电路符号,电路中的 E_1 和 E_2 是直流电源,a 点是两电源的连接点,将 a 点接地就是图 4 - 28(b)所示常见形式的电路图, $+V$ 表示正电源(E_1 的正极端), $-V$ 表示负电源(E_2 的负极端),图 4 - 28(a)和图 4 - 28(b)电路完全等效。这一电路中的接地点,对 E_1 而言是与负极相连的,对 E_2 而言是与正极相连的。

关于该电路中有关支路的电流回路,说明以下几点。

流过 R_1 的电流是从 E_1 的正极经 R_1 流到 E_2 的负极,再通过 E_1 和 E_2 的内电路形成回路,见图中的电流 I_1 。

流过 R_2 的电流是从 E_1 的正极经 R_2 流到 E_1 的负极,再经 E_1 的内电路形成回路,见图中的电流 I_2 ,这一电流没有与电源 E_2 发生关系。

流过 R_3 的电流是从 E_2 的正极经 R_3 流到 E_2 的负极,再经 E_2 的内电路形成回路,见图中的电流 I_3 ,这一电流与电源 E_1 没有关系,由电源 E_2 供给。

接地点仍然是电路的共用参考点,当然也是正电源和负电源的参考点。

这种电路中,各支路中的电流回路共有三种:一是在正、负电源之间构成回路;二是只与正电源构成回路;三是只与负电源构成回路。

3. 退耦合电容电路

前面所讲的接地,显然是指直流和交流同时接地,在电路中,还有一种只是交流信号接地而直流不接地的情况。图 4 - 29(a)所示是退耦合电容电路,这一电路可以说明交流接地而直流不接地的情况。

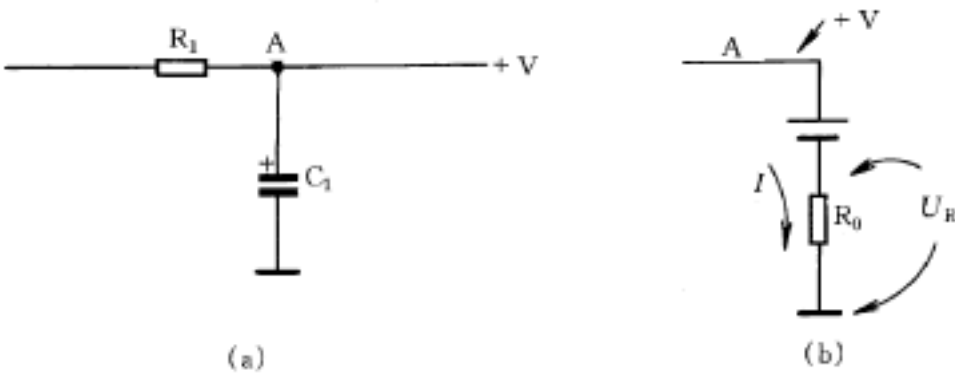


图 4 - 29 退耦合电容电路

电路中, $+V$ 是直流工作电压,电容 C_1 是退耦合电容,简称退耦电容。根据前面所介绍的电源基础知识,一个电源都有它的内阻,这个内阻是不希望存在的,但却不可避免。当信号电流(直流或交流电流)流过电源时,都会在电源内阻上产生电压降,如图 4 - 29(b)所示,有交流信号电流流过内阻 R_0 ,在 R_0 上便产生了这一交流信号的电压降 U_R ,这说明在电路中的 A 点出现了交流信号电压,这对电路的正常、稳定工作是有危害的,所以应该采用电容退耦电路来消除电源内阻上的信号电压降。

在接入退耦电容 C_1 后,由于 C_1 的容量比较大,所以它的容抗很小,可以认为它的容抗对所有交流信号的容抗均为零,这样电路中 A 点如果有交流信号时,都会被退耦电容 C_1 接地,A 点就没有交流信号的存在。

由于电容 C_1 对直流而言为开路特性,所以在加入退耦电容 C_1 后,直流工作电压 $+V$ 端交流接地而直流不接地,直流工作电压 $+V$ 端的这一特性在电路分析中时常运用,必须理解和牢记。

4.4.3 一大一小两个电容并联电路

1. 电路分析

图 4 - 30 所示是一个容量很大的电解电容器与一个容量很小的电容并联的电路。电路中, C_1 是一个 $2200\mu\text{F}$ 的大电容,为滤波电容, C_2 是一个只有 $0.01\mu\text{F}$ 的小电容,为高频滤波电容,这种一大一小两个电容相并联的电路在电源电路中十分常见。

从理论上讲,在同一频率下容量大的电容其容抗小,这样一大一小两个电容相并联后,其

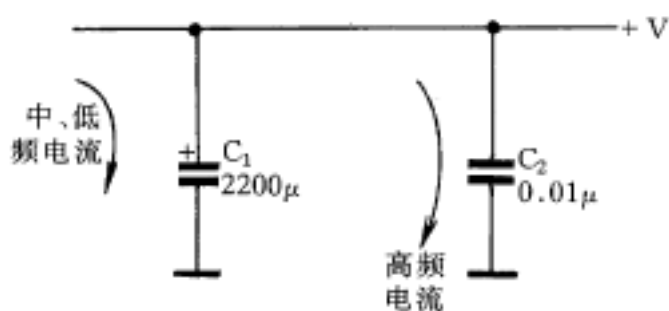


图 4 - 30 一大一小两个电容并联电路

容量小的电容 C_2 是不起作用的。但是,由于大容量电容器存在感抗特性(在前面电解电容特性中已经介绍),它在高频情况下的阻抗反而大于低频时的阻抗。

为了补偿大电容 C_1 在高频情况下的这一不足,再并联一个小电容 C_2 。由于小电容的容量小,在制造时可以克服电感特性,所以小电容 C_2 几乎不存在电感。当电路的工作频率高时,小电容 C_2 的容抗已经很小,

这样,高频的干扰信号是通过小电容 C_2 滤波到地的。

在一大一小电容相并联电路中,当电路的工作频率比较低时,小电容不工作(因小电容的容抗大而相当于开路状态),此时主要是大电容 C_1 在工作,图中流过 C_1 的是中频和低频信号电流。

当工作频率高了之后,大电容 C_1 处于开路状态而不工作,小电容 C_2 的容抗远小于 C_1 的阻抗而处于工作状态,用于滤除各种高频干扰信号,图中所示流过 C_2 的是高频电流,这就是为什么在电源电路中大电容上总是并联一只小电容的原因。

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理,还要说明下列几点。

从上述电路分析可知,从理论上讲大电容上再并联一只小电容根本没有意义,但是实际电路中这种情况到处可见,如果不了解大容量电解电容的有关特性,这一电路的分析就根本无法进行,无法理解电容 C_2 在电路中的作用。

一大一小电容的并联电路主要出现在电源滤波电路中,并且在大电容的容量很大时才出现这种情况,如果容量不是很大,其高频时的感抗不是很明显,也就没有必要再并联一只小容量电容。

4.4.4 两个大电容并联电路

1. 电路分析

图 4 - 31 所示是两个几百或上千微法的电容相并联的电路,这种情况在电路中会时常见到。电路中, C_1 和 C_2 都是 $1000\mu\text{F}$ 的电解电容,这是容量比较大的电解电容。

这种两个大电容并联电路,主要是出于下列几种目的。

为了减小电容器漏电流。一个容量大一倍的电容器其漏电流要大出许多,此时可用两个容量较小的电容并联,并联后的总漏电流比用一个大电容的漏电流要小。

为了降低成本。大电容的价格较贵,两个容量小一半电容的价格加起来还不到一个大电容的价格。

提高电路工作的可靠性,有一个电容开路后,另一个电容仍然能够使电路工作,这样可降低电路的故障发生率。在图示的电源滤波电路中,若有一个滤波电容 C_1 或 C_2 开路后,另一个滤波电容仍然能够进行滤波(当然滤波效果要稍为变差),电路

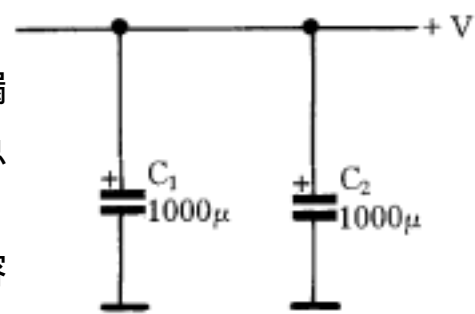


图 4 - 31 两个大电容并联电路

仍然能够工作。若电路中只有一个滤波电容,当这一滤波电容开路之后,电路中没有滤波电容,电路将会出现严重的交流声故障。

为了减小电容器的体积。一个容量大一倍的电容其体积要大出许多,由于机器内部空间的限制,只能装配体积较小的电容器,但一只电容器的容量又不够,此时可用两个容量较小的电容相并联。

为了加大容量。在采用一个大电容后的电路效果仍然不够理想时,可以再用一个大电容相并联。

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理,还要说明下列几点。

这种两只大电容并联的电路不仅会出现在电源的滤波电路中,还会出现在一些需要大容量电容的电路中,例如在 OTL 功率放大器的输出电路中,作为输出端耦合电容。

如果在线路板上见到两只大容量的电解电容装配在一起,那必定是这种大容量电容并联电路。

4.4.5 两个小电容并联电路

1. 电路分析

图 4 - 32 所示是两个容量相等的小电容相并联电路,这是彩色电视机行振荡器电路中的行定时电容电路。电路中,集成电路 A_1 的 ④ 脚与地之间接有定时电容 C_1 和 C_2 , C_1 的容量等于 C_2 的容量。其中, C_1 是聚酯电容,是正温度系数电容; C_2 是聚炳烯电容,是负温度系数电容。

对于正温度系数的电容,当温度升高时其容量要增大,当温度下降时其容量要减小;对负温度系数的电容而言,当温度升高时其容量要减小,当温度下降时其容量为增大。

由于定时电容的容量大小决定了行振荡器的振荡频率,所以要求定时电容的容量非常稳定,不随环境温度变化而变化,这样才能使行振荡器的振荡频率稳定,故在这里采用正、负温度系数的电容并联,进行温度互补。

当工作温度升高时, C_1 的容量在增大,而 C_2 的容量则在减小,两电容并联的总电容 $C = C_1 + C_2$, 由于一个容量在增大而另一个容量在减小,所以总容量基本不变。同理,在温度降低时,一个电容的容量在减小而另一个容量在增大,总的容量就基本不变,稳定了振荡频率,实现温度补偿目的。

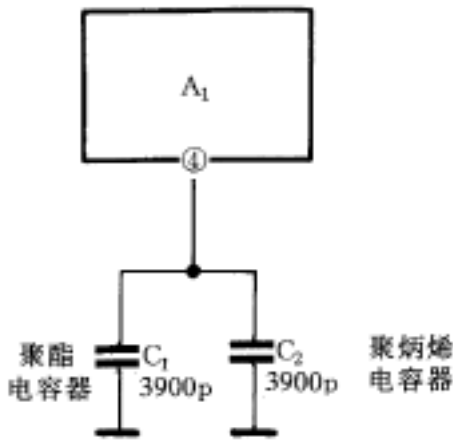


图 4 - 32 两个小电容并联电路

2. 识图小结

关于这一电路工作原理,还要说明下列几点。

在这一电路工作原理分析过程中,如果不了解不同材料的电容器具有不同的温度特

性,那么电路就无法分析,也无法理解为什么要使用两只小电容进行并联,所以电路分析中了解电子元器件的特性显得相当重要。

在振荡器电路中,定时电容的容量大小就决定了振荡器的振荡频率,当定时电容器的容量因为温度的变化而大小改变时,振荡器的振荡频率就会不稳定。

温度互补的情况在电路分析中时常运用,不仅是两只不同温度系数的电容器之间具有温度的互补特性,其他电子元器件之间也有温度互补特性,这一点将在后面电路中介绍。

4.4.6 多个小电容串联、并联电路

1. 电路分析

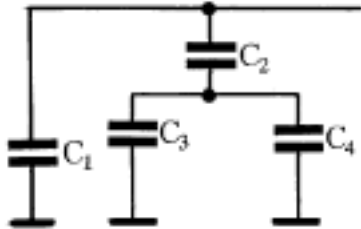


图 4 - 33 所示是多个小电容串联、并联电路,这是电视机行扫描输出级的逆程电容电路。电路中, C_3 与 C_4 并联后与 C_2 串联,然后再与 C_1 并联。这几个电容经串联、并联后,总的等效电容是行逆程电容,每一个电容器都是行逆程电容的一部分。

图 4 - 33 多个小电容串、
并联电路

在扫描电路中,行逆程电容是不能开路的,若只用一只电容器作为行逆程电容,万一该电容出现开路故障,则高压将升高许多,扫描电路将出现严重故障。为了保证电路的安全工作,采用了图中这样有许多电容串联、并联形式的电路,即使其中的一个电容出现开路故障,还有其他电容在工作,不会造成高压升高许多的现象。所以,设计这种电路的目的是为了提高电路工作的安全性。

2. 识图小结

关于这一电路工作原理,还要说明下列几点。

在电容的并联或串联电路中,并不只是为了增大或减小电容量而采取这样的电路措施,更多的情况是为了实现某个特定的电路功能,例如这一电路就是为增加扫描电路安全工作的可靠性才这样设计的。

电容的串联、并联电路只是电容器在电路中运用的一小部分,更多情况是电容器与其他电子元器件进行串联、并联而构成形形色色的功能电路。

4.5 实用 RC 电路和 LC 电路详解总汇

本节将收集各种简单、实用的 RC 电路和 LC 电路,通过详细分析这些电路的工作原理,可以从中学会电路分析的一般方法、步骤和技巧。

4.5.1 RC 消火花电路

1. RC 消火花电路之一

图 4 - 34 所示是一种 RC 消火花电路。电路中, $+V$ 是直流工作电压, S_1 是电源开关, M 是

直流电机, R_1 和 C_1 构成 RC 消火花电路。

这一电路的工作原理是这样: 电路中, 直流电机 M 是一个感性负载, 在切断电源开关 S_1 瞬间, 由于感性负载突然断电会产生自感电动势, 这一电动势很大且加在了开关 S_1 两个触点之间, 这会在 S_1 两触点之间产生打火放电现象, 损伤开关 S_1 的两个触点, 长时间这样打火会造成开关 S_1 的接触不良故障, 为此要加入 R_1 和 C_1 这样的消火花电路, 以保护感性负载回路中的电源开关。

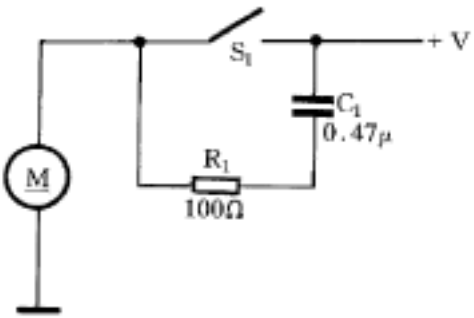


图 4 - 34 RC 消火花电路之一

在开关断开时, 由于 R_1 和 C_1 接在开关 S_1 两触点之间, 在开关 S_1 上的打火电动势等于加在 R_1 和 C_1 串联电路上。这一电动势通过 R_1 对电容 C_1 充电, C_1 吸收了打火电能, 使开关 S_1 两个触点的电动势大大减小, 达到消火花的目的。

由于对 C_1 的充电电流是流过电阻 R_1 的, 所以 R_1 具有消耗充电电流的作用, 这样, 打火的电能通过电阻 R_1 消耗掉。

在这种 RC 消火花电路中, 一般消火花电容取 $0.47\mu\text{F}$, 电阻取 100Ω 。

2. RC 消火花电路之二

图 4 - 35 所示是一种简化的 RC 消火花电路。电路中, $+V$ 是直流工作电压, S_1 是电源开关, M 是直流电机, C_1 是消火花电容。

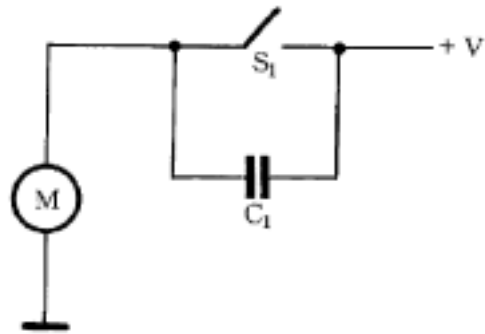


图 4 - 35 RC 消火花电路之二

这一电路的工作原理是这样: 电路中, 直流电机 M 是一个感性负载, 在切断电源开关 S_1 瞬间, 直流电机 M 两端会产生很大的自感电动势, 这一电动势加到了断开瞬间的开关 S_1 两个触点之间。

由电容两端的电压不能突变的特性可知, 开关 S_1 两端恰好并联电容 C_1 , 相当于这一自感电动势加到电容 C_1 两端, 而 C_1 在开关断开前内部没有电荷, 它的两端电压等于 0V , 即相当于 C_1 将自感电动势短接了, 自感电动势的能量被电容 C_1 所吸收, 这样, 开关 S_1 两个触点之间在断开时没有高电压, 防止了 S_1 两个触点之间打火的现象, 达到了保护开关 S_1 触点的目的。

开关 S_1 断开后, C_1 中充到了电荷, 然后 C_1 通过直流电机 M 回路放掉电荷, 以供下次开关 S_1 断开时吸收放电能量。

3. 识图小结

关于这一电路工作原理, 还要说明下列几点。

在开关 S_1 断开时, 直流电机 M 两端的自感电动势是通过这样的电路加到开关 S_1 两个触点之间的, 如图 4 - 35 所示电路, 直流电机 M 上端直接与开关 S_1 的左边触点相连, 直流电机 M 的下端通过地线与直流电源 $+V$ 的负极相连, 再通过直流电源的内电路与开关 S_1 的右边触点相连, 这样, 产生于直流电机 M 两端的自感电动势在开关 S_1 断开时就加到了 S_1 的两个触点之间了。

直流电机的内部是一个线圈结构, 根据线圈的有关特性可知, 当线圈中的电流发生改变时, 线圈将产生自感电动势以阻碍流过线圈电流的变化, 所以直流电机 M 在开关 S_1 断开时

要产生自感电动势。

4 5 2 RC 录音高频补偿电路

录音机、卡座这类磁性录放音系统中,在放音时要求进行大量的低频信号补偿(提升),在录音时则要求进行大量的高频信号补偿(提升)。

图 4 - 36 所示是最基本、最常见的录音高频补偿电路,它设在录音输出回路中。电路中, R_1 是恒流录音电阻, C_1 是录音高频补偿电容。这一电路由 RC 补偿电路和 LC 串联谐振补偿两部分电路组成。

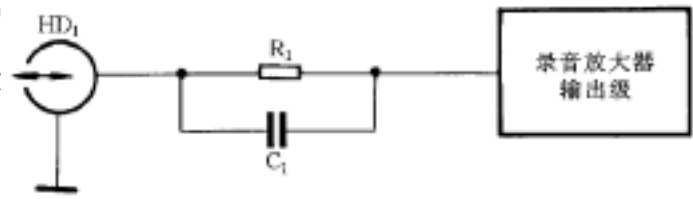


图 4 - 36 录音高频补偿电路

1. RC 录音高频补偿电路

RC 录音高频补偿电路的工作原理是这样: 电容 C_1 和 R_1 并联, 构成一个 RC 并联电路, 这一 RC 并联电路串联在录音磁头 HD_1 回路中, 这样录音磁头的阻抗和这个 RC 并联电路阻抗之和是录音放大器输出级的负载。

图 4 - 37(a) 所示是 R_1 、 C_1 并联电路的阻抗特性曲线, 从曲线中可以看出, 当录音信号频率低于转折频率 f_0 时, 阻抗不变, 所以低于转折频率的录音信号其流过录音磁头的录音电流大小不变; 当录音信号频率高于转折频率 f_0 后, 该 RC 并联电路的阻抗在下降, 说明频率高于 f_0 的录音高频信号电流在增大, 且录音信号频率愈高, 其录音信号电流愈大, 这样可以达到提升录音高频段信号的目的。

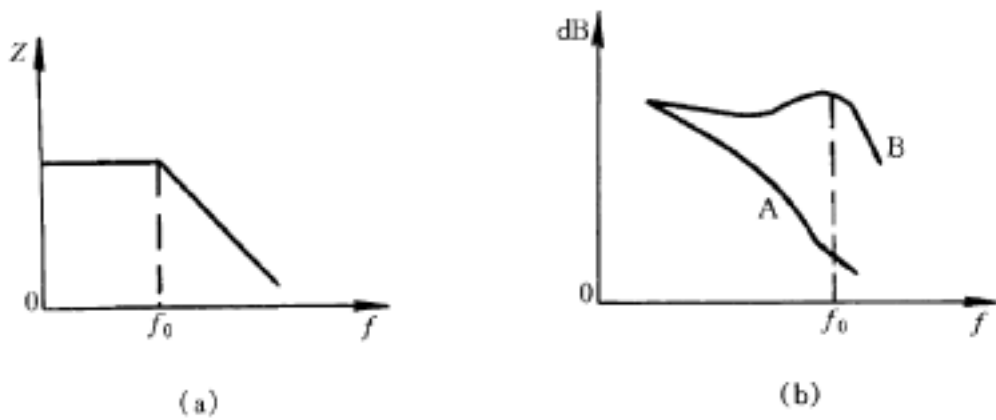


图 4 - 37 阻抗特性曲线

RC 补偿电路的补偿量不大(6dB/ OCT, 即频率升高一倍, 提升 6dB), 主要是靠 LC 谐振式高频补偿电路进行大幅度的录音高频信号提升。

2. LC 串联谐振高频补偿电路

LC 串联谐振补偿电路的工作原理是这样: 电容 C_1 与录音磁头线圈(称为 L_1) 构成一个 LC 串联谐振电路, 其谐振频率 f_0 设在录音信号高于上限频率(录音信号的最高频率)且靠近上限频率处, 由于 LC 串联谐振电路在谐振时阻抗最小, 这样可以使高频的录音信号电流增大许多, 达到提升录音高频信号的目的。

图 4 - 37(b) 所示是这一 LC 串联谐振式录音高频补偿电路的特性曲线, A 曲线是未补偿时的, B 曲线是加入 LC 串联谐振补偿电路后的特性, 可见高频段录音信号得到提升, 并且是录

音信号频率愈高,其提升量愈大。

3. 识图小结

关于这一电路工作原理,还要说明下列几点。

从上述 RC 和 LC 高频补偿电路分析可知,在电路分析中主要是运用补偿电路的阻抗特性,因为电路中的电流与电路的阻抗呈反比关系,阻抗大了,电路中的电流就小,阻抗小了,电路中的电流就大了,这是电路分析的最常见形式。

在 RC 高频补偿电路分析中,可运用 RC 并联电路的阻抗特性,且要对录音信号频率分成两种情况来分析:一是频率高于转折频率的录音高频信号,二是频率低于转折频率的录音信号。在 LC 高频补偿电路分析时也是一样的。

所谓补偿录音高频信号,是相对于中频和低频信号而言的,如果通过补偿电路使高频信号增大了,说明这是高频补偿电路;如果通过补偿电路使低频信号增大了,说明这是低频补偿电路。

4 5 3 加速电容电路

1. 电路分析

图 4 - 38 所示是微分电路的一种应用电路,即脉冲放大器电路中的加速电容电路。电路中,VT₁ 是三极管,构成脉冲放大管,C₁ 并联在 R₁ 上,C₁ 是加速电容。C₁ 的作用是加快 VT₁ 管导通和截止的转换速度,所以称为加速电容。

电路中,三极管 VT₁ 工作在开关状态下(相当于一个开关),U_i 为加到三极管 VT₁ 基极的输入信号电压,是一个矩形脉冲信号,当 U_i 为高电平时使三极管 VT₁ 饱和导通,当 U_i 为低电平时使三极管 VT₁ 截止。

加速电容 C₁ 与三极管 VT₁ 的输入电阻 R_i 构成微分电路,如图 4 - 39(a)所示。根据微分电路的有关特性可知,当输入信号电压 U_i 从 0V 跳变到高电平时,由于电容 C₁ 和 R_i 微分电路的作用,使加到 VT₁ 管基极的电压为一个尖顶脉冲,如图 4 - 39(b)所示,这一尖顶脉冲使 VT₁ 管基极电流很大,这样 VT₁ 管迅速从截止状态进入饱和状态,加速了 VT₁ 管的饱和导通,即缩短了 VT₁ 管饱和导通的时间。

在 t₀ 之后,对 C₁ 的充电很快结束,这时输入信号电压 U_i 加到 VT₁ 管基极的电压比较小,维持 VT₁ 管的饱和导通状态。

当输入信号电压 U_i 从高电平突然跳变到 0V 时,见图 4 - 39(b)所示的 t₁ 时刻,由于 C₁ 上原先充到的电压极性为左 + 右 -,使加到 VT₁ 管的基极电压为负尖顶脉冲,由于加到 VT₁ 管基极的电压为负,加快了 VT₁ 管从基区抽出电荷,使 VT₁ 管以更快的速度迅速从饱和状态转换到截止状态,即缩短了 VT₁ 管截止的时间。

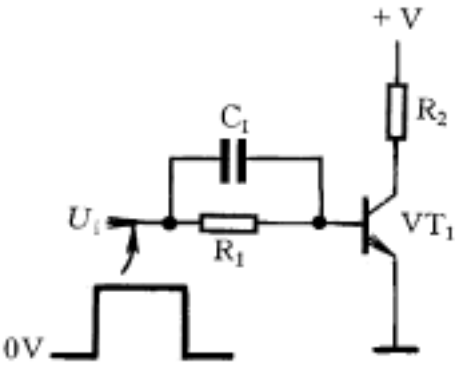


图 4 - 38 加速电容电路

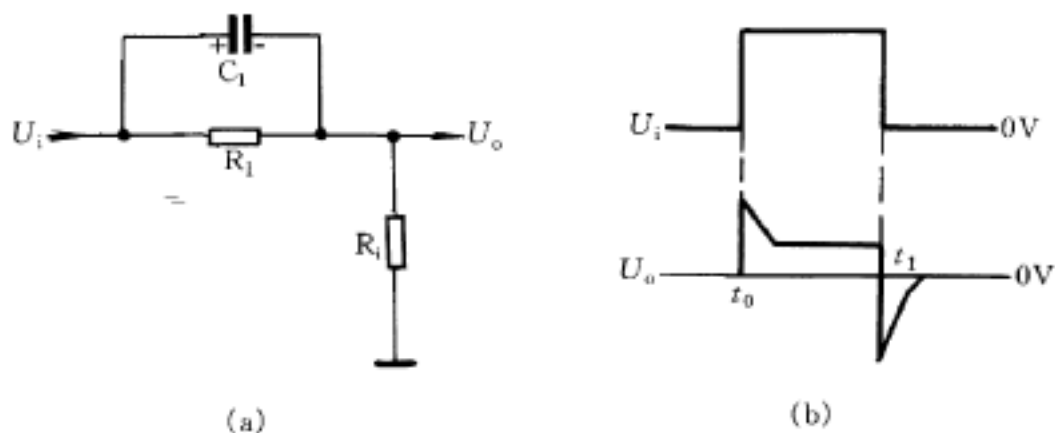


图 4 - 39 等效电路示意图

2. 识图小结

关于这一电路工作原理,还要说明下列几点。

从上述电路分析中可知,由于接入电容 C_1 ,使 VT_1 管以更快的速度进入饱和状态,同样也是以更快的速度进入截止状态,可见电容 C_1 具有加速 VT_1 管工作状态转换的作用,所以将 C_1 称为加速电容。

这种加速电容电路主要出现在电子开关电路或脉冲放大器电路中,音频放大器电路中不用这种电路。

4 5 4 机内话筒电路中 RC 低频噪声切除电路

1. 电路分析

图 4 - 40 所示是录音机的机内话筒输入电路中 RC 低频噪声切除电路。电路中, MIC 是机内驻极体电容话筒,为二根引脚的话筒。 CK_1 是外接话筒插座, S_{1-1} 是录放开关,图示在录音 (R) 位置。电阻 R_1 和 C_1 构成低频噪声切除电路。

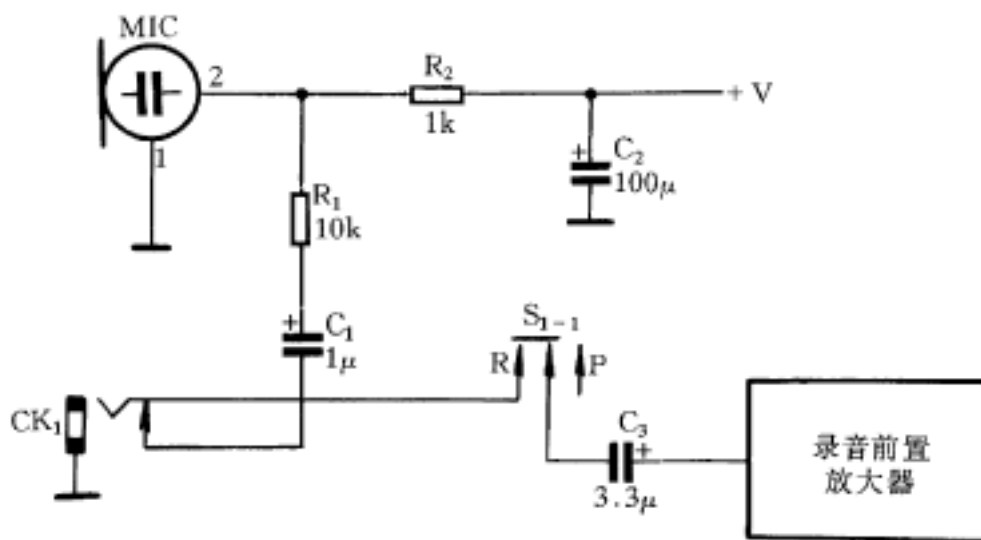


图 4 - 40 机内话筒电路中 RC 低频噪声切除电路

这一电路的工作原理是这样:直流工作电压 $+V$ 通过电阻 R_2 给机内驻极体电容话筒 MIC 的 2 脚加上直流工作电压,这样话筒 MIC 便能进入工作状态。

机内话筒 MIC 输出信号的传输过程是这样:MIC 的 2 脚输出的话筒信号经过 R_1 、 C_1 和 外接话筒插座 CK_1 ,通过录放开关 S_{1-1} 和输入端耦合电容 C_3 ,加到录音前置放大器的输入端,完成机内话筒信号的传输过程。

上述机内话筒信号的传输过程也可以用这样的方式来表述:MIC 的 2 脚输出话筒信号 R_1 和 C_1 (低频噪声切除电路) 外接话筒插座 CK_1 录放开关 S_{1-1} 输入端耦合电容 C_3 录音前置放大器的输入端。

R_1 和 C_1 低频噪声切除电路的工作原理是这样:由于机内话筒 MIC 装在录音机的机壳上,而机壳上还同时装有扬声器,在扬声器发出声音时会引起机壳的振动,这一振动将引起机内话筒 MIC 的振动,导致 MIC 输出一个频率很低的振动噪声,从而在机内话筒工作时出现“轰隆、轰隆”的低频噪声,为此要在机内话筒输入电路中加入低频噪声切除电路,以消除这一低频的噪声。

R_1 和 C_1 串联在机内话筒信号的传输电路中, R_1 和 C_1 构成一个 RC 串联电路,图 4 - 41 所示是这一 RC 串联电路的阻抗特性曲线。从曲线中可以看出,当话筒输出信号频率低于转折频率 f_0 时,这一 RC 串联电路的阻抗随频率降低而增大,这样流过 R_1 和 C_1 电路的低频噪声电流就减小。

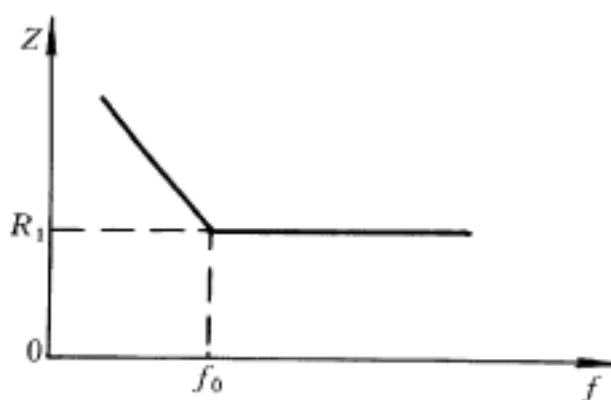


图 4 - 41 R_1 和 C_1 低频噪声切除电路
阻抗特性曲线

只要将这一 RC 串联电路的转折频率 f_0 设计得足够的低,就能在消除机内话筒产生的“轰隆、轰隆”低频噪声的同时,对低频段的有用信号衰减影响不是太大(当然对低频段的有用信号是有影响的),因为“轰隆、轰隆”低频噪声的频率比较低,而低频率的有用信号已经很小了,消除低频噪声就成为了主要矛盾。

2. 信号概念

前面电路分析中多次讲起信号,什么直流信号、交流信号、音频信号等。信号这一概念比较熟悉但又相当含糊,从信号本身的属性来讲,信号有电信号、声信号、磁信号和光信号等,在家用无线电设备中,更多的是电信号。

电信号中,从信号的表现形式来讲,有电压信号、电流信号和功率信号;从信号大小变化与时间轴之间的关系分,有下列两大类信号。

模拟信号。这是非常常见的一种电信号,通常不加说明时就是指这种信号。

数字信号。由于愈来愈多的家用无线电设备采用了数字技术,数字电路也愈来愈多地被使用,所以接触数字信号这一概念的机会也渐渐多了起来。

3. 模拟信号

模拟信号是指信号的电压或电流大小随时间连续变化的信号,通俗地讲,模拟信号就是大小连续变化的信号,这种信号一般情况下不会出现信号电压或电流突然消失、突然增大的情况(但不是绝对没有),各种常见家用电器电路中的信号都是模拟信号。当然,数字式家用电器电

路中也有模拟信号的存在。

图 4 - 42 所示波形可以说明模拟信号的连续性特征,图中 X 轴方向是时间, Y 轴方向是模拟信号的电压(也可以是电流)大小变化。

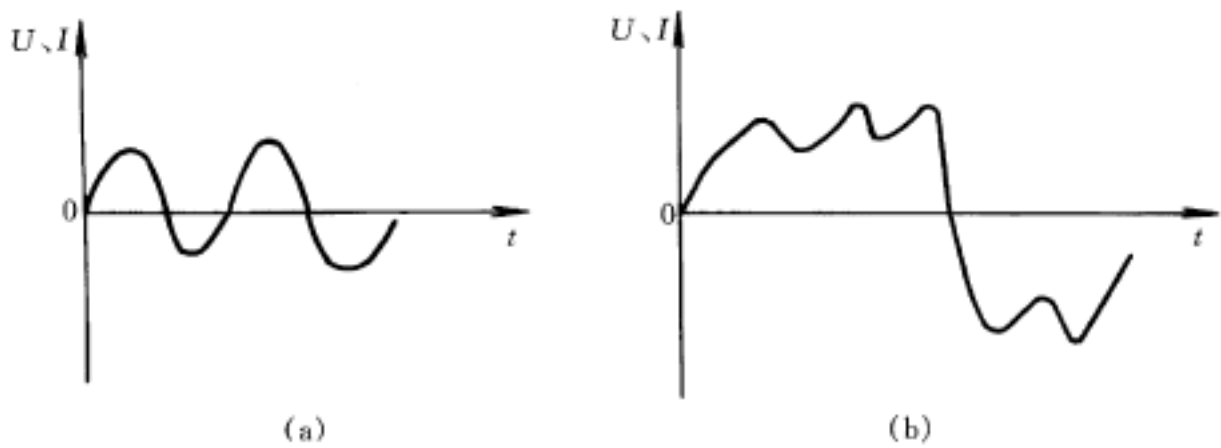


图 4 - 42 模拟信号波形示意图

从图中可看出,虽然(a)和(b)两种模拟信号的具体形状不同,但都有一个共同的特点,就是信号的幅值大小随时间的变化是连续变化的。

4. 数字信号

数字信号是一个离散量,具体地讲,数字信号的电压或电流在时间和数值上都是离散的,不连续的。

这里举一个例子来说明数字信号,普通指针式万用表在指示电阻值时,通过表针的摆动和表面的刻度来指示电阻值,而数字式万用表则通过数字来指示电阻值。

例如,某只数字式万用表只能够显示三位数字,它显示某个电阻器的阻值为 7.55k ,比这一阻值再大一点的显示是 7.56k ,但是该表无法显示 7.555k ,它只能以每隔 0.01k 分挡显示,说明数字式万用表的指示阻值不能连续,这种不能连续变化的显示信号称为数字信号。

数字信号在时间上也是不连续的。

数字信号的幅值变化只有两种:一是无(或小),用“0”表示;二是有(或大),用“1”表示,数字信号的幅值只在“有”或“无”(大或小)两种幅度之间变化,这就是数字信号幅值的不连续特性,也是数字信号的一个重要特点。

图 4 - 43 可以说明数字信号的不连续性,图 4 - 43(a)所示是将时间轴放大后的示意图,图 4 - 43(b)所示是将时间轴缩小后的示意图。数字信号幅值只有“1”和“0”两种,它们之间没有过渡。

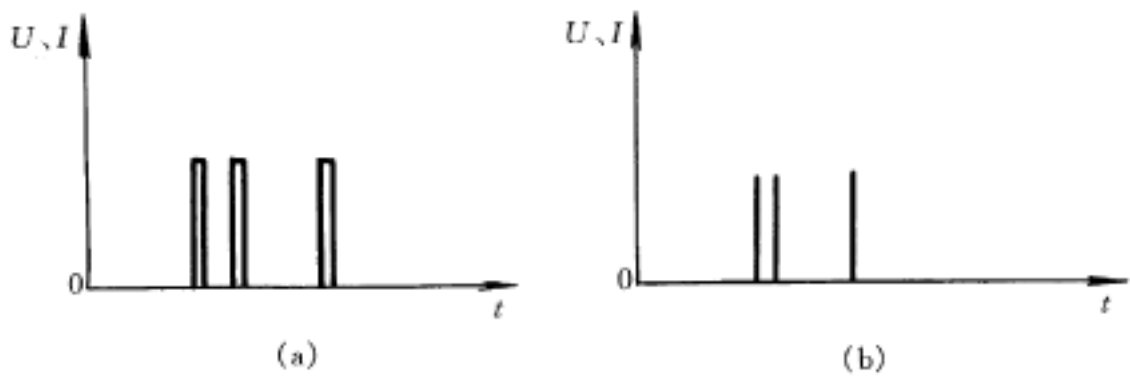


图 4 - 43 数字信号示意图

5. 噪声(杂波)

电子电路中,除有用成分(信号)之外的任何成分都视为噪声。例如,在音响器材中,从扬声器中出来的音乐声是有用的成分,若有“喀啦、喀啦”的响声,这就是没有用的噪声了。在视频设备中(如黑白和彩色电视机),因为噪声会以屏幕上杂波的形式出现,所以将噪声称为杂波。

4 5 5 RC 去加重电路

去加重电路也是由 RC 元件构成的。

去加重电路出现在调频收音电路和电视机的伴音通道电路中,在分析去加重电路工作原理之前,先解释有关调频噪声特性。

1. 噪声特性

调幅(指调幅收音机)和调频(指调频收音机)的噪声特性是不同的,如图 4 - 44 所示。从图中可以看出,调幅噪声在不同频率下的噪声大小相等,可调频则是随着频率升高,其噪声增大,这说明调频的高频噪声严重(相对于低频和中频而言)。

为了改善高频段的信噪比(信号大小与噪声大小之比),调频发射机在发射调频信号之前,对音频信号中的高频段信号要进行预加重,即先提升高频段的音频信号,在调频收音电路中则要设置去加重电路,以还原音频信号原来的特性,在去加重过程中,同时也将高频段噪声加以去除,这就是为什么在调频收音电路中要设置去加重电路的原因。

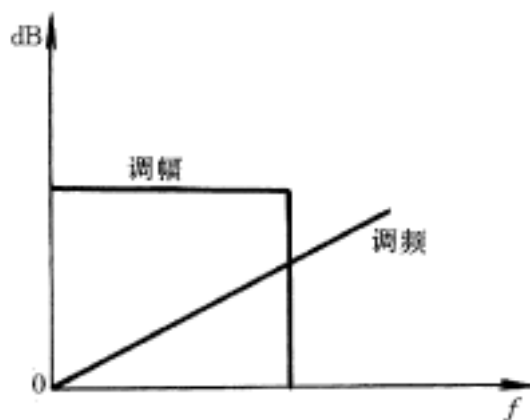


图 4 - 44 调幅和调频噪声特性曲线

2. 单声道去加重电路

图 4 - 45 所示是单声道调频收音电路中的去加重电路。

电路中, R_1 和 C_1 构成去加重电路。对于单声道收音电路而言,去加重电路设在鉴频器电路之后,即鉴频器输出的音频信号立即进入去加重电路中。

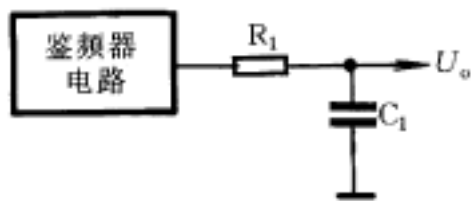


图 4 - 45 单声道去加重电路

去加重电路的工作原理是这样:由于电容 C_1 对高频信号的容抗比较小,这样,对高频信号存在衰减作用,达到衰减高频段信号的目的。在衰减高频段信号的同时,也将高频段噪声同时消除。

从另一个角度也可以理解去加重电路的工作原理, R_1 和 C_1 构成一个分压电路,对鉴频器输出的各频段音频信号进行分压衰减,由于电阻 R_1 对不同频率音频信号呈现相同的阻值,而电容 C_1 随频率升高而容抗下降,这样这一 RC 分压电路对频率愈高的音频信号分压衰减量愈大,达到去加重的目的。

经过去加重后的音频信号加到音频功率放大器电路中。

3. 立体声调频收音电路中的去加重电路

图 4 - 46 所示是立体声调频收音电路中的去加重电路。这是一个双声道去加重电路,其中 R_1 和 C_1 构成左声道去加重电路, $U_o(L)$ 是去加重后的左声道音频信号; R_2 和 C_2 构成右声道去加重电路, $U_o(R)$ 是去加重后的右声道音频信号。

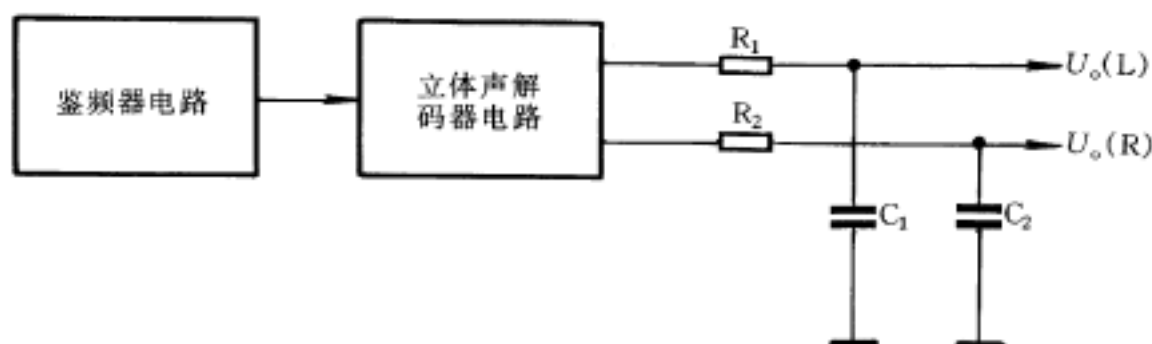


图 4 - 46 双声道去加重电路

对于立体声调频收音电路而言,去加重电路必须设在立体声解码器电路之后,由于立体声解码后得到了左、右声道两个信号,所以这时需要在左、右声道电路中各设置一个相同的去加重电路。左、右声道去加重电路的工作原理是相同的,并且与前面介绍的单声道去加重电路一样。

立体声调频收音电路中的去加重电路不能设置在鉴频器之后,这是因为从鉴频器输出的立体声复合信号中,19kHz 导频信号和 23 ~ 53kHz 边带信号会被去加重电路滤掉,这样就无法进行立体声解码,所以要将去加重电路设置在立体声解码器电路之后。

4. 双声道立体声

前面电路分析中多次提到左声道、右声道和立体声,这里对此进行解释。

什么样的声音是立体声呢?在日常生活中我们听到的声音就是立体的,这就是立体声,它的含义比较丰富,包括了声源的距离、方向、角度、是移动的还是静止的等,我们听到的这种声音场称之为自然声场。

在平时所讲的立体声,一般是指从双声道录放音系统出来的声音,但是这种双声道立体声距离真正的从自然声场中听到的立体声还差得很多,图 4 - 47 所示曲线表达了音响系统声道数目与真正的自然声场中立体声效果之间的关系。

选择双声道制式是出于降低成本的考虑。另外,即使再增加声道的数目,也不能有效地提高立体声效果,这一点从上述曲线中可以看出。

除双声道立体声外,还有三声道、四声道等音响系统。目前,组合音响一般都是双声道的,但家庭影院系统则是多声道的。

在双声道音响系统中,要求从节目源到扬声器都是左声道和右声道电路分开、彼此独立和完全相同的。

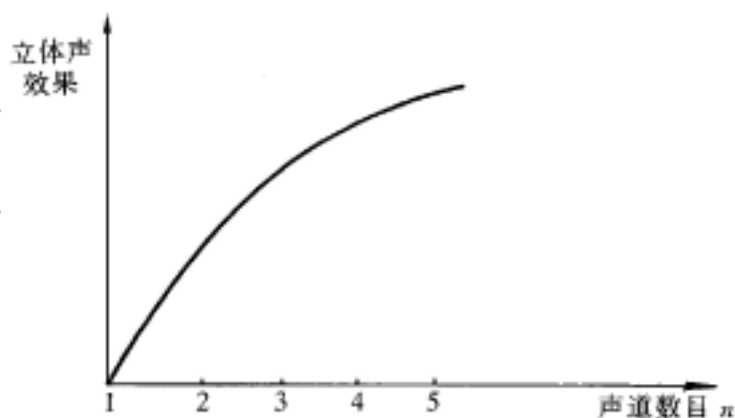


图 4 - 47 声道数目与立体声效果之间的关系曲线

5. 声道概念

前面讲到双声道立体声,它是用左、右两个声道进行记录、重放立体声,左侧的称为左声道,右侧的称为右声道,左、右声道的电路是完全对称的,即两个声道的频率响应特性、增益等指标相同,但是左、右声道电路中所处理、放大的信号是有所不同的,主要是它们的相位特性不同,所以将处理、放大不同相位特性信号的电路通路称为声道。

家庭影院系统中,一般除双声道信号处理方式外,还多出了环绕声道。

6. 立体声与高保真

立体声与高保真不是同一回事,将它们混为一谈是错误的。

立体声是指听到的声音具有声像的移动感、空间感、临场感等方向感。高保真是指通过音响设备重放出来的声音各种畸变很小,以致人耳无法觉察。

立体声的音响设备不一定是高保真的,只有建立在高保真前提下的立体声音响设备才能达到高保真特性。

4 5 .6 场积分电路

1. 电路分析

图 4 - 48 所示是积分电路的应用电路,这是黑白或彩色电视机场扫描电路中的场积分电路,这是一个两节积分电路,即用两个积分电路连接起来的积分电路。 R_1 和 C_1 构成第一节积分电路, R_2 和 C_2 构成第二节积分电路。

图 4 - 49 中的 U_i 是行、场复合同步信号示意图,也是加到这一场积分电路中的输入信号波形示意图。 U_o 所示是从这一场积分电路输出的信号电压波形示意图,这就是场同步信号波形。

从输入信号 U_i 波形中可以看出,行与场同步信号的幅度相等,但宽度不同,行同步脉冲窄,场同步脉冲宽,这里的积分电路就是要从这一复合同步信号中,将行同步脉冲去掉,取出场同步信号。

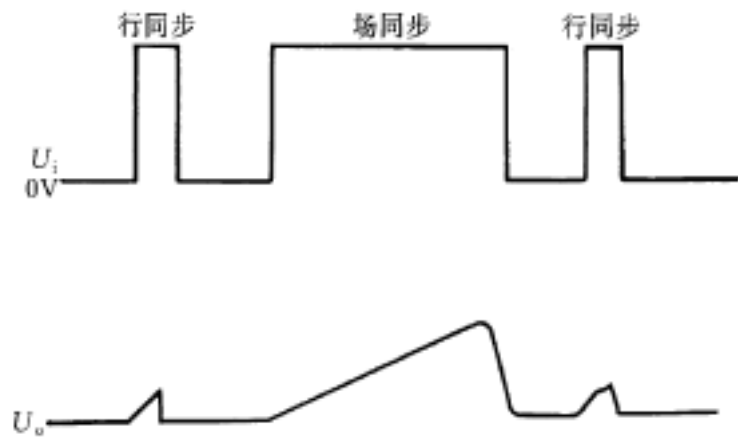


图 4 - 49 输入、输出信号波形示意图

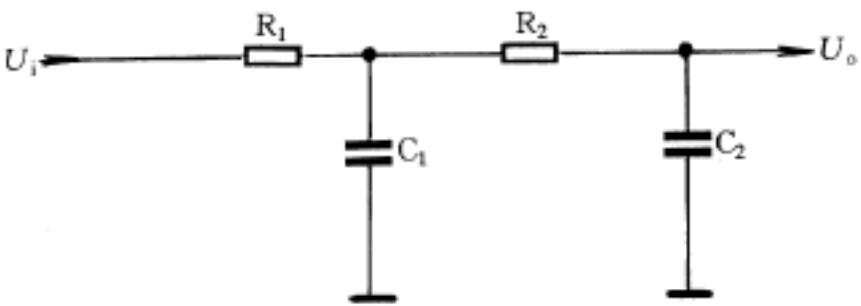


图 4 - 48 场积分电路

根据积分电路的特性可知,当输入积分电路的脉冲持续时间长时,积分电路的输出信号电压就大;当输入积分电路的脉冲持续时间短时,积分电路的输出信号电压就小。这样,根据复合同步信号脉冲中场同步脉冲、行同步脉冲的宽度不同,就能将行、场同步信号分离,取出所需要的场同步信号。

当复合同步信号加到积分电路中后,经 R_1 和

C_1 构成的第一节积分电路积分,其输出信号再加到由 R_2 和 C_2 构成的第二节积分电路中积分,得到输出信号 U_o ,见图中波形所示,在场同步脉冲期间内,输出信号 U_o 幅度比较大,而在行同步脉冲期间内,输出信号 U_o 幅度小,这样达到从输入信号 U_i 中取出场同步信号的目的。

这一电路中采用两节积分电路的目的,是为了进一步减小行同步脉冲出现期间输出信号 U_o 的幅度,以便更好地取出场同步信号。

2. 识图小结

关于这一电路工作原理,还要说明下列几点。

将一个复合信号分离出来的电路称为信号分离电路,除上述用积分电路进行行、场同步信号分离外,还有根据复合信号中的两个信号幅度大小不同而进行分离的幅度分离电路,还有根据复合信号中的两个信号频率高低不同而进行分离的频率分离电路,还有根据复合信号中的两个信号相位不同而进行分离的相位分离电路等。

在实用电路中,除二节的场积分电路外,还有三节的场积分电路,积分电路节数愈多,对信号的分离愈彻底。

对场积分电路的分析过程中,运用了积分电路的基本原理,不了解这种电路的基本特性,就无法对场积分电路进行分析。

4 5 .7 LC 并联谐振阻波电路

1. 偏磁阻波电路

在录音机、卡座中,在录音时要给录音磁头加入偏磁电流,以便录音磁头工作在最佳状态。但是,这一录音偏磁电流在供给录音磁头的同时,也会窜到录音放大器电路中,影响到录音放大器的正常工作,为此要设置偏磁阻波电路。

图 4 - 50 所示是由 LC 并联谐振电路构成的偏磁阻波电路。电路中, L_1 和 C_1 构成 LC 并联谐振电路,作为偏磁电流阻波电路。 C_3 给录放磁头 HD_1 提供超音频偏磁电流。 R_1 是恒流录音电阻, C_2 是高频补偿电容, R_1 和 C_2 的工作原理在前面电路中已经介绍。

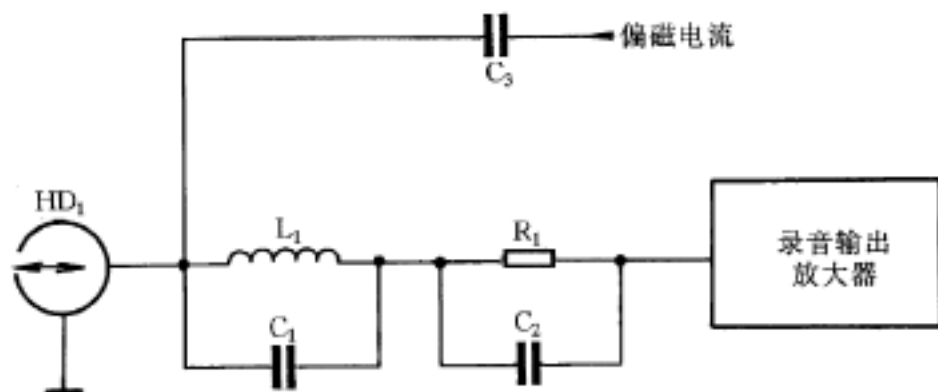


图 4 - 50 LC 并联谐振电路构成的偏磁阻波电路

这一电路的工作原理是这样:若没有 L_1 和 C_1 阻波电路,从 C_3 送来的超音频偏磁电流一部分加到了录放磁头 HD_1 中,另一部分会通过 R_1 和 C_2 窜入录音输出放大器中,从而干扰录音放大器的正常工作。

在加入 L_1 和 C_1 电路后,由于这是一个 LC 并联谐振电路,其谐振频率等于超音频偏磁电流的频率,由 LC 并联谐振电路谐振时阻抗为最大这一特性可知, L_1 和 C_1 并联谐振电路因为阻抗很大,而阻止了超音频偏磁电流窜入录音放大器,达到阻波的目的。

加入偏磁电流阻波电路之后,对录音信号的正常传输是没有影响的,因为超音频电流的频率高达 $50 \sim 150\text{kHz}$,远高于从录音输出级放大器送到录音磁头 HD_1 中的录音信号频率(最高也只有 20kHz),所以 L_1 和 C_1 并联谐振电路对录音音频信号而言处于失谐状态,阻抗很小,呈通路状态,这样,录音信号能够通过 L_1 和 C_1 加到录音磁头 HD_1 中。

2. 阻波电路

图 4 - 51 所示是采用一种 LC 并联谐振电路构成的阻波电路。电路中,输入信号 U_i 是一个频率范围很宽的信号,其中包括频率为 f_0 的信号,见图中所示。 L_1 和 C_1 构成 LC 并联谐振电路,谐振频率为 f_0 ,这一谐振电路串联在信号传输回路中,即在放大器的输入回路中。 C_2 是耦合电容。

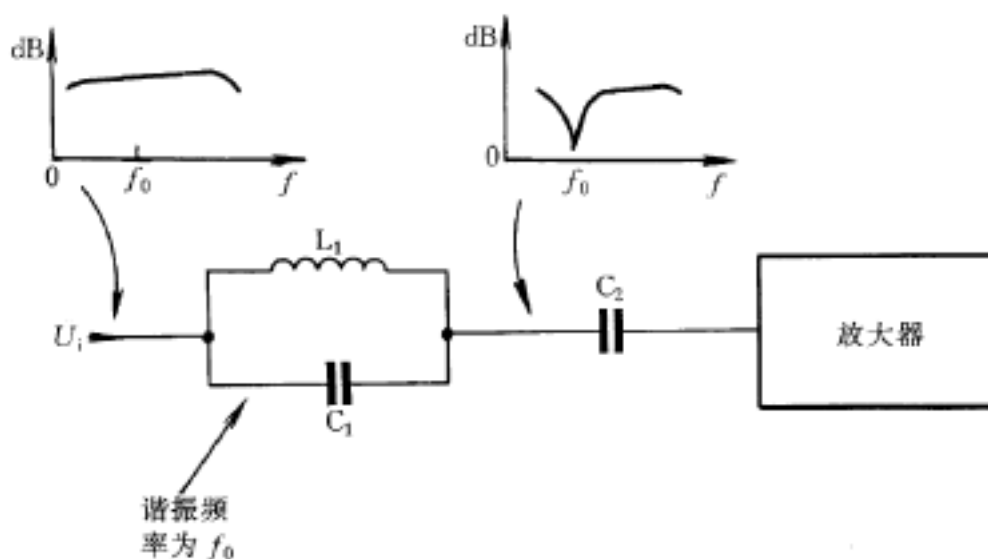


图 4 - 51 一种阻波电路

这一电路的工作原理是这样： L_1 和 C_1 构成并联谐振电路,其谐振频率为 f_0 ,输入信号中频率为 f_0 的信号因为 L_1 和 C_1 发生并联谐振,阻抗很大而无法通过,而对于输入信号中的其他频率信号,因为 L_1 和 C_1 电路失谐而阻抗很小,顺利地通过 L_1 和 C_1 ,经 C_2 加到放大器电路中。见图中所示,加到放大器中的信号少了频率为 f_0 的信号,达到阻波目的。

3. 识图小结

关于这一电路工作原理,还要说明下列几点。

上述电路分析中运用了 LC 并联谐振的特性:LC 并联谐振电路谐振时对谐振频率的信号阻抗很大,对于低于或高于谐振频率的信号,阻抗很小而呈通路。

电路中为了阻止某一种频率信号的通过,可以采用这种阻波电路。在实用电路中,例如电视机电路中,有许多这样的阻波电路,通常都是采用 LC 并联谐振电路构成阻波电路,其电路工作原理的分析方法相同,就是利用 LC 并联谐振电路谐振时阻抗很大和失谐时阻抗很小这一特性。

4 5 8 LC 串联谐振吸收电路

1. 电路分析

图 4 - 52 所示是采用 LC 串联谐振电路构成的吸收电路。电路中, U_i 是输入信号, 它的频率特性见图中所示, 频率范围很宽, 其中包括了频率为 f_0 的信号。 L_1 和 C_1 构成串联谐振电路, 其谐振频率为 f_0 , 这一谐振电路接在放大器输入端与地线之间。

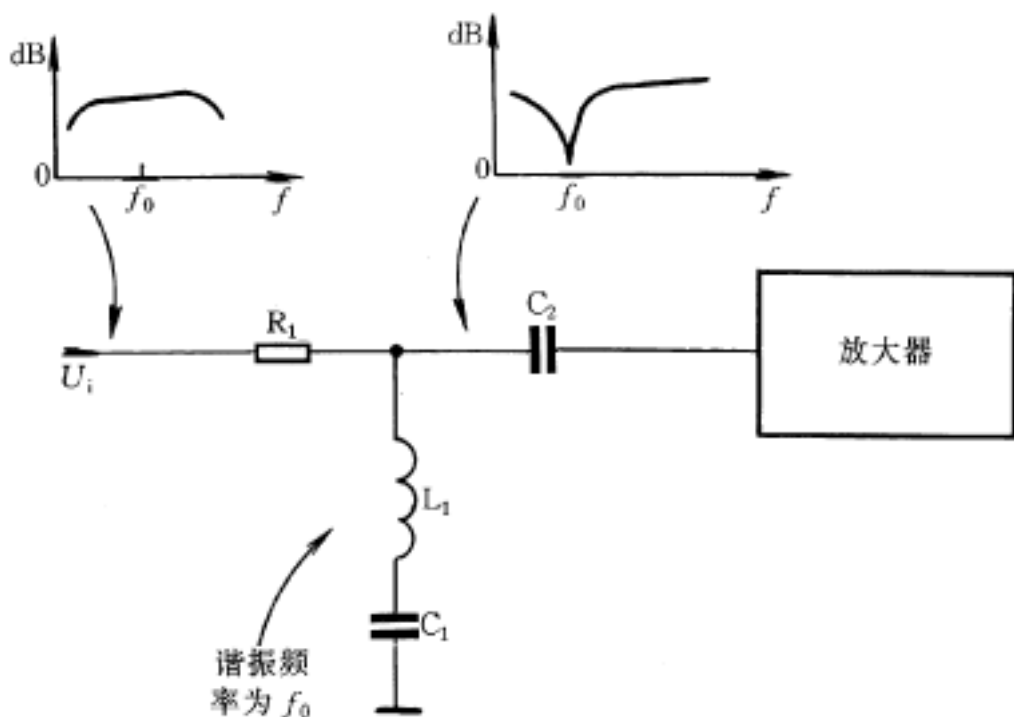


图 4 - 52 LC 串联谐振电路构成的吸收电路

对于输入信号中频率为 f_0 的信号, 由于与 L_1 和 C_1 的谐振频率相同, 这时 L_1 和 C_1 电路的阻抗很小, 频率为 f_0 的输入信号被 L_1 和 C_1 串联谐振电路分流到地, 而不能加到后面的放大器电路中, 这样放大器就不能放大频率为 f_0 的信号, 当然输出信号中也就没有频率为 f_0 的信号。

对于输入信号中频率高于或低于 f_0 的信号, 由于与 L_1 和 C_1 的谐振频率不等, 这时 L_1 和 C_1 电路失谐, 其阻抗很大, 这些频率的输入信号不会被 L_1 和 C_1 旁路到地, 而能够加到后面的放大器电路中。

从图中可以看出, 频率为 f_0 的信号在输出信号中已经没有, 已经被 L_1 和 C_1 构成的串联谐振电路所吸收。

2. 识图小结

关于这一电路工作原理, 还要说明下列几点。

LC 串联谐振电路在谐振时其阻抗为最小, 这一特性与 LC 并联谐振电路相反。

吸收电路的作用是将输入信号中某一频率的信号去掉, 它与前面所介绍的阻波电路功能一样。

4 5 9 LC 并联谐振移相电路

1. 电路分析

图 4 - 53 所示是采用 LC 并联谐振电路构成的移相电路。电路中, VT_1 管构成一级放大器电路, R_1 是它的基极偏置电阻, L_1 和 C_2 构成 LC 并联谐振电路, L_1 是一个电感量可以进行微调

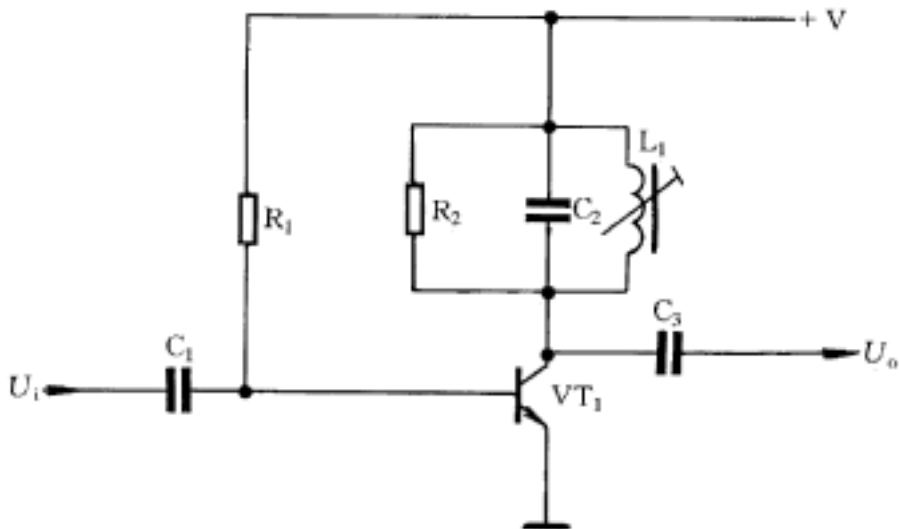


图 4 - 53 LC 并联谐振电路构成的移相电路

的可变电感器。 R_2 是这一谐振电路的阻尼电阻。

图 4 - 54 所示是这一移相电路的相移特性曲线, 它表示了这一电路输出信号电压 U_o 与流过 LC 谐振电路中的电流两者之间相位差与频率的关系。

设输入信号的频率为 f_i , LC 并联谐振电路的谐振频率为 f_0 , 这一频率信号经 VT_1 管放大后, 其集电极信号电流流过 L_1 和 C_2 构成的 LC 并联谐振电路。通过调整 L_1 电感量, 使该谐振电路的谐振频率 $f_0 = f_i$, 这样从曲线中可以看出, 此时这一电路对频率为 f_i 的信号相移量为零, 即频率为 f_i 信号的集电极电流与输出电压 U_o 之间同相位。

如果通过调整 L_1 的电感量, 使谐振频率 f_0 高于输入信号频率 f_i , 从特性曲线中可看出, 此时已有了正向移相, 即输出信号电压 U_o 超前集电极信号电流。 f_0 频率愈是高于输入信号频率 f_i , 超前量愈大。

如果通过调整 L_1 的电感量, 使谐振频率 f_0 低于输入信号频率 f_i , 从特性曲线中可看出, 有了负向移相, 即输出信号电压 U_o 滞后于集电极信号电流。 f_0 频率愈是低于输入信号频率 f_i , 滞后量愈大。

通过上述分析可知, 通过调整 L_1 的电感量, 可以改变输出信号电压 U_o 的相位, 达到移相的目的。

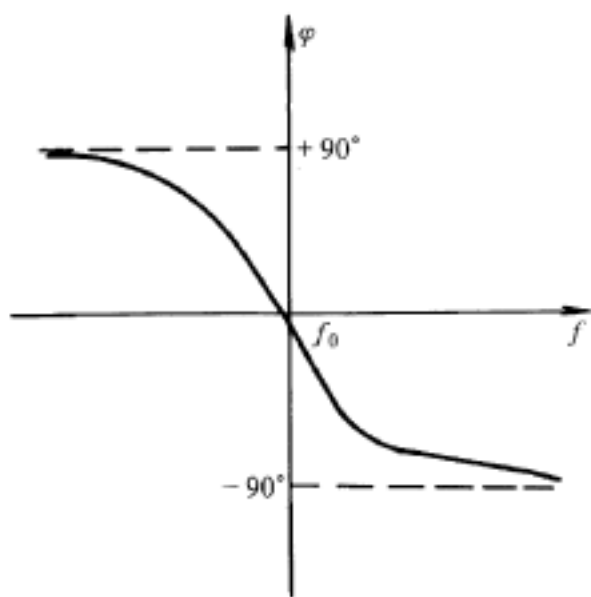


图 4 - 54 相移特性曲线

2. 识图小结

关于这一电路工作原理,还要说明下列几点。

这一移相电路理论上可以对信号在 $+90^\circ \sim -90^\circ$ 范围内进行移相,但实际使用中,只用中心频率 f_0 附近较小频率范围内的移相特性,因为在这一较小频率范围内的移相曲线近似为直线,具有线性移相特性。

移相电路还有 RC 移相电路和 RL 移相电路等。

4 5 .10 二分频扬声器电路大全和详解

音响设备中的音箱通常是采用二分频音箱,也就是一只音箱中至少要有两只扬声器,在多于一只扬声器时,各只扬声器的工作要通过分频电路来协调,这由分频电路来完成。

所谓二分频扬声器电路,就是在一只音箱中设有一只高音扬声器和一只低音扬声器。低音扬声器口径大,低音效果好,口径愈大,低音效果愈好,但是由于口径大时高音效果则不好。而高音扬声器特性恰好相反,它的口径小,高频特性好,重放高音效果好,它的低频特性差,重放低音时效果不好。

音箱采用低音和高音两只扬声器之后,让高频信号通过高音扬声器重放出高频频段声音,让低音扬声器重放中频段和低频段的声道,采用这种分频重放方式还原的高、中、低音效果比单独使用一只扬声器要好许多。

分频电路设在音箱内,由分频电路完成音箱内低音扬声器、高音扬声器的分频工作。各种分频器电路主要由电容器、电感器组成。分频器电路中的电容器称为分频电容器,电感器则称为分频电感器。

1. 最简单的二分频扬声器电路

图 4 - 55 所示是最简单的二分频电路。电路中, BL_1 是低音扬声器, BL_2 是高音扬声器,这一电路中没有分频元件,因为高音扬声器采用压电式扬声器,这种扬声器的高频特性好,低频特性差,阻抗高,这样 BL_2 用来重放高音, BL_1 重放中音和低音。

从电路中可以看出,扬声器电路是功率放大器的负载,从功率放大器输出的音频功率信号用来推动扬声器发出声音。

这一扬声器电路的工作原理是这样:对于中频和低频信号而言,由于高音扬声器 BL_2 的阻抗比较高,所以 BL_2 相当于开路,这样中频和低频信号就由低音扬声器 BL_1 来重放;对于高频信号而言,

低音扬声器 BL_1 的高频特性差,且阻抗大而相当于开路,而 BL_2 的高频特性好,这样高频信号由 BL_2 来重放。显然,电路中的两只扬声器工作在各自的频段内。

在这一扬声器中,虽然也是使用高音和低音两只扬声器,但没有分频电路,只是利用两种

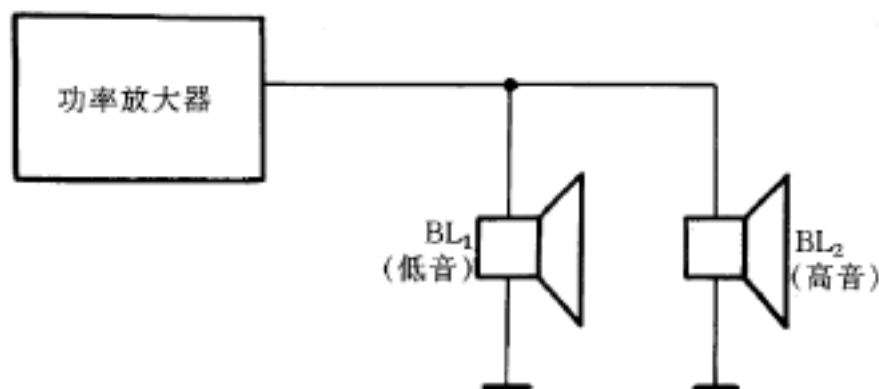


图 4 - 55 最简单的二分频扬声器电路

扬声器的频率特性不同而进行简单分频,所以分频重放的效果是相当差的,这是一种最简单的二分频扬声器电路。

2. 常见的二分频扬声器电路

图 4 - 56 所示是常见的二分频扬声器电路,也是很简单的一种二分频扬声器电路。电路中, BL_1 是低音扬声器, BL_2 是高音扬声器, C_1 是分频电容,采用无极性分频电解电容,是一种专用的扬声器分频电容。

通过适当选取分频电容 C_1 的容量,使 C_1 只让高频段信号通过(频率高, C_1 容抗小),不让中频、低频段信号通过,因为中频段和低频段信号的频率比较低, C_1 的容抗比较大而不让低频段和中频段信号通过。这样, BL_2 就只能重放高音,中音和低音则由低音扬声器 BL_1 重放,这样就实现了二分频重放。

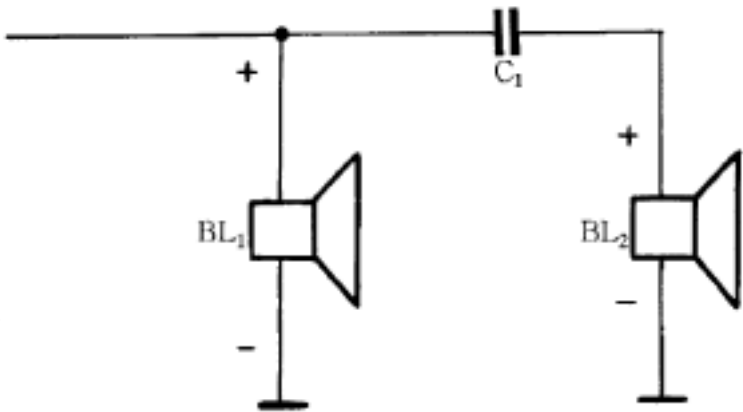


图 4 - 56 常见的二分频扬声器电路

在二分频电路中,两只扬声器的引脚是有极性之分的,它们的接线应像图中所示正极与正极相连,负极与负极相连,否则两只扬声器重放的声音相位相反,即一只扬声器的纸盆向前振动时,另一只向后。

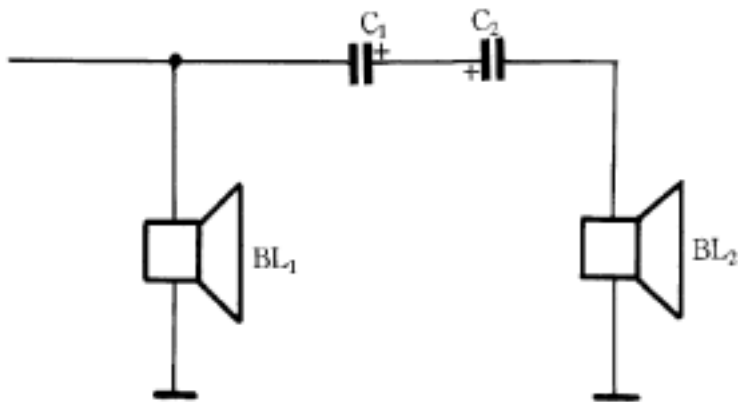
在这种类型的二分频扬声器电路中,整个扬声器电路的阻抗计算要注意一个问题,由于在中、低频段高音扬声器相当于开路,只有低音扬声器工作,所以此时的阻抗就是低音扬声器的阻抗。

对于高频段而言,只有高音扬声器工作,低音扬声器相当于开路,所以此时的阻抗就是高音扬声器的阻抗。在二分频电路中,高音和低音扬声器一般采用相同的阻抗,所以整个扬声器电路的阻抗就是高音扬声器的阻抗,或者就是低音扬声器的阻抗,例如低音扬声器是 4 ,那么整个扬声器电路的阻抗就是 4 。

扬声器电路的阻抗关系到与功率放大器连接的问题,在定阻式输出特性的功率放大器中,只有扬声器电路的总阻抗等于功率放大器的输出阻抗时,功率放大器电路才能正常工作,扬声器才能获得最大输出功率。

3. 有极性电解电容逆串联构成的二分频电路

图 4 - 57 所示也是一种简单的二分频扬声器电路,这一电路与前面电路的不同之处是分频电容。电路中, C_1 和 C_2 都是有极性电解电容器,它们逆串联之后相当于一个无极性的电容,所起的作用同分频电容一样。



对这一电路的分析,只要知道 C_1 、 C_2 逆串联之后成为一只无极性分频电容即可,其他的分析同前一种电路一样。关于有极性电解电容逆串联,在前面电解电容器一节中已有详细介绍,这里不作说明。

在扬声器的分频电路中,一定要使用无极性的电容,因为在扬声器电路中只有交流信号电流,

图 4 - 57 有极性电解电容逆串联构成的二分频电路

没有直流电流,而且交流信号的幅度相当大。在音频信号正、负半周变化时,分频电容器两端的电压极性不断在变化,在音频信号的正半周期间内 C_1 两端的电压是左正右负,在音频信号的负半周期间内 C_1 两端的电压变化为左负右正,有极性的电解电容在这样的交流电路中不能正常工作。

由于分频电容的容量通常比较大,而一般的无极性电容器的容量不够大,所以只能使用容量比较大的无极性电解电容,或是将两只有极性电解电容逆串联后代用。但是,从分频效果上讲,使用专用无极性电解电容器比较好。

4. 两只高音扬声器的二分频电路

图 4 - 58 所示是两只高音扬声器的二分频电路,一般二分频电路中,只有一只高音扬声器,但这一电路中有两只高音扬声器 BL_2 和 BL_3 ,一只低音扬声器 BL_1 。

这一电路的工作原理与前面介绍的二分频扬声器电路是一样的,不同之处是高音信号由两只高音扬声器来同时重放,这样做的目的是为了扩大高音声场,改善高音效果。

在这一电路中,要求两只高音扬声器型号相同,且它们的阻抗比低音扬声器高一倍。例如,低音扬声器阻抗为 4 Ω 时,两只高音扬声器阻抗应该为 8 Ω ,这样两只高音扬声器并联之后的阻抗为 4 Ω ,可以与低音扬声器的阻抗一样。

在二分频电路中识别高音扬声器和低音扬声器的方法是这样:从功率放大器输出的音频信号,通过分频电容 C_1 之后才能到达的扬声器是高音扬声器,音频信号不经过分频电容就能到达的是低音扬声器。

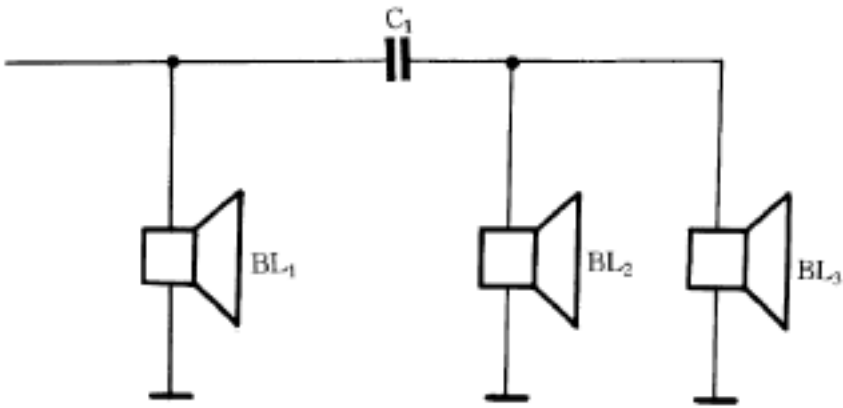


图 4 - 58 两只高音扬声器的二分频电路

5. 两只低音扬声器的二分频电路

一般二分频电路中只有一只低音扬声器,但是在许多情况下为了改善低音效果,在电路中设置两只低音扬声器,图 4 - 59 所示就是具有两只低音扬声器的二分频电路。电路中, BL_1 和 BL_2 是低音扬声器, BL_3 是一只高音扬声器。 C_1 是分频电容。

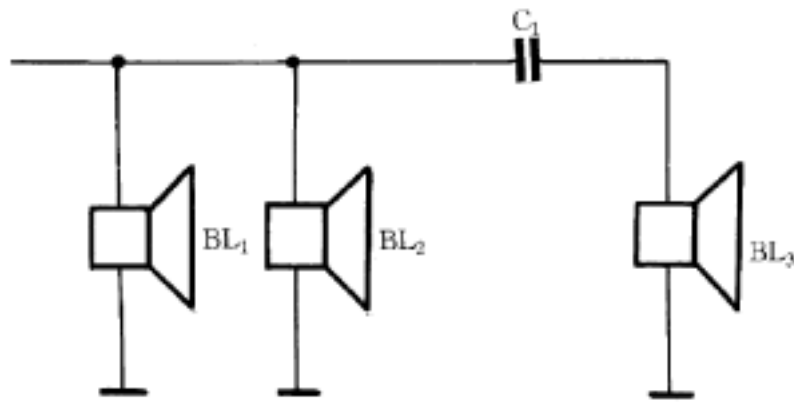


图 4 - 59 两只低音扬声器的二分频电路

这一电路的工作原理与前面介绍的两只高音扬声器的二分频电路是一样的,不同之处是低音信号由两只低音扬声器来重放,这样做的目的是为了改善低音效果。由于采用了两只低音扬声器,可以有效地扩大低音声场。

在这一电路中,要求两只低音扬声器型号相同,且它们的阻抗比高音扬声器高一倍。例如,两只低音扬声器阻抗为 8 Ω 时,高音扬声器阻抗为 4 Ω 。

追求超低音的尽善尽美一直是音箱设计的主要目的,更是广大音乐爱好者的美好愿望,尤其是年青的发烧友,玩过超低音的音乐爱好者都有深刻的体会:恨它、爱它。恨的是弄来弄去那低音无法入耳,爱的是多了一点低音浑身说不出的舒服、刺激,少了低音就是不对劲,真是爱你低音没商量。研究表明,较深沉的低音可提供一个置身于立体声和环绕声声场中的感觉,所以在家庭影院系统中,超低音是不可缺少的声音。

音乐中的中高音更多地用于抒发情感,表达意境,而低音不仅如此,还可以使人在心理上、生理上产生共鸣,从而具有震撼人心的效果,低音给人更真切、更强烈的感觉,给人予更多美好的心理活动,这是人们重视低音、喜欢低音、渴望低音的生理根源。同时,心理学研究结果表明,低音更加有助于人类心理紧张情绪的缓解。所以,对低音的渴望是人类心理和生理双重的需要。

6. 四只扬声器二分频电路之一

二分频扬声器电路最通常的做法是用一只低音扬声器和一只高音扬声器,但有时为了改善低音和高音效果,采用两只低音扬声器和两只高音扬声器构成二分频电路,图 4 - 60 所示就是一种具有两只低音扬声器和两只高音扬声器的二分频电路。电路中, BL_1 和 BL_2 是两只低音扬声器, BL_3 和 BL_4 是两只高音扬声器。 C_1 是分频电容。

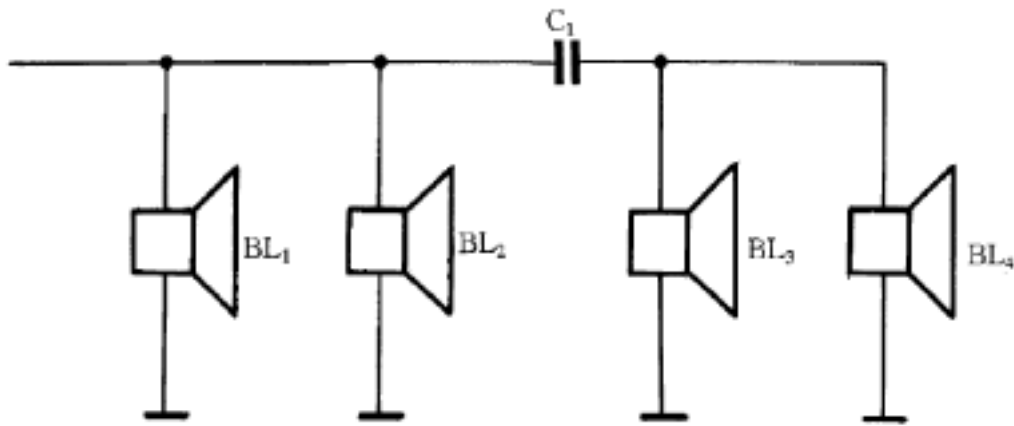


图 4 - 60 两只低音扬声器的二分频电路之一

这一电路的工作原理与普通的二分频扬声器电路一样,只是低音和中音信号同时由 BL_1 和 BL_2 两只并联的低音扬声器同时发声,高音信号则是由 BL_3 和 BL_4 两只并联的高音扬声器同时发声。

在这种扬声器分频电路中,要求各扬声器的阻抗相等,两只低音扬声器的型号相同,两只高音扬声器的型号相同,通常各扬声器的阻抗为 8 ,这样这一电路总的阻抗是 4 。

7. 四只扬声器二分频电路之二

图 4 - 61 所示是另一种具有两只低音扬声器和两只高音扬声器的二分频电路。电路中, BL_1 和 BL_2 是低音扬声器,它们相串联。 BL_3 和 BL_4 是两只高音扬声器,它们也是串联。 C_1 是分频电容。

这一电路工作原理与前面四只扬声器的二分频电路一样,只是两只低音扬声器和两只高音扬声器采用串联方式。

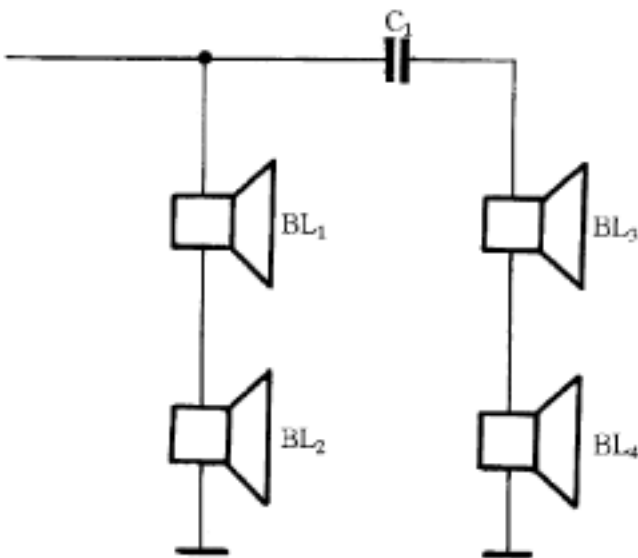


图 4 - 61 两只低音扬声器的二分频电路之二

在这种扬声器电路中,要求各扬声器的阻抗相等、型号相同,由于低音扬声器和高音扬声器是串联电路,通常各扬声器的阻抗为 4 ,这样这一电路总的阻抗是 8 。

8. 四只扬声器二分频电路之三

图 4 - 62 所示是另一种具有两只低音扬声器和两只高音扬声器的二分频电路。电路中, BL_1 和 BL_2 是低音扬声器, BL_3 和 BL_4 是高音扬声器, C_1 和 C_2 都是分频电容,这一电路中有两只分频电容。

这一电路的工作原理是这样;音频信号中的低音和中音信号通过低音扬声器 BL_1 发声, C_1 不让低音和中音信号加到 BL_3 , C_2 只让高音信号通过,这样高音信号则通过高音扬声器 BL_4 来发声。

在音频信号中的高音、中音和低音信号通过 BL_1 和 BL_3 后,同样的道理,分频电容 C_2 不让中音和低音信号通过,而只让高音信号通过,这样由高音扬声器 BL_4 重放高音,让低音扬声器 BL_2 重放低音,实现二分频电路中四只扬声器的重放。

9. 6dB 型二分频扬声器电路

图 4 - 63 所示是单 6dB 二分频扬声器电路。电路中, BL_1 是低音扬声器, BL_2 是高音扬声器, C_1 是分频电容, L_1 是分频电感。

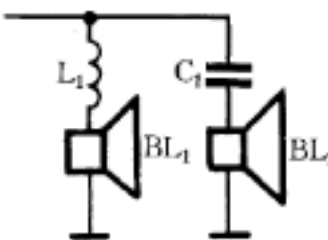


图 4 - 63 6dB 型二分频扬声器电路

从电路中可以看出,这个二分频电路是在普通二分频扬声器电路的基础上,在低音扬声器 BL_1 回路中接入了电感 L_1 ,通过适当选取 L_1 的电感量大小,使之可以让中音和低音频段信号通过(频率低感抗小),但不让高音信号通过,这样更好地保证了低音扬声器 BL_1 工作中音和低音频段内。分频电容 C_1 的工作原理同前面介绍的二分频电路中的分频电容一样。

这种电路在低音和高音扬声器回路中各设一只衰减元件, C_1 用来衰减低音和中音信号,为 6dB 型,即频率每下降一倍,对中音和低音信号衰减 6dB。 L_1 用来衰减高音信号,也为 6dB 型,即频率每升高一倍,对高音信号衰减 6dB。这样,对高音和低音扬声器都是 6dB 型,显然其分频效果优于前面所介绍的普通的二分频扬声器电路,主要是低音扬声器回路中多了分频电感 L_1 ,改善了低音扬声器的工作特性。

10. 单 12dB 型二分频扬声器电路

图 4 - 64 所示是单 12dB 型二分频扬声器电路。电路中, BL_1 是低音扬声器, BL_2 是高音扬声器, C_1 是分频电容, L_1 和 L_2 都是分频电感。

这个二分频电路是在前面所介绍的 6dB 型二分频扬声器电路基础上,在低音扬声器 BL_2 上并接一只分频电感 L_2 ,通过适当选取 L_2 的电感量大小,让 L_2 将经过分频电容 C_1 衰减后的中音和低音信号再

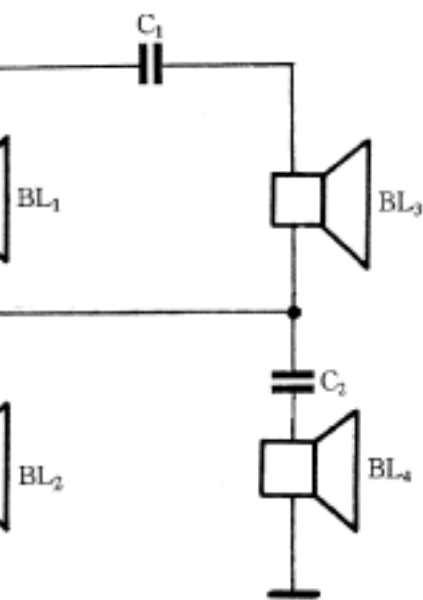


图 4 - 62 两只低音扬声器的二分频电路之三

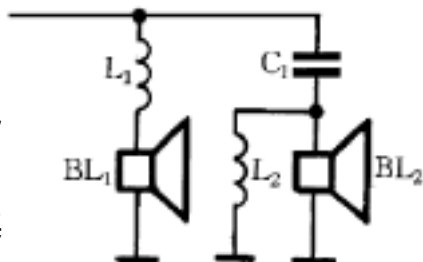


图 4 - 64 单 12dB 型二分频扬声器电路

次旁路衰减,这样高音扬声器回路有两次选频过程:一是分频电容 C_1 ,二是分频电感 L_2 ,使高音扬声器更好地工作在高音频段。

这种电路中的 L_2 和 C_1 对中音、低音频段信号具有各 6dB 共 12dB 的衰减效果,所以为 12dB 型电路。在低音扬声器 BL_1 回路中,仍然只有 L_1 的 6dB 衰减作用,所以称这一电路为单 12dB 型二分频扬声器电路。

11. 双 12dB 型二分频扬声器电路

图 4 - 65 所示是双 12dB 型二分频扬声器电路。电路中, BL_1 是低音扬声器, BL_2 是高音扬声器, C_1 和 C_2 都是分频电容, L_1 和 L_2 都是分频电感。

这个二分频电路是在单 12dB 型二分频扬声器电路基础上,在低音扬声器 BL_1 上并联分频电容 C_1 , C_1 将从 L_1 过来的剩余的高音频段信号旁路,让低音扬声器 BL_1 更好地工作在中音和低音频段。这样 C_1 与 L_1 使低音扬声器回路也具有 12dB 的衰减效果,所以这一扬声器电路是双 12dB 型二分频扬声器电路。

在上述各种二分频电路中,显然双 12dB 型二分频扬声器电路的分频效果最好。

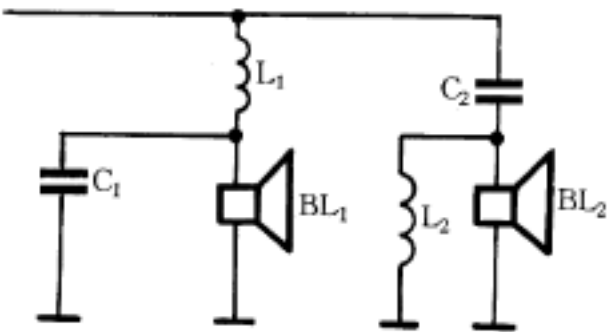


图 4 - 65 双 12dB 型二分频扬声器电路

4 5 .11 三分频扬声器电路

所谓三分频扬声器电路,就是将整个音频信号分成三个频段,分别用低音、中音和高音扬声器来重放。

1. 6dB 型三分频扬声器电路

图 4 - 66 所示是 6dB 型三分频扬声器电路。电路中, BL_1 是低音扬声器, L_1 是低音扬声器回路的分频电感; BL_2 是中音扬声器, L_2 是中音扬声器回路的分频电感, C_1 是中音扬声器回路中的分频电容; BL_3 是高音扬声器, C_2 是高音扬声器回路的分频电容。

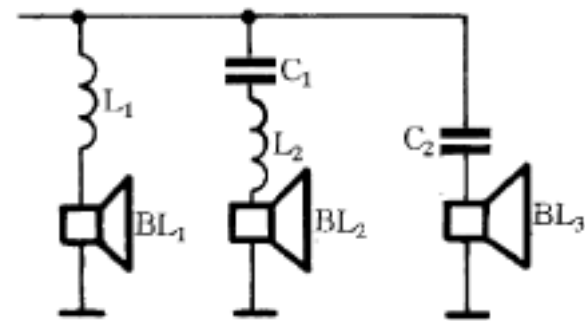


图 4 - 66 6dB 型三分频扬声器电路

这一分频电路的分频原理是这样:分频电容 C_2 让高音频段信号通过,不让中音和低音频段信号通过,这样 BL_3 重放高音声音。

分频电容 C_1 让中音和高音频段信号通过 (C_2 容量比 C_1 大),分频电感 L_2 让中音频段信号通过,因为感抗小。但是 L_2 对高音频段信号因为感抗大而不让高音频段信号通过,这样 BL_2 只能重放中音频段信号。

分频电感 L_1 只让低频段信号通过,不让高音和中音频段信号通过,这样 BL_1 只能重放低音频段信号。

在这一电路中,每一个扬声器回路中都是 6dB 的衰减,所以称为 6dB 型三分频扬声器电路。

分辨 6dB 型三分频扬声器电路中各个扬声器的方法是这样:经过一个分频电感的是低音

扬声器,经过一个分频电容的是高音扬声器,经过一个分频电感和一个分频电容的是中音扬声器,中音扬声器回路中的分频元件比较多。

2. 12dB 型三分频扬声器电路

图 4 - 67 所示是 12dB 型三分频扬声器电路。电路中, BL_1 是高音扬声器, L_1 和 C_1 分别是高音扬声器回路的分频电感和分频电容; BL_2 是中音扬声器, L_2 、 L_3 和 C_2 、 C_3 分别是中音扬声器回路的分频电感和分频电容; BL_3 是低音扬声器, L_4 和 C_4 分别是低音扬声器回路的分频电感和分频电容。

这一分频电路是在 6dB 型三分频扬声器电路基础上,在每个扬声器回路再接入分频电感和电容。分频电感 L_1 进一步分流衰减通过分频电容 C_1 的中音和低音频段信号,让高音扬声器 BL_1 更好地工作在高音频段内。

L_3 用来进一步旁路低音频段信号,分频电容 C_3 进一步旁路高音频段信号,让中音扬声器 BL_2 更好地工作在中音频段内。

分频电容 C_4 进一步旁路中音和高音频段信号,让低音扬声器 BL_3 更好地工作在低音频段内。

上述三分频扬声器电路中,每个扬声器回路都设有两次对频段之外信号进行衰减的元件,所以这是 12dB 型的三分频电路,这样的分频电路能够使各扬声器更好地工作在各自频段内。

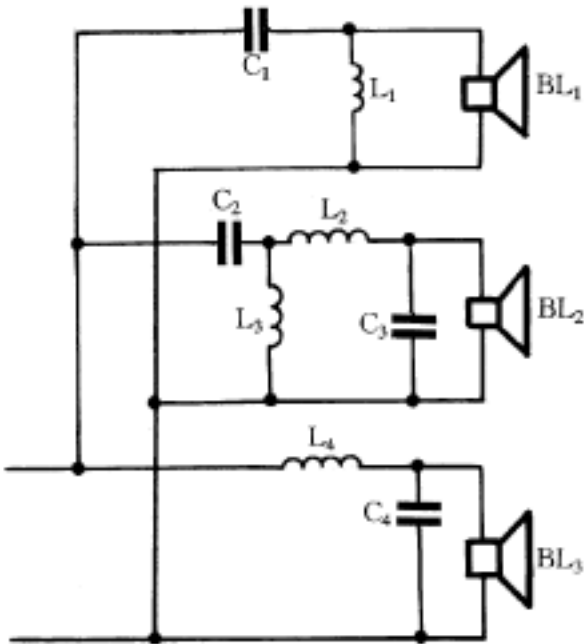
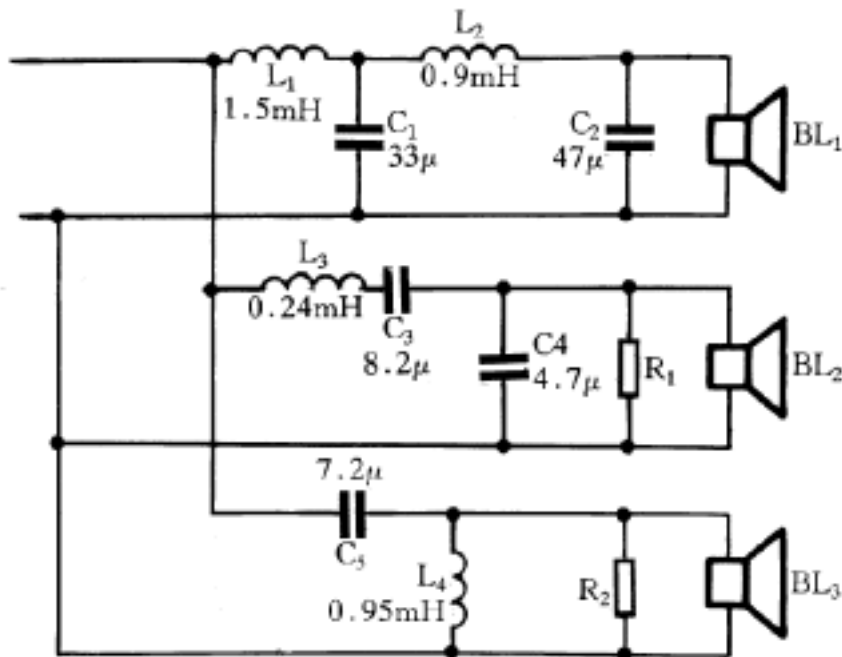


图 4 - 67 12dB 型三分频扬声器电路

3. 复杂的三分频扬声器电路

图 4 - 68 所示是一个复杂的三分频扬声器电路,这是国产某三分频音箱中的实用分频电路。 BL_1 是低音单元(低音扬声器), BL_2 是中音单元, BL_3 是高音单元。

电路中, L_1 和 C_1 、 L_2 和 C_2 将音频信号中的中音、高音频段信号滤除,让低音频段信号加到低音扬声器 BL_1 中。电感 L_1 和 L_2 对低音信号的感抗很小, C_1 和 C_2 对低音信号的容抗很大,这样低音信号能够加到 BL_1 中。对于中音和高音信号而言, L_1 和 L_2 的感抗大,同时 C_1 和 C_2 的容抗小而被分流到地,无法加到低音扬声器 BL_1 中。



分频电感 L_3 和分频电容 C_3 、 C_4 将低音频段信号和高音频段信号去除,让中音频段信号加到中音扬声器 BL_1 中。

分频电容 C_5 和分频电感 L_4 将低音频段信号和中音频段信号去除,让高音频段信号加到高音扬声器 BL_3 中。

图 4 - 68 复杂的三分频扬声器电路

二极管电路和电源电路详解总汇

这里所指的二极管是晶体二极管,此外还有电子管二极管,在没有说明是什么二极管的情况下,通常所说的二极管就是晶体二极管。晶体二极管又称为半导体二极管,它是半导体器件中最基本的器件。用半导体单晶材料制成的器件称为半导体器件,或称为晶体器件。常用的半导体材料是锗、硅。

5.1 晶体二极管基本知识

半导体器件是继电子管器件之后广泛用于电子电路中的器件,它具有体积小、耗电小、重量轻、寿命长、坚固和不怕震动等优点。二极管在电子电路中有着广泛的应用。

5.1.1 半导体的特性

半导体器件(包括二极管)的许多特性与半导体材料的特性相关,所以在具体介绍半导体二极管之前,首先介绍有关半导体材料的特性,以便于了解半导体二极管等半导体器件的结构、特性和工作原理。

1. 电阻率特性

前面有关章节介绍了导体、绝缘体和半导体的概念,从电阻率角度讲,这三种材料的特性有着明显的不同。导体的电阻率一般都小于 $10^{-4} \cdot \text{cm}$ (欧姆·厘米),绝缘体的电阻率一般都大于 $10^8 \cdot \text{cm}$,半导体的电阻率一般约为 $214000 \cdot \text{cm}$ 。

2. 半导体的特点

半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间,此外半导体和导体材料相比较,还具有下列两个明显的特点。

半导体的电阻率大小明显地受杂质含量的影响,也就是半导体的导电能力很容易被改变。例如,在硅中只要掺入万分之一的杂质硼,硅的电阻率就会从 $214000 \cdot \text{cm}$ 降低到 $0.4 \cdot$

cm,可见电阻率变化了 50 多万倍。

半导体电阻率受外界条件的影响极大,且容易进行控制。例如,当温度升高 8℃ 时,纯净硅的电阻率就会降低一半左右,而对于金属材料而言,温度升高 10℃ 其电阻率才下降 4% 左右,可见半导体材料对温度具有极度的灵感性。此外,半导体材料对光线的照射也是相当敏感,影响半导体的导电能力。正是根据半导体材料的这些特性,制成了许多敏感半导体器件,如光敏二极管(光敏三极管)等。

3 . 本征半导体结构

纯净的硅或锗(没有掺入杂质)等半导体材料如果具有理想的晶体结构,这样的半导体称为本征半导体。

晶体的原子都是按照一定的规则排列成一定的点阵,硅和锗的晶体点阵结构是四面体的。图 5 - 1 所示是硅、锗晶体结构示意图。一个原子核位于四面体的中心,另外有四个电子位于四面体的四个顶点上。

半导体材料硅、锗都是四价元素,它们的原子核最外层是四个价电子。当两个原子靠得很近时,原来属于一个原子的价电子还要受到相邻原子的影响,于是价电子不仅在原来的轨道上运动,还要在相邻原子的外层轨道上运动,换言之,价电子将为两个相邻的原子所共用,这种共有的电子称为共价键,可以用如图 5 - 2 所示的原子结构简化图来表示。

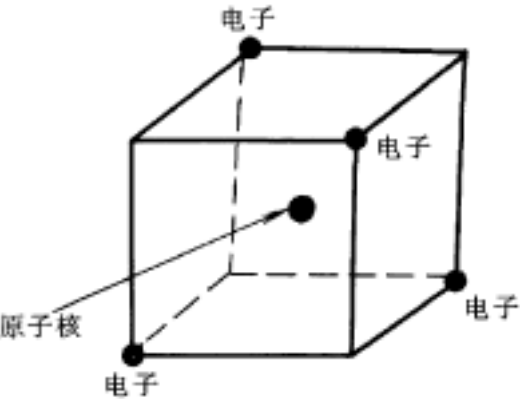


图 5 - 1 硅、锗晶体结构示意图

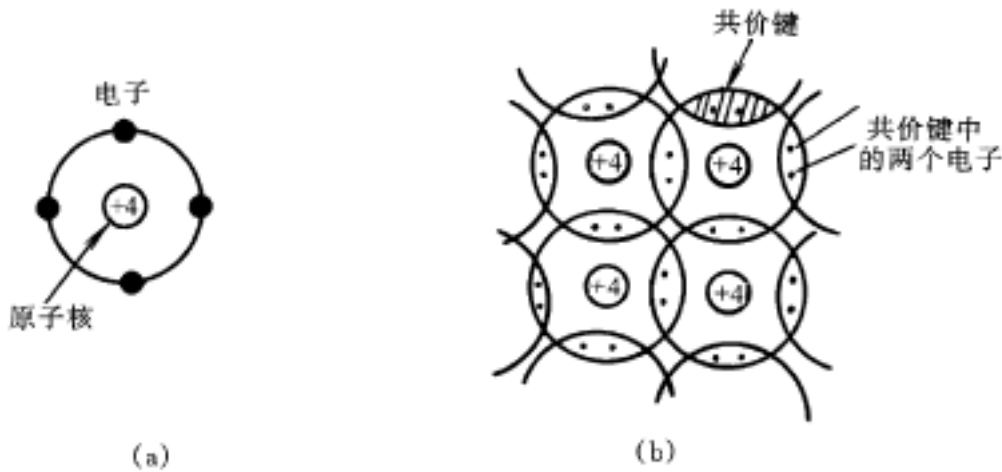


图 5 - 2 硅原子结构简化图

图 5 - 2(a)所示是硅原子结构简化图,带有 + 4 的圆圈表示原子核,外面有四个电子在轨道上运动。

图 5 - 2(b)所示是共价键示意图。从图中可以看出,每个原子分别与其相邻的四个电子构成四个共价键,这就使得每个原子的外层具有八个电子。外层有八个电子的原子结构是比较稳定的结构,共价键中的束缚电子受原子核的束缚力较强,不容易脱离轨道而形成自由电子,所以导电性能差。

4 . 半导体导电类型

在介绍半导体器件时常用到 P 型材料、N 型材料和 PN 结等概念,这些内容表征了半导体的导电类型。那么何谓半导体的导电类型,下面我们就来介绍。

如果给半导体掺入三价的硼原子时,硼原子外层原有的三价电子和周围硅原子中的价电子形成共价键,这时硅原子不再为中性,好似失去一个带负电的价电子,留下空位,这一空位称为空穴。由于空穴具有吸收电子的性质,所以空穴有正电荷的作用。

如果给半导体掺入五价的磷原子时,磷原子外层原有的五价电子和周围的硅原子形成共价键时多出了一个价电子,这时硅原子也不再为中性,这个多出的电子可以自由运动,参与导电,电子具有负电荷的特性。

半导体中载运电荷的粒子称为载流子,带负电的电子和带正电的空穴都是半导体中的载流子。在掺杂不同材料时,半导体中电子和空穴的数目是不相等的,这就有多数载流子和少数载流子之分。

如果掺杂的半导体中电子浓度大时,电子就是多数载流子,空穴就是少数载流子,将这种电子为多数载流子的掺杂半导体称为电子型半导体,简称 N 型半导体,N 是负电荷之意,纯净半导体中掺入五价磷元素后的掺杂半导体就是 N 型半导体。

如果掺杂的半导体中空穴浓度大时,空穴就是多数载流子,电子就是少数载流子,将这种空穴为多数载流子的掺杂半导体称为空穴型半导体,简称 P 型半导体,P 是正电荷之意,纯净半导体中掺入三价硼元素后的掺杂半导体就是 P 型半导体。

5.1.2 外形特征和电路符号

二极管的种类有很多,按照功能划分,主要有普通二极管、整流二极管、发光二极管、稳压二极管、光敏二极管和变容二极管等。

普通二极管按照材料划分有两种:一是硅二极管;二是锗二极管。

1. 外形特征

图 5 - 3 所示是常见的普通二极管外形示意图,图 5 - 3(a)所示是目前最常用的塑料封装二极管,图 5 - 3(b)所示是玻璃封装的二极管。

关于普通二极管的外形特征,主要说明以下几点。

二极管共有两根引脚,引脚沿轴线方向伸出。

二极管的两根引脚是有正极和负极之分的,在电路中使用两根引脚不能接反,否则电路功能不能正常实现,甚至会损坏电路中的元器件。

二极管的体积不大,比一般电阻器要小些。

通常在二极管外壳上标出二极管的电路符号,所以识别起来是比较方便的,并能识别二极管的正、负引脚。

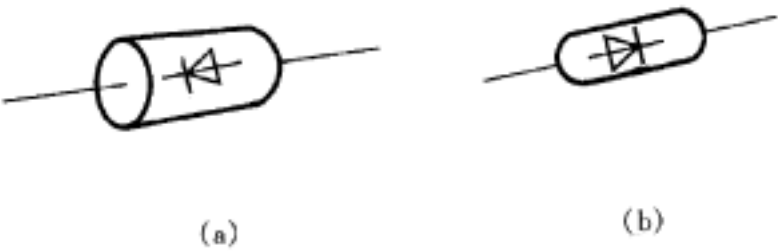


图 5 - 3 普通二极管外形示意图

2. 电路符号

图 5 - 4 所示是几种二极管的电路符号。

图 5 - 4(a)所示是过去使用的普通二极管电路符号,一般用大写字母 D 表示,三角形要涂

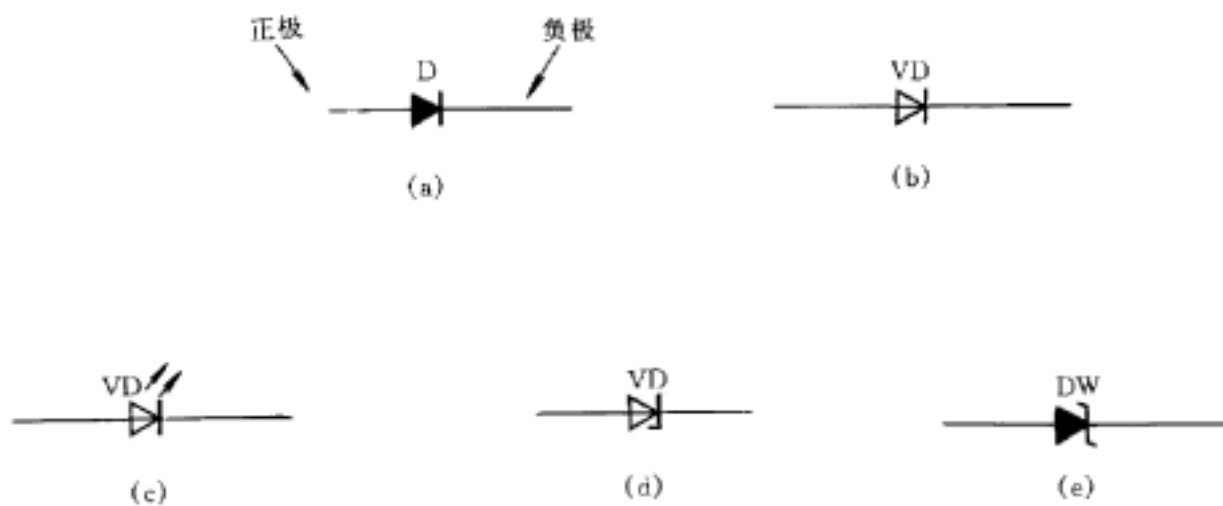


图 5 - 4 几种二极管电路符号

黑。

图 5 - 4(b)所示是国标最新规定的二极管电路符号,用大写字母 VD 表示。比较这新、旧两种电路符号可知,不同之处是三角形过去要涂黑,而现在不涂。

图 5 - 4(c)所示是国标最新规定的发光二极管电路符号,符号中的箭头形象地表示这种二极管在工作时能发出光。

图 5 - 4(d)所示是国标最新规定的稳压二极管电路符号,图 5 - 4(e)所示是过去采用的稳压二极管电路符号,用 DW 表示。

在电路符号中,用 VD 或 V 表示二极管,优选采用 VD 表示二极管,过去采用 D 等字母表示二极管。

3 . 电路符号功能

二极管的电路符号能够表达二极管的一些特性,了解这一点对二极管电路分析是有益的,主要说明如下三点。

电路符号中表示了二极管的极性和引脚的位置,三角形底边这端为正极引脚,另一端为负极引脚。

电路符号形象地表示了二极管工作电流流动的方向,通过二极管的电流只能是从正极流向负极,也就是电路符号中三角形指向代表了流过二极管电流的方向,记住这一点对分析二极管电路是十分有益的。

一般二极管只有两根引脚,电路符号中表示了这两根引脚。

5 . 1 3 结构和工作原理

1 . 结构

二极管是一种采用半导体材料制成的器件。

图 5 - 5 所示是二极管结构示意图,从图中可以看出,二极管用一块 P 型半导体和一块 N 型半导体通过特殊工艺使它们粘接在一起,在它们的交界面处形成了一个 PN 结,所以二极管的基本结构是 PN 结,二极管的特性就是这一 PN 结的特性。

在一块半导体基片上,将一部分做成 P 型,另一部分做成 N 型,在两种材料的交界面附近,P 区中的多数载流子空穴要扩散到 N 区中,并与 N 区中的电子相遇而复合;N 区中的多数载流子电子要扩散到 P 区中,并与 P 区中的空穴相遇而复合。这样,在 P 区和 N 区交界面处,形成不可移动的负离子和正离子,如图中所示,在 P 区为负离子,在 N 区为正离子。这个空间电荷很薄的正、负离子区称为空间电荷区。

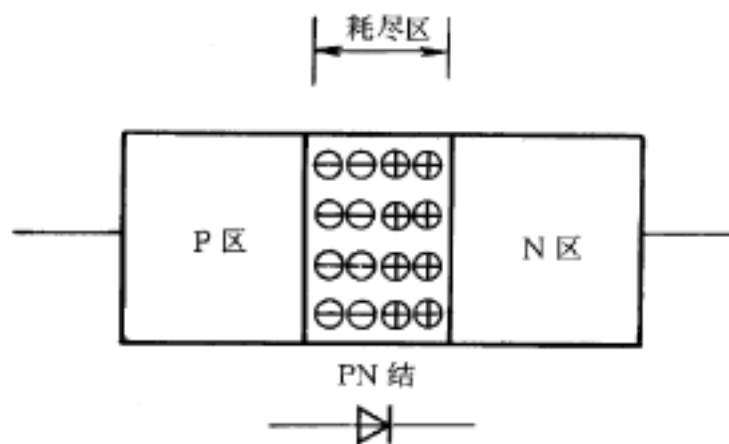


图 5 - 5 二极管结构示意图

这个空间电荷区是处于 P 型半导体和 N 型半导体的结合处,所以称为 PN 结。在 PN 结内,能够自由导电的电子和空穴都已经跑光了,因此这个区又称为耗尽区,意思是这个区内的电子和空穴都被耗尽。

由于耗尽区的存在,P 区一侧带负离子,N 区一侧带正离子,形成了 P 区多数载流子空穴继续向 N 区扩散和 N 区多数载流子电子继续向 P 区扩散的“ 电位壁垒 ”,因此耗尽区又称为阻挡层或势垒区。

简单地说,将一个 PN 结用外壳封装起来,就是一只半导体二极管。从 P 区引出的电极称为正极引脚,从 N 区引出的电极称为负极引脚。

2 . 工作原理

众所周知,导体的导电能力强,绝缘体的导电能力很差。二极管的工作特性一方面具备导体的导电能力,另一方面又有绝缘体的不能导电的特性,所以二极管是一个可以控制导电特性的半导体器件,二极管的众多电路功能都是根据这一特性得到的。

二极管在电路中的工作状态有两种:一是所谓的截止工作状态,此时二极管正极与负极之间的内阻很大,二极管相当于一个绝缘体,它不能导电;二是导通工作状态,此时二极管正极与负极之间的内阻很小,它又相当于一个导体。二极管的这一导电特性是在给它加上不同极性的直流电压后实现的。

(1) 截止状态

二极管处于截止状态与所加电压的极性有关,当给二极管负极加上的电压高于正极上的电压时,称为给二极管加的反向偏置电压,二极管处于截止状态。二极管截止工作状态是它的一个工作状态之一。

当给二极管加上反向偏置电压后,二极管中就基本没有电流流动(但还是有很小的电流),但若加的反向电压太大,二极管便会被击穿,此时电流将从二极管负极流向正极,该二极管就损坏了。

图 5 - 6 所示示意图可以说明二极管的反向偏置工作状态。图中,E 为直流电压,E 的正极与二极管的 N 区相连(就是与二极管的负极相连),E 的负极与二极管的 P 区相连(就是与二极管的正极相连),这时二极管处于反向偏置状态下。二极管的这种连接状态也称为反向连接。

这种状态下,在外加直流电压 E 的作用下,PN 结(阻挡层)会变厚,进而阻止 N 区的电子向 P 区扩散,也阻止了 P 区的空穴向 N 区扩散,这样,电路中的电流极小,这一电流称为二极

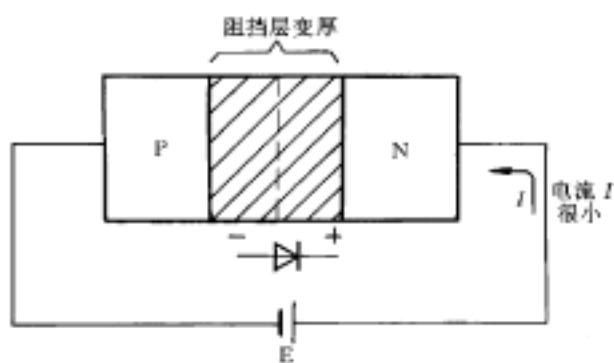


图 5 - 6 二极管的反向偏置电压示意图

管的反向电流。这时二极管两引脚之间的电阻很大,有时为了电路分析方便,可以认为这时的二极管相当于开路,二极管就相当于一个绝缘体。

二极管在反向偏置电压状态下,在一定范围内改变加在二极管两端的直流电压大小,流过二极管的反向电流大小不改变,所以又将这一电流称为反向饱和电流。但是,当反向电压大到一定程度时,反向电流会突然急剧增大,这一现象称为二极管的击穿,又称为二极管的电击穿。

使二极管发生电击穿的反向电压大小称为反向击穿电压,不同型号二极管的反向击穿电压大小是不同的。

在二极管电击穿后,如果不及时限制这一很大的反向电流,二极管就会因为发热而将二极管烧坏,这称为二极管的热击穿。

显然,二极管的击穿分成两个阶段:第一个阶段是电击穿,即反向电流开始迅速增大,这不是永久性的击穿,将加在二极管上的反向电压去掉后,二极管仍然能够恢复它的正常特性,二极管不会损坏,但存在损伤,所以二极管的电击穿是可逆的。

第二个阶段是热击穿,这是永久性的击穿,当二极管较长时间处于电击穿状态时,由于流过二极管的反向电流很大,二极管的 PN 结因为发热而导致永久性损坏,这就是热击穿,此时去掉反向电压后,二极管也不会恢复正常的特性。热击穿是永久性击穿。所以,在电路中的二极管要防止其发生电击穿和热击穿。

(2) 导通状态

当给二极管正极上加的电压大于负极上的电压,且大到一定程度时,二极管进入导通状态,这时给二极管所加的电压称为正向偏置电压。在二极管导通后,正、负引脚之间的阻值很小,相当于两引脚之间成通路。二极管导通后有电流流过二极管,这一电流的流动方向为从正极流向负极,称为正向电流。

给二极管所加的正向电压不是足够大时,二极管仍然不能导通而处于截止状态。

当给二极管加上正向偏置电压时,给 PN 结 P 型材料所加的电压高于给 N 型材料所加的电压,此时 PN 结处于正向偏置状态。

图 5 - 7 所示的示意图可以说明二极管的正向偏置工作状态。图中,E 为直流电压,E 的正极与二极管的 P 区相连(就是与二极管的正极相连),E 的负极与二极管的 N 区相连(就是与二极管的负极相连),这时二极管处于正向偏置状态下。二极管的这种连接状态也称为正向连接。

这种状态下,在外加直流电压 E 的作用下,PN 结(阻挡层)会变薄,N 区的电子更容易向 P 区扩散,同时 P 区的空穴也更容易向 N 区扩散,这样,电子和空穴的规则运动就形成了电流,其电流方向是从 P 区指向 N 区,电路中的电流比较大(远远大于反向电流),这一电流就是二极管的正向电流。

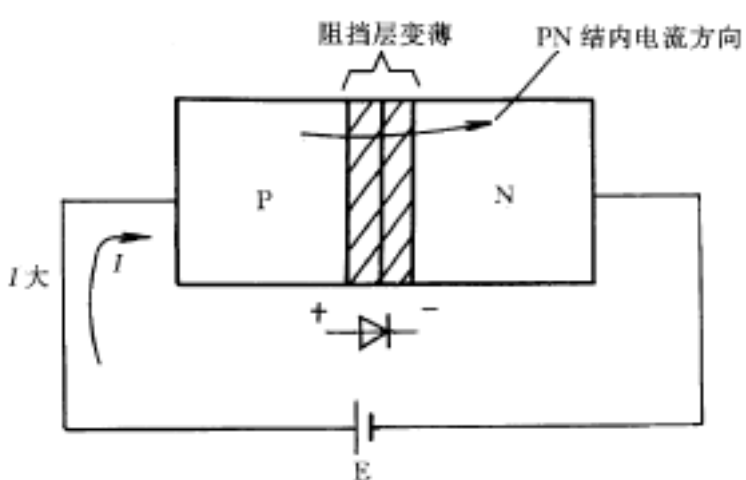


图 5 - 7 二极管的正向偏置电压示意图

处于正向偏置工作状态下的二极管,其两根引脚之间的电阻很小(远远小于反向状态下的电阻),在电路分析中为了工作原理理解上的方便,可以认为这时的二极管正极与负极之间相当于已接通,这样,二极管就可以作为一个导体看待。

二极管在正向偏置工作状态下,加在 PN 结上的电压称为正向电压。当二极管产生明显的正向电流时,PN 结上的电压又称为 PN 结的正向压降,简称二极管的管压降。二极管管压降与正向电流之间的关系比较复杂,不是简单的线性关系,将在二极管的伏 - 安特性中进行详细的介绍。

这里要记住一点:二极管只能存在从正极到负极方向的电流流动,电流不能从负极流向正极,否则这个二极管就已经损坏。

5.1.4 主要特性

普通二极管的特性有许多,利用它的这些特性可以构成各种具体的功能电路,在对这些功能电路进行分析时,如果不了解二极管的相关特性,就无法进行电路分析。下面对二极管的主要特性和常用特性进行说明。

1. 二极管伏—安特性

图 5 - 8 所示是二极管的伏—安(V - A)特性曲线,这是二极管最重要的特性。曲线中,横轴是电压(U),即加到二极管两极引脚之间的电压。纵轴是电流(I),即流过二极管的电流。这样,V - A 特性曲线就是表示二极管电压与电流之间关系的曲线。

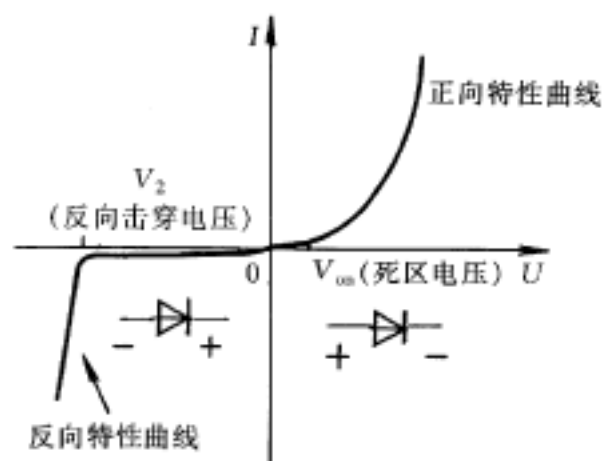


图 5 - 8 二极管伏—安特性曲线

图中,第一象限的曲线是二极管的正向特性曲线,即给二极管加上正向偏置电压后的特性;第三象限的特性是反向特性曲线,即加上反向偏置电压后的特性。

看看第一象限的二极管正向特性曲线,当给二极管加上的正向电压小于一定值时,二极管的正向电流(从正极流向负极的电流)是很小的,只有当正向电压大到一定程度后,正向电流才迅速增大,并且是正向电压稍许增大一点,正向电流就增大许多。

使二极管正向电流开始迅速增大的正向电压称为死区电压。这一电压对于不同材料的二极管是不同的,硅二极管死区电压约为 0.6V 或 0.7V,锗二极管则约为 0.1V 或 0.2V。

看看第三象限的二极管反向特性曲线,当给二极管所加的反向电压小于一定值时,二极管反向电流(从负极流到正极的电流)始终很小,而且大小基本上无变化,这一电流就是反向饱和电流。

当所加的反向电压大到一定值时,二极管的反向电流迅速增大,此时二极管处于电击穿状态,使二极管反向电流开始迅速增大的反向电压称为反向击穿电压。当二极管处于反向击穿状态时,二极管便失去了它的单向导电特性。

从上述二极管的正向和反向特性中可以知道,二极管中的电流与其两端的电压之间不是一种简单的关系,至少可以归纳成正向和反向特性,共下列四种情况。

正向起始阶段。当加到二极管两端的正向电压不是足够大时,即小于死区电压时,二极管两端的正向电压加大,流过二极管的正向电流也在增大,但电流增大的速率比较慢,此时流过二极管的正向电流也比较小。同时,二极管正极与负极之间的内阻比较大。

正向电压大于死区电压阶段。在这个阶段内,只要当二极管两端的正向电压加大一点点,流过二极管的正向电流就增大许多,此时二极管处于正向导通状态,流过二极管的正向电流也是比较大的。如果流过二极管的正向电流再进一步增大,这时二极管也会因为正向电流太大而被烧坏。在这阶段里,二极管正极与负极之间的正向电阻很小,且正向电流愈大,二极管的内阻愈小。

反向未击穿阶段。在这个状态下,给二极管加的是反向电压,但是这一反向电压没有大于二极管的击穿电压,这时二极管的反向电流极小,而且是基本不随反向电压的大小变化而变化。此时二极管仍然工作在安全的状态下。在这阶段里,二极管内阻很大。

反向击穿阶段。当二极管上的反向电压大于击穿电压时,流过二极管的反向电流很大,且增大一点点反向电压,二极管的反向电流将增大许多,这是二极管相当危险的工作区域,应该避免。在这阶段里,二极管内阻很小。

不同作用的二极管在电路中运用时,要求它工作在前三种情况下。

2. 二极管的单向导电性

二极管的基本特性是单向导电性。

二极管的两根引脚有正极和负极之分,流过二极管的电流只能是从正极流向负极,而不能从它的负极流向正极,这称为二极管的单向导电性。

一根导线、一个电阻器或电容器,它们能从两个方向流过电流,这是双向导电的,即电流能够从它的一根引脚流向另一根引脚,电流也能够反方向流动,但二极管是不能的,否则二极管就已经损坏了。

二极管电路符号中的三角形形象地表示了电流的流动方向,利用电路符号的这一提示作用,可在电路分析时方便地知道二极管电路中的电流流动方向。

例如,在分析直流电路中二极管的工作原理时,使二极管导通的正电压只能是从它的正极加到负极,所以分析这一电压从什么地方加来时,就要从二极管正极开始,向直流电压供给方向识图。如果电路中采用负极性直流电压供电,则要从二极管负极开始向直流电压供给方向识图。

二极管的单向导电性并不复杂,很容易记牢,但是会出现一个理解上的误区,可以用如图 5 - 9(a)所示的示意图来说明。电路中, VD_1 是二极管, $+V$ 是直流工作电压, $+V$ 通过电阻 R_1 和 R_2 给 VD_1 加上直流偏置电压,便有一个流过二极管的正向直流工作电流。

前面讲了,流过二极管的电流只能是从 VD_1 的正极到负极方向,直流工作电压 $+V$ 所提供的直流电流是从这个方向流过二极管 VD_1 的。但是,电路中输入信号 U_i 的电流是从 VD_1 负极流向正极的,通过 VD_1 的信号为输出信号 U_o 。

为什么这一电路中的交流信号 U_i 能够从二极管 VD_1 负极流向正极?是不是这时二极管就失去单向导电特性?其实,产生这样的疑问是对二极管单向导电性的理解错误,是一个理解上的误区。

二极管的单向导电性是指流过二极管的电流只能从正极流过负极,但并没有说明流过二

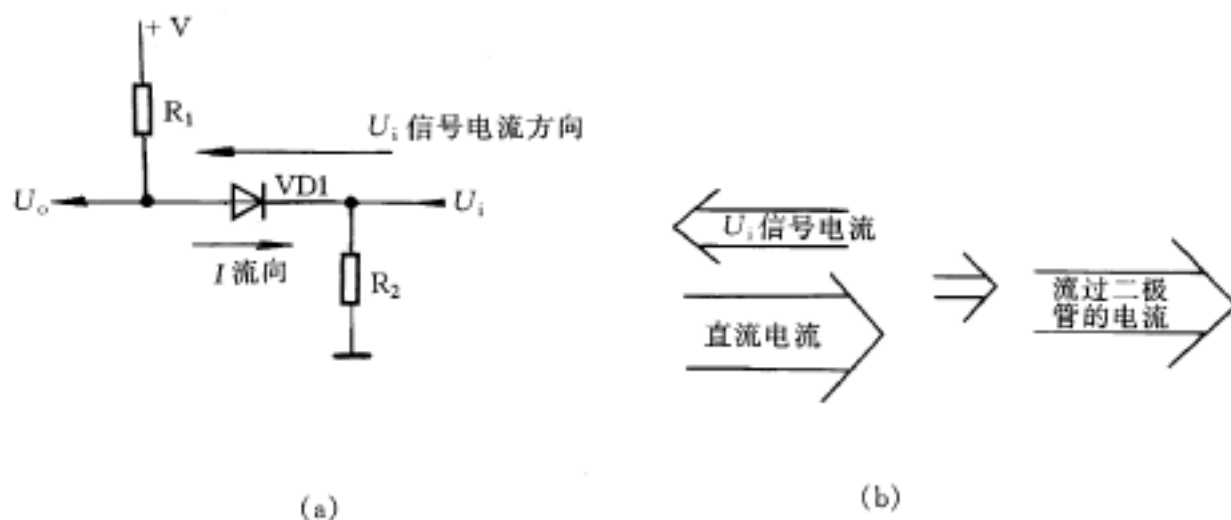


图 5 - 9 二极管单向导电性示意图

极管的正向电流大小。如果从二极管的正极流向负极的电流是 2A, 同时还有一个交流信号电流从负极向正极流过二极管, 电流为 1A, 那么实际上从二极管正极流向负极的电流是 1A, 这样就可理解成交流信号电流是可以从二极管负极流向正极的, 如图 5 - 9(b) 所示。

另一种更容易理解的方法是这样: 二极管在正向直流电压偏置下, 它已处于导通状态, 就可以将二极管看成正极与负极是接通的, 只要加到二极管两端的正向偏置电压足够地大, 二极管正向电流足够地大, 交流信号电流就可以从负极流向正极。

要使二极管导通, 必须给二极管加一个正向偏置电压。

3 . 正向电阻小、反向电阻大

正向电阻是指二极管正向导通后两根引脚之间的电阻 (PN 结的正向电阻), 这一电阻很小, 即正向电阻小; 反向电阻是指二极管处于反向偏置而未穿时两根引脚之间的电阻 (PN 结的反向电阻), 这一电阻很大, 即反向电阻大。

正、反向电阻的大和小是相对的, 即反向电阻远远大于正向电阻, 并且是愈大愈好。二极管的正向电阻一般为几千欧, 反向电阻则为几百千欧。

利用二极管正、反向电阻特性, 可将二极管作为开关, 即所谓的电子开关。在二极管正向导通时, 其内阻很小, 相当于开关接通; 二极管截止时, 两根引脚之间的电阻很大, 相当于开关的断开。

这种电子开关与普通的机械式开关相比, 二极管导通时的内阻不为零, 在二极管截止时的电阻也不是开路, 但是由于这两种状态下的电阻已经相差很大, 在电路中可以起到电路通与断的控制作用, 所以能够起到开关的作用。

这种二极管开关电路 (又称二极管电子开关电路) 的优点是开关速度快, 而机械式开关在开关速度这一点上是不能与它相比的。所以, 在一些电子电路中 (例如数字电路中) 广泛使用电子开关电路。

关于二极管的正向电阻, 还要说明一个问题, 当二极管的正向电流在变化时, 二极管的正向电阻将随之变化, 正向电流愈大, 正向电阻愈小, 在一些控制电路中, 要用到二极管这一阻抗随电流变化的特性。

4 . 二极管正向压降基本不变

在二极管导通之后, 其管压降基本不变, 二极管的正向电流发生很大变化时, 正向压降才

有微小的变化。

二极管的正向电压降是基本不变的,但不是绝对不变。例如,当温度升高时,二极管的管压降会略有下降。利用二极管的这一特性,可以设计出温度补偿电路,在分析这种温度补偿电路时,不了解二极管的这一特性,电路工作原理就无法分析。

5 . 温度对二极管伏—安特性的影响

二极管是一个热敏感器件,除了热敏二极管要求对温度有敏感反应外,其他的二极管都不希望温度对二极管的性能有影响,但是,温度对二极管特性的影响的确存在,只是相对热敏二极管而言比较小。

图 5 - 10 所示是温度对二极管伏—安特性曲线影响的示意图。这是同一个二极管在不同温度 T_1 和 T_2 下的两条伏—安特性曲线,其中温度 T_1 高于温度 T_2 。

从图中可以看出,当温度升高时,二极管伏—安特性曲线基本上是向左平移了一些,这表明二极管的特性有了下列一些变化。

温度升高后,二极管的死区电压降低,也就是只要有较小的正向电压,二极管的正向电流就会明显增大。

当温度升高后,若二极管的正向电压一定,则二极管的正向电流增大;或是二极管的正向电流一定时,二极管的正向电压降减小。

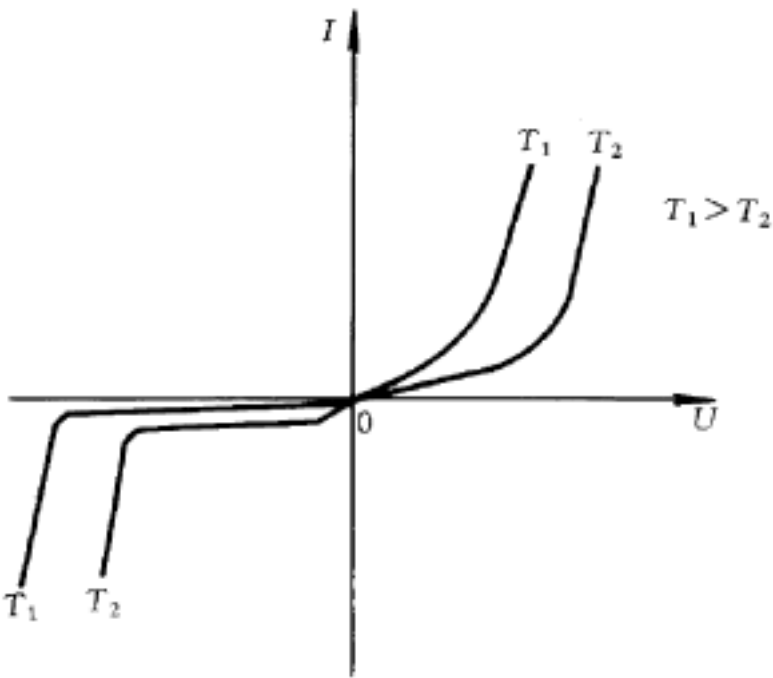


图 5 - 10 温度对二极管伏—安特性曲线影响示意图

二极管的反向击穿电压大小也有变化,但变化比较复杂,要分成三种情况说明:一是对于常温下反向击穿电压高于 7V 的二极管,反向击穿电压具有正温度特性,就是当温度升高时反向击穿电压也随之升高;二是对于常温下击穿电压小于 5V 的二极管,反向击穿电压具有负温度特性,就是当温度升高时反向击穿电压会降低;三是对于常温下击穿电压为 6V 的二极管,反向击穿电压具有零温度特性,就是反向击穿电压基本上不随温度的变化而变化,比较稳定。

一般的二极管其反向击穿电压都大于 7V,所以它们的反向击穿电压具有正温度特性,随着温度升高,反向击穿电压增大。

上述各种情况下,二极管随温度变化而引起的电压降等变化量是很小的,在电路分析中有时可以不计这一变化,有时却就是利用二极管的这种温度特性实现电路功能,所以电路分析显得比较困难,但有一个原则可以掌握:当电路中的信号电压幅度远远大于二极管两端的正向电压降时,可以忽略二极管这种温度特性,否则就要考虑二极管的温度特性,这一点将在后面的电路分析中进行具体解说。

6 . 结电容特性

二极管是一个 PN 结,PN 结具有电容的特性。图 5 - 11 所示的示意图可以说明二极管 PN 结的结电容特性。

从图中可以看出,PN 结的结构与平行板电容器的结构十分相近,两块导电的半导体 P 区和 N 区相当于平行板电容器的两个极板,P 区和 N 区之间的不导电阻挡层相当于平行板电容器两极板之间的绝缘介质,这样 PN 结就存在电容效应,称为 PN 结的结电容。变容二极管就是利用这一原理制成的。

在二极管中,除变容二极管要求这一结电容的容量比较大外,其他的二极管都希望这一结电容的容量愈小愈好,一般二极管的结电容也是相当小的,除工作于高频开关电路中的二极管外,一般二极管的结电容对二极管的正常工作影响不大。

二极管的结电容大小与加在二极管两端的电压极性和大小相关。在正向偏置电压下,电压愈大结电容愈大,因为正向偏置电压愈大,其阻挡层愈薄,相当于电容两极板之间的距离愈小,所以结电容的容量加大;在反向偏置电压下,电压愈大结电容愈小,因为这时阻挡层加厚,相当于电容器两极板之间距离增大,所以容量减小。

分析不同电路中二极管的工作原理时,要用到二极管的不同特性,选择什么特性分析二极管电路是最大困难之一。只有对二极管的各种特性十分了解后,才能在电路分析中正确运用某一个特性去解释二极管电路的工作原理。

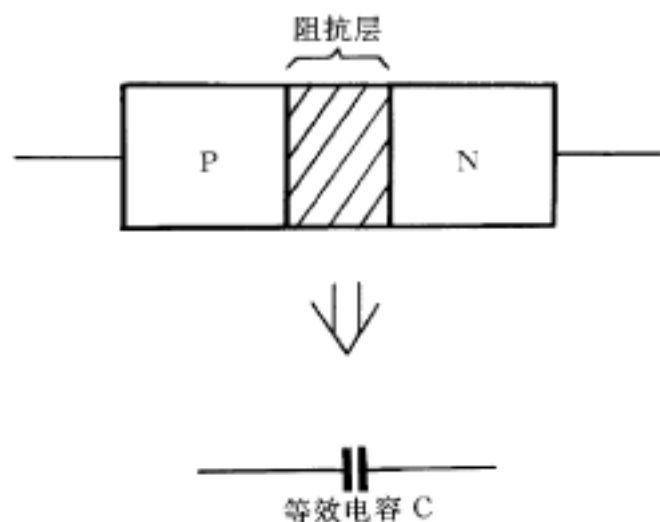


图 5 - 11 二极管 PN 结的结电容示意图

5.1.5 主要参数

二极管的参数比较多,这里介绍几项常用的参数。

1. 最大整流电流 I_M

最大整流电流是指二极管长时间正常工作下,允许通过二极管的最大正向电流值。各种用途的二极管对这一参数要求的重要性是不同的,当二极管用来作为检波二极管时,由于工作电流是很小的,所以对这一参数的要求不高。

当二极管用来作为整流二极管时,由于整流时流过二极管的电流比较大,有时甚至是很大的,此时最大整流电流 I_M 是一个非常重要的参数。

当正向电流通过二极管时,PN 结要发热(二极管要发热),电流愈大,管子愈热,当二极管热到一定程度时,就要烧坏二极管,所以最大整流电流 I_M 参数限制了二极管的正向工作电流大小,在使用中不能让二极管超过这一值。在一些大电流的整流电路中,为了帮助整流二极管散热,给整流二极管加上散热片,以帮助二极管散热。

2. 最大反向工作电压 U_{RM}

最大反向工作电压是指二极管正常工作时,所能承受的最大反向电压值, U_{RM} 约等于反向击穿电压的一半。反向击穿电压是指给二极管加反向电压,使二极管击穿时的电压值。二极管在使用中,为了保证二极管的安全工作,实际的反向电压不能大于 U_{RM} 。

对于晶体管而言,过电压(指工作电压大于规定电压值)比过电流(指工作电流大于规定电

流)更容易损坏管子,因为电压稍增大一些,电流往往就会增大许多。

3. 反向电流 I_{CO}

反向电流是指给二极管加上规定的反向偏置电压情况下,通过二极管的反向电流值, I_{CO} 的大小反映了二极管的单向导电性能。

前面讲到,给二极管加上反向偏置电压后,没有电流流过二极管,这是二极管的理想情况,实际上二极管在加上反向电压后,或多或少地会有一些反向电流,反向电流是从二极管负极流向正极的电流。

正常情况下,二极管的反向电流是很小的,而且是愈小愈好。这一参数是二极管的一个重要参数,因为当二极管的反向电流太大后,二极管就失去了单向导电特性,二极管也就失去了它在电路中的功能。

在二极管反向击穿之前,总是要存在一些反向电流的,对于不同材料的二极管,这一反向电流的大小是不同的。对于硅二极管,它的反向电流比较小,一般为 $1\mu A$,甚至更小;对于锗二极管,反向电流比较大,约有几百微安。所以,现在一般情况下不使用锗二极管,而广泛使用硅二极管。

反向电流 I_{CO} 在二极管反向击穿前的大小基本不变,即反向电压只要不大于反向击穿电压值,反向电流几乎不变,所以反向电流又称反向饱和电流。

4. 最高工作频率 f_M

二极管可以用于直流电路中,也可以用于交流电路中。在交流电路中,交流信号的频率高低对二极管的正常工作是有影响的,信号频率高时要求二极管的工作频率也要高,否则二极管就不能很好地起作用,这就对二极管提出了工作频率的要求。

由于二极管的材料、结构和制造工艺的影响,当二极管工作在一定高的频率状态下时,二极管将失去它的良好工作特性。二极管保持它良好工作特性的最高频率,称为二极管的最高工作频率。

在一般电路和低频电路中,例如整流电路中,对二极管的 f_M 参数是没有要求的,主要是在高频电路中对这一参数有要求。

5.1.6 表示方法

二极管不同于电阻器、电容器等,它的参数不标注在二极管的外壳上,而是要通过查阅有关晶体管手册后,才能了解二极管的参数值。这里讲的表示方法,是指二极管的型号表示方法和极性表示方法。

1. 二极管型号命名方法

二极管的型号命名方法同三极管型号命名方法是相同的,因此这里将这两种管子的型号命名方法放在一起介绍。我国对二极管和三极管的型号命名中,将管子型号分成五个部分,表 5-1 所示是各部分的具体含义。

表 5 - 1 各部分具体含义									
第一部分		第二部分		第三部分				第四部分	第五部分
用数字表示器件的电极数目		用汉语拼音字母表示器件的材料和极性		用汉语拼音字母表示器件的类型				用数字表示器件序号	用汉语拼音字母表示区别代号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义		
2	二极管	A	N 型, 锗材料	P	普通管	D	低频大功率管 ($f < 3\text{MHz}$, $P_c = 1\text{W}$)		
3	三极管	B	P 型, 锗材料	V	微波管				
		C	N 型, 硅材料	W	稳压管	A	高频大功率管 ($f = 3\text{MHz}$, $P_c = 1\text{W}$)		
		D	P 型, 硅材料	C	参量管	T	半导体闸流管 (可控整流器)		
		A	PNP 型, 锗材料	Z	整流器				
		B	NPN 型, 锗材料	L	整流堆	Y	体效应器件		
		C	PNP 型, 硅材料	S	隧道管	B	雪崩管		
		D	NPN 型, 硅材料	N	阻尼管	J	阶跃恢复管		
		E	化合物材料	U	光电器件	CS	场效应器件		
				K	开关管	BT	半导体特殊器件		
				X	低频小功率管 ($f < 3\text{MHz}$, $P_c < 1\text{W}$)	FH	复合管		
						PIN	PIN 型管		
				G	高频小功率管 ($f = 3\text{MHz}$, $P_c < 1\text{W}$)	JG	激光器件		

这里举几个二极管的例子来说明型号的含义。根据型号可以知道二极管的材料、极性和类型等。

例 1: 某二极管外壳上标出 2AP9, 根据上表可知, 2 表示是二极管; A 表示是 N 型半导体, 为锗材料二极管; P 表示是普通二极管; 9 表示序号。这样 2AP9 是一只普通锗材料二极管, 关于它的具体参数从型号上看不出来, 要去查有关晶体管手册才行。2AP9 一般用来作为检波二极管。

例 2: 某二极管外壳上标出 2CZ11, 其中 2 是二极管; C 是硅材料、N 型半导体; Z 是整流二极管; 11 是序号。这样, 2CZ11 是一只硅整流二极管。

2 . 极性表示

二极管的两根引脚是有正、负极之分的, 一般在二极管的外壳上要标出正极和负极, 图 5 - 12所示是常见二极管的极性表示方式。表示二极管极性时, 有的标出电路符号, 有的用色点表示, 有的则要借助于二极管的外形来识别。

5 - 12 图(a)和(b)所示的两种二极管都在外壳上标出电路符号, 根据电路符号, 可以知道

正、负极引脚,图中右侧为负极,左侧为正极。

图 5 - 12(c) 所示二极管中,在外壳上标出一个点,有点的这一端是二极管的正极引脚,没有点的这一端是负极引脚。

图 5 - 12(d) 所示二极管的正、负极引脚形式不同,这样就可以分清它的正、负极引脚,带螺纹的一端是负极,这是一种工作电流很大的整流二极管,见图中所示。

二极管的正极和负极引脚除根据外壳上的标记进行识别外,必要时还可以用万用表进行引脚极性的分辨。

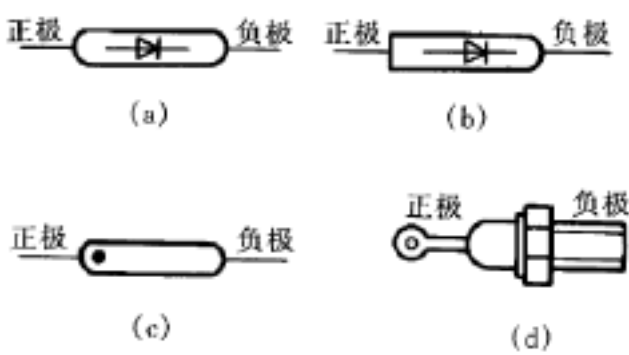


图 5 - 12 常见二极管极性表示方式示意图

5 2 二极管实用电路详解总汇

二极管在电路中的应用比较广泛,根据二极管在电路中所起作用的不同,归纳起来主要有以下几种二极管电路。

- 在限幅电路中起限幅作用,称为二极管限幅电路;
 - 在简易稳压电路中起稳压作用,称为二极管稳压电路;
 - 在整流电路中起整流作用,称为二极管整流电路;
 - 在检波电路中起检波作用,称为二极管检波电路;
 - 在一些电路中起保护作用,称为二极管保护电路;
 - 在一些电路中起控制作用,称为二极管控制电路;
 - 在一些电路中起隔离作用,称为二极管隔离电路。
- 此外,二极管在电路中还可以起温度补偿作用等。

5 2 . 1 二极管限幅电路

1 . 单向限幅电路之一

图 5 - 13 所示是一种采用二极管构成的单向限幅电路。电路中, R_i 是二极管 VD_i 的限流保护电阻, VD_i 是限幅二极管, U_i 是交流输入信号电压, 为正弦信号, 其波形见图中所示, 其电压幅度远比二极管的死区电压 $0.6V$ 大(在限幅电路中输入电压幅度都是很大的), U_o 是该限幅电路的输出信号电压。

分析这一电路的工作原理时, 主要注意两点: 第一点是电路分析时要运用二极管的单向导电性; 第二点是要用到二极管的正向管压降特性。

这一电路的工作原理是这样: 在输入电压 U_i 为正半周期间, 输入信号电压 U_i 使二极管 VD_i 的正极电压大于负极电压, 如图 5 - 14(a) 所示。从图中可以看出, 输入信号为正半周期间, 通过电阻 R_i 给 VD_i 的正极加上正电压, 负极加上负电压, 这时给二极管 VD_i 加上的是正向电压, 且输入信号电压的幅度比较大, 远大于二极管的死区电压, 所以 VD_i 会在输入信号电压作用下处于导通状态。

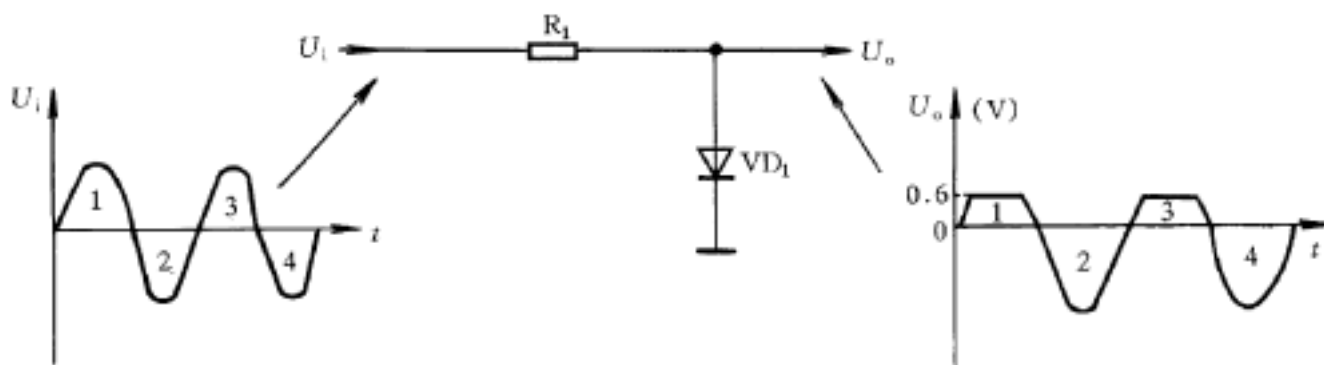


图 5 - 13 二极管单向限幅电路之一

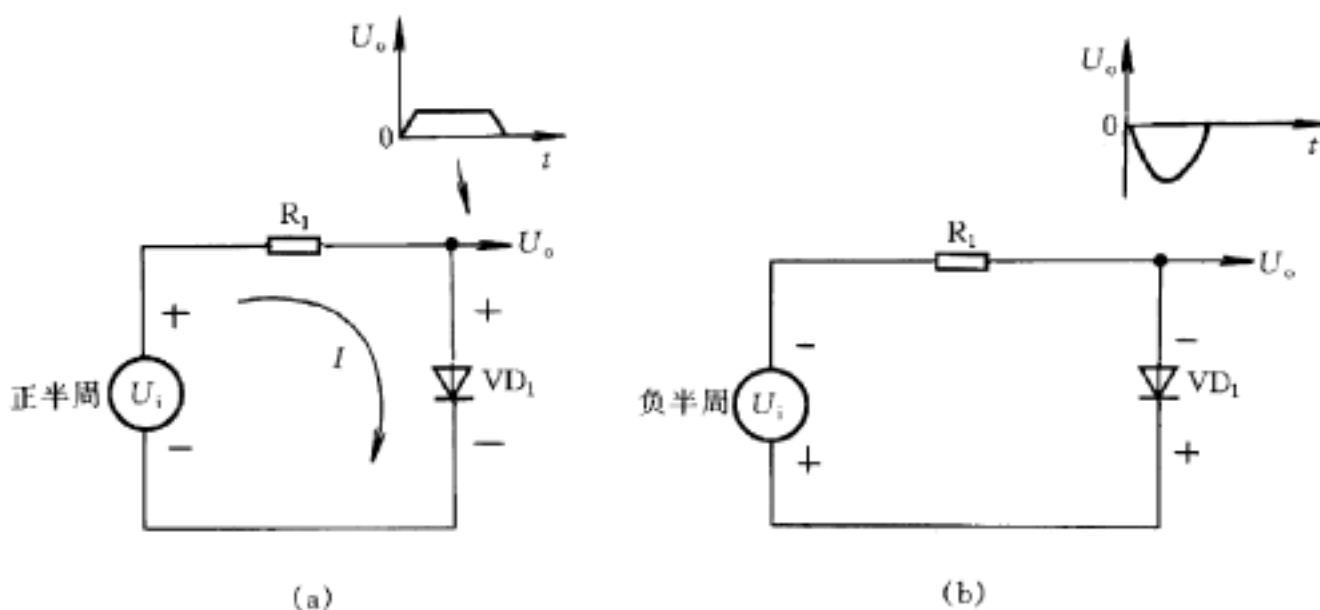


图 5 - 14 正、负半周限幅电路的等效电路

当正半周信号电路从零开始增大时,在输入电压大于二极管的死区电压(0.6V)后, VD_1 处于导通状态。二极管 VD_1 导通后,其管压降约为 0.6V,并且不再明显增大,这样,输出信号电压 U_o 正半周的最大幅度为 0.6V,将输入电压 U_i 正半周大于 0.6V 的部分切除,这种让输出电压幅度限制在某一值内的电路称为限幅电路。

在输入电压为负半周期间,这一限幅电路的等效电路如图 5 - 14(b) 所示。从图中可以看出,这时二极管 VD_1 正极上加的信号电压为负,负极上的信号电压为正,这时给 VD_1 加的是反向偏置电压,所以二极管 VD_1 处于截止状态。

当二极管 VD_1 截止时,它相当于开路,这样负半周信号通过电阻 R_1 加到了输出端,也就是负半周信号电压没有受到限幅就加到了输出端,见图中的信号电压波形所示。

如图 5 - 13 所示电路中,输入信号是一个标准的正弦信号,而通过这一单向限幅电路之后,正半周电压大于 0.6V 部分的信号被切除,只保留了完整的负半周。当输入信号不断正、负半周变化时,二极管 VD_1 交替地工作在导通与截止两种状态下。

由于这一电路能够将输入信号电压的正半周幅度限制在 0.6V 之内,所以称这一电路为限幅电路。由于只能限制输入信号的半周,所以称为单向限幅电路。

电路中,电阻 R_1 是限流保护电阻,它的作用是这样:在输入信号为正半周期间,二极管 VD_1 导通,其电流回路是这样:输入端 电阻 R_1 二极管 VD_1 正极 二极管 VD_1 负极 地端。这一电流流过电阻 R_1 ,在 R_1 上就有电压降,输入信号电压愈大,流过电阻 R_1 的电流愈大,在 R_1 上的电压降愈大。由于 VD_1 导通后的管压降基本不变,为 0.6V,所以输入信号大于 0.6V

部分的电压全部降在电阻 R_1 上。

如果不接入限流保护电阻 R_1 , 那么很大的输入信号电压就会全部加到二极管 VD_1 上, 使 VD_1 上的电压很大, 导致它的正向电流很大而被烧坏。所以, 在加入电阻 R_1 后可以限制流过二极管 VD_1 的电流增大, 达到保护二极管 VD_1 的目的, 具有这种作用的电阻 R_1 称为限流保护电阻。

2 . 单向限幅电路之二

图 5 - 15 所示是另一种采用二极管构成的单向限幅电路。电路中, R_1 是二极管 VD_1 的限流保护电阻, VD_1 是限幅二极管, U_i 是交流输入信号电压, U_o 是该限幅电路的输出信号电压。

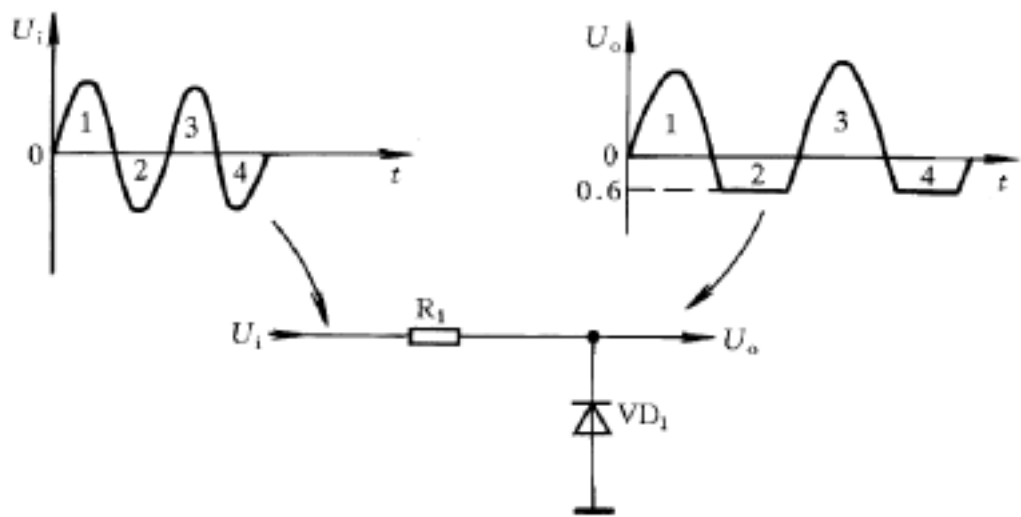


图 5 - 15 二极管单向限幅电路之二

这一电路的工作原理同前面一个单向限幅电路是基本相同的, 只是限幅二极管 VD_1 的方向不同, 这样对输入信号的限幅变成了负半周。

在输入信号为正半周期间, 输入信号电压给二极管 VD_1 加的是反向电压, 所以 VD_1 处于截止状态, 输入信号直接通过电阻 R_1 加到输出端, 对输入信号的正半周没有限幅作用。

在输入信号为负半周期间, 输入信号电压给二极管 VD_1 加的是正向电压, 所以 VD_1 处于导通状态, VD_1 导通后其管压降为 $0.6V$, 对输入信号的负半周进行限幅, 见图中所示, 输入信号 U_i 中的负半周 2 变成了限幅后输出信号 U_o 中的 2。

电路中, R_1 仍然起着限流保护二极管 VD_1 的作用。

3 . 双向限幅电路

图 5 - 16 所示是用两只二极管构成的双向限幅电路。电路中, R_1 是二极管 VD_1 和 VD_2 的共用限流保护电阻, VD_1 和 VD_2 都是限幅二极管, U_i 是交流输入信号电压, U_o 是该限幅电路的输出信号电压。

这一电路实际上是前面两种单向限幅电路的合并, 电路中接有两只限幅二极管 VD_1 和 VD_2 , 它们共用一只限流保护电阻 R_1 。当输入信号为正半周期间, 输入电压给二极管 VD_1 加上正向偏置电压, 给 VD_2 加的是反向偏置电压, 所以此时 VD_2 截止, VD_1 导通, 由 VD_1 对正半周的输入信号进行限幅。

当输入信号为负半周期间, 输入电压给二极管 VD_1 加上反向偏置电压, VD_1 截止, 给 VD_2 加的是正向偏置电压, 所以此时 VD_2 导通, 由 VD_2 对负半周的输入信号进行限幅。这样, 分别

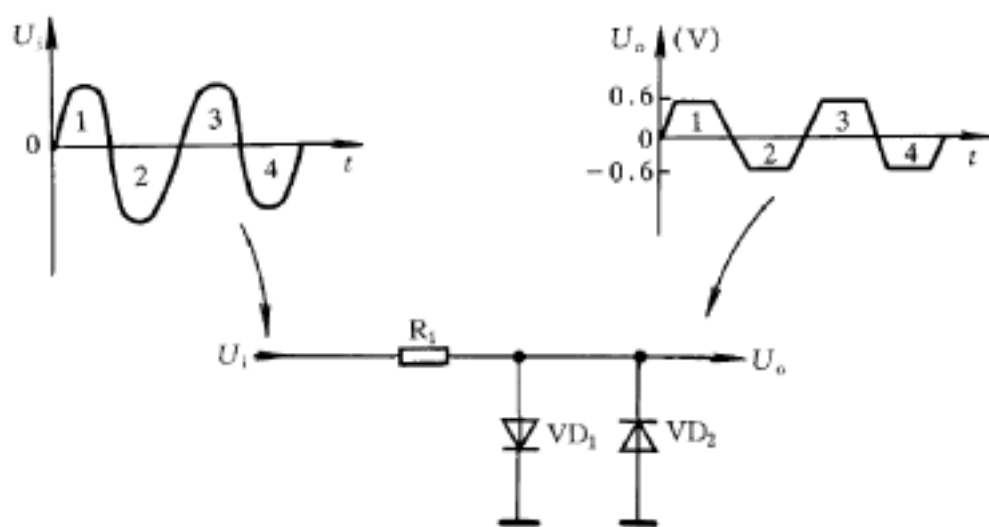


图 5 - 16 二极管双向限幅电路

通过 VD_1 和 VD_2 对输入信号的正、负半周进行限幅, 其限幅后的输出信号见图中的波形所示, 正、负半周信号的幅度都被限制在 0.6V 之内。

4. 不对称双向限幅电路

图 5 - 17 所示是采用二极管构成的不对称双向限幅电路。电路中, 限幅二极管 VD_1 和 VD_2 串联, VD_3 也是限幅二极管, R_1 是这三只二极管的限流保护电阻。 U_i 是交流输入信号电压, 它的信号电压幅度足够地大, 远大于 VD_1 和 VD_2 两只二极管死区电压之和。 U_o 是该限幅电路的输出信号电压。

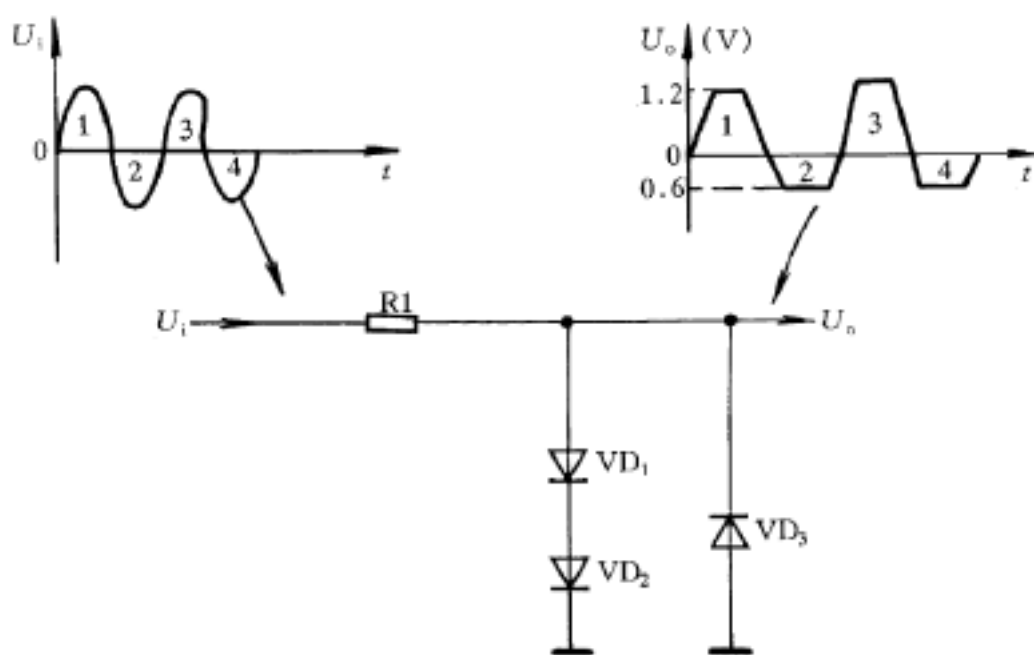


图 5 - 17 二极管不对称双向限幅电路

这一不对称双向限幅电路是在前面一种双向限幅电路的基础上, 在输入信号正半周限幅二极管电路中再串联一只二极管, 这样 VD_1 和 VD_2 串联, 它们同时导通, 只有当输入信号电压幅度达到 1.2V 时, VD_1 和 VD_2 才同时导通 (串联电路中不会出现一只二极管导通而另一只截止的现象), 进行正半周输入信号的限幅。在输入信号的负半周, 仍然是由 VD_3 一只二极管进行限幅, 所以限幅电压是 0.6V。

通过这一不对称双向限幅电路后, 输出信号电压的正半周幅度大于负半周的幅度, 见图中输出信号 U_o 波形所示。

5. 二极管限幅保护电路

图 5 - 18 所示是采用二极管构成的限幅保护电路。电路中, A_1 是集成电路, 脚和 脚是它的两个信号输出引脚, U_{o1} 和 U_{o2} 是两个输出信号, VD_1 和 VD_2 、 VD_3 和 VD_4 串联后构成限幅保护电路。

这一保护电路的工作原理是这样的: 以集成电路 A_1 的信号输出引脚 脚外电路为例, 当 脚输出信号的幅度小于 VD_1 和 VD_2 的死区电压之和 $1.2V$ 时, 两只二极管不能导通, 二极管内阻很大而相当于开路, 没有任何的限幅作用, 对 脚输出信号没有影响, 其 脚输出的信号正常地通过电阻 R_1 加到后级电路中。

当集成电路 脚的输出信号幅度超出 $1.2V$ 时, 这一大幅度信号通常是混在 脚输出信号中的大幅度干扰信号, 这时 VD_1 和 VD_2 导通, 对这一大幅度的干扰信号进行限幅, 使之最大输出电压只能为 $1.2V$, 这样就不会因为输出信号幅度太大而损坏后级电路, 达到限幅保护的目。

如果没有这一限幅电路的作用, 幅度很大的干扰就会作为输出信号的一部分, 加到后级电路中, 对后级电路的正常工作造成危害。

集成电路 A_1 的 脚外电路中保护电路的工作原理同 脚电路中的一样, 也是起限制 脚输出信号幅度不要太大的作用。

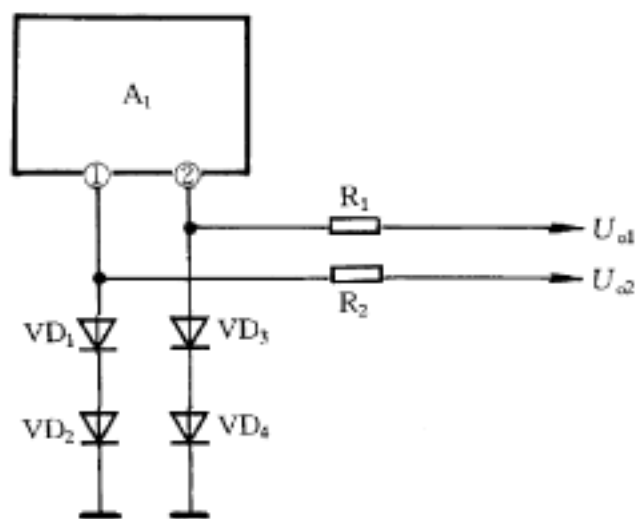


图 5 - 18 二极管限幅保护电路

6. 识图小结

关于二极管限幅电路的工作原理, 还要说明下列几点。

二极管限幅电路的作用是防止输入信号中的大幅度成分加到后级电路中, 使通过限幅电路的输出信号在幅度上不超过某一个定值。根据限幅二极管限幅值不同, 输出信号的电压幅值也不同。每只硅二极管的限幅值为 $0.6V$ 。

在二极管限幅电路中, 输入信号电压的幅度足够地大, 即比二极管的死区电压大得多, 所以只要输入信号电压是给限幅二极管加的正向偏置电压, 二极管都是能够导通的, 能够将输入信号电压进行限幅。

在分析二极管限幅电路工作原理时, 主要是使用二极管的单向导电特性和导通后存在管压降的特性(即管压降基本不变的特性), 由于输入信号的电压幅度远远大于二极管的管压降, 所以不必考虑二极管正向电流增大时管压降的微小变化。

在二极管限幅电路中, 输入信号无论是直流电压还是交流电压, 都有相同的限幅特性, 只是对于交流信号而言, 要分别分析它的正、负半周两种情况。

当输入信号的电压幅度达不到限幅二极管的死区电压时, 限幅二极管是不能导通的, 限幅二极管相当于截止, 这时对输入信号没有限幅作用。

5 2 2 LC 谐振电路中的二极管限幅电路

在调频收音电路中,为了对调频中频信号进行限幅处理,设置了限幅中频放大器电路,在这种限幅放大器电路中,往往将限幅电路设置在 LC 并联谐振电路中。

1. 限幅电路之一

图 5 - 19 所示是在 LC 并联谐振电路中采用二极管构成的一种限幅电路,这是调频收音电路中的一级中频放大器。电路中,三极管 VT_1 构成最后一级中频放大器电路, T_1 是中频变压器, VD_1 和 VD_2 是限幅二极管。

这一电路的工作原理是这样的:中频变压器 T_1 的次级线圈和电容 C_2 构成一个 LC 并联谐振电路,限幅二极管 VD_1 和 VD_2 反向并联在这一 LC 并联谐振电路两端。

当 LC 并联谐振电路两端的谐振信号幅度较大时,即大于二极管的死区电压值时,谐振信号的正半周电压加到 VD_1 和 VD_2 两只二极管上,由于这一电压在电容 C_2 上的电压极性是上正下负,所以给 VD_1 加的是反向偏置电压, VD_1 截止而相当于开路,给 VD_2 加的是正向偏置电压,使限幅二极管 VD_2 导通而具有限幅作用,使电容 C_2 上的正半周谐振信号电压的最大幅度为 $0.6V$ 。

当谐振电路变化到负半周期间,电容 C_2 上的谐振信号电压极性为下正上负,这一信号电压给 VD_2 加上的是反向偏置电压,使 VD_2 截止而相当于开路,但是给 VD_1 加的是正向电压, VD_1 导通,由 VD_1 对负半周的谐振信号进行限幅。

通过上述电路分析可知,在这一 LC 并联谐振电路两端的信号电压幅度正、负半周都不会超过 $0.6V$,如图 5 - 20 所示,将正、负半周幅度大于 $0.6V$ 的信号部分全部切除,达到双向限幅的目的。

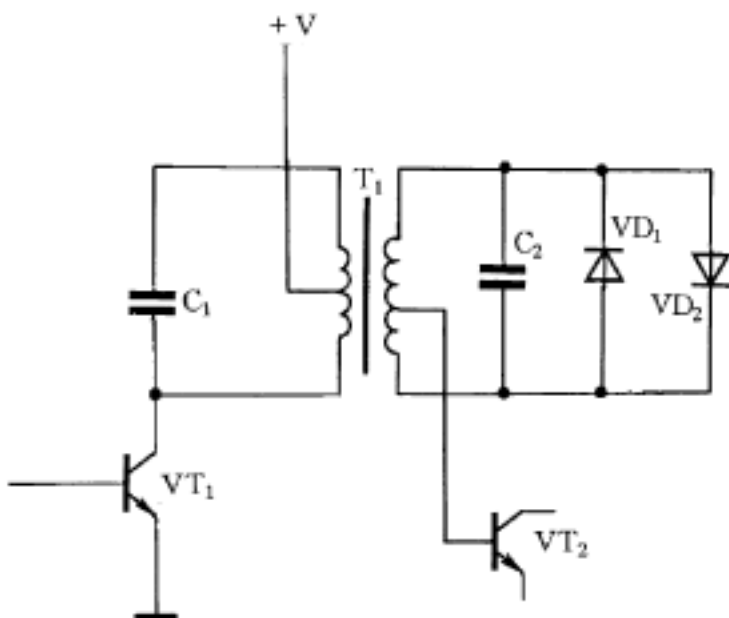


图 5 - 19 LC 谐振电路中二极管限幅电路之一

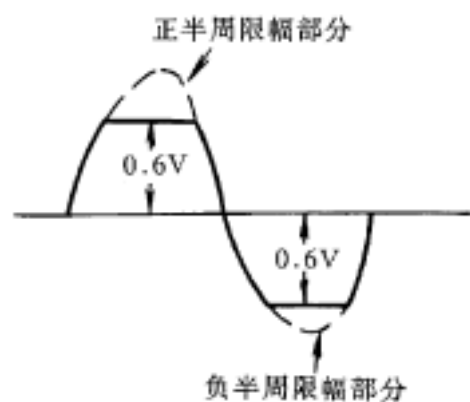


图 5 - 20 限幅后信号波形示意图

2. 限幅电路之二

图 5 - 21 所示是另一种在 LC 并联谐振电路中采用二极管构成的限幅电路,这也是调频收

音电路中的一级中频放大器。电路中,三极管 VT_1 构成最后一级中频放大器电路, T_1 是中频变压器,这一电路与前面电路所不同的是,限幅电路设在中频变压器的初级线圈回路中,而且只有一只限幅二极管 VD_1 。

这一限幅电路的工作原理是这样的:中频变压器 T_1 的初级线圈与电容 C_1 构成 LC 并联谐振电路,限幅二极管通过 T_1 的初级抽头并联在这个 LC 并联谐振电路两端,它的等效电路如图 5 - 22所示, T_1 的初级线圈是一个自耦合变压器,经过等效, VD_1 相当于并联在 LC 并联谐振电路两端,这样对 VD_1 的限幅原理就比较容易理解。

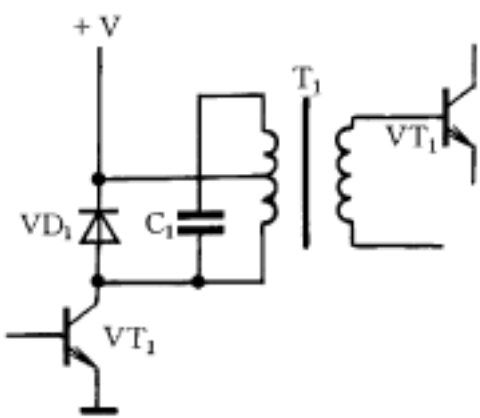


图 5 - 21 LC 谐振电路中二极管
限幅电路之二

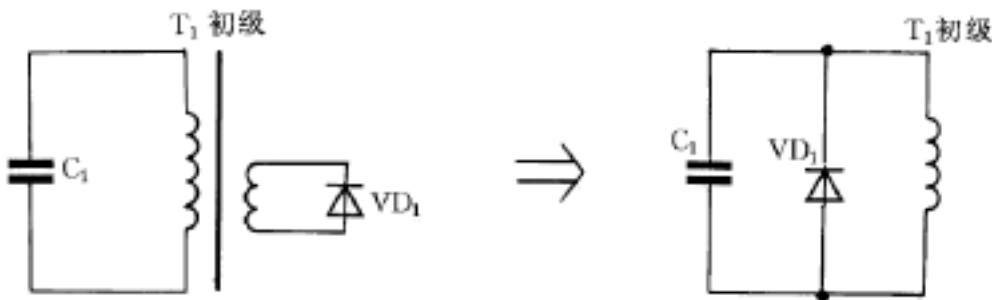


图 5 - 22 等效电路图

虽然这一电路中只有一只限幅二极管 VD_1 ,但是仍然具有对谐振信号进行双向限幅的功能。 VD_1 对谐振信号电压的一个半周信号进行限幅是不难理解的,原理同前面一种电路一样,关键是如何理解正、负半周信号的同时限幅。

这一电路的双向限幅过程可以这样来理解: T_1 初级线圈和电容 C_1 构成一个 LC 并联谐振电路,谐振过程中对 C_1 进行充电,当对 C_1 的充电电压极性为下正上负时,且这一充电电压值大于限幅二极管 VD_1 的死区电压值时,由于这一充电电压对 VD_1 而言是正向偏置电压, VD_1 导通了,这样 C_1 中再也不能充进电荷,即 C_1 中的充电电荷总量受到限制,也就限制了整个 LC 谐振电路的信号能量(谐振电路中的最大能量就是电容 C_1 中充到的最大能量)。

在另一个半周期间,电容 C_1 开始放电,由于电容 C_1 中只能放出这么多的电量,所以另一个半周的信号能量也被限制,也就是另一个半周的信号电压幅度被限制了。所以,用一只二极管也可以进行谐振信号的正、负半周限幅。

3. 识图小结

关于 LC 谐振电路中二极管限幅电路的工作原理,还要说明下列几点。

上述两种电路中,采用两只限幅二极管时,限幅电路将设置在中频变压器的次级线圈回路中;采用一只限幅二极管时,限幅二极管将设置在中频变压器的初级线圈回路中。两种限幅电路在结构上有所不同。

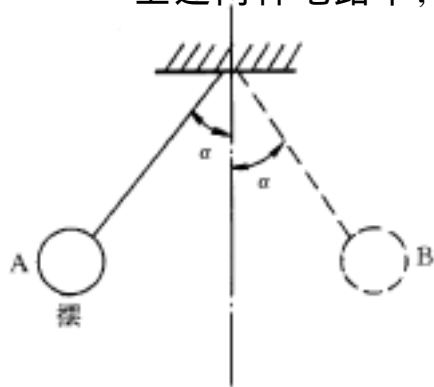


图 5 - 23 摆的振荡示意图

当采用一只限幅二极管时,对限幅电路工作原理的理解应该从谐振电路最大能量这个角度出发,在谐振电路中正、负半周的振荡幅度是相等的,限制了半周振荡幅度就限制了正、负半周的振荡幅度,就同如图 5 - 23 所示钟摆原理一样,如果将静止的钟摆放在起始位置 A 处,然后放手,那么摆只能摆到对称位置 B 处,两侧的摆角

是相同的。

5 2 3 二极管简易稳压电路

1. 电路分析

图 5 - 24 所示是采用普通二极管构成的简易稳压电路,电路中 $VD_1 \sim VD_3$ 是三只普通二极管, R_1 是它们的限流保护电阻, VT_1 是三极管。

这一电路的工作原理是这样的:电路中,直流工作电压 $+V$ 经电阻 R_1 加到三只二极管 VD_1 、 VD_2 和 VD_3 上,这一直流电压为正向偏置电压,且直流工作电压 $+V$ 足够地大,使三只二极管全部处于导通状态,由于每只二极管导通后其管压降约为 $0.6V$,这样三只二极管导通后在电路中 A 点的直流电压约为 $1.8V$ 。

根据二极管导通后管压降基本不变的特性,电路中 A 点的直流电压也保持不变,这样加到三极管 VT_1 管电路的直流工作电压就比较稳定,达到稳定 VT_1 管电路工作的目的。

电路中,电阻 R_1 为三只二极管提供导通所需要的直流工作电压,并且具有限制流过三只二极管电流的作用,所以 R_1 是一只二极管限流保护电阻。

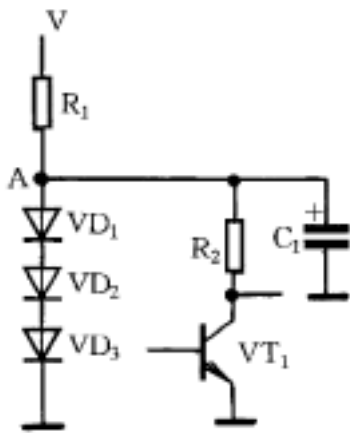


图 5 - 24 二极管构成的
简易稳压电路

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理,还要说明下列几点。

分析这一电路的稳压工作原理时,主要用到二极管导通后管压降基本不变这一特性,这样电路中 A 点的直流工作电压才保持稳定。

如果电路中的串联二极管数量更多,电路中 A 点的稳定直流工作电压会更高,通过调整串联二极管的数目,可以改变电路中 A 点的直流工作电压大小。一般情况下最多串联三只二极管,如果需要更高的稳定直流电压,可以采用稳压二极管电路。

5 2 4 二极管整流电路

二极管广泛应用于整流电路中,这一电路中的二极管称为整流二极管。

所谓整流电路,就是将交流电转换成直流电的电路。电子电路是采用直流电作为工作电压的,可以用电池直接给电路供电,也可以通过电源电路将交流电转换成直流电之后给电路供电,但是使用电池供电不仅成本高,而且不容易得到很高的直流工作电压,所以电子电路中大量采用电源电路来提供直流工作电压。

1. 电路分析

图 5 - 25 所示是采用二极管构成的整流电路,这是最简单的半波整流电路。电路中, VD_1 是二极管,由于是用于整流目的,所以称之为整流二极管。 R_1 是整流电路的负载电阻,在实用

电路中这一负载不一定是电阻,而是某一个具体的电子电路,这里为了分析电路方便,用一个电阻 R_L 来代替整流电路的负载。

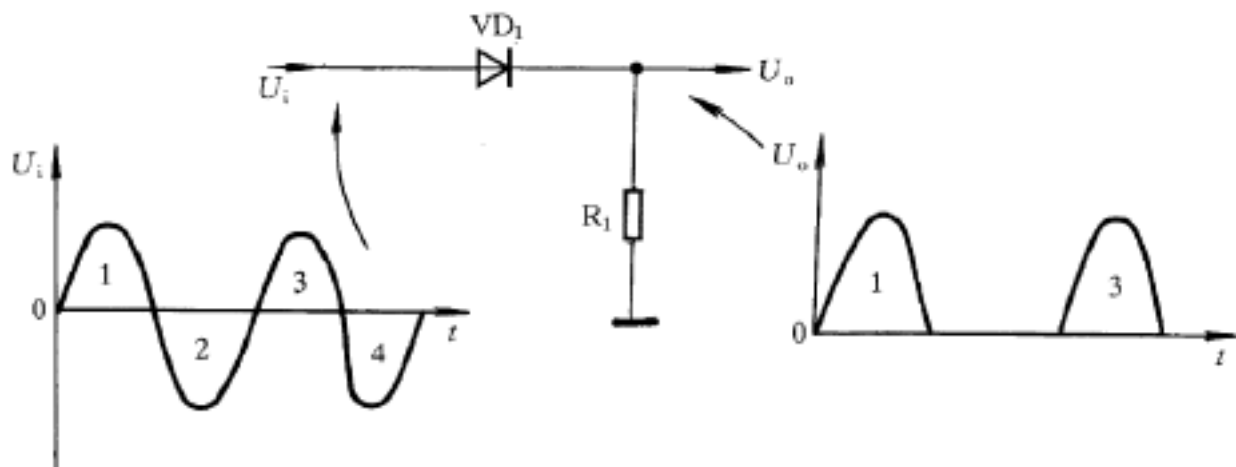


图 5 - 25 二极管整流电路

电路中, U_i 是整流电路的输入电压,这是一个正弦交流电压, U_o 是这一半波整流电路的输出电压,为单向脉动性的直流电压,这两种电压的波形见图中所示。

在分析二极管半波整流电路时,要了解和注意以下几个方面的问题。

输入整流电路的信号是交流电压,在电源电路中,这一交流电压就是经过电源变压器降压后的交流市电,是频率为 50Hz 的正弦交流电压。

进行半波整流电路分析时,要将输入的交流电压分成正半周和负半周两种情况,分别分析整流二极管的工作状态。

分析整流电路时主要运用二极管的单向导电特性,由于输入的交流电压远远大于二极管导通后的管压降,所以不考虑二极管导通后的管压降,可以认为这一管压降为 0V。

当二极管正向偏置时二极管导通,此时认为二极管成通路;当二极管反向偏置时二极管截止,此时认为二极管呈开路。

如果输入交流电压的某个半周期间内给二极管加的是正向偏置,则另一半周期间内给该整流二极管加的是反向偏置。

这一整流电路的工作原理是这样的:在正半周期间,交流输入电压 U_i 使二极管 VD_1 正极上的电压高于地端的电压,二极管的负极通过 R_L 与地端相连,这样二极管正极电压高于负极电压,因为交流输入电压幅度足够地大,所以二极管 VD_1 处于正向偏置状态,二极管导通。

整流二极管 VD_1 导通后,电路中有电流流过二极管 VD_1 和负载电阻 R_L ,电流在 R_L 上的压降为输出电压 U_o 。 VD_1 在正半周期间一直为正向偏置而处于导通状态,由于正半周期间交流输入电压大小在变化,所以流过 R_L 的电流大小也在变化,这样输出电压 U_o 大小也在变化,并与交流输入电压 U_i 的波形相同,只是由于二极管导通后存在着管压降,使输出电压的幅度比输入电压略小些,得到一个正半周的交流电压,见图中 1 波形所示。

在交流输入电压为正半周期间,电路的工作原理还可以这样理解,由于交流输入电压 U_i 使 VD_1 导通,并且可以不计 VD_1 的管压降,这样就可以认为 VD_1 呈通路,这时交流输入电压 U_i 直接加到电路的输出端,得到与输入电压 U_i 相同的输出电压 U_o 。

当交流输入电压 U_i 变化到负半周期间,交流输入电压 U_i 使 VD_1 正极电压低于它的负极电压,即二极管正极电压为负,负极接地,其电压为零(负比零更小),所以二极管 VD_1 在负半周交流输入电压 U_i 的作用下处于反向偏置状态,此时二极管截止,相当于开路,电路中无电

流,负载电阻 R_L 上也无电压降。这样,在交流输入电压为负半周期间,整流电路的输出电压为零,见图中的 U_o 波形所示。

在交流输入电压为负半周期间,电路的工作原理还可以这样理解:由于交流输入电压 U_i 使 VD_1 截止, VD_1 的内阻相当大,这样就可以认为 VD_1 开路,这时交流输入电压 U_i 不能加到电路的输出端,所以输出电压 U_o 为 $0V$ 。

当交流输入电压的第二个正半周电压到来时,二极管 VD_1 再次导通,负半周到来时二极管 VD_1 再度截止,二极管 VD_1 如此不断导通、截止,得到只有正半周的电压。从图中输入电压 U_i 和输出电压 U_o 波形可以看出,通过这一半波整流电路,将输入电压的负半周切除,得到图示只有正半周的单向脉动性直流输出电压。

2. 识图小结

关于这一半波整流电路的分析,还要说明以下几点。

整流电路的种类比较多,分析半波整流电路工作原理是分析其他整流电路的基础,必须掌握这一电路的分析方法。

在整流电路中,只有交流输入电压加到整流二极管 VD_1 上,没有直流电压输入,利用交流电压本身的电压大小,来使整流二极管正向偏置(二极管导通)或反向偏置(二极管截止),这是整流电路的特点。

当交流输入电压 U_i 比较小时,即交流输入电压正半周峰值电压不超过 $0.6V$ 时,整流二极管 VD_1 在正半周也不能导通,电路就不能起整流作用。所以,在整流电路中交流输入电压的幅度是较大的,大于整流二极管的管压降。由于输入电压的幅度远大于二极管的管压降,分析整流电路时可将整流二极管的管压降($0.6V$)忽略不计。

在输入交流电压为正半周期间,流过二极管的电流大小在变化但方向不变,所以流过 R_L 的电流都是从上而下,在 R_L 上的电压降为正电压,即上正下负。

由于这一整流电路的输出电压只有交流输入电压的半周,所以称之为半波整流电路,此外,还有全波整流电路等。

整流电路不仅大量用于电源电路中对交流市电的整流,在其他电路中,还可以用来对音频信号进行整流,如电平指示器电路中就需要使用整流电路。

5 2 5 二极管检波电路

1. 电路分析

图 5 - 26 所示是调幅收音电路中的二极管检波器电路。电路中, VD_1 是检波二极管, C_1 是检波滤波电容。输入检波器的是调幅中频信号 U_i ,从检波器电路输出的是所需要的音频信号 U_o 。

这一二极管检波器电路的工作原理是这样的:在输入中频信号 U_i 为正半周时,正半周信号电压使检波二极管 VD_1 正向偏置而导通,输入信号 U_i 为负半周时,使 VD_1 反向偏置而截止,这样通过 VD_1 将调幅中频信号的负半周去掉,输出正半周信号。若电路中没有滤波电容 C_1 ,在 VD_1 负极上的信号波形见图中虚线所示,只有正半周的输入信号。

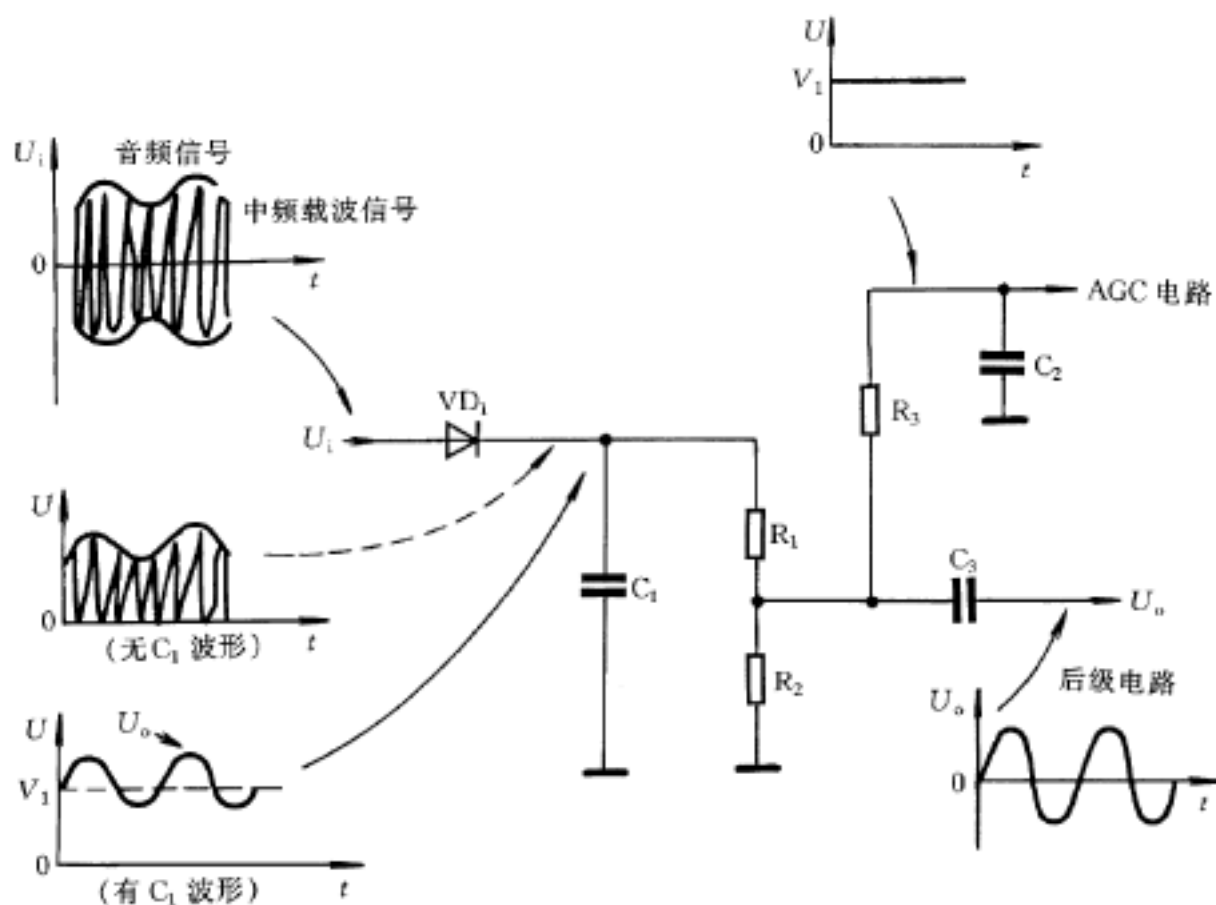


图 5 - 26 二极管检波器电路

经过 VD_1 检波后的输出信号,通过电容 C_1 滤波,由于中频载波频率比较高, C_1 对这一中频信号的容抗很小,这样滤波电容 C_1 将中频载波去掉(分流到地),得到上包络信号(检波所需要的音频信号),见图中实线所示信号波形,这是一个直流电压 V_1 和音频信号电压 U_o (交流)的混合信号。

这一直流和音频的混合信号通过电阻 R_1 和 R_2 分压,经 C_3 的隔直通交,去掉直流成分 V_1 后得到音频信号 U_o ,加入后级音频放大器电路中。

电阻 R_1 和 R_2 分压后输出的信号经 R_3 、 C_2 滤波后,去掉直流和音频信号混合信号中的音频信号,得到直流电压 V_1 ,该电压大小与中频信号大小有关,中频信号大,该直流电压也大,反之则小,这就是能够反映中频信号大小的 AGC 电压。这一 AGC 电压通过 AGC 电路可以控制中频放大器的增益。

电路中, C_1 是中频载波信号的滤波电容,它的容量比较小,它对中频信号的容抗很小,而对音频信号的容抗很大,这样它就滤除中频信号,对音频信号没有影响。

电容 C_2 是音频信号滤波电容,它的容量较大,要将音频信号滤除,对于直流的 AGC 电压,该电容呈开路。

电容 C_3 是耦合电容,具有隔直通交作用。

2. 识图小结

关于这一二极管检波电路工作原理,还要说明下列几点。

从上述分析可知,通过检波器电路得到了两个信号:一是所需要的音频信号 U_o ,在没有通过隔直电容 C_3 之前,音频信号是叠加在直流电压 V_1 之上的;二是直流 AGC 控制电压,这一直流电压 V_1 的大小与中频信号的幅度大小成正比关系,所以能够作为 AGC 电路的直流控制电压。

这一二极管检波电路中,没有给检波二极管 VD_1 加入适当的直流偏置电压,有的二极管检波电路中,则要给检波二极管 VD_1 加入很小的直流偏置电压,使检波二极管处于微导通状态,以提高检波二极管的检波效率和克服二极管的非线性。

所谓二极管的非线性是这样的含义,由二极管伏—安特性可知,加在二极管两端的正向电压很小时(小于死区电压),二极管的伏—安特性曲线不是直线,而是曲线,当二极管工作在这一区域时,将使检波输出的信号产生失真,这种失真称为非线性失真。图 5 - 27(a)所示是一个标准的正弦信号波形,通过检波二极管后变成了图 5 - 27(b)所示的大小头失真波形,它的正半周信号幅度小,负半周信号幅度大,这说明产生了非线性失真。图 5 - 27(c)也是一种非线性失真,称为削顶失真,即正半周的顶部被削去一截。

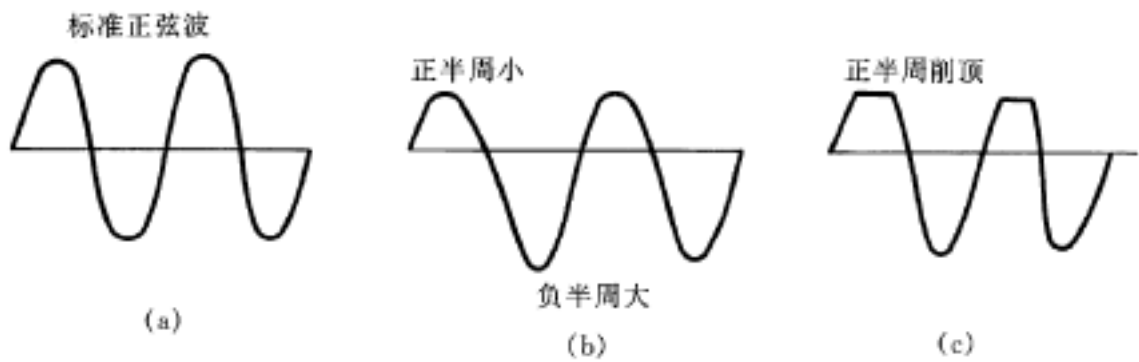


图 5 - 27 非线性失真波形示意图

5 2 .6 二极管保护电路

1. 电路分析

图 5 - 28 所示是一种采用二极管构成的保护电路。电路中, SL_1 是电磁吸铁,它是一个线圈结构, VT_1 是 SL_1 的驱动三极管, VD_1 是保护二极管。

这一电路的工作原理是这样的:由于电磁吸铁 SL_1 是一个感性负载,它在断电时会产生很大的自感电动势,其电动势的极性为下正上负,见图中所示,这一很大的电动势就相当于加在三极管 VT_1 的集电极与发射极之间,很容易将 VT_1 击穿,为此要设置保护电路,保护三极管在断电时不被 SL_1 产生的自感电动势击穿。

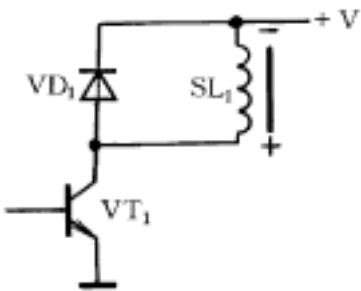


图 5 - 28 二极管保护电路

在加入保护二极管 VD_1 后,当电路断电时, SL_1 两端产生的自感电动势加到 VD_1 上,其电压极性为正电压加在 VD_1 的负极,负电压加在 VD_1 的负极,这一自感电动势给 VD_1 加的是正向偏置电压,使 VD_1 导通, VD_1 导通后内阻很小,相当于将 SL_1 产生的自感电动势短接,消除了可能击穿 VT_1 的危害。

SL_1 产生的自感电动势虽然电压很高,但是能量很小(电流很小),所以用 VD_1 短接这一电动势时并不会损坏 VD_1 。

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理,还要说明下列几点。

电路在正常通电时, VD_1 的负极接直流工作电压 + V 端,所以二极管 VD_1 处于截止状

态,对电路的工作没有影响。

除了电磁吸铁电路中需要这种二极管保护电路外,在许多继电器电路中也采用相同的二极管保护电路,因为继电器也是一个由线圈构成的器件。

5 2 .7 二极管 ALC 控制电路

1. 电路分析

图 5 - 29 所示是采用二极管构成的 ALC 控制电路。ALC 是自动电平控制电路的简称。ALC 电路是录音机、卡座中一个重要的录音信号电平控制电路,它的工作情况关系到录音信号的大小是否正常。电路中,VD₁ 是控制二极管,C₁ 是耦合电容,R₁ 将直流控制电压 U_i 加到二极管 VD₁ 的正极,U_i 是一个正极性的直流控制电压。

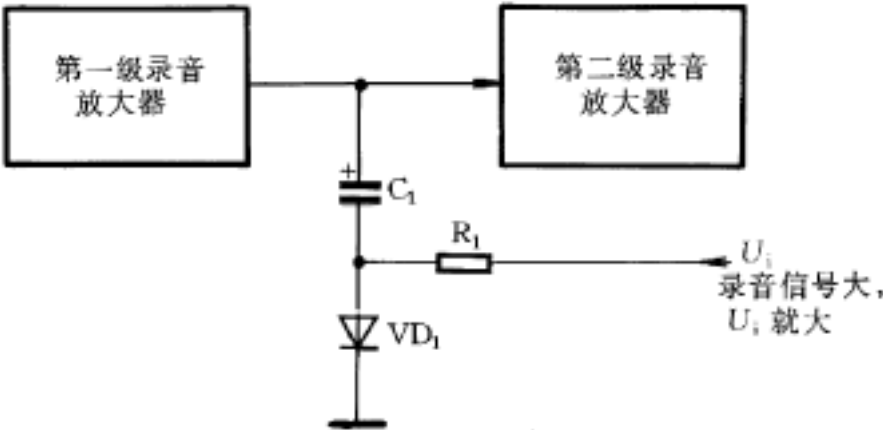


图 5 - 29 二极管 ALC 控制电路

这一电路的工作原理是这样的:直流控制电压 U_i 通过电阻 R_1 加到 VD_1 正极,根据直流控制电压 U_i 的大小不同,分成下列几种情况进行分析。

电路中没有录音信号时,直流控制电压 U_i 为 0V,二极管 VD_1 截止, VD_1 对电路工作无影响,第一级录音放大器输出的信号可以全部加到第二级录音放大器电路中。

当电路中的录音信号较小时,直流控制电压 U_i 较小,不足以使二极管 VD_1 导通,此时二极管 VD_1 对第一级录音放大器输出的信号也没有分流作用。

当电路中的录音信号比较大时,直流控制电压 U_i 较大,使二极管 VD_1 导通,录音信号愈大,直流控制电压 U_i 愈大, VD_1 导通程度愈深, VD_1 的内阻愈小。在 VD_1 导通后, VD_1 的内阻下降,第一级录音放大器输出的录音信号中,有一部分通过电容 C_1 和导通的二极管 VD_1 被分流到地端,实现 ALC 控制。

2. 识图小结

关于这一电路工作原理,还要说明下列几点。

二极管导通后的内阻(正极与负极之间的电阻)与其导通程度有关,流过二极管的正向电流愈大,二极管导通愈深,二极管的内阻愈小,这是二极管的内阻随正向电流大小变化的特性,ALC 电路分析就是利用二极管的这一特性。

电路中二极管 VD_1 的导通程度是受直流控制电压 U_i 控制的,所以随着电路中录音信号大小的变化, VD_1 的内阻在作相应的改变。

5 2 8 或门电路中的隔离二极管电路

1. 电路分析

图 5 - 30 所示是采用二极管构成的或门电路。电路中, U_A 、 U_B 和 U_C 是这一电路的三个输入端, VD_1 、 VD_2 和 VD_3 是三只输入端隔离二极管。 $-V$ 是这一或门电路的负极性直流工作电压。

这一电路的工作原理是这样的: 当 U_A 、 U_B 和 U_C 三个输入端均为 0V (低电平) 时, 此时 VD_1 、 VD_2 和 VD_3 全部截止, 输出端 U_o 也为 0V。

当输入端 U_A 为 +3V 时, U_B 和 U_C 输入端仍为 0V, VD_1 导通, 使输出端 U_o 为 +3V。此时, 由于 VD_2 和 VD_3 正极为 0V, 而负极为 3V (VD_1 导通后使 U_o 端为 3V), 所以 VD_2 和 VD_3 由于反向偏置而截止。

如果没有 VD_2 和 VD_3 的隔离作用, 这时输出端的 3V 会加到另两个输入端 U_B 和 U_C , 这样会影响这两个输入端电路。如果没有电路中的三只隔离二极管, 三个输入端的电路将相互牵制, 无法完成电路功能。

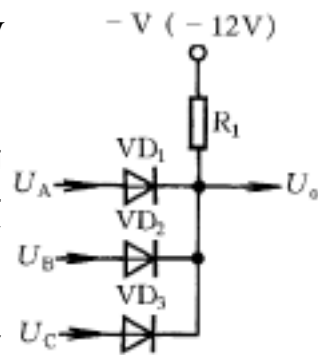


图 5 - 30 或门电路
中的隔离二极管电路

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理, 还要说明下列几点。

这是二极管在数字电路中的应用例子, 为三输入端的或门电路, 二极管在这一电路中只起着隔离的作用。

在分析二极管隔离电路时, 主要是运用二极管的单向导电特性和它在反向偏置状态下内阻特大的特性, 它在反向偏置状态下相当于开路。

5 2 9 二极管电路小结

关于二极管电路的分析, 小结以下几点。

二极管可以用于纯直流电路中, 此时通常要给二极管加一个正向直流偏置电压, 使二极管处于导通状态, 分析电路工作原理时, 在了解处于导通状态后, 更多的是运用管压降特性进行电路分析, 例如二极管导通后的管压降基本不变, 但是有的电路中则要运用二极管导通后的管压降随温度上升而略有下降的特性。

更多情况下二极管是用于纯交流电路中, 例如工作在整流电路中。当二极管用于整流电路时, 不给二极管加正向偏置电压, 根据这一点, 可以知道二极管是否工作在纯交流电路中, 是不是工作在整流状态。

二极管还可以工作在直流和交流混合电路中, 此时直流电压可以给二极管一个很小的正向偏置电压, 使二极管处于微导通状态; 也可以是直流电压给二极管一个较大的正向偏置电压, 使二极管处于完全导通状态, 然后对交流信号进行控制等。

判断二极管在电路中有没有正向偏置电压, 是分析电路的一个关键, 当电路中有直流电压加到二极管上时, 要搞清楚这一电压是否给二极管加的是正向偏置电压。当没有直流电

压加到二极管上时,二极管的导通与截止是受输入交流电压控制的,这是分析二极管在电路中工作原理的第一步。

二极管在电路中的运用除上面介绍的几种之外还有许多,还可以起电子开关等作用,在不同的运用中,电路分析的方法也是不同的。

二极管的基本特性是单向导电性,此外它的管压降特性、正向电阻小、反向电阻大特性、正向电阻与工作电流大小之间的关系、正向压降与温度之间的关系均要牢记。

5.3 电源变压器降压、开关控制和过流保护电路详解总汇

电子电路工作时所需要的电源与工业电气设备的电源不同,工业电气设备使用交流电源,而电子电路则采用直流电源。直流电源除电池外,还大量使用电源电路来获得直流电源。

通常所讲的电源电路,是将交流市电转换成直流工作电压的电路,凡是采用交流供电的电子设备,这种电源电路都是必不可少的。本节详细介绍电源电路的组成,各部分单元电路的工作原理,收集了各种形式的单元电路,并加以电路工作原理的详细解说。

电源电路是整机电路中最重要的一個系統电路。电源电路可以相当的简单,也可以相当的复杂,不同整机电路中对电源电路的要求是不同的,所以各种电源电路的复杂程度相差甚远,例如彩色电视机和录像机中的开关电源电路就相当的复杂。

对电源电路的基本要求有下列几个方面(并不是所有的电源电路都需要同时满足这些要求)。

要求电源电路能够输出直流工作电压,并且要求直流工作电压的大小符合要求,如果有多个电压等级的直流工作电压时,电源电路也能够给予满足,这是各种电源电路的基本要求之一。

由于电源电路是将交流市电转换成直流工作电压的电路,所以要求通过这种转换得到的直流工作电压中含有的交流成分愈少愈好,即电源电路所输出的直流电压中的纹波成分愈少愈好,这样才能保证电子电路的良好工作状态。这一点也是各种电源电路的基本要求之一。

要求电源电路输出的直流工作电压其值比较稳定,当负载大小在一定范围内变化或输入电源电路的交流市电电压在一定范围内大小波动时,电源电路输出的直流工作电压应比较稳定,这样才能保证电子电路的稳定工作。这一点也是对各种电源电路的基本要求之一。

有的电源电路要求电源电路能够输出足够大的电流。

有的电源电路要求能够输出两组彼此相互独立的直流工作电压(两组直流电源之间的地线高度绝缘)。有的则要求电源电路能够同时提供正极性的直流工作电压和负极性的直流工作电压,并且它们的电压大小相等,或者不相等。

有的电源电路要求输出的直流工作电压相当稳定,这时就要求在电源电路中设置直流稳压电路,以确保电源电路输出的直流工作电压相当的稳定。

有的电源电路要求输出的直流工作电压可以在一定范围内进行大小调整,这时电源电路中就要设置直流输出电压调整电路。

有的电源电路要求设置保护电路,以防止电源电路出故障时危害到整机其他电路的安全,这时在电源电路中要设置保护电路,例如过电流保护电路、过电压保护电路等。

有的电源电路在要求输出直流工作电压的同时,还要求输出一组或几组交流电压,以供整机电路中的特殊元器件使用。

5 3 .1 电源电路组成方框图

1. 无稳压电路的电源电路方框图

图 5 - 31 所示是无稳压电路的电源电路组成方框图。从图中可以看出,这一电源电路主要由交流降压电路、整流电路和滤波电路三部分组成。

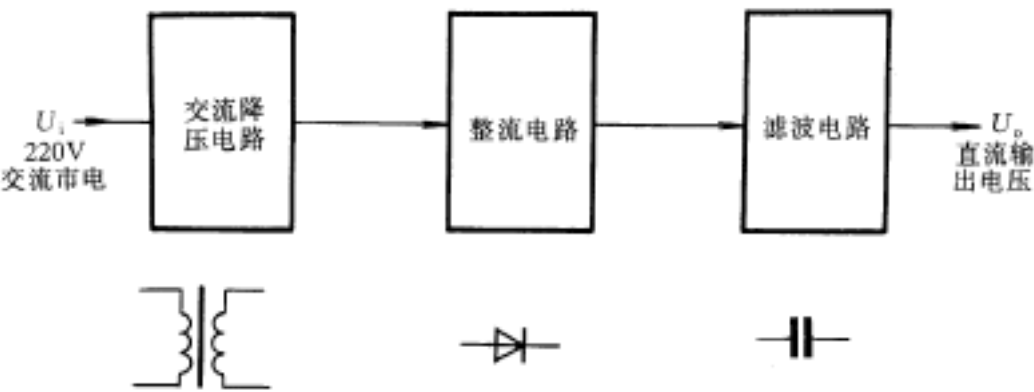


图 5 - 31 无稳压电路的电源电路组成方框图

在许多的电子整机设备中,并不需要十分稳定的直流输出电压,所以可以在电源电路中不设置稳压电路。

2. 具有稳压电路的电源电路方框图

图 5 - 32 所示是具有稳压电路的电源电路方框图。从图中可以看出,这一电源电路由交流降压电路、整流电路、滤波电路和稳压电路四部分组成,它是在前一种电源电路的基础上,在滤波电路之后再接入稳压电路,对直流工作电压进行稳定处理,这样,通过稳压电路后的直流输出电压大小就非常的稳定。

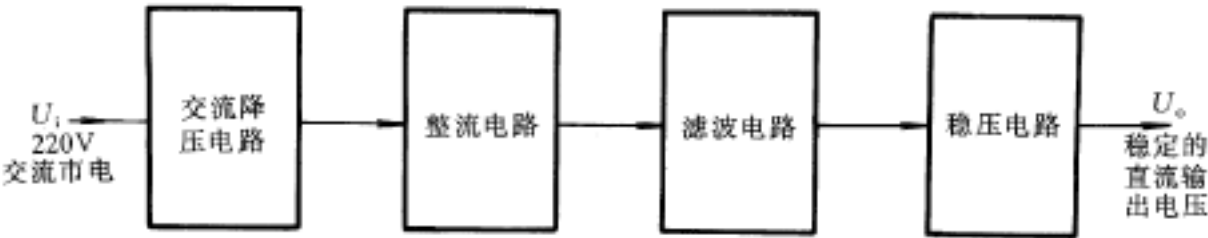


图 5 - 32 具有稳压电路的电源电路组成方框图

3. 交流降压电路的作用

电源电路中交流降压电路的作用,是将 50Hz、220V 的交流电压降低到所需要的电压值,因为电子电路的直流工作电压通常比较低。通过降压后的电压仍然是交流电压,频率也是 50Hz,只是电压值下降了许多。

交流降压电路主要由电源变压器(降压变压器)构成。变压器降压电路的另一个作用是进行交流市电的隔离(利用了变压器的隔离特性),使电子电路中的底板(线路板)不带市电,以保

证使用安全。

除电源变压器可以进行降压外,一些电器中还采用电容降压,这种降压方式的电路成本比较低,但安全性较差,在家用电子电器中应用不多。

4. 整流电路的作用

整流电路的作用是将交流降压电路输出的电压较低的交流电转换成单向脉动性直流电,这就是交流电的整流过程,整流电路主要由整流二极管构成。

注意,经过整流电路之后的电压已经不是交流电压,而是一种含有直流电压和交流电压的混合电压,习惯上称为单向脉动性直流电。

5. 滤波电路的作用

滤波电路的作用是将整流电路输出的单向脉动性直流电进行平滑,以获得直流电压,滤波过程实际上就是将单向脉动性直流中的交流成分去掉,保留其中的直流电成分。

经过滤波电路后的直流电压原则上可以直接供给电子电路,作为电子电路的直流工作电压,这一直流电压虽然不够稳定,但是供给一般电子设备中的电路使用已经没有问题。

电源电路中的滤波电路又称为电源滤波电路,这一电路主要由滤波电容构成,还可以由滤波电感、电阻器和三极管组成。

6. 稳压电路的作用

稳压电路的作用是将电源滤波电路输出的直流电压进行稳压处理,以保证从稳压电路输出的直流电压大小不随其他因素的变化而变化,如负载大小在变化或输入的交流市电电压在大小变化时,稳压电路输出的直流工作电压则大小不变,这样就可以从电源这一角度上保证整机电路的稳定工作。

7. 过流保险丝电路的作用

在电源电路中,为了防止电源电路中的过电流(电流太大)损坏电路中的元器件,因而在电源电路中设置了过流保护电路。当电源出现过电流故障时,电源电路中的过流保险丝自动熔断,达到保护电路的目的。

电源电路中,除使用过流保险丝作为保护元件外,还在直流电源电路中采用一种名为熔断电阻器的保护元件,进行过电流的保护。

8. 电源开关电路的作用

电源开关电路是用来控制整机电路电源的,电源开关接通时整机电路便通电工作,电源开关断开时,整机电路断电而不能工作。各种电子设备中的电源开关电路有多种不同的电路形式。

9. 抗高频干扰电路

为了防止交流市网中的各种有害高频干扰信号通过电源变压器串到电源电路中,从而再串入整机电路中,在电源电路中设置了抗干扰电路,以消除这些有害的高频干扰。一般抗高频干扰电路设置在电源变压器电路或整流电路中。

10. 工作过程简述

图 5 - 32 所示电源电路的工作过程是这样的: 220V 的交流电压送入电源变压器的初级线圈, 经电源变压器的降压处理, 得到了合适的交流电压(这一电压比输入电压通常要小许多), 这样交流降压电路完成降低交流电输入电压的任务。

从交流降压电路输出的交流低电压加到整流电路中进行整流, 将交流电压转换成了单向脉动性直流电压, 完成由交流电转换成直流电的第一步。

从整流电路输出的单向脉动性直流电加到滤波电路中, 去掉单向脉动性直流电中的交流成分, 得到直流工作电压。这一直流工作电压再加入到稳压电路中, 使电源电路输出的直流工作电压的大小相当稳定。

5 3 2 变压器交流降压电路

交流市电的降压电路通过降压变压器或电容来实现, 通常是采用电源变压器进行交流降压, 下面介绍这种电源变压器降压电路的工作原理。

1. 电路分析

图 5 - 33 所示是电源变压器的基本电路。电路中, T_1 是电源变压器, 从电路中可以看出, 输入初级线圈的是 220V 交流市电, 由于这一电压太高, 所以要用 T_1 这一降压变压器将市电电压降低到所需要的电压大小, 也就是说, T_1 次级线圈 3、4 端输出的电压是所需要大小的交流电压。

在电源电路中的变压器称为电源变压器。在电源变压器电路中, 输入电压都是 220V 交流市电, 从初级线圈 1 和 2 端之间输入。降压后的交流电压从次级线圈输出, 即从 3 和 4 端输出, 见图中所示。

从图中可以看出, 电路中用虚线表示的是变压器屏蔽层, 它的一端接地(接线路板的地线, 不是接大地), 且只能一端接地。电源变压器 T_1 初级线圈输入的是交流市电, 市电网会拾取各种有害的干扰信号, 若这些干扰信号串到次级线圈中, 会对电路造成干扰。在接入屏蔽层之后, 这些有害的干扰信号就不会串入次级线圈中, 达到抗干扰的目的。

屏蔽层能够抗干扰的原理是这样的: 该屏蔽层的一端接地, 这一结构相当于一个小电容, 能将从交流市电串入电源变压器的高频干扰旁路到地, 而不让它加到变压器的次级线圈中, 达到抗干扰的目的。

由变压器的特性可知, 电源变压器 T_1 次级输出的交流电压频率同 220V 交流市电的频率一样, 为 50Hz。

2. 识图小结

对于这一电源变压器电路而言, 采用变压器 T_1 的目的有下列两个。

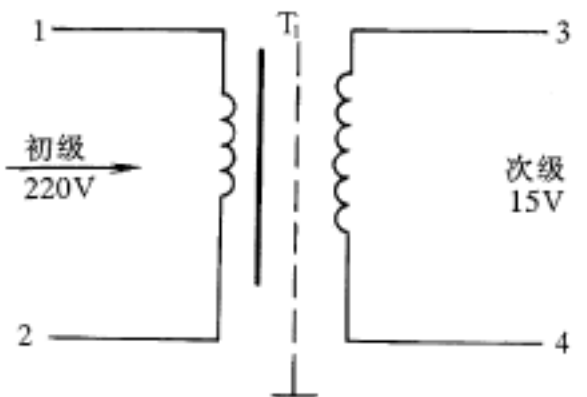


图 5 - 33 电源变压器的基本电路

将 220V 的交流电压降低到合适的大小,图中为 15V。
将 220V 的交流市电与变压器次级线圈电路隔离,以提高安全性。

5 3 3 110/ 220V 交流电压转换电路

1. 电路分析

图 5 - 34 所示是另一种初级线圈带抽头的电源变压器电路。电路中, S_1 是交流电压选择开关, T_1 是电源变压器,1、2、3 线圈是这一电源变压器的初级线圈,其中 2 是初级线圈的抽头,4、5 是它的次级线圈。

在一些进口家用电器中,生产厂商为了能使产品在世界范围内销售(各国的交流市电电压大小是不相同的),在电源变压器初级线圈回路中设置了这种具有交流输入电压转换电路的电源变压器电路。

这一电路的工作原理是这样的:由变压器的有关特性可知,变压器的初级和次级线圈每伏电压所占匝数是相同的。初级线圈 2 与 3 端之间输入 110V 交流电压,1 与 3 端之间输入 220V 交流电压,初级交流电压之比是 1 2。

这一电源变压器在制造时,初级线圈 1、3 端之间的匝数是 2、3 端之间匝数的两倍。假设 1、3 端之间共有 2200 匝,加上 220V 电压后,每伏电压占 10 匝线圈。2、3 之间是 1100 匝,加上 110V 电压也是每伏占 10 匝,所以无论是从 1 与 3 端之间输入 220V 交流电压,还是从 2 与 3 端之间输入 110V 交流电压,都没有改变这一电源变压器每伏电压所占的匝数,这样次级线圈 4 与 5 端之间的输出电压不会改变,都是输出 10V 电压,实现了输入交流电压的选择。

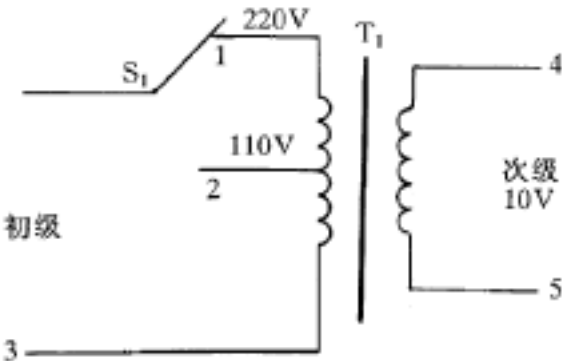


图 5 - 34 初级线圈带抽头的电源
变压器电路

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理,还要说明下列几点。

通过上述电路分析可知,这种交流电压转换电路能够在输入不同交流电压的情况下,保证次级线圈的输出电压不变。

在我国,交流市电是 220V,所以 S_1 应该在 220V 的位置上,而不能在 110V 的位置上。否则电源变压器 T_1 的次级输出电压升高一倍,这会对整机电路造成极大的危害,使用中一定要避免这种现象发生。

5 3 4 一组次级线圈的电源变压器电路

1 . 电路分析

图 5 - 35 所示是只有一组次级线圈的电源变压器电路。电路中, T_1 是电源变压器,它是一个降压变压器,它只有一组次级线圈, VD_1 是整流电路中的整流二极管。

这一电路的工作原理是这样的:220V 交流电压加到电源变压器 T_1 的初级线圈上,其次级线圈输出的交流电压 U_o 加到由 VD_1 构成的整流电路中。

从电路中可以看出,电源变压器 T_1 次级线圈的下端直接接地线,次级线圈的上端接整流二极管 VD_1 的正极。这样,电源变压器就完成了降压任务。

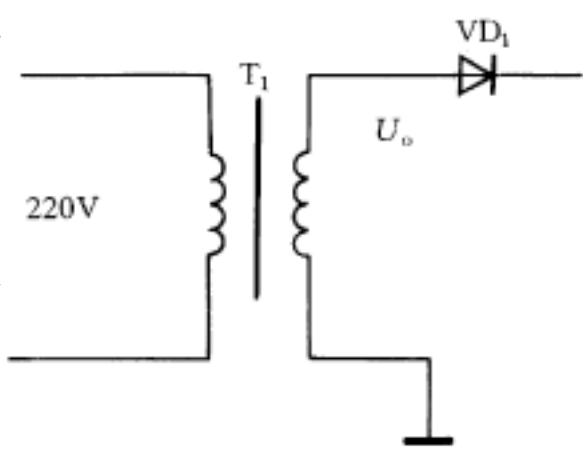


图 5 - 35 一组次级线圈的电源变压器电路

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理,还要说明下列几点。

由于这一电源变压器只有一组次级线圈,所以它只能输出一个电压等级的交流电压,因而只能接入一个整流电路。

这种只有一组次级线圈的电源变压器降压电路是最简单的电路,当整机电路只需要一个直流电压等级时,可以采用这种电源变压器降压电路。

5 3 5 次级线圈带抽头的电源变压器电路

1. 电路分析

图 5 - 36 所示是次级线圈带抽头的电源变压器电路, T_1 是一个降压电源变压器,也是只有一组次级线圈,但是这一次级线圈设有一个抽头,所以能够输出两个大小不同的交流电压。 VD_1 和 VD_2 分别是两只整流二极管。

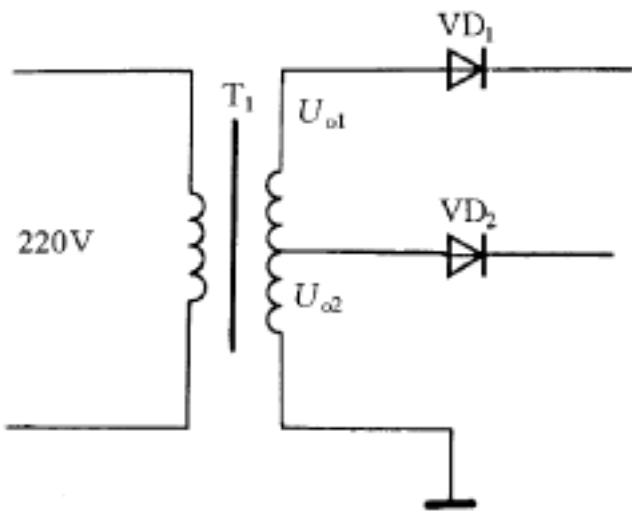


图 5 - 36 次级线圈带抽头的电源变压器电路

这一电路的工作原理是这样的:电源变压器 T_1 的次级线圈有一个抽头,抽头与地端之间的线圈输出交流电压 U_{o2} ,整个次级线圈上的输出电压是 U_{o1} ,次级线圈匝数多,输出的交流电压就大,所以交流输出电压 U_{o1} 大于 U_{o2} 。

电源变压器 T_1 的次级线圈分别输出两个交流电压,这两个交流电压直接加到各自的整流二极管 VD_1 和 VD_2 正极。这样,这一电源电路可以输出两种大小不同的直流电压。由于 U_{o1} 大于 U_{o2} ,所以整流二极管 VD_1 输出的直流电压大于整流二极管 VD_2 输出的直流电压。

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理,还要说明下列几点。

在这种电路中,两组直流输出电压电路都是使用一个共同的地线,当这个共用的地线开路时,这两组直流电压都不能正常工作。

在这一电路中,电源变压器的次级线圈有一部分(抽头以下部分线圈)是两个直流输出电压电路所共用的,可能会通过这部分共用线圈引起电路中的有害干扰。

5 3 6 次级线圈带中心抽头的电源变压器电路

1. 电路分析

图 5 - 37 所示是次级线圈带中心抽头的电源变压器电路, T_1 是一个降压电源变压器, 也是只有一组次级线圈, 但是这一次级线圈设有一个中心抽头, 且这一中心抽头接地, 由于是中心抽头, 所以次级线圈能够输出两个大小相同、相位相反的交流电压 U_{o1} 和 U_{o2} 。 VD_1 和 VD_2 分别是两只整流二极管。

从电路中可以看出, U_{o1} 是次级抽头以上线圈的输出电压, U_{o2} 是抽头以下线圈的输出电压。在电源变压器 T_1 的电路符号中, 无法表示出次级线圈的抽头是中心, 但是从电路中标出的 U_{o1} 和 U_{o2} 都是 5V 电压可知, 这是一个中心抽头。

电路中, 交流输出电压 U_{o1} 加到整流二极管 VD_1 的正极, 交流输出电压 U_{o2} 加到整流二极管 VD_2 的正极, 由于交流输出电压 U_{o1} 等于 U_{o2} , 所以两只整流二极管输出的直流电压大小也相等。

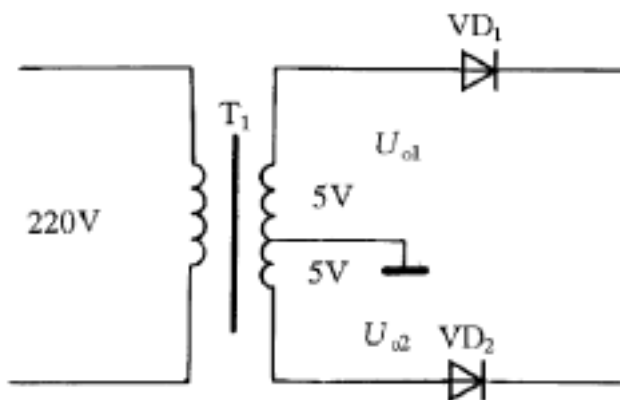


图 5 - 37 次级线圈带中心抽头的电源变压器电路

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理, 还要说明下列几点。

在这种电源变压器电路中, T_1 的次级线圈也可以不是中心抽头, 这时抽头到两端的线圈匝数不同, 所以两个交流电压的大小也不相同。

图 5 - 37 所示的这种电源变压器次级线圈抽头电路与图 5 - 36 所示的次级线圈抽头电路有所不同, 图 5 - 37 所示电路中的两个交流输出电压只是共用了线圈的抽头引脚, 其他都是独立的, 这样两组交流输出电压之间的相互干扰就比较小。

图 5 - 37 所示电路输出的两组交流电压相位不同, 因为变压器的次级线圈上、下两端的交流电压相位是相反的。

5 3 7 两组独立次级线圈的电源变压器电路

1. 电路分析

图 5 - 38 所示是具有两组独立次级线圈的电源变压器电路。电路中, T_1 是电源变压器, 它有两组独立的次级线圈。 VD_1 和 VD_2 是两只整流二极管。

这一电源变压器电路也有两个交流电压输出, 分别由两组独立的次级线圈输出, 这样两组直流输出电压之间的相互干扰就会更小。

在两组次级线圈中, 哪一组次级线圈的匝数多, 它的输出电压就大, 电源变压器电路符号本身并不能表示出哪组次级线圈的匝数多, 但是在一些电路中会标出两组次级线圈的交流输

出电压,见图中所示,上面一组次级线圈输出 5V 交流电压,下面一组次级线圈输出 10V 交流电压,由此可知上面一组次级线圈的匝数少。

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理,还要说明下列几点。

从电路中可以看出,两个次级线圈的下端引脚分别接地线,但是接地的电路符号是相同的,这说明两组次级线圈接的是同一个地线,只是接地点不同。

这种电源变压器电路中的两组次级线圈分别接地,可以有效地减少两组直流电源之间的相互干扰,还有一种更为有效的抗干扰接地方式,即电源变压器两组次级线圈采用完全相互独立的地线回路。

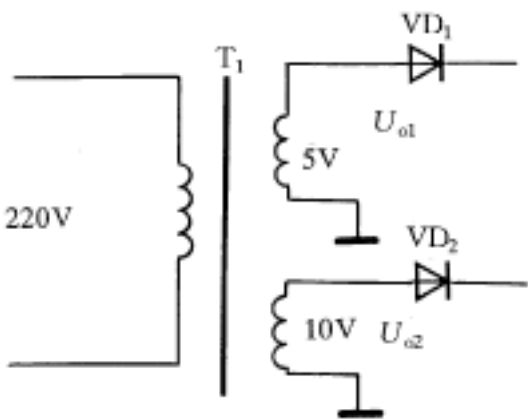


图 5 - 38 两组独立次级线圈的电源变压器电路

5 3 8 两组次级线圈独立接地的电源变压器电路

1. 电路分析

图 5 - 39 所示是两组次级线圈独立接地的电源变压器电路。电路中, T_1 是电源变压器,它有两级次级线圈,两组次级线圈的下端引脚均接地线,但是地线的电路符号不同,这说明这两个线圈接的不是同一个地线,而是两个相互高度绝缘的地线回路,这样做的目的是为了保证两个次级线圈回路之间不发生相互干扰。

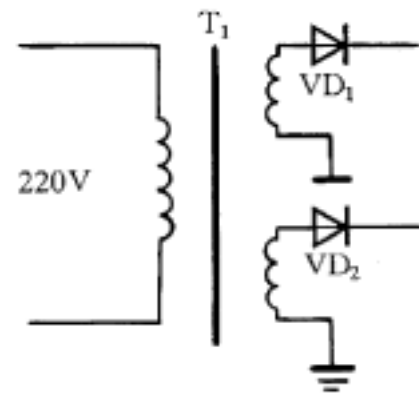


图 5 - 39 两组次级线圈独立接地的电源变压器电路

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理,还要说明下列几点。

在一些要求抗干扰能力很强的场合下,为了避免这种干扰的出现,将电源变压器的两组次级线圈之间的地端不相连,这时就可以输出两组彼此独立的直流电源,达到相互之间最小干扰的目的。有的整机电路中,为了进一步提高抗干扰能力,采用两只独立的电源变压器,分别为不同的电路系统提供电源。

对于采用这种接地方式的整机电路,在故障检修中不能两个地线之间短接起来。另外,测量不同地线回路中的电压数据时,万用表要接相应的地线,不可接到另一个地线上,否则测量不出电压,出现错误的判断。

5 3 9 电源变压器降压电路识图小结

关于电源变压器降压电路,还要说明下列几点。

电源变压器通常是降压变压器,用来将 220V 交流市电电压降低到所需要的交流电压。

变压器降压电路很简单,分析时主要是搞清楚变压器的初级和次级线圈,与 220V 交流市电相连的是初级线圈,初级线圈只有一组;次级线圈与整流二极管相连,电源变压器中的次级线圈可以多于一组,有时多达四、五组次级线圈。

变压器各种具体应用电路的分析方法有所不同,有的只要知道次级线圈输出电压的大小和正、负半周情况,如电源电路中的变压器。有的则要了解初级和次级线圈上的信号电压相位,如分析振荡器电路中的变压器时就要知道这一点。

要从变压器电路符号中了解次级线圈的结构情况,如有几组次级线圈和有无抽头等,有时还要了解初级线圈中的抽头情况。

要注意变压器次级线圈两端的输出电压相位是相反的。

注意变压器次级线圈的一端不一定要接线路的地线,若接地时接的是整机电路的共用参考点地,即线路上的地线,而不是大地的地。

搞清楚电源变压器初级和次级线圈回路中有没有保险丝,注意初级线圈回路中的保险丝电流比较小,次级线圈回路中的保险丝电流比较大,这是因为初级线圈上的电压高、电流小,次级线圈上的电压低、电流大。根据电路中变压器各线圈回路中的保险丝电流大小,也可以分辨出电源变压器的初级和次级线圈。

5.3.10 四种过流保险丝电路和熔断电阻器电路

1. 过流保险丝

过流保险丝又称为熔断丝,或保险丝管、管状保险丝。图 5 - 40(a)所示是电子电路中常用的保险丝管外形示意图,它有一个透明的玻璃外壳,从外面可以看到其内部有一根很细的保险丝,它的两端是金属的电极。

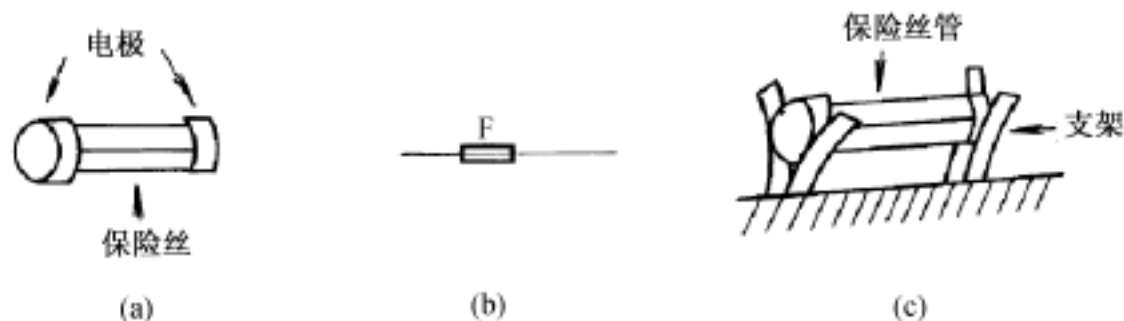


图 5 - 40 保险丝管示意图

图 5 - 40(b)所示是保险丝管的电路符号,电路符号用大写字母 F 表示。

图 5 - 40(c)所示是保险管在线路板上的安装方式示意图,它用一个支架固定,保险丝管裸露在外,这种安装方式只用于低压电路中,用于 220V 高压电路中时,要用一个专门的安装套管将保险丝管密封起来,以防止接触到它电极上的高电压,提高安全性。

保险丝管的一个重要参数是熔断电流,有各种规格的熔断电流保险丝管可供选择。在电路中,当流过保险丝管的电流超过它的熔断电流时,保险丝管会无声、无光地自动熔断,起到过电流的保护作用。

2. 熔断电阻器

熔断电阻器是一种近几年才大量应用于家用电器电路中的元件,它是一种具有电阻器和熔断丝双重作用的元件。

熔断电阻器外形同电阻器基本相同,对它的外形特征主要说明以下几点。

它的外形同普通色环电阻器一样,比普通电阻器略粗、略长一些,它也只有两根引脚,两根引脚不分正、负极性。

它具有电阻器和熔断丝的双重功能,它的标称阻值采用色标方式,阻值一般较小,只有几欧姆到 100 Ω 左右。

它主要用于直流电源电路中,在电路中的安装方式同普通电阻器一样。

图 5 - 41 所示是熔断电阻器的电路符号,这种电阻器目前还没有统一的电路符号规定,各公司有自己的规定。熔断电阻器的电路符号也是用大写字母 R 表示。

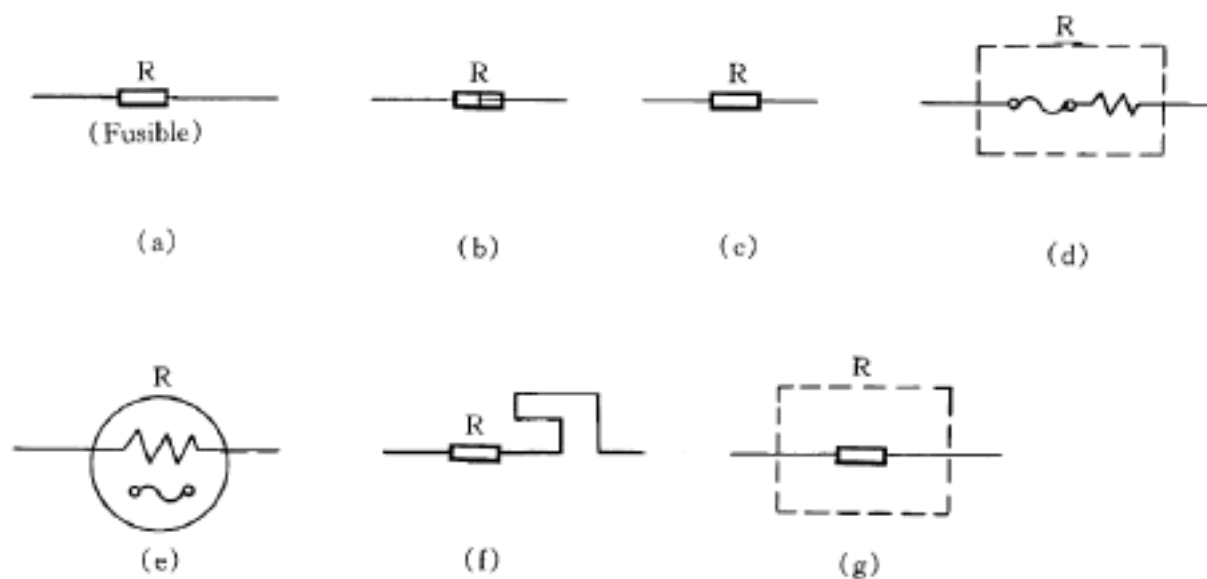


图 5 - 41 熔断电阻器电路符号

图 5 - 41(a)所示是日本夏普公司常用的熔断电阻器电路符号,R 表示是电阻器,用 Fusible 表示熔断电阻器。

图 5 - 41(b)所示是熔断电阻器通用的电路符号,但在电路图中不常见到。

图 5 - 41(c)所示是日本日立公司常用的熔断电阻器电路符号。

图 5 - 41(d)所示是日本胜利公司、东芝公司的熔断电阻器电路符号,这一电路符号中用一个熔断器符号形象地表示这种电阻器具有熔断丝的功能。

图 5 - 41(e)所示是日本松下公司、三洋公司的熔断电阻器电路符号,这一电路符号中也有熔断丝的标记。

图 5 - 41(f)所示是波兰采用的熔断电阻器电路符号。

图 5 - 41(g)所示是国内常用的熔断电阻器电路符号。

这里还要说明一点,在许多电路图中,熔断电阻器采用普通电阻器的电路符号,这时需要通过对电路进行分析之后,才能了解哪只电阻器是熔断电阻器,一般在直流电压供给电路中,阻值只有几欧姆到 100 Ω 左右的电阻器是熔断电阻器。

在熔断电阻器上只表示出它的标称阻值大小,其他参数不表示。标称阻值的大小采用色标法,其具体表示方法同色标电阻器一样。

关于熔断电阻器的主要特性,说明以下几点。

采用熔断电阻器作为电路中的熔断丝,具有体积小、安装方便的优点,因为一般的熔断丝在电路中要用支架来安装,不方便。

电路在正常工作时,熔断电阻器起一个电阻器的作用,让电流通过。当电路中出现过电流故障时,即流过熔断电阻器的电流大于它的熔断电流时,熔断电阻器迅速无声、无烟、无火地熔断,相当于一个熔断丝,起到了过电流熔断的作用,能防止因为过电流而烧坏电路中的其他元器件。

熔断电阻器是一次性的,它熔断后呈开路状态,再也不能恢复正常,即断电后它也不能恢复正常。

它是一个具有双重功能的电阻器,在两种功能中熔断丝功能是主要的。

3. 电源变压器初级回路保险丝电路

图 5 - 42 所示是电源变压器初级回路保险丝电路。电路中, T_1 是电源变压器, F_1 是过流保险丝, F_1 串联在电源变压器 T_1 的初级线圈回路中。

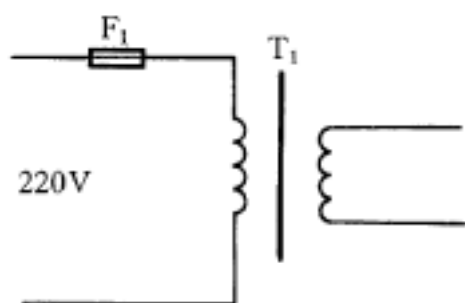


图 5 - 42 电源变压器初级回路保险丝电路

这一电路的工作原理是这样的:如果由于整机电路中的故障,导致流过电源变压器初级线圈的电流增大许多时,因为 F_1 串联在电源变压器初级线圈回路中,所以流过 F_1 的电流也增大许多,当其达到 F_1 的熔断电流时, F_1 自动熔断,将输入电源变压器初级线圈的 220V 交流电压切断,这时电源变压器就没有工作电压,整机电路断电,防止了由于故障进一步损坏电路中的元器件。

另外,如果输入的交流电压远远超过 220V 电压时,电源变压器 T_1 的初级回路电流也会增大许多,这时 F_1 也会自动熔断,进行保护。

由于电源变压器初级线圈上的交流电压为 220V,所以 F_1 两个电极上都是有 220V 电压的,为了安全起见,要用专门的保险丝安装套管将 F_1 密封起来,而不能采用支架的方式直接安装在整机电路的线路板上。

4. 电源变压器次级回路保险丝电路

图 5 - 43 所示是电源变压器次级回路保险丝电路。电路中, T_1 是电源变压器, F_1 是过流保险丝, F_1 串联在电源变压器 T_1 的次级线圈回路中。 VD_1 是整流二极管。

从电路中可以看出,保险丝 F_1 串联在次级线圈回路中,并且在整流二极管 VD_1 之前。当整机电路由于故障而导致次级线圈回路中的电流增大许多时,保险丝 F_1 自动熔断,将次级线圈回路的电流回路切断,这样电源变压器次级线圈输出的交流电压不能加到整流电路中,整机电路就不能工作。

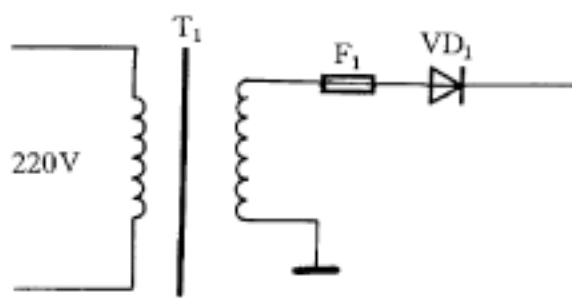


图 5 - 43 电源变压器次级回路保险丝电路

这种次级回路保险丝电路在过流保护之后,电源变压器的初级线圈回路中仍然有 220V 的交流电压,同时次级线圈两端仍然有交流电压,这一点与电源变压器初级线圈回路中的保险丝电路不同。

电源变压器次级线圈上的交流电压比较低,所以可以将过流保险丝采用支架的方式直接安装在整机电路的线路板上。

5. 直流回路保险丝电路

图 5 - 44 所示是电源电路中直流回路的保险丝电路。电路中, F_1 是过流保险丝, C_1 是滤波电路中的滤波电容, 保险丝 F_1 设置在整流电路之后, 滤波电路之前。

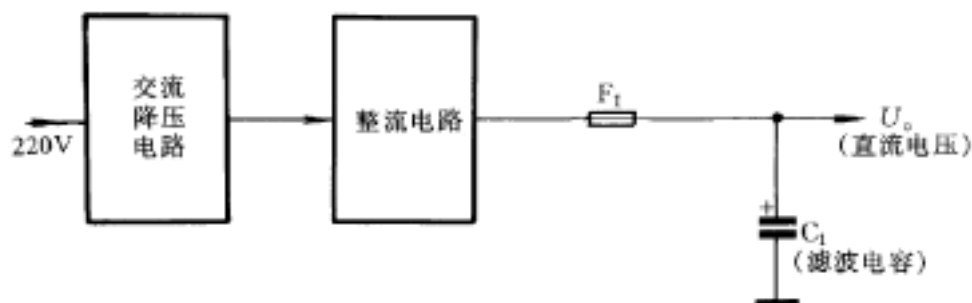


图 5 - 44 直流回路保险丝电路

这一电路的工作原理是这样的:如果滤波电路之后的电路出现故障,导致流过 F_1 的电流太大时, F_1 自动熔断,这时电源电路就没有直流工作电压输出。如果整流电路之前的电路出现故障,流过保险丝 F_1 的电流不会增大, F_1 不会自动熔断,所以这一电路中的 F_1 只能起到 F_1 之后电路的过流保护作用,对 F_1 之前的电路无过流保护作用。

如果电路中没有保险丝 F_1 ,那么电路出故障时,有很大的且持续的电流流过电源电路中的元器件,例如电源变压器,电源变压器就会因为过电流而发热,最终导致烧坏电源变压器。

6. 保险丝管过电流特征说明

保险丝管过电流时会自动熔断,根据过电流的程度不同,保险丝管的损坏情况也不相同,根据保险丝管的熔断情况,可以判断出电路中过电流的程度,保险丝管过电流的程度有下列三种情况。

保险丝管不发黑,能够清楚地看出保险丝熔断后的两个发亮的断头,这说明过流电流不大,很可能不是电路故障所为,可能是由于保险丝质量不好,或偶尔的浪涌电流所为,此时可更换一个保险丝试一试。

保险管发黑,但发黑程度不是很严重,保险丝管玻璃没有破碎,说明过流电流比上一种情况大,但不是最大的一种情况,这说明电路中一定存在过电流故障。

保险丝管严重发黑、烧焦或玻璃管已破碎,这说明过电流很大,短路故障很严重。

7. 熔断电阻器过电流保护电路

图 5 - 45 所示是采用熔断电阻器构成的过电流保护电路。电路中, R_1 为熔断电阻器, C_1 是滤波电路中的滤波电容。 U_o 是这一电源电路输出的直流电压。

如果由于某种原因使电源电路中的工作电压升高,或是熔断电阻 R_1 之后的电路存在短路故障时,流过 R_1 的电流将增大许多,一旦电流超过 R_1 的熔断电流时, R_1 迅速熔断,使电源电路的直流输出电压 U_o 为 0V,以防止损坏电源电路等,达到过流保护的目。

关于熔断电阻器的电路分析,主要说明以下几点。

熔断电阻器具有电阻器和保险丝的双重作用,在电路分析时要记住这一点。所以,分

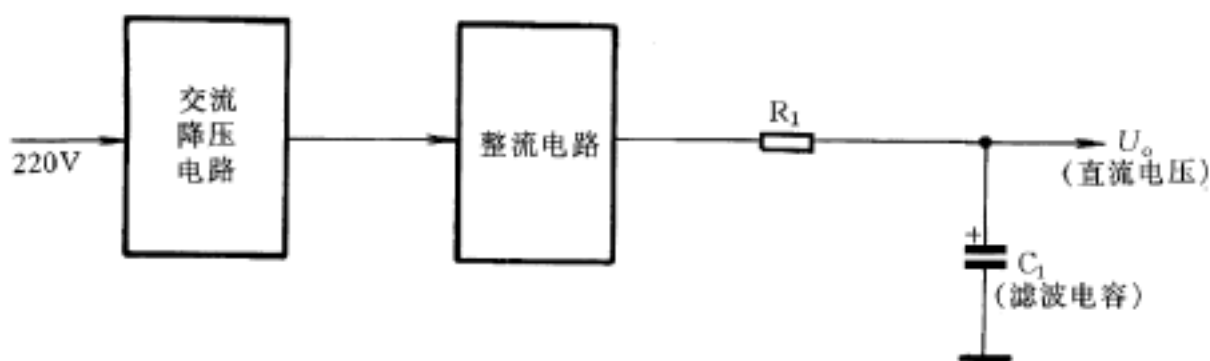


图 5 - 45 熔断电阻器过电流保护电路

析电路时要分两种情况：一是起电阻作用时的电路工作原理，由于熔断电阻器的阻值往往比较小，所以一般情况下不分析它作为电阻器时的电路工作过程；二是作为保险丝时的电路工作原理（即过流保护过程分析）。

熔断电阻器通常只用于直流电路中，主要是用于直流电压供给电路和电子滤波器电路中，在分析这两部分电路时，要仔细看清电路中是否有熔断电阻器的存在。

在分析熔断电阻器的过流保护电路时，有时还要具体分析出熔断电阻器主要是保护电路中的什么元器件。

8. 识图小结

关于保险丝或熔断电阻器构成的过流保护电路工作原理，还要说明下列几点。

保险丝或熔断电阻器只能起到它们所在电路之后电路的过流保护作用，对它们之前的电路无过流保护作用。

一个电源电路中，为了能更好地、更及时地起到过流保护作用，会在电源的多处设置保险丝电路或熔断电阻器保护电路。例如，在电源变压器的初级线圈回路中设置一个过流保护电路，同时又在电源电路的直流电压输出回路中再设置一个过流保护电路。

5 3 .11 电容降压电路

1. 电路分析

图 5 - 46 所示是采用电容器来降低交流电压的电路。电路中， C_1 是降压电容， R_1 是负载电阻， U_i 为输入的交流 220V 电压， U_o 为这一电容降压电路的输出电压。

这一降压电路的工作原理是这样的：交流市电是 50Hz 的，频率比较低，电容 C_1 对交流市电存在着容抗，这样在 C_1 上存在电压降 U_c ，使加到负载电阻 R_1 两端的电压下降，只要根据负载电阻 R_1 的实际大小，合理选取 C_1 的容量，就能控制 C_1 上的压降大小，便能获得所需要交流电压 U_o 的大小，达到降压的目的。

这一电路的工作原理还可以这样理解：电容 C_1 的容抗与电阻 R_1 构成对交流输入电压 U_i 的分压电路，在电阻 R_1 一定时，适当调整 C_1 的容量，获得恰当的容抗，就能得到所需大小的交流输出电压 U_o 。

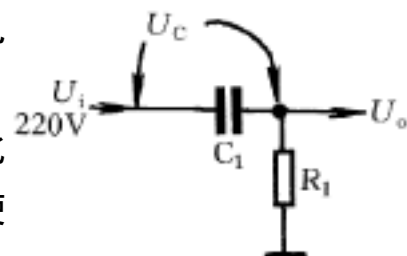


图 5 - 46 电容降压电路

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理,还要说明下列几点。

由于交流市电电压比较高(220V),所以对电路中降压电容 C_1 的耐压要求比较高,一般不小于 450V。

由于采用电容降压,而电容器对交流电没有隔离作用,这样降压电路的负载端(即 U_0 端)会有带电危险。如果交流市电的火线接线路板的地线端,地线接到 C_1 上,这会使整个电路的地线带有 220V 的交流市电,这是很不安全的,所以在这种降压电路中,严格要求 220V 火线要接电容 C_1 ,并且电源的插座要采用三芯插座,且接室内保护性地线。正是由于电容降压电路的安全性不好,所以在一般民用电器中不常采用这种电容降压电路。

电容降压电路结构简单,其工作原理就是利用降压电容上的压降,降低加到负载上的交流电压。

5.3.12 开关件

在介绍电源开关电路工作原理之前,先了解有关开关的基本知识。电源开关电路在各种电子设备中都有应用,它是用来控制设备电源的器件。

在电子电路中的开关有下列两种。

机械式开关,通常所说的开关就是这种开关。

电子开关,如二极管构成的电子开关(用开关二极管),三极管构成的电子开关(用开关三极管)。

这里只介绍通用的机械式开关件。

机械开关件的种类很多,按照结构和工作原理划分,主要有单刀开关(只有一个动触点)、多刀开关(有数个动触点)、单刀数掷(位)开关(一个动触点可转换到几个静触点)、多刀数掷开关(多个动触点同时转换多个静触点)等。

1. 外形特征

图 5 - 47 所示是两种常见的开关件外形示意图,开关件的外形还有许多,这里只介绍通用开关,各种专用开关件外形各异。

关于开关件的外形特征,主要说明以下几点。

一般开关都有一个操纵柄,它用来控制开关的工作状态。

开关件的引脚至少是两根。在只有两根引脚的开关中,它的两根引脚不分,但在多于两根引脚的开关中,各引脚都有它特定的作用,一般情况下引脚之间不能互换。

开关件的外壳作用之一是用来固定开关,外壳与各引脚之间绝缘。

开关的操纵柄控制形式有多种,有的是拨动式的,有的则是平动的,有的是上下按动的,

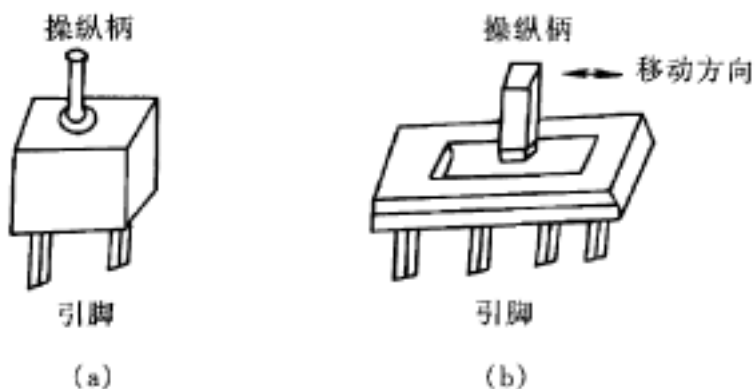


图 5 - 47 常见开关件外形示意图

图 5 - 47(a)所示是拨动式的,图 5 - 47(b)所示是平动式的。

2. 电路符号

图 5 - 48 所示是几种常见开关件的电路符号。

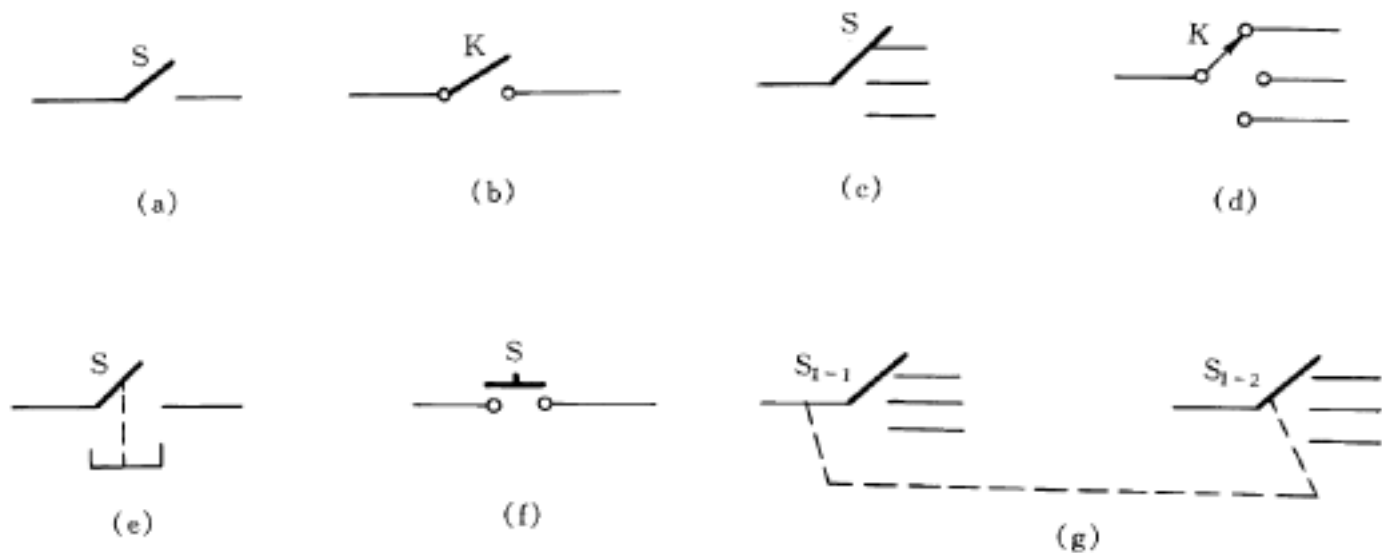


图 5 - 48 几种开关件电路符号

图 5 - 48(a)所示是最新国标规定的一般开关件电路符号,用大写字母 S 表示开关元件。

图 5 - 48(b)所示是过去使用的一般开关件电路符号,用字母 K 表示。

图 5 - 48(c)所示是最新规定的单刀多掷开关(图中的开关是 3 掷的)的电路符号。

图 5 - 48(d)所示是过去使用的单刀三掷开关的电路符号。

图 5 - 48(e)所示是最新规定的按钮式开关(不闭锁)电路符号。

图 5 - 48(f)所示是过去使用的按钮式开关电路符号。

图 5 - 48(g)所示是最新规定的双刀三掷式开关的电路符号。

其他开关的电路符号还有很多,这里不一一列举。

3. 单刀单掷开关工作原理

单刀单掷开关中只有一个刀触点和一个静触点。刀触点在开关操纵柄的控制下动作,共有两个状态:一是刀触点与静触点接通,二是刀触点与静触点断开。

当开关接通时,刀触点与静触点之间的电阻应该小到为零,这是开关的接触电阻,接触电阻愈小愈好;当开关断开时,刀触点与静触点之间的电阻应该为无穷大,这是开关的断开电阻,这一电阻愈大愈好。

单刀单掷开关只能进行电路的通、断控制,即只有通和断两个状态,不能进行更多的转换控制,它是开关件中最基本的一种。

4. 单刀双掷开关工作原理

这种开关只有一个刀触点,由于此触点可变动接触位置,所以又称为动触点。双掷开关有两个静触点。

当开关操纵柄转换到一个位置时,刀触点与一个静触点之间呈接通状态,而与另一个静触点之间呈断开状态;当将操纵柄转换到另一个位置时,动触点变换接触位置后同一个静触点接通,与另一个静触点断开。

单刀双掷开关有两种不同的接通状态,这一点与单掷开关不同,所以双掷开关可以进行更多的电路工作状态控制。

5. 按钮开关(不闭锁)工作原理

这种开关的工作原理是这样的:当按下开关的按钮时,开关内部的两个静触点呈接通状态而接通,但在手松开按钮后,由于开关不能闭锁,故按钮自动弹起(在内部簧片弹性力作用下弹起),开关又呈断开状态。所以,这是一种常断(开)式开关。

按钮式开关还有一种是闭锁的,即在开关的按钮被按下后,按钮本身被锁定,开关一直处于接通状态。当再一次按下开关的按钮时,开关断开。

6. 多刀组开关工作原理

在多刀组式开关中,有多于一个的刀,每一个刀组中可以只有一个静触点,也可以有多个,可以是各刀组中静触点数相等,也可以不相等。

这种开关与单刀开关的不同之处是,当开关的操纵柄转换时,开关中的各刀组同时转换。在多刀组开关中,各刀组之间彼此独立,相当于几个单刀的开关组合在一起。

7. 主要特性

关于开关件的主要特性,说明以下几点。

开关接通时两触点之间呈通路,开关断开时两触点之间呈开路。

机械式开关件对直流电、交流电的控制特性相同,对不同频率的交流电,控制特性也一样。机械式开关的开与关转换频率比较低。

8. 主要参数

对开关件的主要参数,说明以下几点。

额定工作电压。它是指当开关断开时,加在开关两端的最大安全电压。若加在开关两端的工作电压大于这一值时,由于电压太高而会造成开关两个触点之间打火击穿,使开关失去正常的开、关特性。这一参数往往只对工作电压较高场合下的开关有要求。

额定工作电流。它是指当开关接通时,所允许通过开关的最大安全工作电流。当实际工作电流超过这一值时,开关的触点会因工作电流太大而被烧坏。

5 3 .13 三种电源开关电路

1. 交流市电回路单刀电源开关电路

图 5 - 49 所示是交流市电回路单刀电源开关电路。电路中, T_1 是电源变压器, S_1 是电源开关。

这一电路的工作原理是这样的:当开关 S_1 断开时,没有交流电压加到电源变压器的初级线圈两端,这时整机电路没有工作电压;当电源开关 S_1 接通后,220V 交流电压加到电源变压器的初级线圈两端,这时整机电路有了工作电压。可见,通过开关 S_1 的通与断控制,就能控制

整机电路是否工作,这样的开关电路称为电源开关电路。

注意,在这一电源开关电路中,为了安全起见,要求电源开关 S_1 接在 220V 的火线回路中,这样 S_1 断开后电源变压器 T_1 上才没有 220V 的电压;如果电源开关 S_1 接在 220V 的地线回路中, S_1 断开后电源变压器 T_1 虽然不能工作(因为初级线圈回路不通),但是 T_1 初级线圈上仍然存在 220V 的交流电压,这是相当危险的。

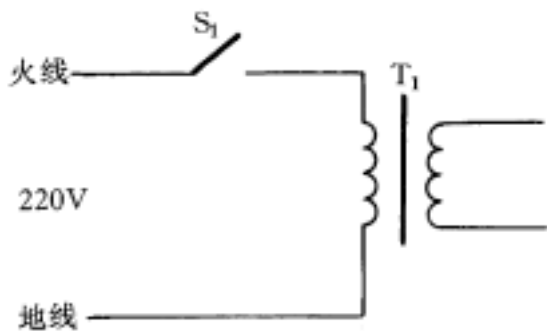


图 5 - 49 交流市电回路单刀
电源开关电路

2. 交流市电回路双刀电源开关电路

图 5 - 50 所示是交流市电回路双刀电源开关电路。电路中, T_1 是电源变压器, S_{1-1} 和 S_{1-2} 是一个双刀电源开关。

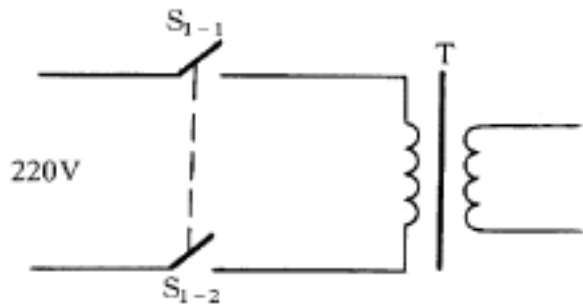


图 5 - 50 交流市电回路双刀
电源开关电路

这一电路的工作原理是这样的:双刀开关 S_{1-1} 和 S_{1-2} 分别串联在交流市电的火线和地线回路中,当电源开关接通时, S_{1-1} 和 S_{1-2} 同时接通,这时整机电路有了交流电压,进入工作状态;当电源开关断开时, S_{1-1} 和 S_{1-2} 同时断开,同时将火线和地线与电源变压器的初级线圈断开,这样确保在电源断开时电源变压器上没有电压,提高了电路的安全性。另外,在这种电源开关电路中,接入电源开关时可以不必分清火线和地线。

3. 直流回路电源开关电路

图 5 - 51 所示是直流回路电源开关电路。电路中, S_1 是电源开关,它接在电源电路的输出回路中,即接在滤波电路之后。

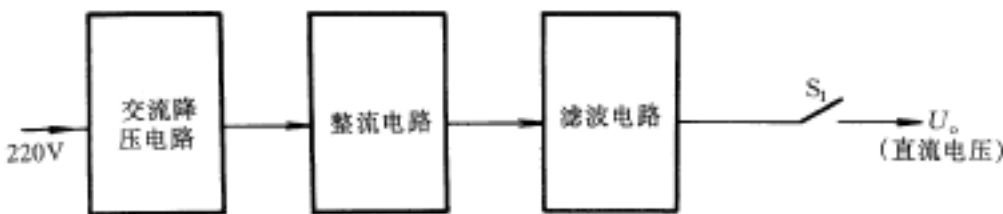


图 5 - 51 直流回路电源开关电路

这一电路的工作原理是这样的:从电源滤波电路输出的直流工作电压加到 S_1 端,当电源 S_1 接通时,电源电路向整机电路提供直流工作电压,整机电路进入工作状态;当电源 S_1 断开时,电源电路不能向整机电路提供直流工作电压,整机电路进入停止工作的状态。

从这一电路中还可以看出,在电源开关 S_1 断开后,滤波电路之前的所有电路中都有工作电压,且都在工作状态,这是这种直流回路电源开关电路的电源控制特点,在录音机中就是使用这样的电源开关电路。为了彻底切断电源电路中的工作电压,需要将录音机的电源线拔掉。

4. 识图小结

关于这一电源开关电路的工作原理,还要说明下列几点。

电源开关电路有控制交流市电回路和控制直流输出电压回路两种,前者控制比较彻底,将整机中的所有工作电压都断开了,后者只是断开整机的直流工作电压。

在不同的电子设备中,对电源开关电路的要求是不同的,所以电源开关电路也有简单和复杂之分。除上述几种电源开关电路之外,还有红外遥控的电源开关电路。

5.4 电源整流电路详解总汇

5.4.1 桥堆和半桥堆

在讲解电源电路中的整流电路之前,先介绍桥堆及半桥堆器件,它们都是整流二极管的组合器件,常用于整流电路中。

1. 外形特征

图 5 - 52 所示是桥堆外形示意图,其中图 5 - 52(a)所示是扁方形的,图 5 - 52(b)所示是圆形的,它们的内部结构相同,见图 5 - 52(c)所示,由四个二极管构成桥式电路,所以称它为桥堆。

关于桥堆的外形特性,主要说明以下几点。

全桥堆共有四根引脚,这四根引脚除标有“~”符号的两根引脚之间可以互换使用外,其他引脚之间不能互换使用。半桥堆有三根引脚。

它的外形除图示的两种外,还有一种椭圆形的,体积大小不一,整流电流大的桥堆其体积大。

桥堆的各引脚旁均有标记,但是这些标记不一定是标在桥堆的顶部,可以标在侧面的引脚旁。

在其他电子元器件中,像桥堆这样的引脚标记方法是没有的,所以在电路中能很容易识别出桥堆。另外,桥堆主要用于电源电路中。

2. 电路符号

桥堆、半桥堆的电路符号如图 5 - 53 所示。其中,图 5 - 53(a)所示是桥堆的电路符号,图 5 - 53(b)所示是桥堆电路符号的简化形式。图 5 - 53(c)和(d)所示是两种半桥堆的电路符号,所谓半桥堆,就是由两只二极管构成的桥堆器件。

3. 种类

桥堆只有图示一种。半桥堆共有下列三种。

一是两只二极管负极相连的半桥堆,如图 5 - 53(c)所示。

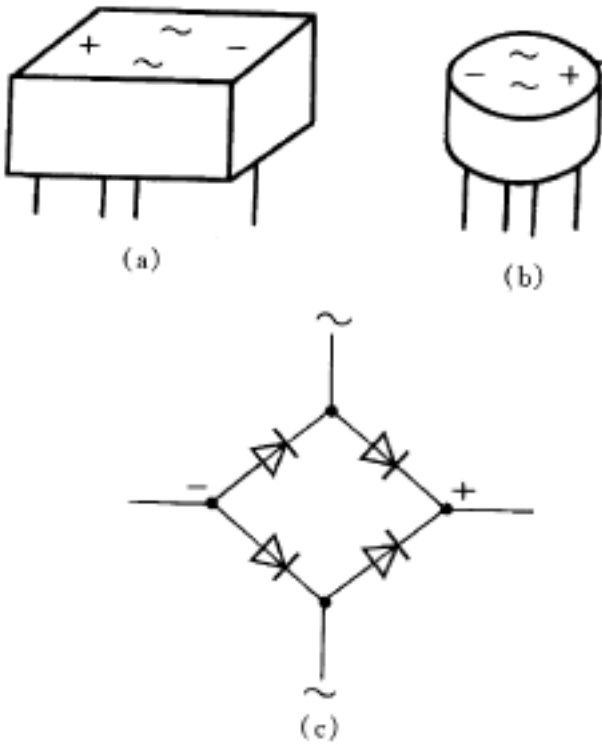


图 5 - 52 桥堆外形示意图

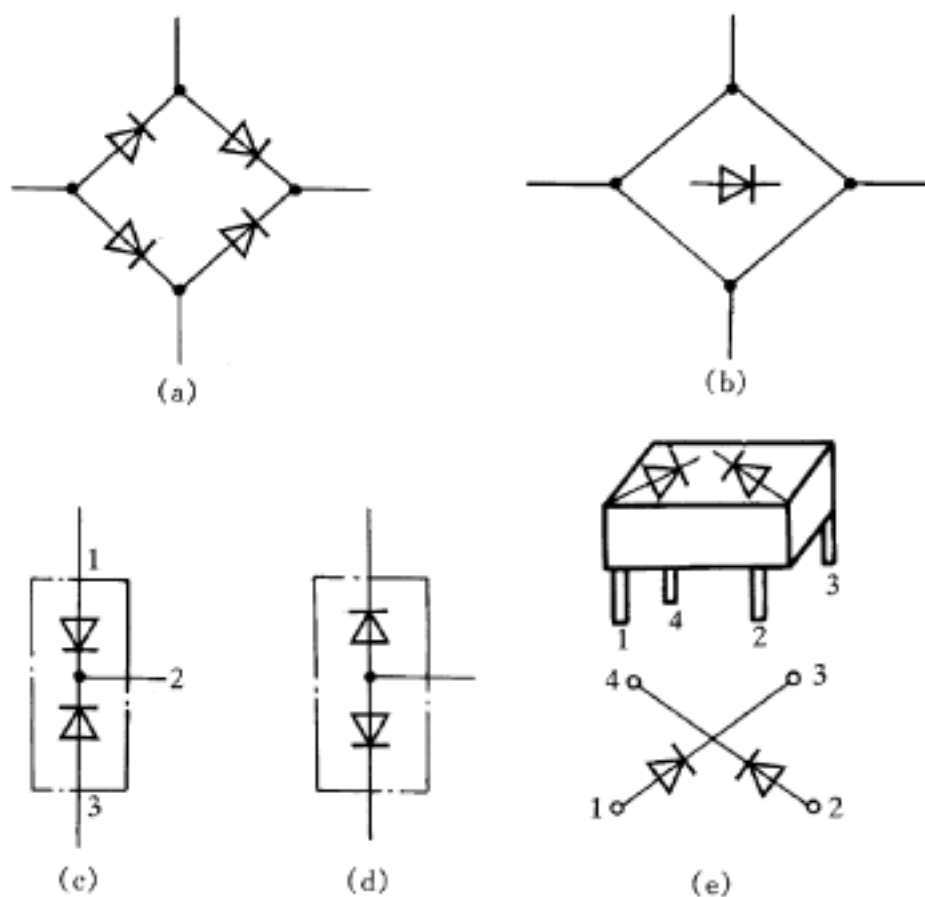


图 5 - 53 桥堆及半桥堆电路符号

二是两只二极管正极相连的半桥堆,如图 5 - 53(d)所示。

三是两只二极管独立的半桥堆,如图 5 - 53(e)所示。

4. 内部结构

从图 5 - 52 所示的内电路中可以看出,桥堆由 4 只二极管构成,4 只二极管封装在一起,形成一整体,引出 4 个引脚。桥堆通常用来作为桥式整流电路,它的两根引脚作为交流电压输入端,即“~”引脚。它的一根引脚作为正极性脉动直流电压输出端,即“+”端,此时另一根引脚“-”端应接地。桥堆也可以接成输出负极性脉动直流电压的整流电路,此时“+”端接地,“-”端作为输出端而接负载电路。

半桥堆可以构成全波整流电路,图 5 - 53(c)所示的半桥堆可以用来构成输出正极性电压的全波整流电路。图 5 - 53(d)所示的半桥堆则可以构成输出负极性电压的全波电路。也可以将图 5 - 53(c)和(d)所示两个半桥堆合起来,成为一个桥堆,构成桥式电路。另外,桥堆和半桥堆还可以在电路中作其他用途。

5. 参数表示方法

桥堆的外壳上通常标出 QL - \times A,其中 QL 表示是桥堆, \times A 表示工作电流。例如,某桥堆上标出 QL - 3A,这表示工作电流为 3A 的桥堆。

6. 引脚识别方法

引脚识别方法有两种:一是根据引脚标记来识别,如图 5 - 52 所示的桥堆外形示意图,从图中可以看出,在外壳上各引脚对应位置上标出“~”、“-”、“+”标记,这些标记与图 5 - 52 (c)所示中标记是一致的,故以此可以分辨出各引脚。

5.4.2 整流电路种类

整流电路是电源电路中的一个重要单元电路,由整流电路直接将交流电转换成单向脉动性直流电,即将输入整流电路的正、负半周信号中的一个半周去掉,或转换到另一个半周来。

整流电路主要有以下几种电路。

半波整流电路。这是一种最简单的整流电路,电路中只用一只整流二极管,可以得到正极性的直流输出电压,也可以得到负极性的脉动性直流输出电压。

全波整流电路。这种整流电路中要用两只整流二极管,也可以得到正极性或负极性的直流输出电压。

桥式整流电路。这种电路在上述三种整流电路中电路结构最复杂,电路中要用四只整流二极管,也可以得到正极性或负极性的脉动性直流输出电压。

倍压整流电路。这种整流电路与上述三种整流电路有所不同,它的特点是获得的直流电压比较高,但整流电路输出电流比较小。

5.4.3 输出正、负直流电压的半波整流电路

1. 电路分析

前面章节在二极管电路中已经详细讲解了半波整流电路,这里讲解另一种形式的半波整流电路。

图 5-54 所示是能够输出正、负脉动性直流电压的半波整流电路。电路中, T_1 是电源变压器,这里是降压变压器, L_1 是它的初级线圈, L_2 和 L_3 是它的两个次级线圈,分别输出 50Hz 的交流电压,次级线圈 L_2 和 L_3 上的输出电压波形见图中所示,这两个交流电压分别加到各自的整流二极管上。

电路中, VD_1 和 VD_2 是两只整流二极管。这一电路中有两个半波整流电路, VD_1 、 L_2 和 R_1 构成一组半波整流电路, VD_2 、 L_3 和 R_2 构成另一组半波整流电路, R_1 和 R_2 分别是两个整流电路的负载。

从电路中可以看出, VD_1 和 VD_2 的极性连接方法不同, VD_1 的正极接线圈 L_2 , VD_2 的负极接线圈 L_3 ,所以这是两个能够输出不同极性脉动性直流电压的半波整流电路。

次级线圈 L_2 这组半波整流电路的工作原理是这样:在次级线圈 L_2 上端输出电压信号为正半周期间,由于线圈 L_2 上的交流输出电压远大于 VD_1 的导通电压,这样正半周交流电压使 VD_1 导通,通过 VD_1 加到负载电阻 R_1 。

在次级线圈 L_2 上端输出的交流电压为负半周期间,由于加到 VD_1 正极上的电压为负,使 VD_1 截止,这样 VD_1 相当于开路,负载电阻 R_1 上没有输出电压。交流电的一个周期内,只有交流电压的正半周能够加到电阻 R_1 ,这样这一半波整流电路只能输出正半周的单向脉动性直流电压 U_{o1} ,见图中输出电压 U_{o1} 波形所示。

另一个次级线圈 L_3 半波整流电路的工作原理是这样:在次级线圈 L_3 上端输出交流电压正半周期间,由于这一电压加到 VD_2 负极上的电压为正,使 VD_2 截止,这样 VD_2 相当于开路,

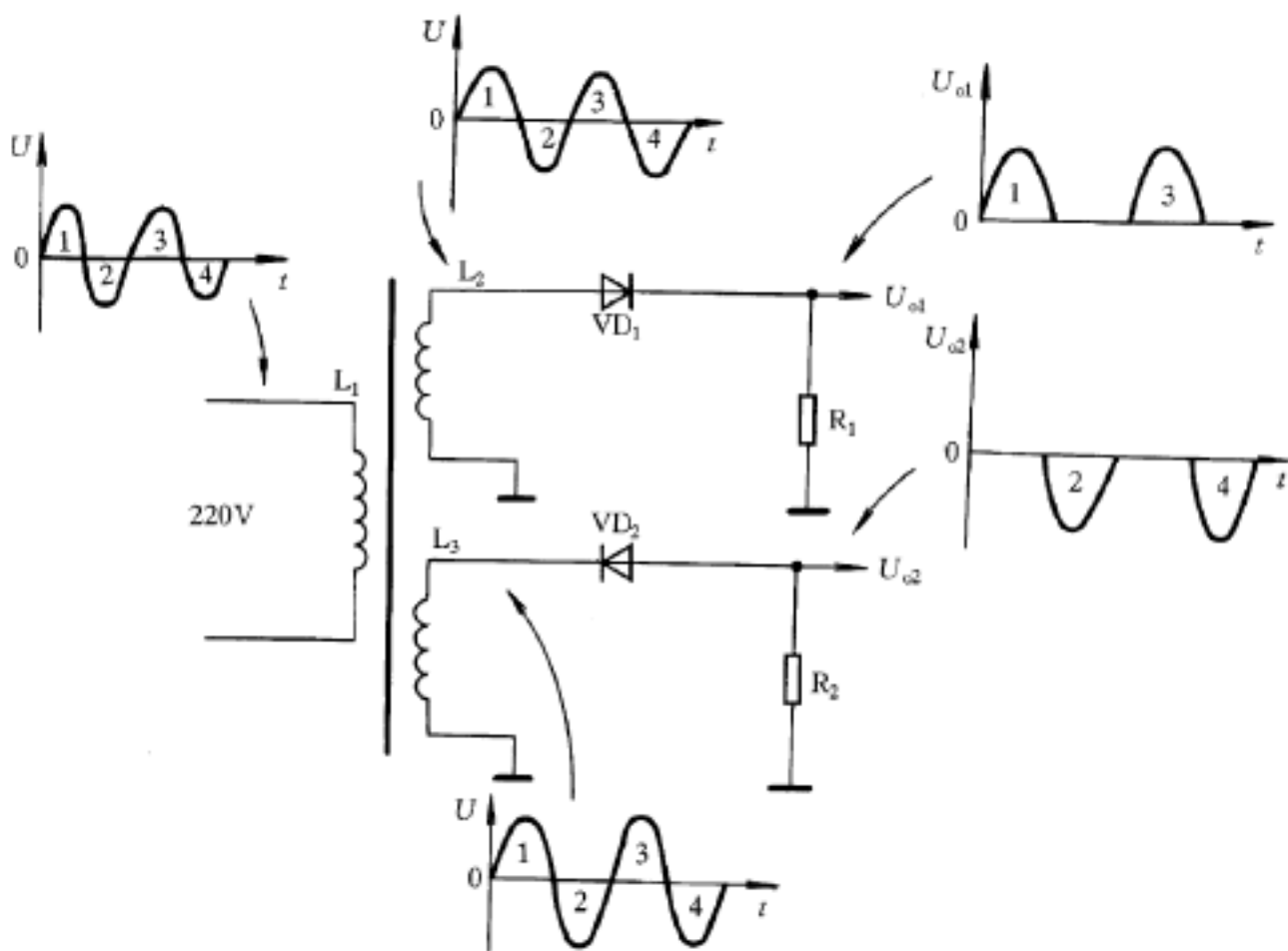


图 5 - 54 输出正、负直流电压的半波整流电路

负载电阻 R_2 上没有输出电压。

当次级线圈 L_3 的上端输出信号为负半周期间,由于 L_3 的交流输出电压远大于 VD_2 的导通电压,同时负极性电压加到 VD_2 的负极,这样 VD_2 可以导通,使负半周交流电压通过 VD_2 加到负载电阻 R_2 上,流过负载电阻 R_2 的电流回路和方向是:次级线圈 L_3 的下端 地线 R_2 VD_2 正极 VD_2 负极 L_3 上端 线圈 L_3 ,成回路。

通过上述分析可知,次级线圈 L_3 输出的一个周期内交流电压,只有交流电压的负半周能够加到电阻 R_2 上,这样这一半波整流电路只能输出负半周的单向脉动性直流电压 U_{o2} ,见图中输出电压 U_{o2} 波形所示。

整流电路输出的单向脉冲性直流电压大小与次级线圈的交流输出电压大小成正比关系,当次级线圈 L_2 输出的交流电压大时,直流输出电压 U_{o1} 也大;当次级线圈 L_3 的交流输出电压大于次级线圈 L_2 的交流输出电压时,整流电路的输出电压 U_{o2} 大于输出电压 U_{o1} (指电压的绝对值大)。

由于电路中次级线圈 L_2 和 L_3 是两组独立的线圈,这两个整流电路之间不会相互影响,这有利于改善电路工作的稳定性,有利于提高电路的抗干扰能力。

2. 识图小结

分析整流电路时,为了简化电路分析,方便判断整流二极管是导通还是截止,此时只要分析二极管的一个电极上的交流电压是正半周还是负半周(二极管另一个电极通过负载电阻接地,其电压为 $0V$),记住下列四种情况。

当交流电压的正半周加到整流二极管正极时,二极管导通,记忆口诀是二极管导通其正极电压应该为正。

当交流电压的负半周加到整流二极管正极时,二极管截止,记忆口诀是二极管截止其正极电压应该为负。

当交流电压的负半周加到整流二极管正极时,二极管截止,记忆口诀是二极管截止其负极电压应该为正。

当交流电压的负半周加到整流二极管负极时,二极管导通,记忆口诀是二极管导通其负极电压应该为负。

5.4.4 全波整流电路

全波整流电路是电源电路中使用得很多的一种整流电路,它是在半波整流电路的基础上发展而来,其具体电路结构也有多种形式。

1. 输出正极性直流电压的全波整流电路

图 5 - 55 所示是全波整流电路。电路中, T_1 是电源变压器,这一变压器的特点是次级线圈有一个抽头,且为中心抽头,这样抽头以上和抽头以下线圈输出的交流电压大小相等。 VD_1 和 VD_2 是两只整流二极管, R_1 是这一全波整流电路的负载。

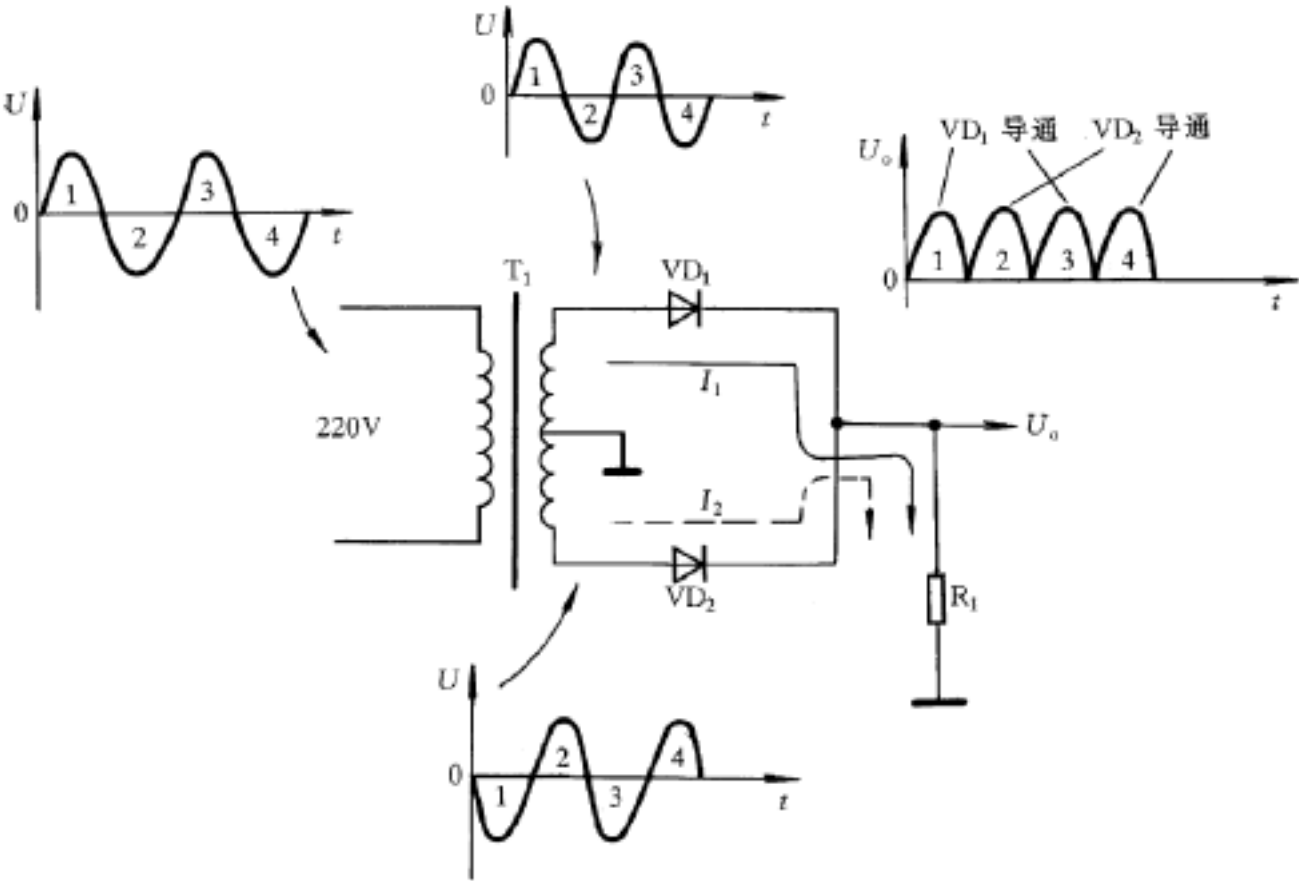


图 5 - 55 输出正极性直流电压的全波整流电路

这一输出正极性直流电压的全波整流电路的工作原理是这样:从电路中的波形可以看出,在电源变压器次级线圈的上端和下端输出的交流电压大小相等,但是相位相反,一个为正半周时另一个为负半周。

当电源变压器 T_1 的次级线圈上端输出正半周交流电压期间,次级线圈下端输出大小相等的负半周交流电压。次级线圈上端正半周交流电压加到 VD_1 的正极,使 VD_1 导通,导通后的电流回路是: T_1 次级线圈的上端 VD_1 正极 VD_1 负极 R_1 地端 地线 次级线圈的抽头

次级线圈抽头以上线圈,成回路。电流从上而下地流过负载 R_L , 见图中实线所示电流 I_1 , 所以这一整流电路输出的是正极性单向脉动性直流电压。

在次级线圈上端输出正半周交流电压的同时, 次级线圈下端输出的负半周交流电压加到 VD_2 的正极, 这一负半周交流电压使 VD_2 截止, VD_2 相当于开路。

在上述交流电压变化期间, 在负载电阻上得到一个半周信号电压, 见图中的波形 1, 这是由二极管 VD_1 导通后获得的。

在电源变压器次级线圈输出的交流电压变化到另一个半周时, 次级线圈上端输出的负半周交流电压加到 VD_1 正极, 使 VD_1 截止。此时次级线圈下端输出正半周交流电压, 这一正半周电压加到 VD_2 的正极, 使 VD_2 导通, 其导通后的电流回路是这样: 次级线圈的下端 VD_2 正极 VD_2 负极 负载电阻 R_L 地端 地线 次级线圈的抽头 次级线圈抽头以下线圈, 成回路, 见图中虚线所示电流 I_2 。

从图中可以看出, 这时流过 R_L 的电流 I_2 方向仍然是从上而下, 所以输出的是正极性单向脉动性直流电压, 见图中的波形 2, 这是由二极管 VD_2 导通后获得的。

从上述电路分析可知, 这种全波整流电路实际上是两个不同极性半波整流电路的合成电路, 它能够将交流电压的负半周电压转换成负载 R_L 上的正极性单向脉动性直流电压, 见图中整流电路输出电压 U_o 波形所示, 每个正、负半周分别由整流二极管 VD_1 和 VD_2 交替导通, 在负载电阻 R_L 上得到的全是正半周的电压。

2. 半桥堆构成的负极性全波整流电路

图 5 - 56 所示是由半桥堆构成的负极性全波整流电路。电路中, VD_1 和 VD_2 是一个半桥堆(用虚线框表示这两只二极管封装在一起), 当然这一整流电路也可以用两只整流二极管构成, T_1 是电源变压器(降压变压器), 有一组次级线圈, 并且有中心抽头。 R_L 是整流电路的负载电阻。

这一负极性全波整流电路工作原理是这样: 电源变压器 T_1 的次级线圈带中心抽头, 即 1 与 2 之间的匝数等于 2 与 3 之间的匝数, 这样 1 与 2 之间的输出电压大小等于 2 与 3 之间的输出电压。全波整流电路必须要求电源变压器次级线圈有一个中心抽头, 才能够在次级线圈的上、下两端输出大小相等、相位相反的两个交流电压。 T_1 的次级线圈 1 端与 3 端的交流电压相位相反, 即当 1 端的交流电压为正半周时, 3 端的交流电压为负半周, 见图中的电压波形所示。

在次级线圈的 1 端为正半周期间, 这一正半周电压加到 VD_1 的负极上, 给 VD_1 加的是反向偏置电压, 使 VD_1 处于截止状态。在次级线圈 1 端为正半周时, 次级线圈 3 端为负半周, 这一负半周的电压加到 VD_2 的负极上, 使 VD_2 导通。

在 VD_2 导通时, 流过 VD_2 的电流回路是这样: 负载电阻 R_L 的下端(地线) R_L VD_2 的正极 VD_2 的负极 次级线圈 3 端 次级线圈 2 端 地线 R_L 的下端。这一电流见图中的虚线 I_2 所示, 这一电流从下而上地流过电阻 R_L , 所以在电阻 R_L 上的电压为负半周, 见图中的负半周波形 1 所示, 由 VD_2 导通完成。

在交流电压变化到另一个半周时, 即次级线圈的 1 端为负半周, 3 端为正半周。这时, 二极管 VD_2 截止, VD_1 导通, VD_1 导通的电流回路是这样: 负载电阻 R_L 的下端(地线) R_L VD_1 的正极 VD_1 的负极 次级线圈 1 端 次级线圈 2 地线 R_L 的下端。这一电流的流动方向见图中的实线电流 I_1 所示, 这一电流从下而上地流过电阻 R_L , 所以在电阻 R_L 上的电压为负半

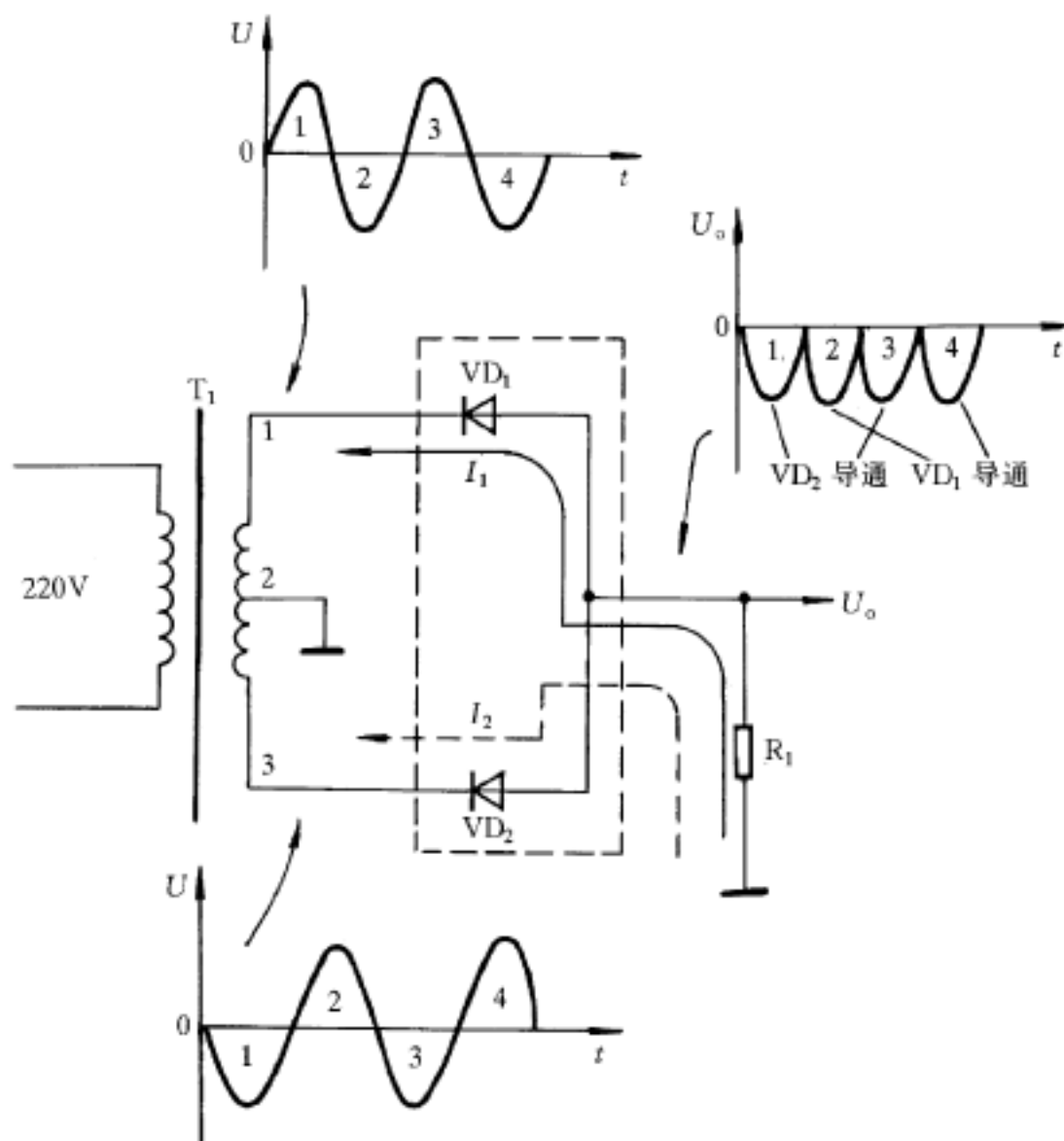


图 5 - 56 半桥堆构成的负极性全波整流电路

周, 见图中的负半周波形 2 所示, 由 VD_1 导通完成。

当交流电压再次变化后, VD_2 再度导通, VD_1 截止, 这样交替地变化。在整流电路负载电阻 R_L 上得到连续的负半周输出电压, 也就是将交流电压的正半周转换到负半周, 完成负极性的全波整流。

实际上, VD_1 是对次级线圈 1、2 端的输出电压进行半波整流, VD_2 则是对 2、3 端的输出电压进行半波整流, 两个半波整流合成一个全波整流电路。由于 T_1 的次级线圈带中心抽头, 所以整流后得到的两个半周电压幅度是相等的。

3. 输出正、负极性直流电压的全波整流电路

图 5 - 57 所示是一种能够输出正、负极性直流电压的全波整流电路。电路中, T_1 是电源变压器, 它的次级线圈有一个中心抽头。 $VD_1 \sim VD_4$ 是四只整流二极管。其中, VD_2 和 VD_4 构成一组全波整流电路, 它输出正极性的直流电压 U_{o1} ; VD_1 和 VD_3 构成另一组全波整流电路, 它输出负极性的直流电压 U_{o2} 。

这一整流电路的工作原理是这样: 当电源变压器 T_1 次级线圈上端为正半周交流电压时, 这一电压使 VD_2 导通, 其导通后的电流回路是这样, 次级线圈上端 VD_2 正极 VD_2 负极 R_L 地端 地线 次级线圈的抽头 次级线圈抽头以上线圈, 成回路, 这一电流从上而下地流过电阻 R_L , 所以在 R_L 上的是正半周电压 1, 见图中输出电压 U_{o1} 波形所示。

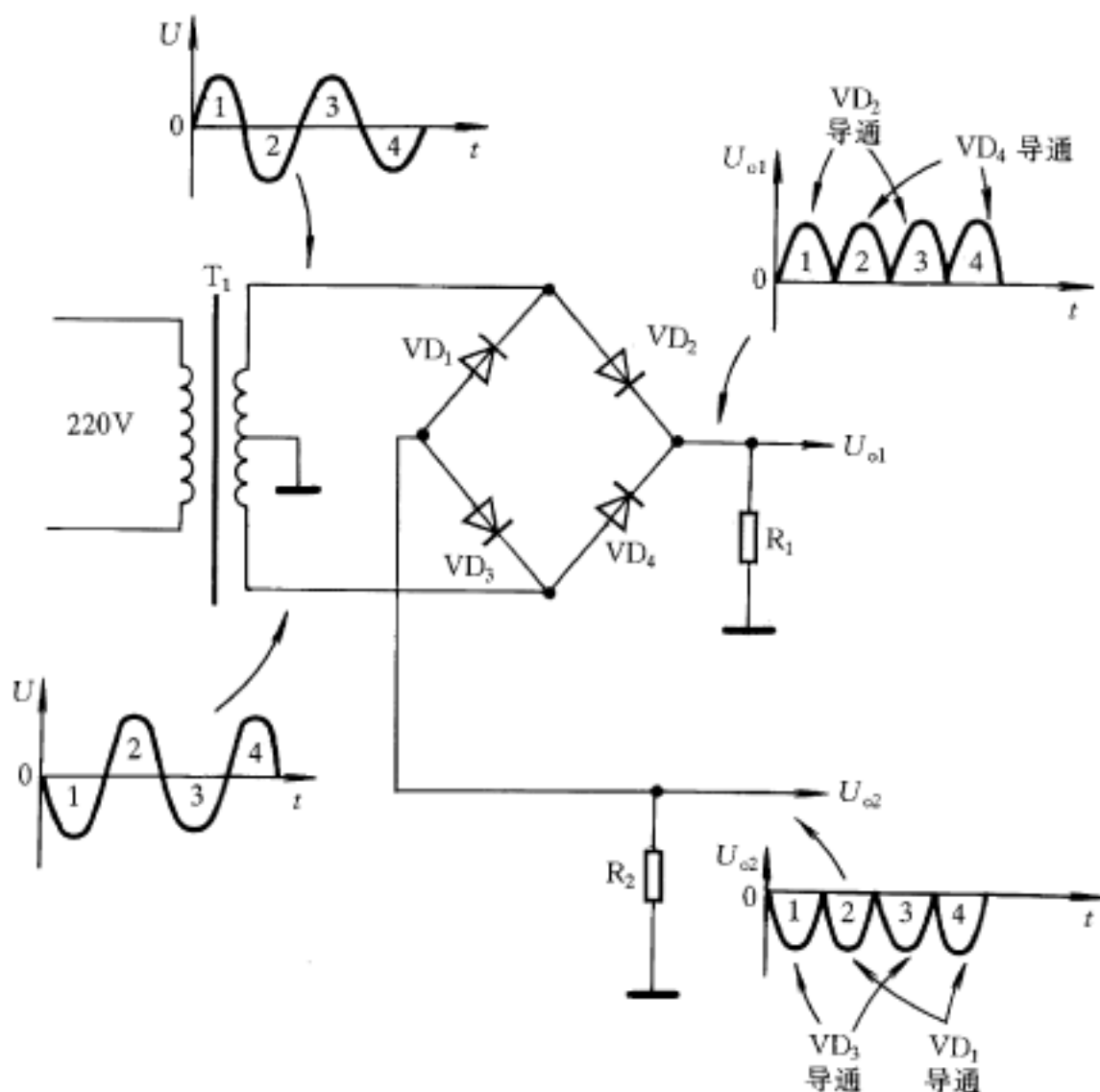


图 5-57 输出正、负极性直流电压的全波整流电路

与此同时,次级线圈下端输出负半周交流电压,这一电压使 VD_3 导通,其导通后的电流回路是这样:电阻 R_2 下端(地端) R_2 VD_3 正极 VD_3 负极 次级线圈下端 次级线圈抽头 地端 地线 R_2 下端。由于 VD_3 导通时的电流从下而上地流过 R_2 ,所以这时的输出电压是负极性的,是负半周电压 1,见图中输出电压 U_{o2} 波形所示。

当次级线圈上的交流输出电压变化到另一个半周时,即次级线圈上端为负半周电压,该电压使 VD_1 导通,其导通后的电流回路是这样:电阻 R_2 下端(地端) R_2 VD_1 正极 VD_1 负极 次级线圈上端 次级线圈抽头 地端 地线 R_2 下端。由于 VD_1 导通时的电流从下而上地流过 R_2 ,所以这时的输出电压是负极性的,是负半周电压 2,见图中输出电压 U_{o2} 波形所示。

与此同时,次级线圈的下端输出正半周交流电压,这一电压使 VD_4 导通,其导通后电流回路是这样:次级线圈下端 VD_4 正极 VD_4 负极 R_1 地端 地线 次级线圈抽头 次级线圈抽头以下线圈,成回路。这一电流从上而下地流过电阻 R_1 ,所以在 R_1 上的是正半周电压 2,见图中输出电压 U_{o1} 波形所示。

这一全波整流电路中用了四只整流二极管,构成的是两组全波整流电路。如果次级线圈的抽头不是中心抽头,即抽头以上和以下线圈的匝数不相等时,由于两组次级线圈的交流输出电压大小不同,所以整流电路输出的两组直流电压大小也是不相同的。

5.4.5 桥式整流电路

1. 桥式整流电路

图 5-58 所示是一种能够输出正电压的桥式整流电路,这是十分常见的一种桥式整流电路。电路中, $VD_1 \sim VD_4$ 是四只整流二极管,它构成一组整流电路,是各种整流电路中所使用整流二极管数目最多的一种电路。 T_1 是电源变压器,这一变压器的次级线圈没有抽头,这一点与全波整流电路中的电源变压器是不同的,分辨这两种整流电路也是以电源变压器次级线圈有没有抽头为依据的。

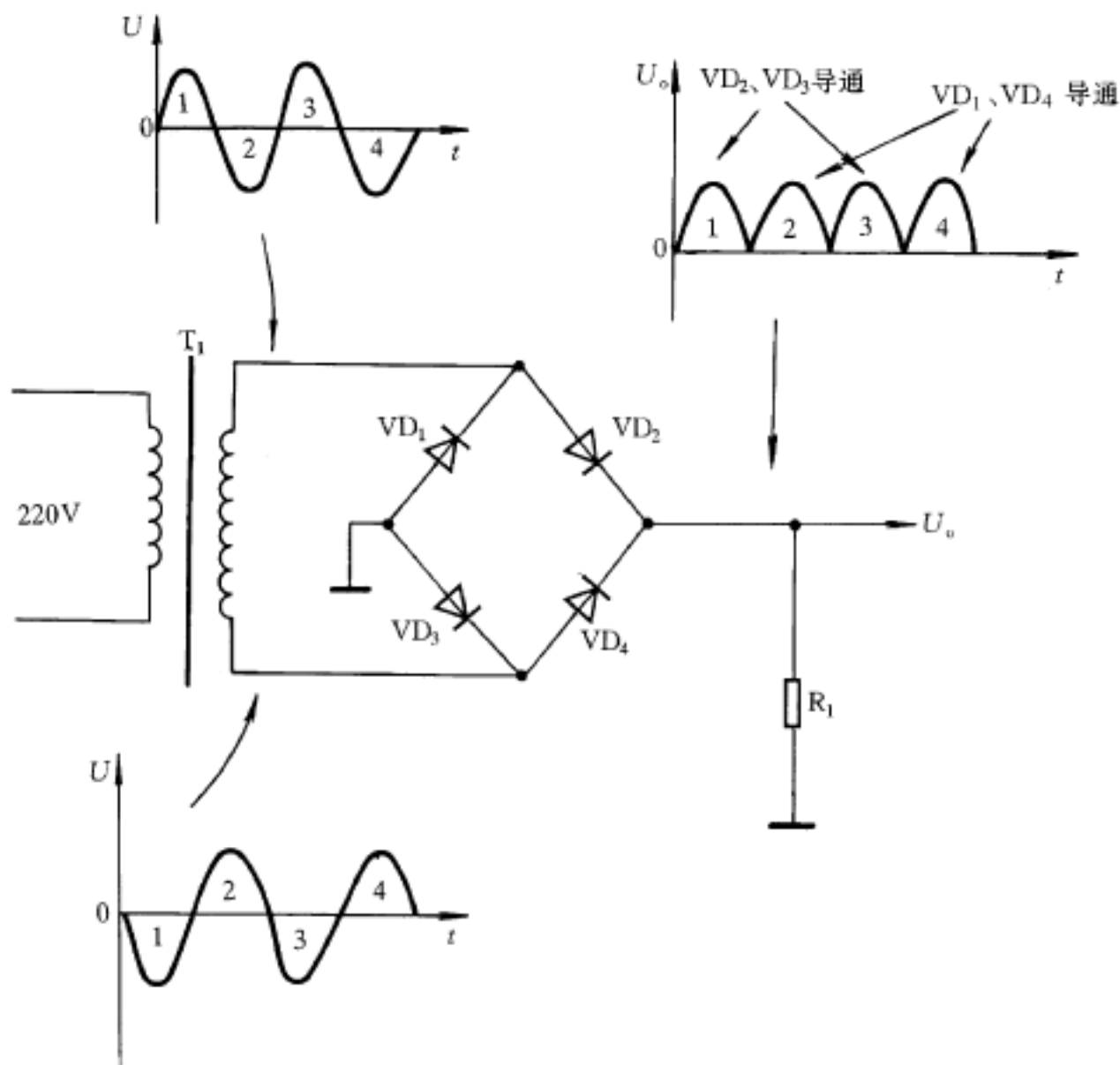


图 5-58 输出正电压的桥式整流电路

这一桥式整流电路的工作原理是这样:电源变压器 T_1 次级线圈输出的交流电压在上端和下端的相位是相反的,见图中次级线圈输出电压波形所示。当次级线圈上端为正半周电压时,下端为负半周。

次级线圈上端的正半周电压同时加在 VD_1 的负极和 VD_2 的正极上,这一电压给 VD_1 反向偏置而使之截止,给 VD_2 正向偏置而使之导通。与此同时,次级线圈下端的负半周电压同时加到 VD_3 的负极和 VD_4 的正极,这一电压给 VD_3 是正向偏置而使之导通,给 VD_4 是反向偏置

而使之截止。

由上述分析可知,当次级线圈上端为正半周、下端为负半周时, VD_2 和 VD_3 同时导通,其导通后的电流回路为次级线圈上端 VD_2 正极 VD_2 负极 R_1 地端 VD_3 正极 VD_3 负极 次级线圈下端 通过次级线圈到上端。流过 R_1 的电流方向为从上而下,所以在 R_1 上的电压为正,见图中的输出电压波形 1 所示。

当电源变压器 T_1 次级线圈两端的输出电压变化到另一个半周时,次级线圈上端为负半周,次级线圈下端为正半周。次级线圈上端的负半周电压使 VD_1 导通而使 VD_2 截止,次级线圈下端的正半周电压使 VD_4 导通而使 VD_3 截止,这样也有两只二极管处于导通、两只二极管处于截止状态。

在 VD_4 和 VD_1 导通后,其回路电流是这样:次级线圈下端 VD_4 正极 VD_4 负极 R_1 地端 地线 VD_1 正极 VD_1 负极 次级线圈上端,通过次级线圈到下端而成回路。此时,流过 R_1 的电流也是从上而下的,所以输出电压 U_o 仍然是正极性电压,见图中输出电压 U_o 波形中的 2 所示。

从整流电路的输出端电压波形中可以看出,通过桥式整流电路,可以将交流电压转换成单向脉动性的直流电压,这一电路的作用同全波整流电路一样,也是将交流电压的负半周转换到正半周来。但是,桥式整流电路中的整流二极管是对角上的两只同时导通,同时截止,这一点与全波整流电路不同。

桥式整流电路中的四只整流二极管通常是由桥堆担任,桥堆内部的四只二极管已经接成了桥式整流电路的形式。

图 5 - 59 所示是输出正极性直流电压的桥式整流电路的简略画法,用一个桥堆的电路符号表示了桥式整流电路,在许多整流电路中都是采用这种画法。

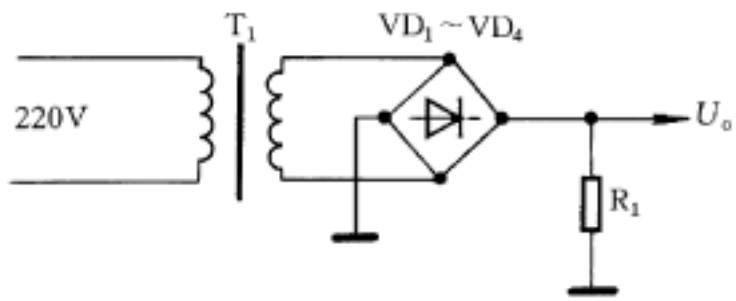


图 5 - 59 输出正电压的桥式整流电路的简略画法

2. 输出负极性直流电压的桥式整流电路

图 5 - 60 所示是输出负极性直流电压的桥式整流电路。电路中, $VD_1 \sim VD_4$ 四只整流二极管构成桥式整流电路, T_1 是电源变压器,这一变压器的次级线圈没有抽头。

这一电路的工作原理是这样:这一电路与图 5 - 58 所示输出正极性直流电压的桥式整流电路相比有一点不同,就是整流电路的负载电阻 R_1 接在两只正极相连二极管端点上(前面电路是接在两只负极相连二极管端点上),且接地点也不同了。

当电源变压器 T_1 次级线圈上端输出正半周交流电压时,次级线圈下端输出负半周电压,正半周电压使 VD_2 导通,负半周电压使 VD_3 导通,这两只二极管导通后的电流回路是这样:次级线圈下端 VD_2 正极 VD_2 负极 地端 地线 R_1 VD_3 正极 VD_3 负极 次级线圈上端,通过次级线圈成回路。由于这一电流是从下而上地流过 R_1 ,所以输出的直流电压是负半周电压,见电路中的输出电压 U_o 所示。

当次级线圈上端输出负半周交流电压时,次级线圈下端输出正半周电压,正半周电压使 VD_4 导通,负半周电压使 VD_1 导通,这两只二极管导通后的电流回路是这样:次级线圈下端 VD_4 正极 VD_4 负极 地端 地线 R_1 VD_1 正极 VD_1 负极 次级线圈上端,通过次级线圈

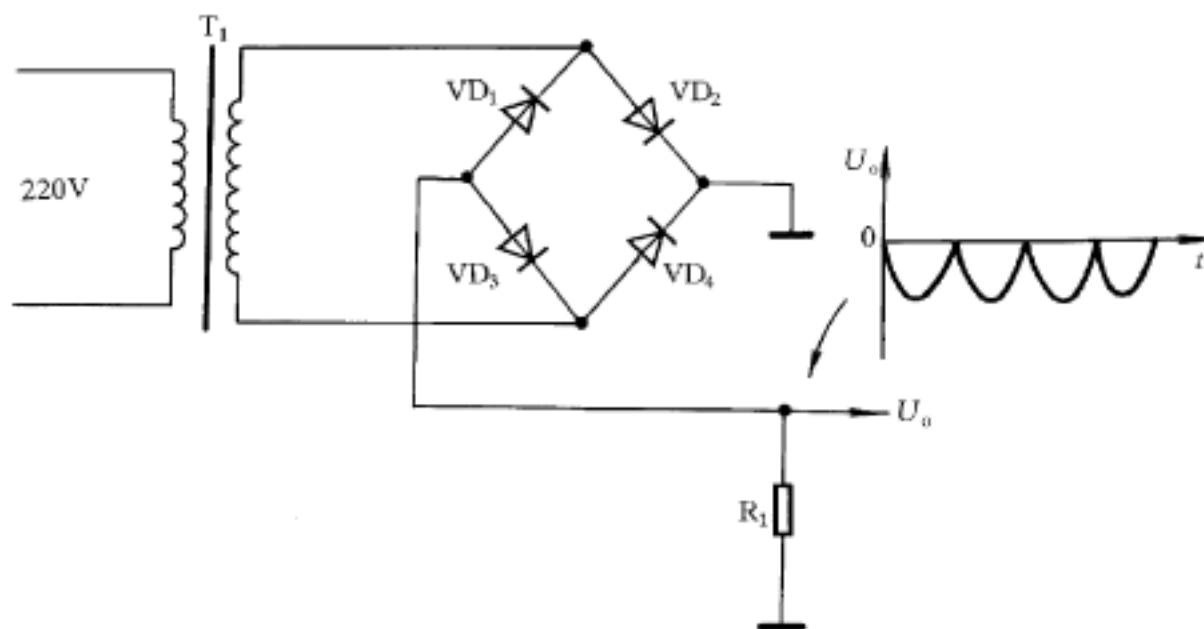


图 5 - 60 输出负极性直流电压的桥式整流电路

成回路,这一直流输出电压也是负半周的。所以,这一桥式整流电路将正半周电压转换到负半周来,整流输出电路的是负极性直流电压。

从上述电路分析可知,这种整流电路中的二极管,两只同时导通,两只同时截止,这一点与前面介绍的全波整流电路不同。

图 5 - 61 所示是输出负极性直流电压桥式整流电路的简略画法,这一电路与图 5 - 60 所示电路是一样的,只是采用了简略画法。

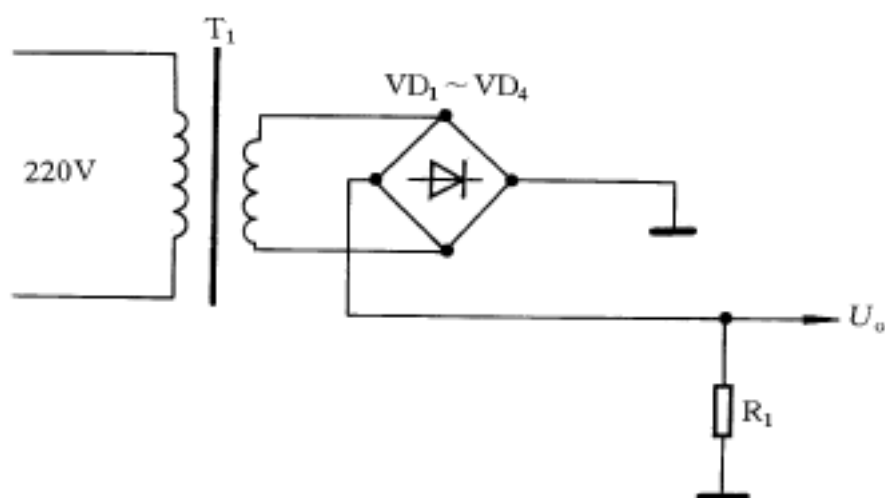


图 5 - 61 输出负极性直流电压的桥式整流电路的简略画法

5.4.6 倍压整流电路

1. 二倍压整流电路

倍压整流电路有多种,有二倍压、三倍压、四倍压等多种,图 5 - 62 所示是二倍压整流电路。电路中, U_i 为交流输入电压,是正弦交流电压, U_o 为直流输出电压, VD_1 、 VD_2 和 C_1 构成倍压整流电路。

这一电路的工作原理是这样:当交流输入电压为负半周 1 时,这一负半周电压通过 C_1 加到 VD_1 负极,给 VD_1 是正向偏置电压,使 VD_1 导通,其导通后电流回路是这样:地端 VD_1 正极

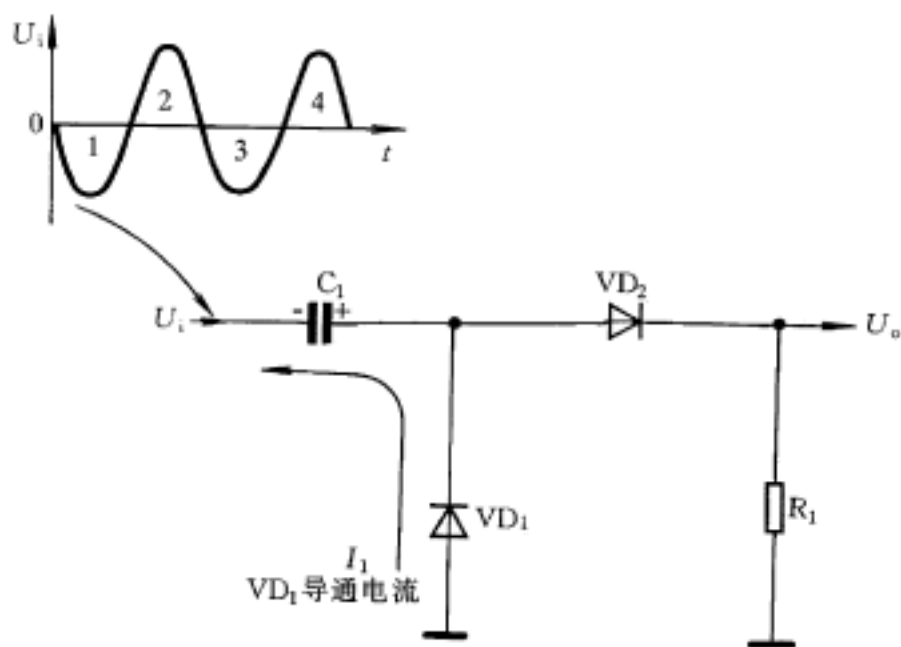


图 5 - 62 倍压整流电路

VD_1 负极 C_1 输入电压 U_i 端,这一回路电流对电容 C_1 进行充电,其充电电流如图中电流 I_1 所示。在 C_1 上充到右 + 左 - 的直流电压,见图中所示,在 C_1 上的充电电压的大小为输入电压 U_i 正半周的峰值电压。

在交流输入电压 U_i 为负半周期间,由于负电压通过电容 C_1 加到 VD_2 的正极,这是反向偏置电压,所以 VD_2 截止,负载电阻 R_1 上没有输出电压。

当交流输入变化到正半周 2 时,这一正半周电压经 C_1 加到 VD_1 的负极,是反向偏置电压,使 VD_1 截止。同时,这一输入电压的正半周电压和 C_1 上原先充到的右 + 左 - 充电电压极性一致,即为顺串联,图 5 - 63 所示是这时的等效电路,将充电的电容用一个电池 E 表示, VD_1 已开路。

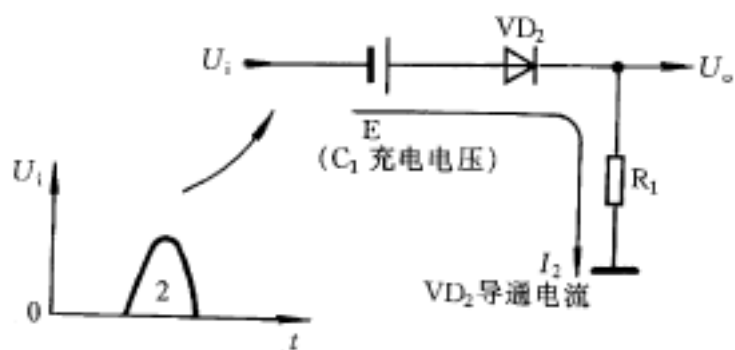


图 5 - 63 等效电路

从这一等效电路中可以看出,输入电压的正半周电压和 C_1 上的充电电压 E 顺串联之后,加到二极管 VD_2 的正极,这时给 VD_2 加的是正向偏置电压,所以 VD_2 导通,其导通后的电流回路是这样:输入电压 U_i 端 C_1 VD_2 正极 VD_2 负极 R_1 地端,成回路,其电流见图中电流 I_2 所示,这一电流从上而下地流过负载电阻 R_1 ,所以输出的是正极性直流电压。

由于 VD_2 导通时,在负载电阻 R_1 上是两个电压之和,即为交流输入电压 U_i 峰值电压的两倍,所以在 R_1 上得到了两倍的直流电压,因此称此电路为二倍压整流电路。

2. 识图小结

关于这一电路工作原理,还要说明下列几点。

倍压整流电路可以有 N (N 为整数) 倍压整流电路,在电子电路中常用二倍压整流电路。

倍压整流电路的特点是:在交流输入电压不高的情况下,通过多倍的倍压整流电路,可以获得很高的直流电压。但是,这种整流电路有一个不足之处,就是整流电路输出电流的能力比较差,具有输出电压高、输出电流小的特点,所以带负载的能力比较差,在一些要求有足够大输出电流的情况下,这种整流电路就不合适了。

5.4.7 整流电路识图小结

1. 识图小结

关于上述四种整流电路,分析说明以下几点。

电源电路中的整流电路主要有半波整流电路、全波整流电路和桥式整流电路三种,倍压整流电路用于其他交流信号的整流,例如用于发光二极管电平指示器电路中,对音频信号进行整流。

前三种整流电路输出的单向脉动性直流电特性有所不同,半波整流电路交流输出电压只有半周(正或负半周),所以这种单向脉动性直流电中的主要交流成分仍然是 50Hz 的,因为输入的交流市电频率是 50Hz,半波整流电路去掉了交流电的半周,没有改变单向脉动性直流电中交流成分的频率;全波和桥式整流电路是相同的,用了输入交流电压的正、负半周,使频率扩大一倍而为 100Hz,所以这种单向脉动性直流电的交流成分主要是 100Hz 的,这是因为整流电路将输入交流电压的一个半周转换了极性,使输出的直流脉动性电压的频率比输入交流电压提高了一倍,这一频率的提高有利于滤波电路的滤波。

在电源电路的三种整流电路中,只有全波整流电路要求电源变压器的次级线圈设有中心抽头,其他两种电路对电源变压器没有抽头的要求。另外,半波整流电路中只要一只二极管,全波整流电路中要用两只二极管,而桥式整流电路中则要用四只二极管。根据上述两个特点,可以方便地分辨出三种整流电路的类型,但要注意以电源变压器有无抽头这一点来分辨三种整流电路比较准确。

在半波整流电路中,当整流二极管截止时,交流电压峰值全部加到二极管两端。对于全波整流电路而言也一样,当一只二极管导通时,另一只二极管截止,承受全部的交流峰值电压。所以,对这两种整流电路,要求电路中的整流二极管其承受反向峰值电压的能力较高;对于桥式整流电路而言,两只二极管导通时,另两只二极管截止,它们串联起来承受反向峰值电压,在每只二极管两端只有反向峰值电压的一半,所以对这一电路中整流二极管承受反向峰值电压的能力要求较低。

在要求直流电压相同的情况下,对全波整流电路而言,电源变压器次级线圈抽头至上、下端的交流电压相等,且等于桥式整流电路中电源变压器次级线圈的输出电压,这样在全波整流电路中的电源变压器相当于绕了两组次级线圈。

在全波和桥式两种整流电路中,都是将输入交流电压的负半周转换到正半周(在负极性整流电路中是将正半周转换到负半周),这一点与半波整流电路不同。在半波整流电路中,将输入交流电压的一个半周切除。

在整流电路中,输入交流电压的幅值远大于二极管导通后的管压降,所以可将整流二极管的管压降忽略不计。

对于倍压整流电路,它能够输出比输入交流电压更高的直流电压,但这种电路输出电流能力较差,所以它具有高电压、小电流的输出特性。

分析上述各种整流电路时,主要用二极管的单向导电特性,整流二极管的导通电压由输入交流电压提供。

① 要注意,当整流二极管导通之后,二极管的管压降与交流输入电压相比很小,所以可以忽略管压降对直流输出电压大小的影响。

2. 四种整流电路的比较

表 5 - 2 给出了四种整流电路的有关特性,供识图中参考。

表 5 - 2 四种整流电路的有关特性				
电路名称	半波整流电路	全波整流电路	桥式整流电路	倍压整流电路
脉动性直流电频率	50Hz,不利于滤波	100Hz,有利于滤波	100Hz,有利于滤波	- -
整流效率	低,只用半周交流电	高,使用正、负半周交流电	高,使用正、负半周交流电	高,使用正、负半周交流电
对电源变压器要求	不要求有抽头,变压器成本低	要求有抽头,变压器成本高	不要求有抽头,变压器成本低	低,不要求有抽头,变压器成本低
整流二极管反向电压	高	高	低	低
电路结构	简单	一般	复杂	一般
所用二极管数量	一只	两只	四只	N + 1 只

5 .5 电源滤波电路详解总汇

滤波电路中,电容器是必不可少的元器件,有关电容器的基本工作原理,在前面电容器一节中已经介绍,这里对电源电路中的滤波电容、滤波电感电路及其他形式的滤波电路工作原理进行详细分析。

电源电路中的滤波电路主要有以下几种。

电容滤波电路,这是最基本的滤波电路。

电感滤波电路,这种滤波电路在电子电路中很少单独运用。

L 型滤波电路,这种滤波电路在电子电路中很少单独运用。

型 RC 滤波电路,这种滤波电路在电子电路中有着广泛运用,它电路结构简单,电路成本低。

型 LC 滤波电路,这种滤波电路在电子电路中也有着较为广泛的运用,由于使用了电感器,电路成本有所增加。

电子滤波器电路,这是一种滤波效果很好的滤波电路,在一些小电流滤波电路中有着广泛的运用。

5 5 .1 电容滤波电路

1. 电容滤波电路工作原理理解方法之一

在电源电路的滤波电路中,通常滤波的“主力”元器件是电容器。分析电容滤波电路工作

原理时,主要是用到了电容器的隔直通交特性和储能特性,图 5 - 64 所示电路可以说明电容的滤波原理。

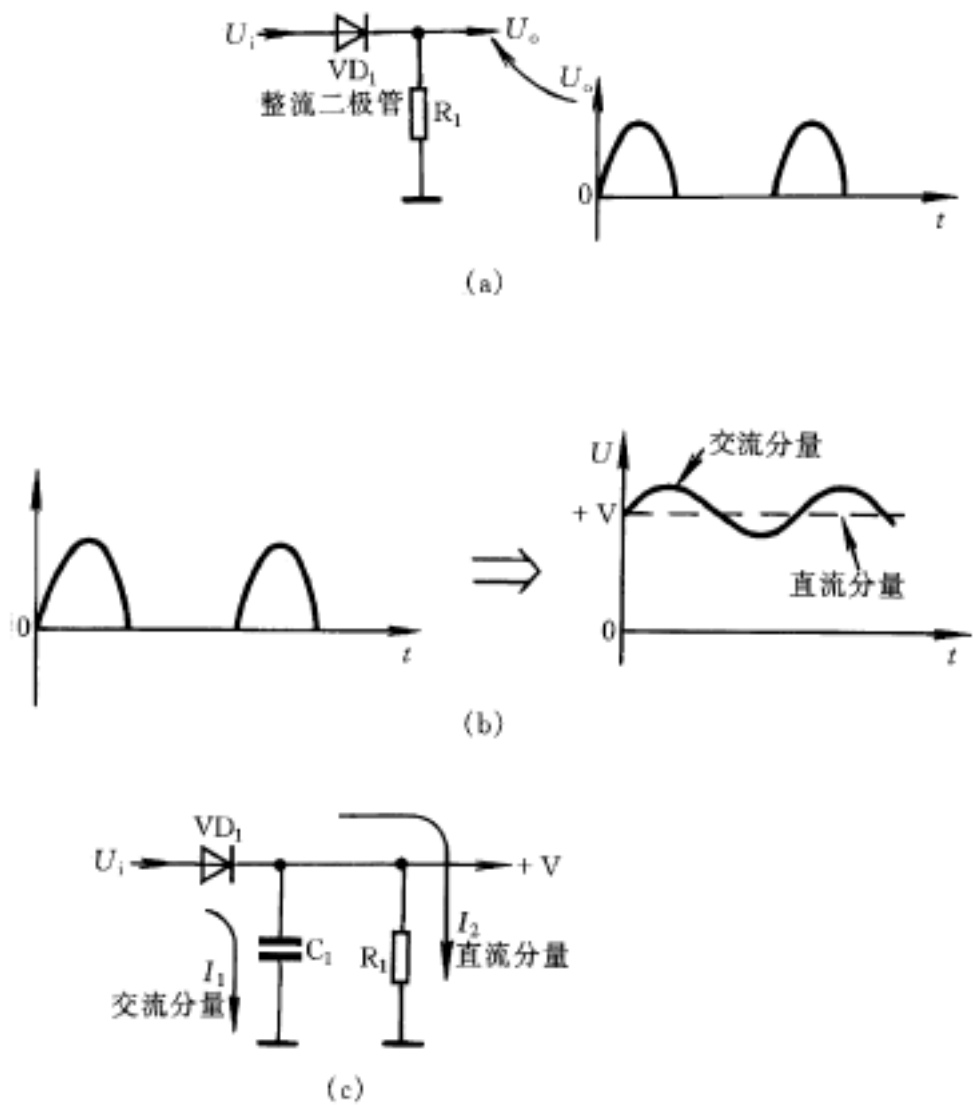


图 5 - 64 电容滤波电路

图 5 - 64(a)所示电路是没有加入滤波电容时的整流电路,交流电压 U_i 经整流电路之后输出的是单向脉动性直流电,即电路中的 U_o 。

根据前面所介绍的波形分解原理可知,这一脉动性的直流电压可以分解为一个直流电压和一组频率不同的交流电,如图 5 - 64(b)所示。图中, $+V$ 是单向脉动性直流电压 U_o 中的直流电压分量,交流成分是单向脉动性直流电压 U_o 中的交流电压分量,滤波电路的作用是将直流电压 $+V$ 取出,滤除交流分量。

图 5 - 64(c)所示是加入滤波电路后的整流、滤波电路,由于滤波电容 C_1 对直流电压相当于开路,这样整流电路输出的直流电压 $+V$ 不能通过 C_1 到地,只能加到负载 R_1 上。对于整流电路输出的交流分量而言,因为 C_1 容量很大,其容抗较小,交流分量通过 C_1 流到地端,而不能加到负载 R_1 ,见图电流 I_1 所示。这样,通过电容 C_1 的滤波,从单向脉动性直流电中取出了所需要的直流电压 $+V$ 。

滤波电容 C_1 的容量愈大,对交流分量的容抗愈小,使残留在负载 R_1 上的交流分量愈小,滤波效果就愈好。

2. 电容滤波电路工作原理理解方法之二

利用电容器的充电、放电特性和储能特性,也可以理解电源滤波电容的滤波原理,用如图

5 - 65 所示滤波电容充、放电原理示意图,可以说明滤波电容的工作原理。

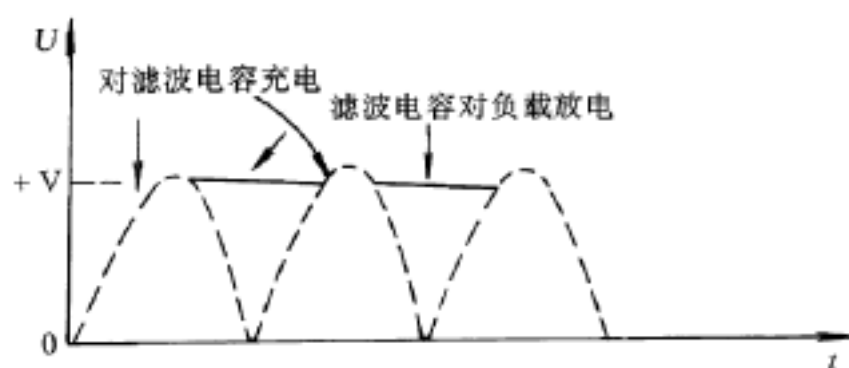


图 5 - 65 滤波电容充、放电原理示意图

电多少就有第二个单向脉动性电压来对滤波电容进行充电,补充滤波电容中的电能。滤波电容不断地充电和放电,得到比较平滑的直流电压,即图中的实线所示 + V,这就是滤波电路输出的直流工作电压。

在整流电路输出的单向脉动性直流电压不变的情况下,负载电阻 R_L 大时,滤波电容对负载电阻 R_L 的放电电流小,滤波电容所放掉的电荷就少,所以滤波电路输出的直流电压就高,如图 5 - 66 所示。

负载电阻 R_L 小时,滤波电容对负载电阻 R_L 的放电电流大,滤波电容所放掉的电荷就多,所以滤波电路输出的直流电压就低。

图中虚线所示是整流电路输出的单向脉动性直流电压,当脉动性电压增大时,对滤波电容进行充电,使滤波电容上充到峰值电压。当脉动性电压从最大值开始减小时,电容开始向负载电阻放电,见图中的放电曲线所示。

由于滤波电容的容量很大,它所存储的电能很多,加上放电缓慢,所以还没有放

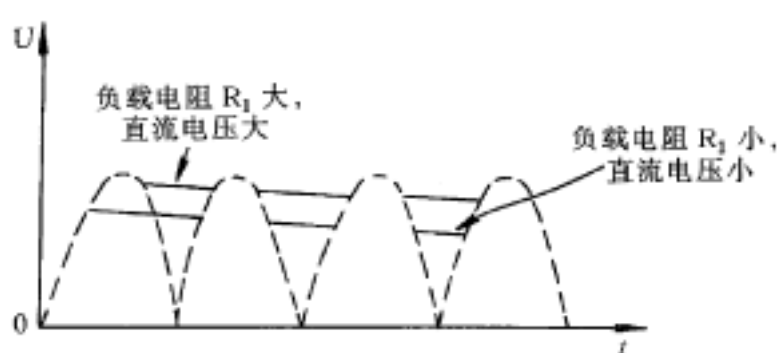


图 5 - 66 负载电阻 R_L 不同时直流输出电压变化示意图

3. 识图小结

关于电容滤波电路的工作原理,还要说明下列几点。

滤波电容的容量通常比较大,并且往往是整机电路中容量最大的一只电容器。滤波电容器的容量大,滤波效果就好。

电容滤波电路是各种电源滤波电路中最常用的一种电路,必须理解其滤波原理,掌握电容滤波电路的分析方法。

5 5 2 电感滤波电路原理

1. 电路分析

图 5 - 67 所示是电感滤波电路。 L_L 是滤波电感, R_L 是滤波电路的负载电阻。 U_i 是整流电路输出的脉动性直流电压,也是滤波电路的输入电压; U_o 是经过滤波电路滤波后的直流输出电压。

这一电路的工作原理是这样:将输入的单向脉动性电压 U_i 分解成直流分量和交流分量两个部分,根据电感器的感抗特性可知,对于直流分量而言, L_L 的感抗为零,并且电感器 L_L 的直流电阻很小,这样输入电压 U_i 中的直流分量通过 L_L ,加到负载电阻 R_L 上。

对于输入电压 U_i 中交流分量而言, L_L 的感抗很大,这样在 L_L 上产生很大的交流压降,加

到负载电阻 R_L 上的交流压降就很小。只要 L_1 的电感量足够地大(滤波电感器的电感量通常比较大),它对交流分量的感抗就很大,达到滤波的目的。

2. 识图小结

关于电感滤波电路的工作原理,还要说明下列几点。

分析电感滤波电路时,将输入的单向脉动性电压 U_i 分解成直流分量和交流分量两个部分,这是一个理解电路工作原理的好方法。作为滤波电感器 L_1 ,要求它的电感量比较大,这样才能有良好的滤波效果。

单独的电感滤波电路用得比较少,滤波电感主要与滤波电容联合起来使用,构成 LC 滤波电路。

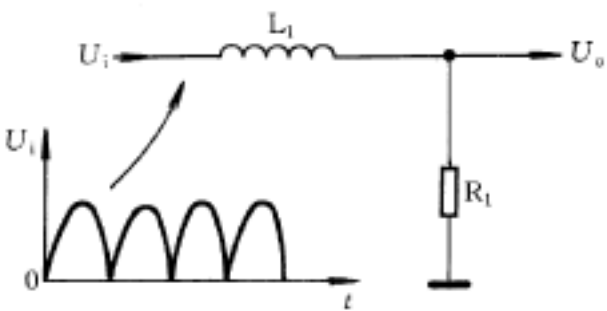


图 5 - 67 电感滤波电路

5 5 3 型 RC 滤波电路

1. 单节 型 RC 滤波电路

图 5 - 68 所示是 型 RC 滤波电路。电路中, C_1 和 C_2 是两只滤波电容, R_1 是滤波电阻, C_1 、 R_1 和 C_2 构成一节 型的 RC 滤波电路。由于这种滤波电路的形式如同字母 并采用了电阻、电容,所以称为 型 RC 滤波电路。

这一滤波电路的工作原理是这样:从整流电路输出的单向脉动性直流电压首先经过电容 C_1 的滤波,将大部分的交流分量滤除, C_1 对直流电压而言相当于开路。经过电容 C_1 滤波后的直流电压,加到由 R_1 和 C_2 构成的 L 型滤波电路中(R_1 和 C_2 构成一个 L 型电路,所以称为 L 型滤波电路)。

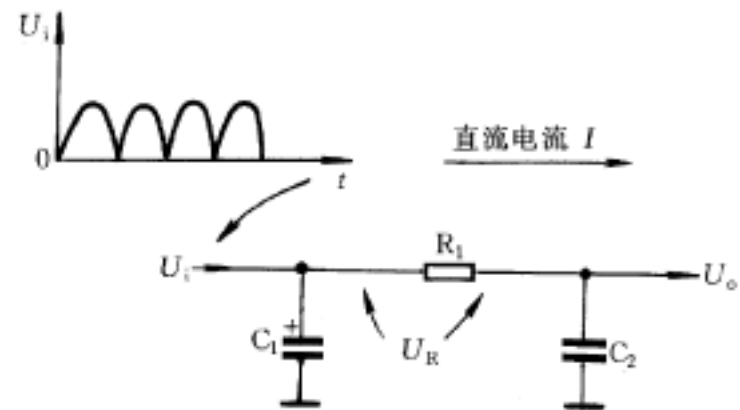


图 5 - 68 型 RC 滤波电路

电阻 R_1 和电容 C_2 的容抗构成一个分压电路,因为 C_2 的容抗很小,所以对交流分量的分压衰减量很大,这样交流分量通过 C_2 流到地端,达到滤波目的。对于直流电而言,由于 C_2 具有隔直

作用,所以 R_1 和 C_2 分压电路对直流不存在分压衰减的作用,这样直流电压通过 R_1 输出。

C_1 是第一只滤波电容,加大它的容量可以提高滤波效果,但是 C_1 的容量太大后,在开机时对 C_1 的充电时间很长,这一充电电流是流过整流二极管的,当充电电流太大、持续时间太长时,会损坏整流二极管,所以采用这种 型 RC 滤波电路时,可以使 C_1 容量略有减小,通过 R_1 和 C_2 来进一步提高滤波效果。

在这种滤波电路中,如果 R_1 阻值大小不变,加大滤波电容 C_2 的容量,可以提高滤波效果;在 C_2 容量大小不变时,加大 R_1 的阻值也可以提高滤波效果。但是,滤波电阻 R_1 的阻值不能太大,因为流过负载的直流电流要流过 R_1 ,见图中电流 I 所示,要在 R_1 上产生直流电压降 U_R ,使直流输出电压 U_o 减小。 R_1 的阻值愈大,或流过负载的电流愈大时,在 R_1 上的电压降愈大,

使直流输出电压 U_0 愈低。

2. 多节 型 RC 滤波电路

图 5 - 69 所示是多节 型 RC 滤波电路。电路中, C_1 、 R_1 和 C_2 构成一节 型 RC 滤波电路, C_2 、 R_2 和 C_3 构成另一节 型 RC 滤波电路。这一电路的滤波原理同前面的单节 型 RC 滤波电路一样。

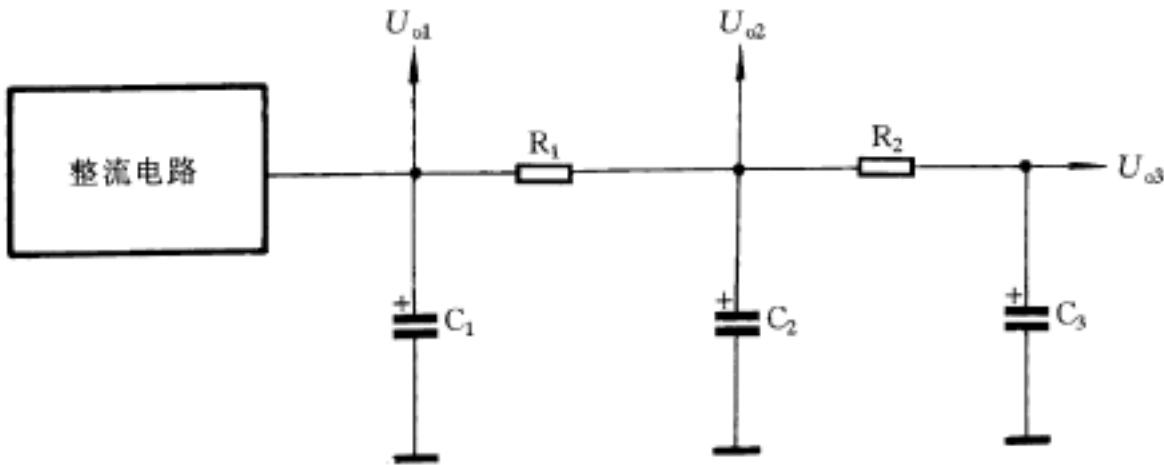


图 5 - 69 多节 型 RC 滤波电路

从电路中可以看出,这一滤波电路中共有三个直流电压输出端,分别输出 U_{o1} 、 U_{o2} 和 U_{o3} 三个直流电压。其中, U_{o1} 只经过电容 C_1 滤波; U_{o2} 则经过了 C_1 、 R_1 和 C_2 电路的滤波,所以滤波效果更好, U_{o2} 中的交流成分更小; U_{o3} 则经过了两节滤波电路的滤波,其滤波效果最好,所以 U_{o3} 中的交流成分最少。

三个直流输出电压的大小是不同的, U_{o1} 电压最高,一般这一电压直接加到功率放大器电路,或加到需要直流工作电压最高、工作电流最大的电路中; U_{o2} 电压稍低,这是因为电阻 R_1 对直流电压存在电压降; U_{o3} 电压最低,这一电压一般供给前级电路作为直流工作电压,因为前级电路的直流工作电压比较低,且要求直流工作电压中的交流成分少。

3. 识图小结

关于这一滤波电路的工作原理,还要说明下列几点。

这种多节 型 RC 滤波电路是整机电路中出现得最多的滤波电路,两节电路不是最多的,可以有更多节这样的滤波电路。

分析这种滤波电路要知道这样几个结论:愈是前节输出的直流电压愈高,当然其中的交流分量就愈多;愈是前节电路中的直流电流愈大,滤波电阻上的压降愈大;愈是前节的滤波电容其容量愈大。

5 5 4 型 LC 滤波电路

1. 电路分析

图 5 - 70 所示是 型 LC 滤波电路。这种 型 LC 滤波电路与 型 RC 滤波电路基本相同,只是将电路中的滤波电阻换成滤波电感,因为滤波电阻对直流电和交流电存在相同的电阻,而

滤波电感对交流电感抗大,对直流电的电阻小,这样既能提高滤波效果,又不会降低直流输出电压。

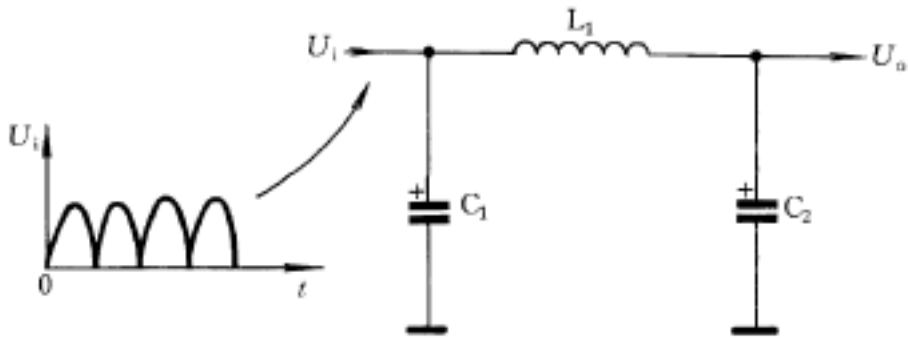


图 5 - 70 型 LC 滤波电路

这一电路的工作原理是这样:整流电路输出的单向脉动性直流电压先经过电容 C_1 滤波,去掉大部分交流分量,然后再加到 L_1 和 C_2 滤波电路中。

对于交流分量而言, L_1 的感抗很大,这样在 L_1 上的交流电压降就大,加到负载电阻 R_l 上的交流分量就小;对直流电而言,由于 L_1 没有感抗,同时滤波电感采用的线径较粗,其直流电阻很小,这样对直流电压基本上没有电压降,所以直流输出电压比较高,这是采用电感滤波器的最大优点。

2. 识图小结

关于这一滤波电路的工作原理,还要说明下列几点。

整机电路中, 型 LC 滤波电路的应用没有 型 RC 滤波电路多,因为电感 L 成本高。

型 LC 滤波电路也可以是多节的,电路工作原理与多节的 型 RC 滤波电路一样。

分析滤波电容工作原理时,主要用电容器的隔直通交特性,或是充电与放电特性,即整流电路输出单向脉动性直流电压时,对滤波电容充电,当没有单向脉动性直流电压输出时,滤波电容对负载放电。

分析滤波电感工作原理时,主要是知道电感器对直流电的电阻很小、无感抗作用,而对交流电存在感抗。

5 5 5 电源电路中的抗干扰电路

交流市网中存在各种各样的有害高频干扰,例如家庭用电器开或关时的干扰,各种电磁波干扰等,这些有害干扰会通过电源变压器窜到电源电路中,然后再窜入整机电路中,从而影响整机电路的稳定工作。例如,照明开关在接通和断开时,音响会发出噪声,电视机的画面会有杂波干扰,这些都是通过电源电路窜入整机电路的干扰。为此,一些电子设备在电源电路中设置了抗高频干扰电路,以消除这些有害的高频干扰。

一般抗高频干扰电路设置在电源变压器初级线圈回路中,或是设置在整流电路中的整流二极管上。

1. 电源变压器抗高频干扰电容电路

图 5 - 71 所示是电源变压器初级线圈回路的抗高频干扰电容电路。电路中, T_1 是电源变

压器, C_1 和 C_2 是抗高频干扰电容。

在一些电源变压器的初级线圈与次级线圈之间接有屏蔽层, 用来抗高频干扰, 但是具有这种屏蔽层结构的电源变压器制作比较烦琐, 成本较高, 为此在电源电路中加入抗高频干扰电路, 从而可以省去电源变压器中的屏蔽层结构。

这一电路的工作原理是这样: 这是抗高频干扰电路。在电源变压器 T_1 的初级线圈中加入了两个小电容 C_1 和 C_2 , 由于 C_1 和 C_2 对高频干扰信号的容抗很小, 这样变压器初级线圈两根进线上出现的各种高频干扰信号被 C_1 和 C_2 分别旁路到地, 而不能加到电源变压器的初级线圈中, 达到抗干扰的目的。

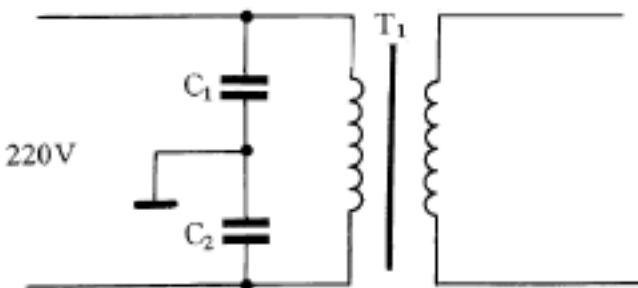


图 5 - 71 电源变压器抗高频干扰电容电路

2. 电源变压器抗高频干扰电感电路

图 5 - 72 所示是电源变压器初级线圈回路的抗高频干扰电感电路。电路中, T_1 是电源变压器, T_2 是抗高频干扰电感器, C_1 和 C_2 是抗高频干扰电容。

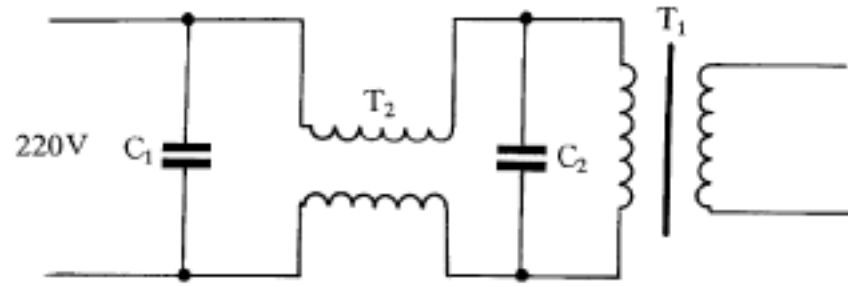


图 5 - 72 电源变压器抗高频干扰电感电路

这一电路的工作原理是这样: C_1 和 C_2 、 T_2 构成抗高频干扰电路, 利用 C_1 和 C_2 对高频干扰信号的容抗小的特性, 将变压器初级线圈两根进线上的各种高频干扰信号短路, 不让这些有害的高频干扰加到电源变压器初级线圈两端, 这样, 高频干扰信号就不能从电源变压器的次级输出, 加到后级电路中。

电路中。

抗干扰线圈 T_2 的两组线圈分别串联在电源变压器初级线圈的两根进线回路中, 由于电感器对高频干扰信号的感抗很大, 这样 T_2 线圈阻止高频干扰信号加到电源变压器的初级线圈上, 达到抗干扰的目的。

3. 整流二极管上的抗高频干扰电容电路

图 5 - 73 所示是整流二极管中的抗高频干扰电容电路。这是全波整流电路, VD_1 和 VD_2 是整流二极管, T_1 是电源变压器, C_1 和 C_2 是抗高频干扰电容 (这两只小电容还有保护整流二极管的作用), C_3 是高频滤波电容, C_4 是电源滤波电容。

电容 C_1 和 C_2 具有抗高频干扰作用的原理是这样: 由于电容 C_1 和 C_2 对来自变压器次级线圈的高频干扰信号其容抗很小, 这样对高频干扰信号而言, C_1 将 VD_1 短路, C_2 将 VD_2 短路, 高频干扰信号不能通过整流二极管的整流, 而直接被滤波电路中的高频滤波电容 C_3 滤波到地端, 达到抗高频干扰的目的。

如果整流二极管 VD_1 和 VD_2 两端不并联小电容 C_1 和 C_2 , 整流二极管会对来自电源变压器 T_1 次级线圈的高频干扰信号进行整流, 整流得到的直流成分要加到整流电路输出端的直流电压中, 这样高频干扰信号就影响了直流输出电压。

电路中小电容 C_1 和 C_2 能够分别保护二极管 VD_1 和 VD_2 的原理是这样: 在刚开机瞬间, 整

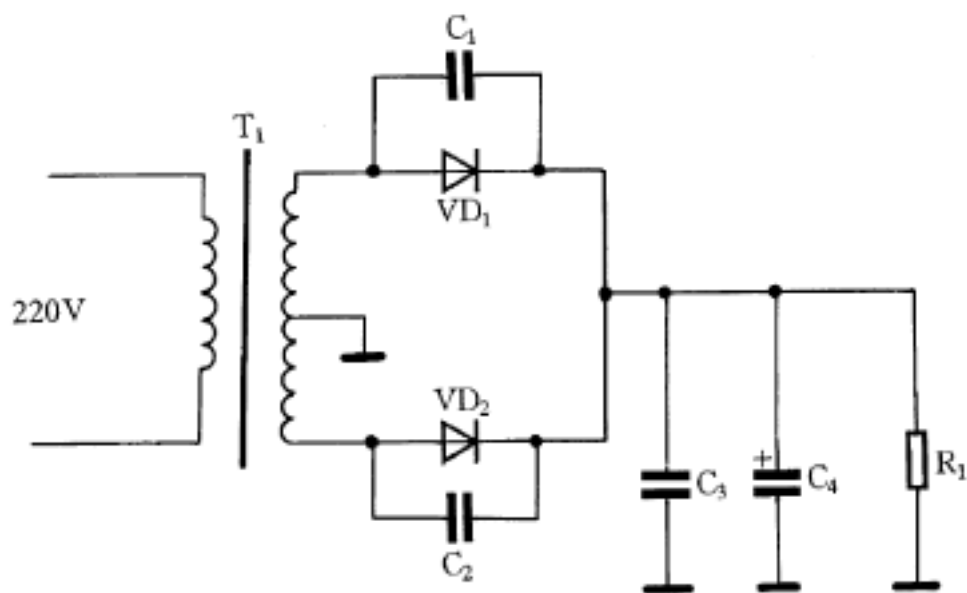


图 5 - 73 整流二极管上的抗高频干扰电容电路

流二极管导通,其导通后的电流对大容量的滤波电容 C_4 充电,由于电容 C_4 中原先无电荷, C_4 两端的电压为 0V,这样刚开机时对 C_4 的充电电流是很大的,且要持续一段时间,而这一大电流是通过整流二极管对电容 C_4 充电的,所以整流二极管中要通过很大的电流,这会有烧坏整流二极管 VD_1 和 VD_2 的危险。

当加入小电容 C_1 和 C_2 后,以 C_1 为例,在刚开机时, C_1 中原先也无电荷,它的两端电压也为零, C_1 相当于成通路,将整流二极管 VD_1 短路。这样,刚开机时的大电流不是通过 VD_1 对电容 C_4 充电,而是通过 C_1 对电容 C_4 充电,这样可以达到保护整流二极管 VD_1 的目的。

电容 C_2 保护整流二极管 VD_2 的原理与 C_1 保护 VD_1 的原理一样。

4. 识图小结

关于这一滤波电路的工作原理,还要说明下列几点。

并不是所有的电源电路中都要设置抗高频干扰电路,但是家用电器的电源电路中一般都要设置这一抗干扰电路。

电源电路中的抗干扰电路主要是抗高频干扰电路,其设置位置主要有三处:一是在电源变压器的进线回路中;二是整流二极管两端;三是在电源变压器初级线圈与次级线圈之间设置屏蔽层。可以同时使用多种抗高频干扰电路,目前主要使用前两种电路。

5 5 . 6 整机电源电路分析

1. 整机电源电路之一

图 5 - 74 所示是一种电源电路。电路中, S_6 是整机交流电源开关, T_1 是电源变压器,11F₃ 是电源变压器初级线圈回路的过流保险丝。11VD₅ ~ 11VD₈ 构成能够输出正、负极性直流电压的全波整流电路,11VD₉ 和 11VD₁₀ 构成另一组正极性的全波整流电路,11A₃ 是 + 12V 的三端稳压集成电路。

降压电路的工作原理是这样:220V 交流电经保险丝 11F₃ 和交流电源开关 S_6 , 加到电源变压器初级线圈。 T_1 只有一组带中心抽头的次级线圈,中心抽头接地,从次级线圈输出降低后

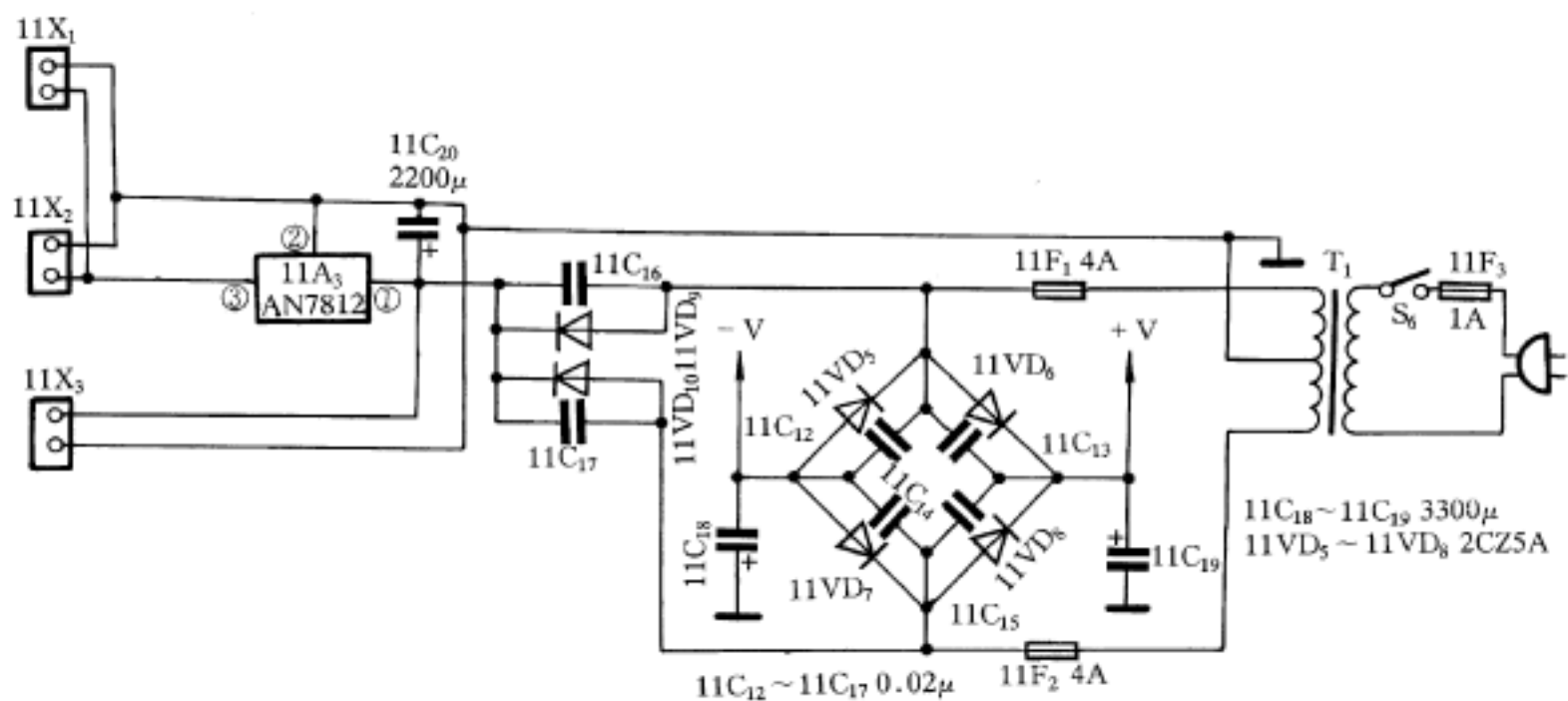


图 5 - 74 整机电源电路之一

的交流电压。

整流电路的工作原理是这样：该电路中有下列三组全波整流电路。

11VD₆ 和 11VD₈ 构成一组全波整流电路，是能够输出正极性直流电压的整流电路。

11VD₅ 和 11VD₇ 构成另一组全波整流电路，是能够输出负极性直流电压的整流电路，这两组正、负极性直流电源对称，即输出的正、负直流电压大小相等。输出的正、负电源（直流工作电压）供给整机电路的功率放大器。

11VD₉ 和 11VD₁₀ 构成另一组全波整流电路，是能够输出正极性直流电压的整流电路，输出的直流工作电压分成两路：一路由接插件 11X₃ 送出，另一路送到 11A₃ 稳压集成电路输入引脚上，其稳压后输出的直流工作电压由接插件送给整机的各部分电路。

电路中，11F₁、11F₂ 是交流低压回路中的保险丝。11C₂₀ 和 11C₁₉ 是正极性直流电源的滤波电容，11C₁₈ 是负极性直流电源的滤波电容。

2. 整机电源电路之二

图 5 - 75 所示是另一种整机电源电路。电路中，3T₁ 是电源变压器，S₁ 是交流电源开关。3VD₆ × 4、3VD₇ × 4 为整流二极管。

电源变压器降压电路的工作原理是这样：220V 交流市电经电源开关、保险丝 3BX₁ 和交流电压选择器，加到电源变压器 3T₁ 的初级线圈上。

电源变压器 3T₁ 共有两组次级线圈。其中一组有中心抽头，供全波电路之用；另一组无抽头，供桥式整流电路用。

整流电路的工作原理是这样：3VD₆ × 4 构成两组能够输出正、负直流电压的全波整流电路，供给主功率放大器电路。1BX₁、1BX₂、2BX₁ 和 2BX₂ 为保险丝。

3VD₇ × 4 四只二极管构成桥式整流电路。3C₁ ~ 3C₄ 是抗高频干扰和整流二极管保护电容，3C₅ 是第一节滤波电容。

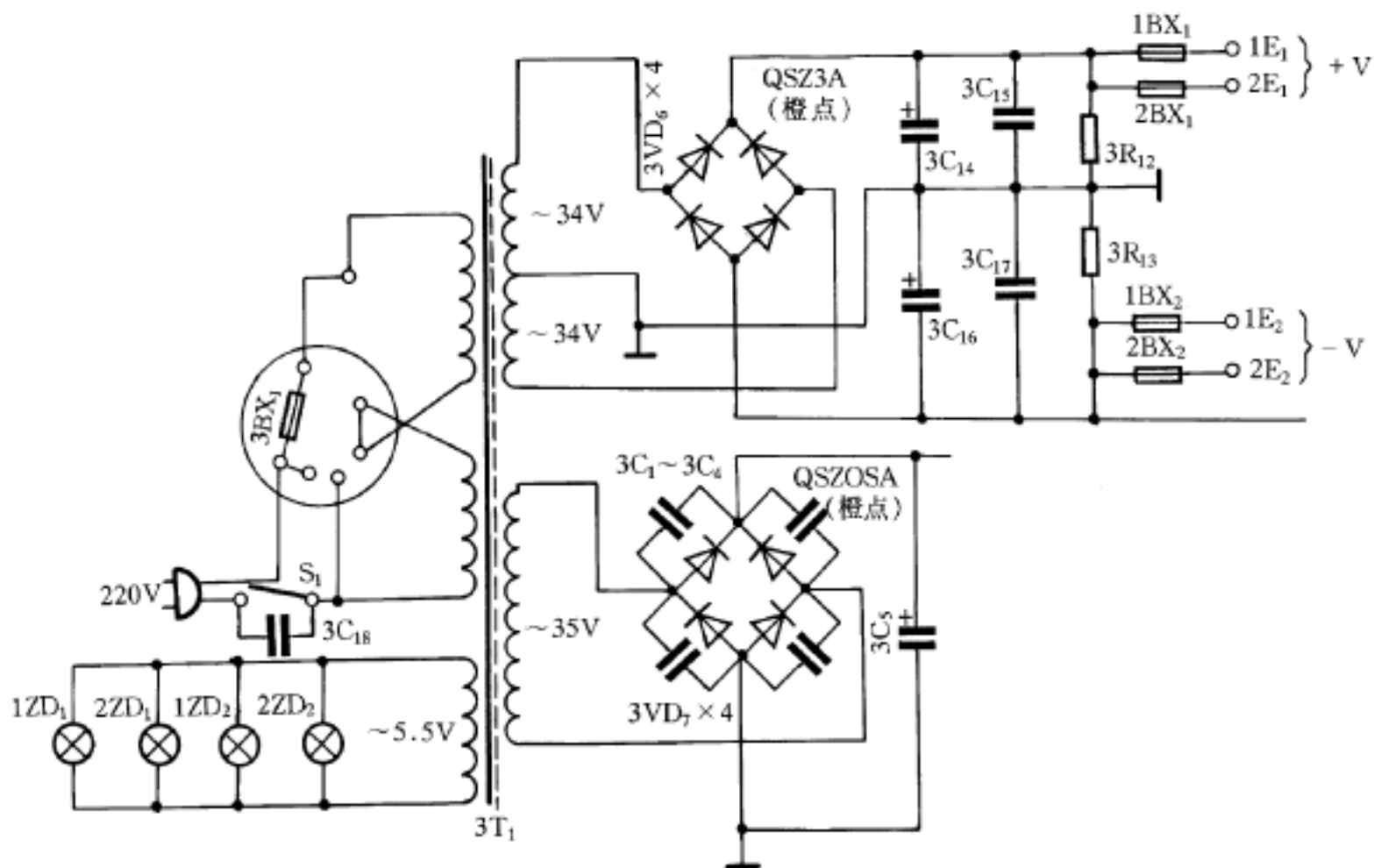


图 5 - 75 整机电源电路之二

3. 识图小结

关于整机电源电路的工作原理分析,还要说明下列几点。

从上述两例整机电源电路分析可知,因为已经分别掌握了交流降压电路、整流电路和滤波电路的工作原理,所以在整机电源电路分析中,只要能够了解各元器件所起的作用,便能看懂这一电源电路的工作原理。例如,电源变压器用来进行交流降压,整流二极管构成桥式或全波整流电路等。

在整机电路图中,通常情况下电源电路部分画在整机电路图的右下方,也有画在左下方的。识别电源电路在整机电路图中的位置,可以用这样的方法:见到电源变压器的电路符号,并且还有多只整流二极管的电路,还有大容量的电容,那么这些元器件所在的电路是电源电路。在分析整机直流电路工作原理时,首先要在整机电路图中找到电源电路。

分析整机电源电路的顺序通常是这样:电源变压器的降压电路(其中包括电源开关电路、抗高频干扰电路)、整流电路、滤波电路。

对电源变压器电路,主要是分析次级线圈有几组,与整流二极管之间构成什么类型的整流电路;对整流电路主要是分析共有几组整流电路,各采用什么类型的整流电路,哪组整流电路输出的直流电压最高,各组整流电路输出的直流电压主要供给整机中的哪些电路;分析滤波电路时主要是了解采用什么类型的滤波电路,如是电容滤波还是电感滤波,找出各滤波电容和滤波电感。

电源电路是为整机各部分电路提供直流工作电压的电路,无论是电路工作原理的分析还是电路故障的检修,电源电路无疑是整机电路中最重要电路,所以对电源电路中各部分单

元电路的工作原理要掌握,并且能够掌握各种单元电路中同功能不同电路结构的变化,本章所介绍的电源电路中,各种单元电路基本上包括了所有的电路变化。

在这里没有介绍电子滤波器电路和稳压电路,因为这两种电路中需要使用晶体三极管,而三极管的内容还没有介绍到。

5.6 稳压二极管、发光二极管、变容二极管、开关二极管及典型应用电路分析

5.6.1 稳压二极管简介

稳压二极管是二极管中的一种,但它的工作特性与普通二极管有着很大的不同。

稳压二极管根据外壳包装材料划分,有金属、玻璃、塑料封装稳压二极管;根据内部结构划分,有普通稳压二极管和温度互补型稳压二极管。

1. 外形特征

图 5 - 76 所示是几种稳压二极管的外形示意图。图 5 - 76(a)所示是一种金属外壳的稳压二极管,图 5 - 76(b)所示是一种功率较大的金属外壳稳压二极管,图 5 - 76(c)所示是塑料封装的稳压二极管,图 5 - 76(d)所示是玻璃封装的稳压二极管,图 5 - 76(e)所示是一种特殊的稳压二极管。

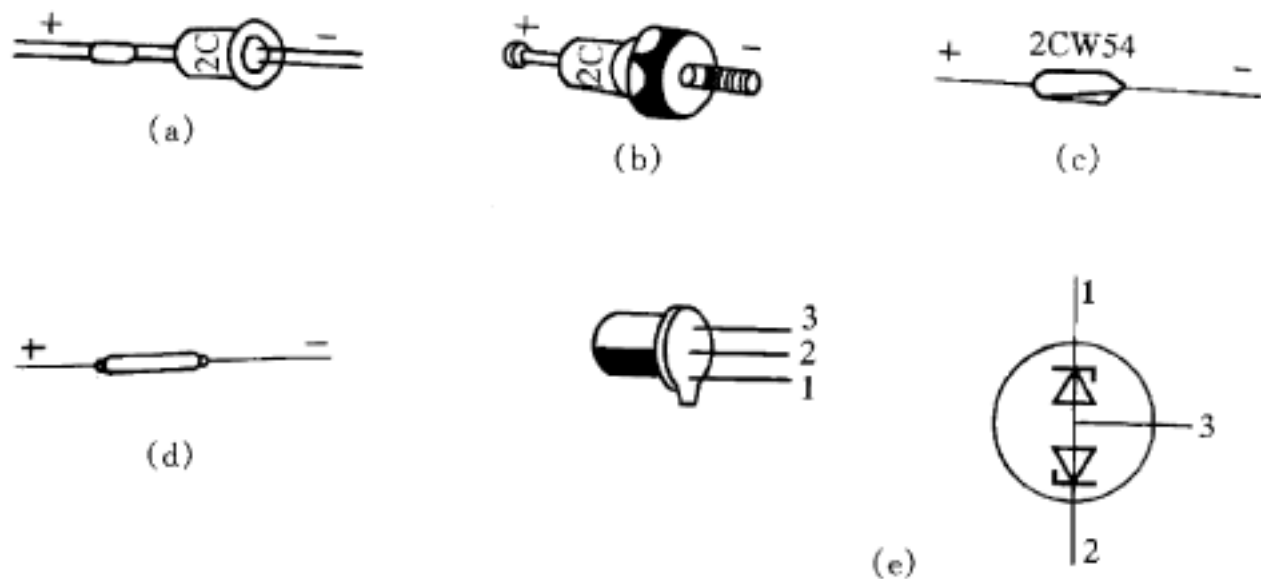


图 5 - 76 几种稳压二极管外形示意图

关于稳压二极管的外形特征,主要说明以下几点。

稳压二极管一般情况下只有两根引脚,在一些特殊的稳压二极管中有三根引脚。无论哪种稳压二极管,它的各引脚有区别,相互之间不能互换使用。

稳压二极管的具体形状有多种,外形同普通二极管基本一样。

稳压二极管的外壳包装材料有金属、玻璃、塑料等多种。

注意,有的三根引脚的稳压二极管外形如同三极管一样。

2. 电路符号

稳压二极管的电路符号在图 5 - 4 所示中已经介绍过,从电路符号可以看出,它与普通二

极管的电路符号基本一样,但也有区别。图 5 - 76(e)所示是一种比较特殊的稳压二极管的电路符号,它是三根引脚的温度互补型稳压二极管,它内部有两只背靠背的稳压二极管,这是一种特殊的稳压二极管,具有温度互补作用。这种稳压二极管在电路中应用时,它的一只稳压二极管处于正向工作状态,另一只处于反向状态,具有温度互补特性。

稳压二极管的两根引脚有极性之分,在电路中当稳压二极管用来进行稳压时,如图 5 - 4 所示电路符号中的右端接高电位,左端接低电位,这一点与普通二极管恰好相反。从稳压二极管电路符号中,可以看出它在正常工作时两个电极上的电压高低。

另外,流过稳压二极管的电流不再是按电路符号中三角形的箭头指示了(普通二极管是这样),而是反向流动,这一点与普通二极管正好相反。

3. 结构和工作原理

稳压二极管的基本结构同普通二极管一样,也是一个 PN 结,但由于制造工艺不同,当这种 PN 结处于反向击穿状态时,PN 结不会损坏(普通二极管的 PN 结会损坏),当稳压二极管用于稳定电压时,就是应用它的这一击穿特性。

为了说明稳压二极管的工作原理和稳压特性,可以用如图 5 - 77(a)所示的 $V - A$ 特性曲线来说明,5 - 77(b)所示是普通二极管的 $V - A$ 特性曲线。

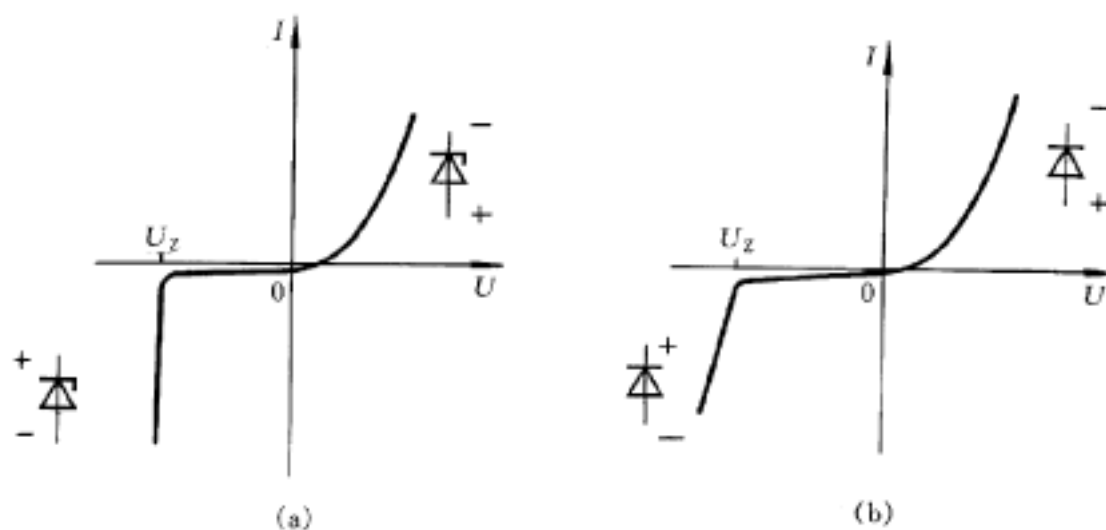


图 5 - 77 稳压二极管 $V - A$ 特性曲线

从图中可以看出,这一特性曲线与普通二极管的 $V - A$ 特性曲线基本一样,但击穿时的曲线更陡、更直。曲线中, X 轴方向表示给稳压二极管加的电压大小, Y 轴方向表示流过稳压二极管的电流大小。

从第一象限的曲线可以看出,它同普通二极管的正向特性曲线一样,此时相当于给稳压二极管 PN 结加上的是正向偏置电压,稳压二极管在稳压运用时不用这种偏置方式。

从第三象限的曲线可以看出下列两点。

当电压大到 U_Z 时,曲线很陡,说明流过稳压二极管的电流在大小变化时,稳压二极管两端的电压大小基本不变。换句话讲,此时当流过稳压二极管的电流变化很大时,稳压二极管两端电压大小的变化量极小,电压是基本稳定的。

U_Z 是稳压二极管的稳定电压值,称为稳压值。

稳压二极管的 PN 结处于反向击穿状态时,只要流过这一 PN 结的工作电流不大于最大稳定电流 I_{ZM} (这一参数的含义在后面介绍),稳压二极管就不会损坏,这一点与普通二极管完全相反。

由前面的分析可知,当采用稳压二极管构成稳压电路时,必须给稳压二极管的 PN 结加上反向偏置电压。如果是加上正向偏置电压时,稳压二极管就像一个正向运用的普通二极管。

普通二极管的 PN 结处于反向击穿状态时,就会从电击穿过渡到热击穿状态,而稳压二极管的工作电流只要不大于最大稳定电流 I_{ZM} ,稳压二极管就不会损坏。由此可见,稳压二极管的这种电击穿是可逆的。在不同的稳压二极管中,这一稳定电压大小不同。

4. 主要参数

稳压二极管的参数比较多,这里只介绍几项主要参数。

稳定电压 U_Z 。

稳定电压 U_Z 就是如图 5 - 77(a)所示曲线中的反向击穿电压 U_Z ,它是指稳压二极管在正常工作(进入稳压状态)时二极管两端的电压大小,用 U_Z 表示。

由于生产过程中的离散性,手册中给出的稳定电压 U_Z 不是一个确定值,而是给出了一个范围,如 7 ~ 8.5V,这一点与其他元器件有所不同。但是,对于一个已经生产出来的具体稳压二极管而言,它的 U_Z 大小是确定的。

最大允许耗散功率 P_M 。

最大允许耗散功率 P_M 是指稳压二极管击穿后,稳压二极管本身所允许消耗功率的最大值。在实际使用中,若超过这一值,稳压二极管将被烧坏。

最大稳定电流 I_{ZM} 。

最大稳定电流 I_{ZM} 是指稳压二极管长时间工作而不损坏时,所允许流过的最大电流值。稳压二极管在实际运用中,工作电流要小于最大稳定电流 I_{ZM} 。

电压温度系数 C_{TV} 。

电压温度系数 C_{TV} 用来表征稳压二极管的稳压值受温度影响的程度和性质,此系数愈小愈好。电压温度系数 C_{TV} 由下式决定

$$C_{TV} = \frac{U - U_Z}{T}$$

式中: T 为温度变化量;

U 为由温度变化量 T 引起的电压变化量;

U_Z 为稳压二极管的稳压值;

C_{TV} 为电压温度系数,一般在 0.05 ~ 0.1 左右。

电压温度系数 C_{TV} 有正、负之分。通常 U_Z 大于 6V 的稳压二极管是正温度系数的,即当温度升高时稳定电压值要升高; U_Z 小于 6V 的稳压二极管是负温度系数的,即当温度升高时稳定电压要减小;对于 U_Z 为 5 ~ 6V 的稳压二极管,其温度系数接近于零。

在一些要求电压温度特性较高的场合下,可采用多种措施来进行温度补偿,如采用如图 5 - 76(e)所示的稳压二极管。这种稳压二极管在工作时,1 和 2 脚不分,内部的两只稳压二极管的性能相同,这两只二极管一只工作在正向,另一只工作在反向,就是说,两个 PN 结一个正向偏置,另一个反向偏置。

PN 结在正向和反向偏置状态下的压降受温度影响的结果相反,即当正向偏置的 PN 结随温度升高而压降增大时,反向偏置的 PN 结则是压降下降,这样,一个压降在增大,另一个压降在减小,这样就可以相互抵消,使两个 PN 结压降之和基本不变,达到温度补偿的目的。

动态电阻 R_Z 。

动态电阻 R_Z 可以从图 5 - 77(a)所示的 $V - A$ 特性曲线看出,在 U_Z 处曲线愈陡,动态电阻 R_Z 愈小,稳压性能就愈好。所以,动态电阻 R_Z 是稳压二极管的一个参数。动态电阻 R_Z 可以用下式定义

$$R_Z = \frac{U}{I}$$

式中: U 为稳压值附近的电压变化量;
 I 为由 V 引起的电流变化量;
 R_Z 一般为几欧至几百欧。

5. 型号命名方法

稳压二极管属于晶体管,所以它的型号命名方法同前面介绍的二极管一样,如 2CW 表示是稳压二极管。通常稳压二极管的特性参数不标注在稳压管外壳上,要通过查晶体管手册才知道,在外壳上只标出型号和正、负极性,但有的稳压二极管在外壳上标出了更多的内容,这里举一例来说明其表示方式。

2	D	D	7	3W	100
二极管	P 型材料	稳压二极管	产品序号	耗散功率 3W	稳压值 100V

6. 主要特性

关于稳压二极管的主要特性说明如下几点。

加到稳压二极管上的电压达到 U_Z 时,稳压二极管击穿,两电极之间的电压大小就基本不变,利用这一特性可以进行稳压。

U_Z 大小受温度变化影响。

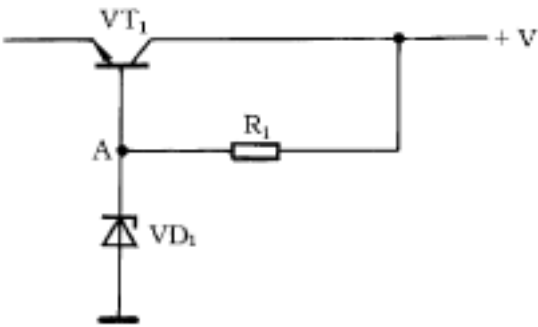
稳压二极管的 PN 结加上正向偏置电压时,它可以作为一个普通二极管使用。

5 . 6 2 稳压二极管典型应用电路分析

1. 稳压二极管构成的稳压电路

图 5 - 78 所示是稳压二极管的典型应用电路。电路中, VD_1 是稳压二极管, R_1 是 VD_1 的限流保护电阻。 VT_1 是晶体三极管。

这一电路中接入稳压二极管是为了稳定电路中 A 点(三极管 VT_1 基极)的直流电压大小。这一稳压电路工作原理是这样:直流工作电压 $+V$ 经电阻 R_1 加到稳压二极管 VD_1 , 由于 $+V$ 大于 VD_1 的稳压值 U_Z , 所以 VD_1 处于击穿状态, VD_1 两端的电压大小不变,即电路中 A 点的电压稳定不变,这样供给三极管 VT_1 基极的直流电压是稳定的。



如果这一电路中没有接入稳压二极管 VD_1 , 当直流工作 图 5 - 78 稳压二极管构成的稳压电路

电压 $+V$ 在大小变化时,通过 R_1 加到 VT_1 管基极的直流电压会大小变化,使 VT_1 发射极输出的直流电压大小也随着 $+V$ 的变化而变化。

电路中, R_1 具有限流保护稳压二极管 VD_1 的作用。电阻 R_1 上的电压降与 VD_1 的稳压值 U_Z 之和等于直流电压 $+V$,由于 U_Z 大小不变,所以当 $+V$ 大小变化时, R_1 上的压降也在大小变化。当 $+V$ 增大时, R_1 上的电压降也在增大;当 $+V$ 减小时, R_1 上的电压降也在减小。通过电阻 R_1 来保证 VD_1 两端的电压不变,这是因为 $+V$ 大小变化时,流过 R_1 的电流大小在变化。

2. 温度互补型稳压二极管应用电路

图 5 - 79 所示是采用温度互补型稳压二极管构成的稳压电路,在一些稳压要求较高的场合下,为了减小由于温度变化对稳定电压的影响(普通稳压二极管的稳压值会随温度变化而有大小变化),可采用这种温度互补型稳压二极管构成稳压电路。 C_1 是滤波电容。

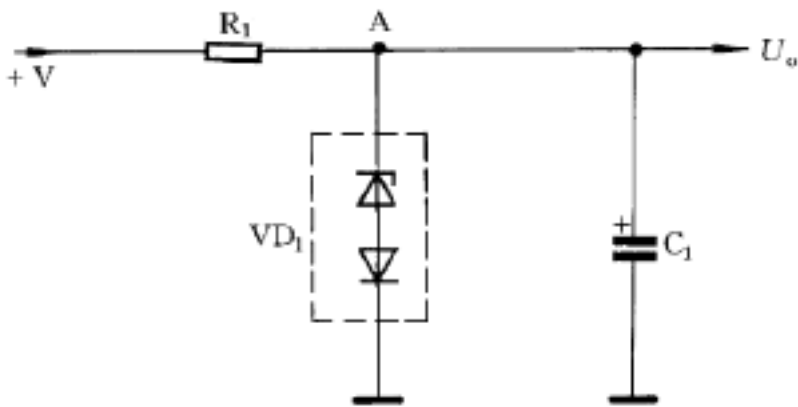


图 5 - 79 温度互补型稳压二极管应用电路

这一电路的工作原理是这样: VD_1 是具有温度互补特性的稳压二极管, R_1 是 VD_1 的限流保护电阻。从 VD_1 的电路符号中可以看出,它内部有两只二极管,一只是普通稳压二极管,另一只是普通二极管,这两只二极管的温度特性相反,当温度升高或下降时,一只二极管的管压降下降,另一只二极管的管压降升高,这样两只二极管总的管压降保持不变,达到温度补偿的目的。

这一稳压电路与上一种稳压二极管稳压电路的工作原理相同,但由于采用了温度互补型稳压二极管,所以电路中 A 点的直流电压随温度变化而产生的电压波动很小。

3. 稳压二极管构成的限幅保护电路

图 5 - 80 所示是采用稳压二极管构成的限幅保护电路。电路中, A_1 是集成电路, 脚和 脚是它的两个输出引脚, U_{o1} 和 U_{o2} 是两个输出信号电压。 VD_1 和 VD_2 是两只稳压二极管, R_1 和 R_2 分别是两只稳压二极管的限流保护电阻。

这一电路中稳压二极管的作用,是防止输出信号电压 U_{o1} 和 U_{o2} 幅度大于某一值,即防止大于稳压二极管的稳压值 U_Z ,以保护后级电路不被大信号所损坏。

从电路中可以看出,集成电路 A_1 的 脚和 脚输出电压加在 VD_1 和 VD_2 上,当输出电压小于 VD_1 和 VD_2 的稳压值 U_Z 时,稳压二极管不能处于击穿状态, VD_1 和 VD_2 相当于开路,对输出信号电压没有任何影响,所以输出信号没有受到限幅。

当输出信号电压的幅度大于 U_Z 值时,稳压二极管击穿,将输出信号限幅,输出信号中超过 U_Z 值的部分被稳压二极管限幅,达到限幅保护目的。输出信号 U_{o1} 由 VD_1 来限幅,输出信号 U_{o2} 由 VD_2 来限幅。

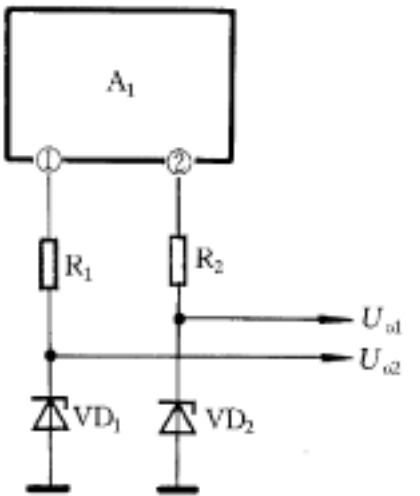


图 5 - 80 稳压二极管构成的限幅保护电路

这一电路中 VD_1 和 VD_2 也各有一个限流保护电阻,它们分别是电阻 R_1 和 R_2 。

这一电路中设置限幅电路主要是为了防止 脚或 脚输出信号电压太大,这一输出信号电压太大时会损坏下一级电路中的元器件。只要选取适当大小 U_Z 的稳压二极管,就能保证输入下一级电路中的信号幅度不大于某一值(这一值等于 U_Z)。

4. 识图小结

关于稳压二极管应用电路分析,主要说明以下几点。

当稳压二极管用于直流电压供给电路中时,它用于稳压的目的,稳压二极管两端的直流电压加到放大器电路中。这种应用电路中的稳压二极管始终处于击穿状态。

当稳压二极管用于限幅电路中时,加到稳压二极管两端的电压不是直流电压,而是交流信号电压。在这种电路中的稳压二极管,只在大信号出现时才处于击穿状态。

无论在哪种应用电路中,均要有一只限流保护电阻与稳压二极管串联,当流过稳压二极管中的电流在大小变化时,在这一电阻上的压降大小也在变化,以保证稳压二极管两端的电压大小不变。

比较前面两种稳压二极管构成的稳压电路后可知,它们的电路结构相同,但由于采用了具有不同特性的稳压二极管,其电路中 A 点直流电压的稳定性能不同,分析出不同点主要是靠了解两只稳压二极管的特性不同,否则就无法搞清楚这里的不同之处,所以对各种元器件特性的了解对电路分析是非常重要的。

5.6.3 发光二极管

发光二极管也是二极管中的一种,广泛用于各种指示器电路中作为指示器件。

发光二极管分成可见光和非可见光两大类,这里主要介绍前者。可见光发光二极管的种类较多,简单分类如下。

按照材料划分,主要有磷化镓(GaP)发光二极管、磷砷化镓(GaAsP)发光二极管和砷铝镓(GaAlAs)发光二极管。

按照发光颜色划分,常用的有红色、绿色、黄色发光二极管。

按照发光颜色是否改变划分,有单色、双色、三色发光二极管。

按照封装及外形划分,有圆柱形、矩形和组合形等发光二极管。

1. 外形特征

图 5 - 81 所示是几种常见发光二极管的外形示意图。

图 5 - 81(a)所示是金属底座的发光二极管。

图 5 - 81(b)所示是塑料封装的发光二极管。

图 5 - 81(c)所示是陶瓷底座的发光二极管。

图 5 - 81(d)所示是组合型的发光二极管。

图 5 - 81(e)所示是变色的发光二极管。

关于发光二极管的主要特征,说明以下几点。

单色发光二极管只有两根引脚,这两根引脚同普通二极管一样,也有正、负极之分。

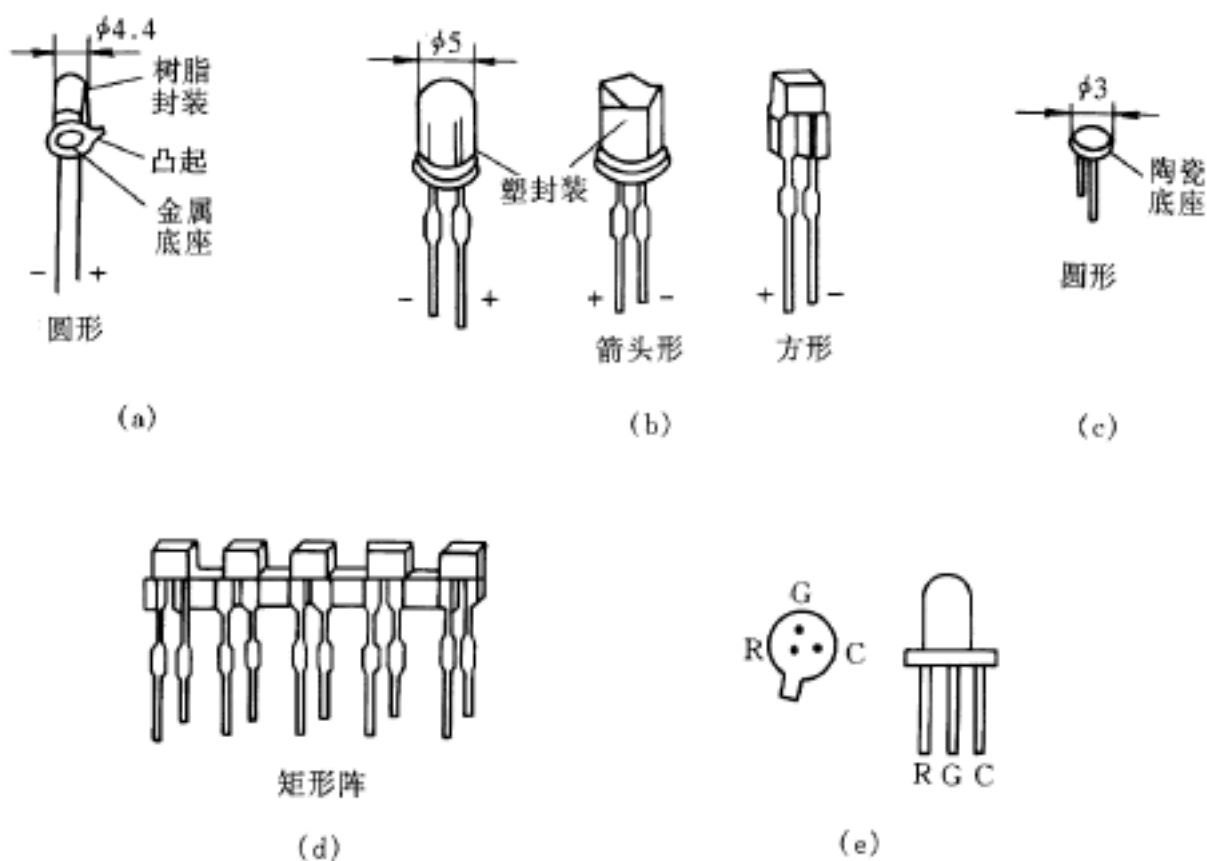


图 5 - 81 几种常见发光二极管的外形示意图

单色发光二极管的外壳颜色表示了它的发光颜色。发光二极管的外壳是透明的。根据图示的外形示意图,可以方便地识别出发光二极管。

2. 电路符号

图 5 - 82 所示是几种发光二极管的电路符号,从这些电路符号中可以看出,它们与普通二极管的电路符号基本相同,但用箭头来表示这种二极管能够发光。

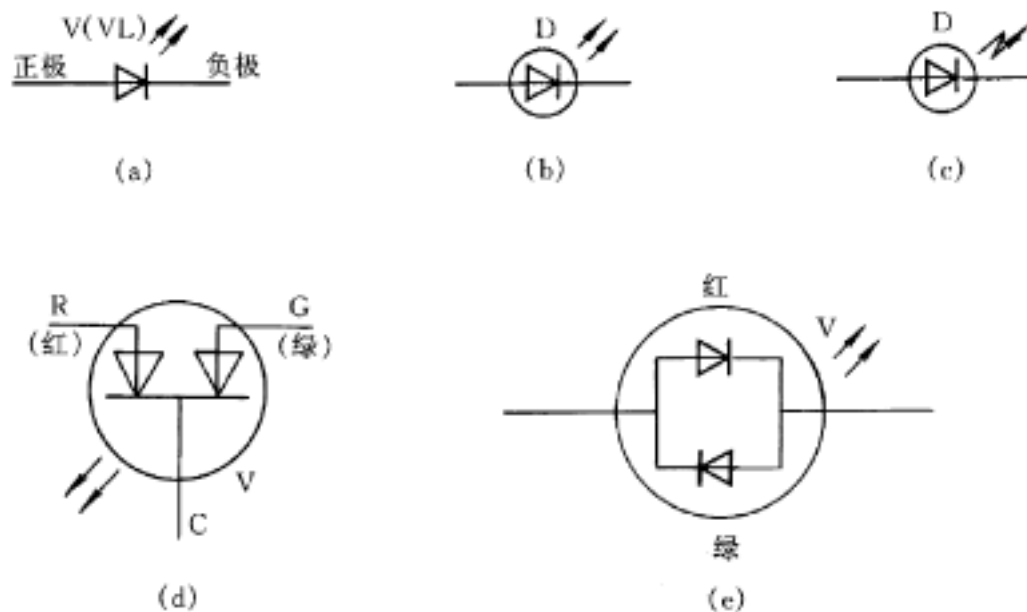


图 5 - 82 几种发光二极管的电路符号

图 5 - 82(a)所示是最新规定的发光二极管电路符号,电路符号中的箭头用来表示这种二极管能够发光。

图 5 - 82(b)和(c)所示是过去采用的发光二极管电路符号。

图 5 - 82(d)所示是三色发光二极管的电路符号,在同一个管壳内装有两只不同颜色的发

光二极管,当两只二极管同时发光时,利用两种光的空间混合,会产生出第三种发光颜色。

图 5 - 82(e)所示是双色发光二极管电路符号,在一个管壳内也是装了两只不同颜色的发光二极管。

关于发光二极管的电路符号,还要说明以下几点。

发光二极管有正、负极之分,这一点在电路符号中已经表示出来,分辨方法同普通二极管相同。

从发光二极管的电路符号中,可以看出是单色还是多色的发光二极管。

现在,发光二极管的电路符号用 V 或 VD 表示,过去则用 D 或 LED 表示,LED 是英语 Light Emitting Diode 的缩写,意为发光二极管。

3. 结构和工作原理

发光二极管同普通二极管一样,也是一个 PN 结的结构,所以它的两根引脚有正极和负极之分,当它正常工作时,正极上的电压要高于负极上的电压。

给普通二极管加上正向偏置电压之后,二极管导通。在给发光二极管加上足够的正向偏置电压之后,由于材料和工艺的不同,在空穴和电子复合时释放出的能量主要是光能,这就是发光二极管能够发光的原因。

发光二极管发出的光能可以在可见光谱内,也可以在非可见光谱内,如红外发光二极管。前者用来作为各种指示器件,后者用来作为红外遥控器中的发射器件。

4. 电参数

发光二极管的参数分成三大类:一是电参数,二是光参数,三是极限参数。

发光二极管的电参数主要有下列几项。

正向电压 U_F 。它是指,在给发光二极管加入规定的正向电流时,发光二极管正极与负极引脚之间的电压降。

反向耐压 U_R 。它是指,保证发光二极管不出现反向击穿所允许给发光二极管加的最大反向电压大小。

反向漏电流 I_R 。它是指,在给发光二极管加上规定的反向偏置电压时,流过发光二极管的反向电流大小,即从负极流向正极的电流。

结电容 C_o 。它是指发光二极管 PN 结的结电容,一般小于 100pF,此结电容愈小愈好。

5. 光参数

发光二极管的光参数主要有发光峰值波长 λ_p 、半峰宽度 $\Delta\lambda$ 和发光强度 I_v 。其中, I_v 是发光二极管的一项重要光参数,它表征了发光二极管在发光时的亮度。

6. 极限参数

发光二极管的极限参数关系到发光二极管的安全使用,在使用过程中若超过极限参数,发光二极管将会损坏。发光二极管的极限参数主要有两项:一是极限功率 P_M ,二是极限工作电流 I_M 。在小电流发光二极管中,极限电流一般小于 5mA。

发光二极管的三种参数中,除光参数是它特有的外,其他两项参数的含义同普通二极管相

同。

7. 表示方法

国产发光二极管的型号共有 6 项,如下所示:

FG	× 1	× 2	× 3	× 4	× 5 × 6
—	—	—	—	—	—
字头符号	表示材料	表示颜色	表示封装形式	表示外形	表示产品序号
第一项用 FG 表示半导体发光二极管,FG 是汉语拼音发光的缩写。					
第二项用数字表示发光二极管的材料,用 1 表示磷化镓(GaP)发光二极管,用 2 表示磷砷化镓(GaAsP)发光二极管,用 3 表示砷铝镓(GaAlAs)发光二极管。					
第三项用数字表示发光二极管的发光颜色,用 1 表示红色,2 表示橙色,3 表示黄色,4 表示绿色,5 表示蓝色,6 表示变色。					
第四项数字表示发光二极管封装形式,1 表示无色透明,2 表示无色散射,3 表示有色透明,4 表示有色散射透明。					
第五项用数字表示发光二极管外形,0 表示圆形,1 表示方形,2 表示符号形,3 表示三角形,4 表示长方形,5 表示组合形,6 表示特殊形。					
第六项用数字表示产品的序号。					
例如:某型号发光二极管为 FG112001,它表示是圆形、无色散射、红色的磷化镓发光二极管。					
发光二极管也用 2EF × × × 型号表示,如 2EF102、2EF112。					

8. 识别方法

为了不影响发光二极管的正常发光,在外壳上不标出型号和极性。根据外形特征可以识别发光二极管各引脚。

如图 5 - 81 所示的各种发光二极管。图 5 - 81(a)所示的发光二极管底座上有一个凸键,靠此键最近的一根引脚为正极。图 5 - 81(b)所示的发光二极管,它的两根引脚一长一短,长的一根是正极。图 5 - 81(e)所示的发光二极管,它共有三根引脚,根据它的外形示意图,可以方便地确定各引脚。

9. 主要特性

关于发光二极管的特性,主要说明以下几点。

伏 - 安(V - A)特性。当加到发光二极管上的正向电压大到一定程度时,才有电流流过发光二极管。并且,当加到发光二极管两端的正向电压愈大时,流过发光二极管的电流愈大。一般发光二极管的正向电压为 1.5 ~ 3V,这一电压降比普通二极管大得多。

小电流发光二极管的反向击穿电压很小,约为 6V 至十几伏,比普通二极管要小。

正向和反向电阻。发光二极管也有正向和反向电阻,它的这两个电阻均比普通二极管大得多,了解这一点对检测发光二极管质量是重要的。

工作电流与发光相对强度。对于红色发光二极管而言,正向工作电流增大时,发光相对强度也在增大,但当工作电流大到一定程度后,发光相对强度趋于饱和。

对于绿色发光二极管而言,也是工作电流增大,发光相对强度增大,但没有饱和的现象。

发光强度与环境温度的关系。温度愈低,发光强度愈大。当环境温度升高后,发光强度将明显下降。

最大允许工作电流与环境温度的关系。当环境温度大到一定程度之后,最大允许工作电流迅速减小,最终为零。这说明在环境温度较高的场合下,发光二极管更容易损坏,这也是发光二极管怕烫的原因。

5.6.4 发光二极管典型应用电路分析

1. 采用发光二极管构成的电源指示灯电路

现代电子电器、家用电器中,大量采用发光二极管作为电源指示灯,图 5-83 所示是采用发光二极管构成的电源指示灯电路。电路中,VD₁ 是发光二极管,它作为电源指示灯。S₁ 是电源开关,R₁ 是发光二极管 VD₁ 的限流保护电阻。

采用发光二极管作为指示器件具有许多优点,如发光醒目、耗电小、指示颜色可变等。

电路中,当发光二极管 VD₁ 发光时,表示电路中已有了直流工作电压;当 VD₁ 不发光时,表示电路中没有直流电压。

这一电路工作原理是这样:电源电路输出的是直流电压。当电源开关 S₁ 接通后,这一直流电压经 S₁ 和 R₁ 加到 VD₁ 的正极上,VD₁ 的负极直接接地,这样,给 VD₁ 加的是正向偏置电压,有电流流过发光二极管 VD₁,所以 VD₁ 发光指示,表明电路中有正常的直流电压。

当电源开关 S₁ 断开时,由于直流电压不能加到 VD₁ 上,所以没有电流流过 VD₁,VD₁ 不能发光,这表明电路中没有直流电压。

当电源电路输出的直流工作电压变大或变小时,流过 VD₁ 的电流大小也有相应的变化。当直流工作电压变大时,流过 VD₁ 的电流在增大,所以 VD₁ 发出的光更强;当直流工作电压变小时,流过 VD₁ 的电流变小,所以 VD₁ 发出的光比较弱。

由此可知,这一电源指示灯电路不仅能够指示是否有电源电压,还能指示电源电压的大小情况,对于采用电池供电的机器,这一指示功能更实用,当 VD₁ 发光强度不足时,说明电池的电压已经不足。

电路中,R₁ 是 VD₁ 的限流保护电阻,用来防止由于直流工作电压变得太大而损坏 VD₁。它的保护原理是这样:当直流工作电压增大时,流过 VD₁ 的电流在增大。由于 VD₁ 和 R₁ 是串联的,这样流过 R₁ 的电流也在增大,在 R₁ 上的电压增大,使加到 VD₁ 上的电压增大量有所减小,不会使 VD₁ 的工作电流太大,达到保护 VD₁ 的目的。

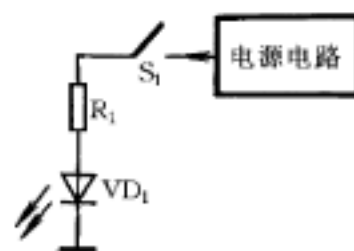


图 5-83 采用发光二极管构成的电源指示灯电路

2. 采用三色发光二极管构成的多功能指示电路

图 5-84 所示是采用三色发光二极管构成的指示电路,这也是一个电源指示灯电路,它能指示电源供电的三种状态。

电路中,VD₁ 是三色发光二极管,R₁ 和 R₂ 分别是 VD₁ 内部两只红色和绿色发光二极管的

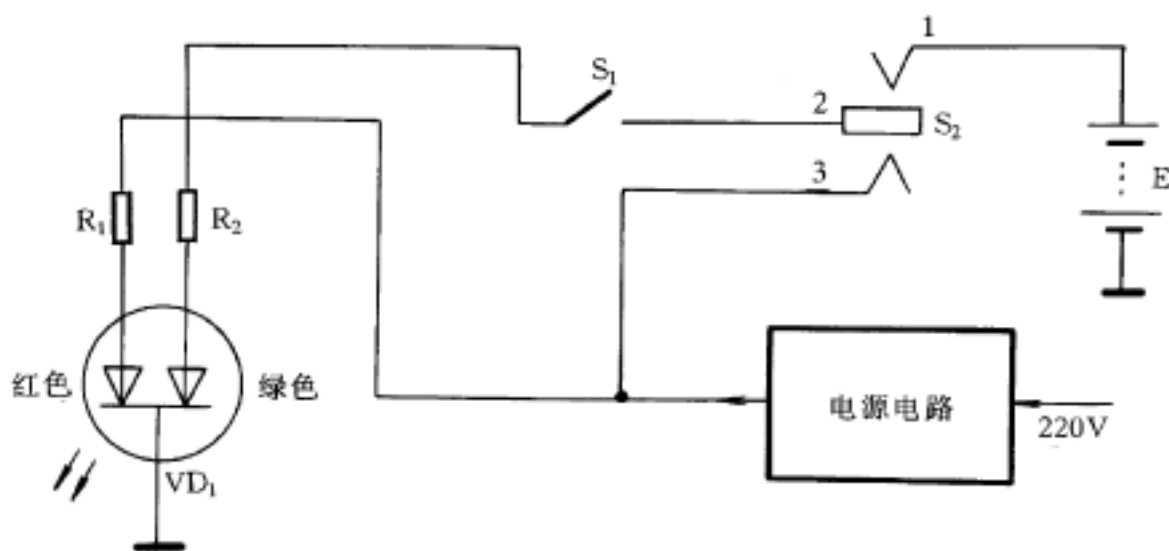


图 5 - 84 采用三色发光二极管构成的多功能指示电路

限流保护电阻, S_1 是直流电源开关, S_2 是交、直流电源转换开关, E 是电池。

分析这一电路工作原理时,首先要了解该电路共有下列三种电源供电指示状态。

采用交流供电,但直流电源开关 S_1 未接通。

采用交流电源供电,直流电源开关 S_1 已接通。

采用电池供电,开关 S_1 已接通。

当采用交流电源供电时,交、直流转换开关 S_2 处于 2、3 接通状态,此时 S_2 的 2 与 1 之间断开,电池 E 的电压不能加到 VD_1 上;在交流供电时,直流开关 S_1 处于断开状态,虽然 S_2 的 2 与 3 之间接通,但由于 S_1 断开,所以 VD_1 中的绿色发光二极管上无电压,它不能发光。从整流、滤波电路输出的直流电压直接经 R_1 加到 VD_1 的红色发光二极管上,这样红色发光二极管发光。

由此可知,当 VD_1 发出红色光时,表示电源电压是由交流电源提供的,同时直流电源开关 S_1 处于断开状态。这种指示状态的作用是,说明机器已经接上交流电源了,但直流电源开关未接通,长时间不用机器时,要去掉机器交流电源线。

在交流供电且 S_1 处于接通状态时,在上述电路工作的基础上,由于 S_1 接通,电源电路输出的直流电压经 S_1 和 R_2 也加到 VD_1 的绿色发光二极管上,这时 VD_1 中的两只发光二极管同时发光,一个为红色光,一个为绿色光,利用空间混色原理(两种光的合成)可知,此时 VD_1 发出橙色光。

由此可知,当 VD_1 发出橙色光时,说明机器处于交流供电且直流电源开关已经接通的状态。

采用电池供电时,交、直流转换开关 S_2 处于 2 与 3 断开、1 与 2 接通的状态,此时没有交流电压加到电源电路中,所以这一电路也无直流电压输出。电池电压经 S_2 的 1 与 2、 S_1 和 R_2 加到 VD_1 的绿色发光二极管上,此时只有绿色一只发光二极管发光,所以 VD_1 发出的是绿色光,这说明机器处于电池供电且直流电源开关接通的状态。

从上述电路分析可知,当采用不同电源供电时,电源指示灯 VD_1 会发出不同颜色的光,这种电源指示电路的功能比前一种电源指示灯电路所指示的功能更加具体。

3. 单级发光二极管电平指示器电路

电平指示器电路在音响设备中广泛应用,它用来指示信号电平的大小,图 5 - 85 所示是一

种最简单的发光二极管电平指示器电路。电路中,只用了一只发光二极管 VD_1 ,所以称为单级发光二极管电平指示器电路。

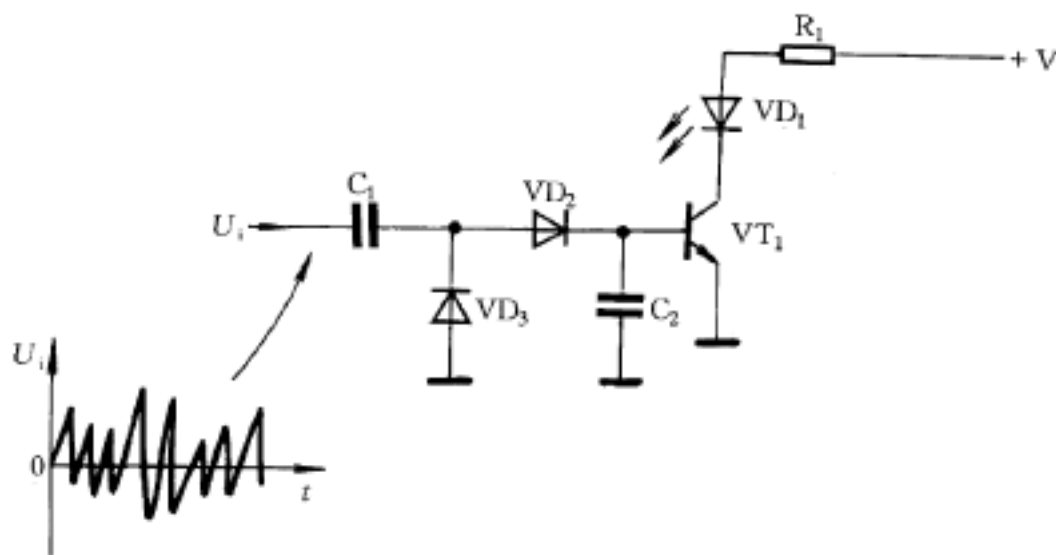


图 5 - 85 单级发光二极管电平指示器电路

电路中, VD_1 是发光二极管, R_1 是它的限流保护电阻, VT_1 是 VD_1 的驱动、放大管, C_1 是输入端耦合电容, C_2 是滤波电容, U_i 是这一指示器电路的交流输入信号, $+V$ 是这一电路中的直流工作电压。

这一电路工作原理是这样:从图中可以看出, VT_1 没有静态偏置电流,但集电极通过 R_1 和 VD_1 加有正电压,要使 VT_1 管导通,还必须使 VT_1 管的基极上有大于发射极的电压。

输入信号 U_i 是一个交流信号,通过耦合电容 C_1 加到由 VD_3 和 VD_2 构成的倍压整流电路,经整流和 C_2 滤波后获得直流电平,该直流电平加到 VT_1 管基极。当输入信号 U_i 比较大时,整流、滤波后的直流电平使 VT_1 管基极电压大于地端(发射极电压),这样 VT_1 管有正向偏置电压而处于导通放大状态,有基极电流,有集电极电流。

VT_1 管集电极电流是由直流电压 $+V$ 提供的,这一电流的回路是这样: $+V \rightarrow R_1 \rightarrow VD_1$ 正极 VD_1 负极 VT_1 集电极 VT_1 发射极 地端。由于 VT_1 管集电极电流流过发光二极管 VD_1 ,所以 VD_1 发光指示。

因为输入信号电压 U_i 是一个大小在变化的交流信号,它引起 VT_1 管基极电流的大小变化,并引起集电极电流的大小变化,使流过 VD_1 的电流在大小变化。当流过 VD_1 的电流比较大时, VD_1 发光亮;当流过 VD_1 的电流比较小时,它发光比较暗。输入信号愈大,流过 VD_1 的电流就愈大, VD_1 发光愈亮。

这样,通过 VD_1 的发光强弱变化可以知道输入信号的大小,达到指示信号电平大小的目的。当然,根据 VD_1 发光强度的变化判断输入信号大小是粗略的。

4. 识图小结

关于发光二极管电路分析,主要说明以下几点。

发光二极管电路主要有两种形式:一是用于直流电路中,流过发光二极管的电流是由直流电压直接供给的,流过发光二极管的电流大小是不变的,这样发光二极管的亮度不变化;二是用来指示交流信号电平,此时直流电压供给发光二极管所需要的直流电流,但流过发光二极管的电流大小是由输入信号电平大小通过驱动三极管决定的,因为输入信号电平大小在变化,所以发光二极管的发光亮度是在变化的。

在分析电源指示灯电路中的发光二极管电路时,只要分析发光二极管所在电路是成回路的即可。对于电平指示器电路而言,要分析发光二极管驱动管的工作原理,即该管受输入信号控制时的导通与截止变化。没有输入信号时,发光二极管不能发光指示。

在具有驱动管的发光二极管应用电路中,当驱动管处于截止状态时,因为三极管没有集电极电流,所以发光二极管不能发光;当驱动管导通时,有集电极电流,这一电流是流过发光二极管的,所以它能够发光。驱动管集电极电流愈大,发光二极管发光愈亮,这是各电平指示器电路的共性。

在分析变色发光二极管应用电路时,要分清什么条件下使什么颜色的发光二极管导通。在这类发光二极管电路中,在每种颜色的发光二极管回路中都有一只开关,用来控制该发光二极管是否应该发光。

5.6.5 变容二极管

变容二极管是二极管中的一种,它的特点是二极管 PN 结的结电容比较大,利用这一特性,将变容二极管作为一个可变电容器来使用,不过变容二极管的结电容是很小的。

1. 外形特征

图 5 - 86 所示是四种变容二极管的外形特征示意图。

关于变容二极管的外形特征,主要说明下列几点。

变容二极管共有两根引脚,这两根引脚可以轴向伸出,也可以两根引脚平行伸出。

变容二极管体积不大,通常比普通二极管体积还要小。

变容二极管有半球形的、圆柱形的和方形的。

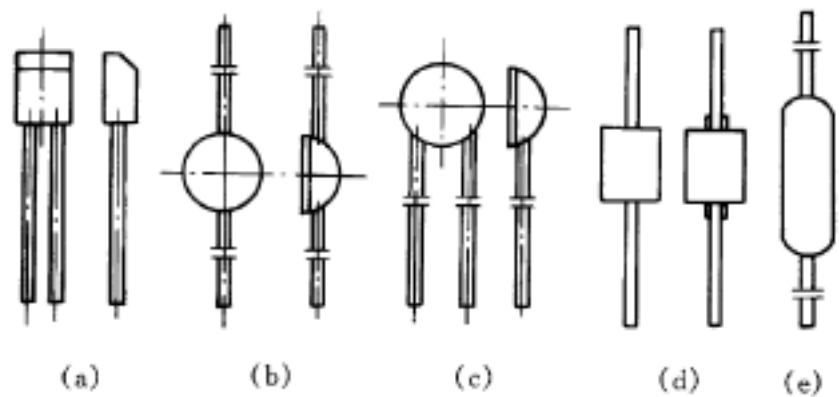


图 5 - 86 四种变容二极管的外形特征示意图

2. 电路符号

图 5 - 87 所示是几种变容二极管的电路符号。其中,图 5 - 87(a)所示是最新规定的电路符号,电路符号中,用大写字母 VD 表示变容二极管,从电路符号中可以看出,有一个电容的符号,这用来表示是变容二极管,比较形象,便于记忆。图 5 - 87(b) ~ (f)所示是过去采用的几种变容二极管电路符号,用大写字母 D 表示。

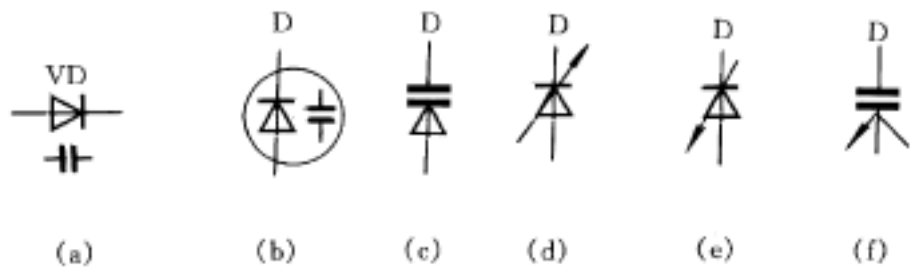


图 5 - 87 几种变容二极管的电路符号

3. 种类

变容二极管按照 PN 结的结构和结面附近杂质的分布情况不同,可以分成缓变结、突变结和超变结三种类型,图 5 - 88 所示是这三种变容二极管的电压—容量特性曲线,图中 X 轴方向为变容二极管上的反向偏置电压, Y 轴方向为结电容。

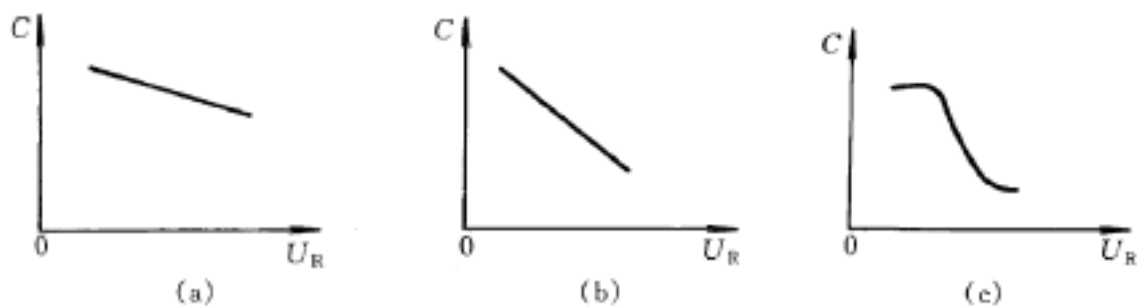


图 5 - 88 三种变容二极管的电压—容量特性曲线

图 5 - 88(a)所示是缓变结型的变容二极管,从图中可以看出,结电容随反向偏置电压的不同而不同,变化比较缓慢。

图 5 - 88(b)所示是突变结型的变容二极管,从图中可以看出,结电容随反向偏置电压的不同而不同,变化比较迅速。

图 5 - 88(c)所示是超变结型的变容二极管,从图中可以看出,结电容随反向偏置电压的不同而不同,变化出现突变现象。

从上述三种变容二极管的电压—容量特性曲线中可以看出,它们的结电容随反向偏置电压的增大而减小,但各种类型变容二极管的结电容容量变化速率是不同的,缓变结的最慢,超变结的最快。

4. 结构和工作原理

变容二极管也是一个 PN 结的结构,为了获得较大的结电容,变容二极管做成面接触型或阶梯接触型,以扩大接触面,增大结电容。

变容二极管在正常时工作在反向偏置状态,即负极上的电压大于正极上的电压。当反向偏置电压增大时,PN 结的阻挡层变厚,相当于电容器两极板之间的距离增大,这样结电容下降,反向偏置电压愈大,结电容愈小。

5. 主要参数

变容二极管的主要参数有下列几项。

品质因数 Q 。变容二极管的等效电路如图 5 - 89(a)所示,它由电阻 R 和电容 C 构成,电阻 R 由二极管材料等因素决定, C 为结电容,品质因数 $Q = 1 / (2 \pi f R C)$,要求 Q 值必须足够的大。

截止频率 f_c 。当频率增高时, Q 值要下降,当 Q 值下降到 1 时的频率为截止频率,图 5 - 89(b)所示是变容二极管频率与 Q 值之间的关系特性曲线。

变容二极管除上述特性外,还有最高反向电压、最大允许功耗等。

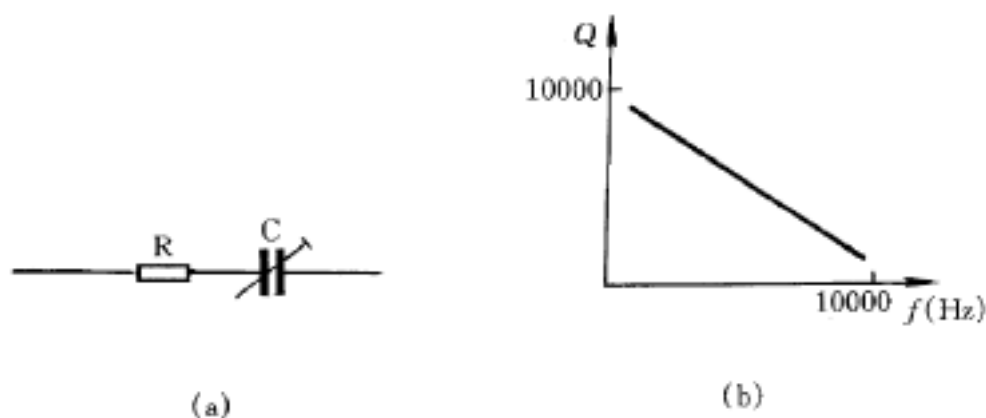


图 5 - 89 变容二极管等效电路

5.6.6 变容二极管典型应用电路分析

1. 电调谐电路

图 5 - 90 是采用变容二极管构成的电调谐电路,这种电调谐电路主要用于彩色或黑白电视机的电调谐高频头电路中。

电路中, L_1 和 C_1 、 C_2 、 VD_1 构成一个 LC 并联谐振电路。变容二极管两根引脚之间相当于一个可变电容,它与电容 C_2 串联之后再与电容 C_1 并联,然后与电感线圈 L_1 构成一个 LC 并联谐振电路。 VT_1 是三极管, U_i 是一个电压范围可变的直流电压 ($0 \sim 30V$),作为变容二极管的控制电压。

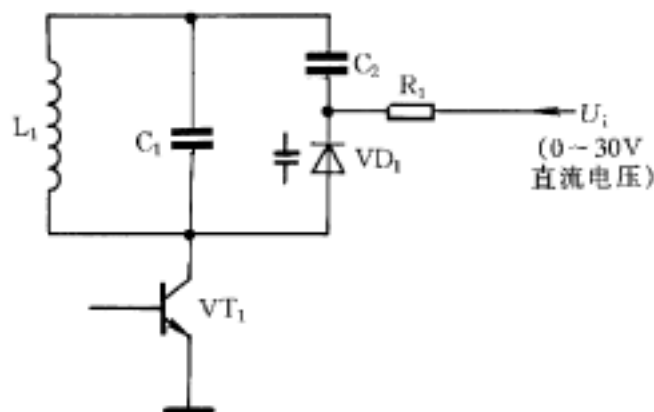


图 5 - 90 电调谐电路

这一电路的工作原理是这样:电路中,可变的直流电压通过电阻 R_1 加到变容二极管 VD_1 ,给 VD_1 加上反向偏置电压,当这一直流电压大小在改变时,变容二极

管 VD_1 的容量在大小改变,这一电容与 C_2 串联之后再与电容 C_1 并联,因此总电容在大小改变,这样,这一 LC 并联谐振电路的振荡频率在改变,达到改变振荡频率的目的。

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理,还要说明下列几点。

在分析变容二极管电路的工作原理时,将变容二极管看成一个容量可变的电容器。它的容量大小之所以可变,是因为加在变容二极管两端的反向偏置电压大小在改变。搞清楚上述两点,就是搞懂了变容二极管电路的工作原理。

在电调谐高频头电路中,不是只有一只变容二极管,而是有许多的 LC 并联谐振回路,每个回路中都有一个变容二极管,它们用同一个直流电压控制,为了保证每一个 LC 并联谐振电路的谐振频率同步改变,要求每只变容二极管的电容量与反向偏置电压特性一样。

在变容二极管电路中,用来控制变容二极管的控制电压是直流电压,并且是电压大小可以在一定范围内连续变化的直流电压。

5.6.7 开关二极管

开关二极管同普通的二极管一样,也是一个 PN 结的结构,不同之处是要求这种二极管的开关特性要好。

1. 开关特性

当给开关二极管加上正向偏置电压时,二极管处于导通状态,这相当于开关的通态;当给开关二极管加上反向偏置电压时,二极管处于截止状态,这相当于开关的断态。开关二极管就是利用这种特性,且通过制造工艺,使这种二极管的开关特性更好,即开关速度更快(导通快、截止快),PN 结的结电容更小,导通时的内阻更小,截止时的电阻很大。

2. 开通时间

开关二极管从截止转换到加上正向偏置电压后的导通要有一段时间,这一时间称为开通时间。要求这一时间愈短愈好。

3. 反向恢复时间

开关二极管在导通后,去掉正向偏置电压,二极管从导通转为截止所需要的时间称为反向恢复时间。要求这一时间愈短愈好。

4. 开关时间

开通时间和反向恢复时间之和,称为开关时间。要求开关二极管的开关时间愈短愈好。

5.6.8 开关二极管典型应用电路分析

1. 电路分析

图 5 - 91 是采用开关二极管构成的电子开关电路。电路中, L_1 和 C_1 、 C_2 构成一个 LC 并联谐振电路, VD_1 是一个开关二极管, R_1 是二极管 VD_1 的限流保护电阻, U_i 是直流控制输入电压,当电路处于 BM 状态时,它为 +12V,其他工作状态时为 0V。

这一电路的工作原理是这样:当电路处于其他工作状态时,由于 U_i 直流控制输入电压为 0V,开关二极管没有正向偏置电压而处于截止状态, VD_1 相当于开路,电容 C_2 不能接入电路中,这时电路中只有电容 C_1 ,由 C_1 和 L_1 构成 LC 并联谐振电路。

当电路处于 BM 状态时, U_i 直流控制输入电压为 +12V,这一直流电压通过电阻 R_1 加到开关二极管 VD_1 的正极,使 VD_1 处于导通状态,这时 VD_1 相当于通路,将电容

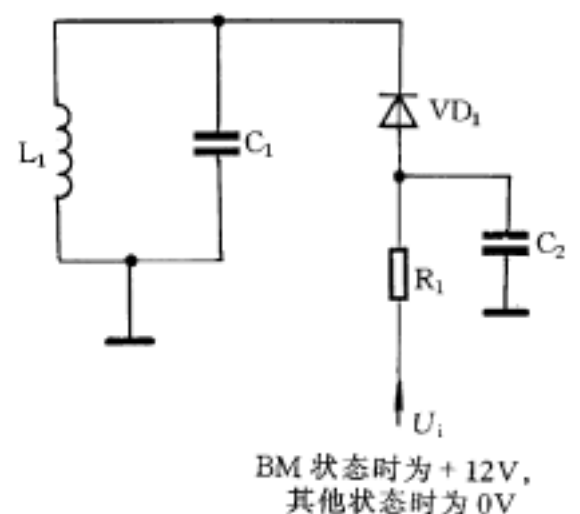


图 5 - 91 采用开关二极管构成的电子开关电路

C_2 接入电路, C_2 与 C_1 并联后与 L_1 构成 LC 并联谐振电路。

从上述电路分析可知,在不同的电路状态下,与 L_1 所并联的谐振电容容量大小不同,这样两种电路工作状态下的谐振频率不同,这是由开关二极管电路来控制的。

2. 识图小结

关于这一电路的工作原理,还要说明下列几点。

开关二极管电路只在电路中出现导通与截止两种状态。在分析开关二极管电路工作原理时,导通的二极管内阻很小,可以认为它的内阻不存在,就是通的;截止的二极管内阻很大,可以认为它的内阻无穷大,就是断开的。

在开关二极管电路中,用来控制开关二极管导通与截止的控制电压是直流电压,而不是交流电压。