

实用电子
控制电路

详解

方大千 郑鹏 方成 等编著

SHIYONG DIANZI
KONG KUAN LU
XIANLU



化学工业出版社

附录 (续) 目录表设计图

附录 1 常用电子元器件的符号、代号、单位、名称、规格、型号、主要参数、测试方法、使用注意事项、典型应用电路、典型故障现象、故障原因、故障排除方法、典型应用电路、典型故障现象、故障原因、故障排除方法

附录 2 常用电子元器件的符号、代号、单位、名称、规格、型号、主要参数、测试方法、使用注意事项、典型应用电路、典型故障现象、故障原因、故障排除方法



实用电子 控制电路 详解

方大千 郑 鹏 方 成 等编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

实用电子控制电路详解/方大千等编著. —北京:
化学工业出版社, 2010.12
ISBN 978-7-122-09749-1

I. 实… II. 方… III. 电子电路: 控制电路
IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 205366 号

责任编辑: 刘 哲
责任校对: 宋 夏

文字编辑: 徐卿华
装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14¼ 字数 378 千字 2011 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

前 言

电子控制电路在各行各业及电气设备中的应用十分广泛。本书紧紧围绕电子技术在电气电子电路中的应用,较系统而全面地介绍了各种典型的实用电路,包括工业整流电路,交、直流放大电路,运算放大器,逻辑电路,双稳态、单稳态和无稳态触发电路,振荡器,数字电路、计数器、显示器及其在工业自动控制设备中的应用,TTL、光电耦合器及接口电路,电子电路的抗干扰措施,触摸式、光电式、延时式、延寿式、应急式、调光式照明及光控、声控电路,接近开关及光电控制安全装置,电极式、浮球式、感应式、电接点式等液位控制电路,充电式、放电式、晶体管式、晶闸管式、运算放大器式、555 时基集成电路等时控电路、自动周期开关电路;小型电加热器及工业电炉的手动调温、自动温控电路,双金属片式、热敏电阻式、电接点压力式及水银温度计式、热电偶电位差计式、继电器式、晶体管式、晶闸管式、运算放大器式、555 时基集成电路式、零触发集成电路式等温控电路,以及湿控电路等。编写中充分注意到了新技术在电气电子电路中的应用。

本书电路典型、新颖、实用,内容丰富。为了使读者能快速掌握这些实用电路,便于自己制作及应用,本书以通俗易懂的编写方式详细地介绍了各个电路的工作原理、元件选择及调试方法,各个电路都标明具体参数。

本书同时也是一本工具书,便于查找、使用。

本书由方大千、郑鹏、方成编写。参加本书编写工作的还有方立、方亚平、朱丽宁、张正昌、方亚敏、朱征涛、张荣亮、方亚云、许纪秋、方欣、卢静、孙文燕和那罗丽等同志。全书由方大中高级工程师审校。

限于编者的水平,不妥之处在所难免,望广大读者批评指正。

编著者

2010 年 12 月

目 录

第一章 整流电路、放大电路及逻辑电路	1
一、工业整流电路和交流放大器	1
1. 各种工业整流电路	1
2. 晶体管三种工作状态及三种基本电路	3
3. 交流放大器的设计要点	4
4. 功率放大器的保护电路	5
二、直流放大器和运算放大器	7
1. 简单的直流放大电路	7
2. 差动式放大器	7
3. 运算放大器的典型接线及内部线路	8
4. 运算放大器的基本参数及基本电路	12
5. 运算放大器的保护电路	14
6. 运算放大器输出电压和功率扩展电路	16
三、逻辑电路	18
1. 逻辑代数的基本运算及等效电路	18
2. 门电路	20
3. 反相器	21
4. 门电路与开关放大器的连接	21
第二章 触发器及数字电路	23
一、触发器及其实用电路	23
1. 双稳态触发器及其实用电路	23
2. 单稳态触发器及其实用电路	25
3. 无稳态触发器及其实用电路	28
4. 采用 555 时基集成电路的自激多谐振荡器电路	30
5. 自激间歇振荡器	31
6. 晶体管变换器	31
7. 射极耦合触发器	34
8. 锯齿波发生器	35
9. 常用非正弦振荡器电路及频率计算公式	36
10. LC 振荡器电路	37
二、数字电路及其应用	38
1. RC 电路在脉冲数字电路中的应用	38
2. 简单的秒脉冲源电路	39
3. 由晶体管构成的计数电路	39
4. 自动周期开关	40
5. 光电物件自动计数器	40
6. 光电毛巾自动计数器	41
7. 冲床等自动计数器	41
8. 采用晶体管的自行车计程器	42

9. 采用 C036 集成电路的自行车计程器	43
10. 读孔机电路	44
11. 罐头自动计数器	44
12. 用电子计算器作计数器的防停机装置	45
13. 通用数字显示计数器	45
14. 电平驱动显示电路	47
15. 自动辨向计数电路	47
16. 几种常用数字集成电路	48
17. TTL 驱动大功率负载的接口电路	49
18. 光电耦合器简介	50
19. 光电耦合器的接口电路	50
20. 电子电路的抗干扰措施	52
第三章 照明及光控、声控电路	55
一、照明电路及照明节电电路	55
1. 利用断丝荧光灯的接线	55
2. 能适应电压低和温度低的荧光灯接线	55
3. 荧光灯晶闸管镇流器	58
4. 电灯多地控制线路	58
5. 采用晶闸管的白炽灯延寿电路	59
6. 采用双向晶闸管的白炽灯延寿电路	60
7. 采用单结晶体管的白炽灯延寿电路	61
8. 采用 555 时基集成电路的白炽灯延寿电路	62
9. 渐亮渐暗电灯开关电路	63
10. 采用复合三极管的触摸式照明开关	64
11. 采用运算放大器的触摸式照明开关	66
12. 采用 555 时基集成电路的触摸式照明开关	67
13. 采用晶闸管的延时关灯电路	68
14. 采用单结晶体管的延时关灯电路	68
15. 采用晶体管的延时关灯电路	69
16. 采用 555 时基集成电路的延时关灯电路	69
17. 采用光电耦合器的延时关灯电路	70
18. 采用热敏电阻的延时关灯电路	71
19. 楼梯、走廊灯自控器	71
20. 简易应急照明灯	72
21. 逆变器电路	72
22. 单管应急荧光灯	75
23. 双管应急荧光灯	77
24. 一种家用、船用逆变电源	80
25. 节电型指示灯	81
26. DZJ 系列荧光灯电子镇流器	83
27. 荧光灯电子镇流器	85
28. 照明负荷限电器	88
29. 全自动限电器	89
30. 居民用电限电器	90
二、光控、声控电路	91
1. 几种白炽灯调光电路	91

2. 台灯调光软开关	94
3. 亮度稳定的调光灯电路	94
4. 吊灯亮度控制器	95
5. 大功率调光器	96
6. 门控夜明灯电路	96
7. 荧光灯亮度调节器	97
8. 光敏元件简介	98
9. 采用光敏电阻的晶体管路灯光电控制器	100
10. 采用光敏三极管的晶体管路灯光电控制器	102
11. 采用光电池的晶体管路灯光电控制器	103
12. 采用光敏电阻的 555 时基集成电路路灯光电控制器	104
13. 采用光敏电阻的功率开关集成电路路灯光电控制器	105
14. 采用光敏电阻的 JEC-2 型集成电路路灯光电控制器	107
15. 荧光灯光电控制器	108
16. 舞台晶闸管调光器	109
17. 歌舞厅自动补光器	109
18. 采用话筒的照明声控开关	110
19. 采用压电陶瓷的 JKS-I 型声光控开关	112
20. 采用压电陶瓷的 SGK-I 型声光控开关	112
21. 采用专用声控集成电路的声光控开关	113
22. 光电继电器	114
23. GDK-1 型防爆光电控制器	115
24. 抗干扰能力强的光电控制器	116
25. 采用光电池的晶闸管光控开关	116
26. 采用光敏电阻的晶体管光控开关	117
27. 采用光敏电阻的 555 时基集成电路光控开关	118
28. 采用光敏三极管的晶体管光控开关	119
29. 采用光敏三极管的 555 时基集成电路光控开关	120
30. 红外光控断丝检测器	121
31. 冲床光电控制安全装置	122
32. 采用磁敏二极管的接近开关	123
33. 采用 LC 振荡电路的接近开关	125
34. 木工手压刨安全装置	125
第四章 液位控制电路	127
1. 采用电极的灌入式晶体管水位自控电路	127
2. 采用电极的抽水式晶体管水位自控电路	129
3. 采用电极稳定性好的晶体管水位自控电路	129
4. 采用干簧管的灌入式液位自控电路	130
5. 采用干簧管的抽出式液位自控电路	133
6. 浮球液位自控电路	133
7. 采用电极的灌入式晶闸管水位自控电路	134
8. 采用电极的抽出式晶闸管水位自控电路	136
9. 采用干簧管的灌入式晶闸管液位自控电路	136
10. 采用电极的功率开关集成电路水位控制电路	137
11. 采用 JYB 型液位控制器的液位自控电路	138
12. 采用电接点压力表的液位自控电路	139

13. 水塔和蓄水池同时监测的自动上水控制电路	142
14. 自动定量加油装置	145
第五章 时控电路	146
1. 充电式时间继电器	146
2. 放电式时间继电器	148
3. 不用大电容的晶体管长延时时间继电器	148
4. JSJ 型晶体管时间继电器	149
5. JS12、JS15 型单结晶体管时间继电器	150
6. 脉冲充电式单结晶体管时间继电器	151
7. 具有辅助脉冲电源的时间继电器	152
8. JSB-1、JS-20 型场效应管时间继电器	153
9. 晶闸管截止式延时电路	154
10. 晶闸管接通式延时电路	156
11. 单稳态时间继电器	157
12. 集成电路长延时电路	158
13. 555 时基集成电路简介	160
14. 用 555 时基集成电路制作的延时电路	161
15. 用 555 时基集成电路制作的时间累计电路	165
16. 利用运算放大器的定时电路	166
17. 禁止再次接通的定时电路	167
18. 搅拌机定时、调速控制电路	167
19. 采用晶体管的自动周期开关电路	168
20. 采用单结晶体管的自动周期开关电路	168
21. 采用 555 时基集成电路的自动周期开关电路	169
22. 定时开启电源的时间控制器	170
23. 采用运算放大器的定时曝光电路	171
24. 采用 555 时基集成电路的定时曝光电路	172
第六章 电加热及温控、湿控电路	173
一、小型电加热及温控电路	173
1. 双向晶闸管手动调温电路	173
2. 晶闸管手动调温电路	174
3. 采用阻容移相桥的晶闸管手动调温电路	174
4. 双金属片恒温控制电路	175
5. 采用电接点水银温度计的晶体管温控电路	176
6. 采用电接点水银温度计的晶闸管温控电路	178
7. 采用热敏电阻的晶闸管温控电路	178
8. 采用热敏电阻的运算放大器温控电路	179
9. 采用热敏电阻的 555 时基集成电路温控电路	181
10. 采用热敏电阻的 KC08 集成电路温控电路	183
11. 采用热敏电阻的功率开关集成电路温控电路	183
二、电烘房及工业电炉温控电路	184
1. 采用电接点压力式温度计的烘房温控电路	184
2. 采用阻容移相桥的晶闸管烘房温控电路	188
3. 采用单结晶体管的晶闸管烘房温控电路	189
4. ZF-85 系列电热蒸饭箱电路	190

5. 采用晶体管 be 结的运算放大器高精度温控电路	190
6. 测温元件——热敏电阻简介	192
7. 采用热敏电阻的运算放大器高精度温控电路	193
8. 采用热敏电阻的 555 时基集成电路高精度温控电路	194
9. 采用测量桥的运算放大器高精度温控电路	195
10. 采用铂电阻的晶闸管高精度温控电路	195
11. 采用 LM3911 集成电路的晶闸管高精度温控电路	196
12. 光敏或热敏开关电路	197
13. 冷冻机恒温自动控制电路	198
14. 温度开关电路	199
15. 采用热电偶式电位差计的电阻炉继电式温控电路	201
16. 采用热电偶式电位差计的电阻炉晶闸管温控电路	203
17. 盐浴电阻炉快速启动节电电路	204
18. 零触发型晶闸管温控电路	206
19. 零触发集成电路简介	208
20. 采用零触发集成电路的炉温自控电路	210
21. 避免电接点压力式温度表触头烧毛的电路	212
22. 塑料注塑机电子式温控器	212
23. 塑料袋封口机控制器	214
三、湿控电路	216
1. 湿敏电阻简介	216
2. 空气湿度测量仪	217
3. 简易加湿器	218
4. 灵敏湿度控制器	219
参考文献	220

第一章 整流电路、放大电路及逻辑电路

一、工业整流电路和交流放大器

1. 各种工业整流电路

常用整流电路有单相与三相之分，单相与三相中又有半波与全波之分。不同整流电路各有特点，适用范围也有所不同，见表 1-1。

表 1-1 各种整流电路的特点及适用范围

比较项目		对元件的要求	整流变压器利用率	输出电压的脉动	对电网的影响	经济性	复杂性	适用范围
单相与三相	单相	数量少 容量大	较差	脉动稍大	三相负载不平衡	小容量时较节省	较为简单	用于小容量负载
	三相	数量多 容量小	较好	脉动小	三相平衡	大容量时较节省	较为复杂	用于大容量负载
半波与全波	半波	数量少 耐压高 电流大	较差	脉动大	有直流分量，产生损耗	元件少，但每个价格贵	简单	要求线路简单、方便时采用
	全波	数量多 耐压低	较好	脉动小	无直流分量	元件多，但每个价格较便宜	复杂	要求工作效率高时采用

各种整流电路参数及比较见表 1-2。

表 1-2 整流电路的基本电量关系

整流电路名称	单相半波	单相全波(双半波)	单相桥式(全波)
电 路 图			
空载直流输出电路 U_{z0}	$0.45U_2$	$0.90U_2$	$0.90U_2$
元件最大正向和最大反向电压峰值 U_m	$1.41U_2$ ($3.14U_{z0}$)	$2.83U_2$ ($3.14U_{z0}$)	$1.41U_2$ ($1.57U_{z0}$)
输出电压纹波系数 γ	1.21	0.484	0.484
流过元件的电流平均值 I_a	I_z	$0.5I_z$	$0.5I_z$
变压器一次侧相电流 I_{x1}	$1.21kI_z$	$1.11kI_z$	$1.11kI_z$
变压器二次侧相电流(有效值) I_{x2}	$1.57I_z$	$0.785I_z$	$1.11I_z$
变压器二次侧相电压(有效值) U_{x2}	$2.22U_z + ne$	$1.11U_z + ne$	$1.11U_z + ne$
变压器一次侧容量 P_{s1}	$2.69U_z I_z$	$1.23U_z I_z$	$1.23U_z I_z$
变压器二次侧容量 P_{s2}	$3.49U_z I_z$	$1.74U_z I_z$	$1.23U_z I_z$
变压器平均计算容量 P_{pj}	$3.09U_z I_z$	$1.49U_z I_z$	$1.23U_z I_z$

续表

整流电路名称	三相半波(星形零点)	三相星形桥式
电 路 图		
空载直流输出电压 U_{z0}	$1.17U_2$	$1.35U_2$
元件最大正向和最大反向电压峰值 U_m	$2.45U_2$ ($2.09U_{z0}$)	$1.41U_2$ ($1.05U_{z0}$)
输出电压纹波系数 γ	0.183	0.042
流过元件的电流平均值 I_a	$0.333I_z$	$0.333I_z$
变压器一次侧相电流 I_{x1}	$0.47kI_z$	$0.817kI_z$
变压器二次侧相电流(有效值) I_{x2}	$0.58I_z$	$0.817I_z$
变压器二次侧相电压(有效值) U_{x2}	$0.855U_z + ne$	$0.428U_z + 2ne$
变压器一次侧容量 P_{s1}	$1.21U_z I_z$	$1.05U_z I_z$
变压器二次侧容量 P_{s2}	$1.49U_z I_z$	$1.05U_z I_z$
变压器平均计算容量 P_{pj}	$1.35U_z I_z$	$1.05U_z I_z$
整流电路名称	六相双反星形	六相星形半波
电 路 图		
空载直流输出电压 U_{z0}	$1.35U_2$	$1.17U_2$
元件最大正向和最大反向电压峰值 U_m	$2.83U_2$ ($2.09U_{z0}$)	$2.45U_2$ ($2.09U_{z0}$)
输出电压纹波系数 γ	0.042	0.042
流过元件的电流平均值 I_a	$0.167I_z$	$0.167I_z$
变压器一次侧相电流 I_{x1}	$0.407kI_z$	$0.576kI_z$
变压器二次侧相电流(有效值) I_{x2}	$0.289I_z$	$0.407I_z$
变压器二次侧相电压(有效值) U_{x2}	$0.855U_z + ne$	$0.744U_z + ne$
变压器一次侧容量 P_{s1}	$1.05U_z I_z$	$1.28U_z I_z$
变压器二次侧容量 P_{s2}	$1.48U_z I_z$	$1.81U_z I_z$
变压器平均计算容量 P_{pj}	$1.26U_z I_z$	$1.43U_z I_z$

注: e 为硅元件正向压降; n 为硅元件串联个数; k 为 U_2/U_1 。

2. 晶体管三种工作状态及三种基本电路

晶体管即三极管，作为放大用应工作在其特性曲线的放大区，作为开关用应工作在其特性曲线的饱和区和截止区。晶体管的放大区、饱和区和截止区如图 1-1 所示。

(1) 截止状态

条件：对 PNP 型管， $U_b \geq U_c$ ；对 NPN 型管， $U_b \leq U_c$ 。截止时的特点是两个 PN 结均为反向偏置。

特点： $I_b \approx 0$ ， $I_c \approx 0$ ， $U_{ce} \approx E_c$ （ E_c 为电源电压）。

为了使晶体管更好地截止，可采用下列措施：采用 I_{ceo} 较小的管子；在基极和发射极间加反向偏压。此时截止的条件为：对于 PNP 型管， $U_{be} \geq 0$ ；对于 NPN 型管， $U_{be} \leq 0$ 。

(2) 放大状态

条件：发射结加正向电压， $U_b > U_c$ ；集电结反向， $U_c > U_b$ 。

特点： $\Delta I_c = \beta \Delta I_b$ 满足放大规律， I_c 与 R_c 、 E_c 基本上无关。

(3) 饱和（导通）状态

条件： $I_b \geq \frac{I_{cm}}{\beta}$ （如果 $I_{cm} = \frac{E_c}{R_c}$ ，则 $I_b > \frac{E_c}{\beta R_c}$ ）。

特点：发射结、集电结都处于正向， I_b 增加， I_c 不再增加， $I_{cm} = E_c / R_c$ 由 R_c 、 E_c 决定，饱和压降 $U_{ces} \approx 0$ ，这时可以把晶体管的三个电极看作是接通的。

晶体管三种工作状态和数量关系见表 1-3。

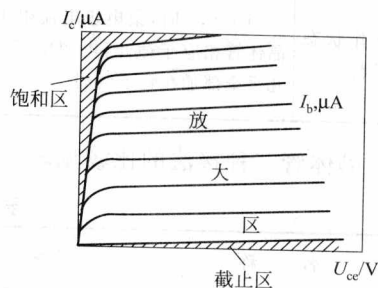


图 1-1 晶体管的放大区、饱和区和截止区

表 1-3 晶体管三种工作状态和数量关系

工作状态	截止状态	放大状态	饱和状态
PNP 型			
NPN 型			
参数范围	$I_b \leq 0$, I_b 为负值时, 表示实际方向与图中所示相反	$I_b > 0$ 时, 其实际方向如图所示	$I_b > \frac{E_c}{\beta R_c}$, 为使晶体管处于深度饱和工作区, $I_b = (2 \sim 3) \frac{E_c}{\beta R_c}$
	锗管 U_{be} 约 $+0.3 \sim -0.1$ V; 硅管 U_{be} 约 $-0.3 \sim +0.5$ V	锗管 U_{be} 约 $-0.1 \sim -0.2$ V; 硅管 U_{be} 约 $+0.5 \sim +0.7$ V	锗管 U_{be} 比 -0.2 V 更负; 硅管 U_{be} 大于 $+0.7$ V
	$I_c \leq I_{ceo}$	$I_c = \beta I_b + I_{ceo}$	$I_c = E_c / R_c$
	$U_{ce} \approx E_c$	$U_{ce} \approx E_c - I_c R_c$	(管子饱和压降) $U_{ce} \approx 0.2 \sim 0.3$ V

续表

工作状态	截止状态	放大状态	饱和状态
工作状态的特点	当 $I_b \leq 0$ 时, 集电极电流很小, 晶体管相应于截止, 电源电压 E_c 几乎全部加在管子两端	I_b 从 0 逐渐增大, 集电极电流 I_c 也按一定比例增加; 很小的 I_b 变化引起很大的 I_c 变化, 晶体管起放大作用	晶体管饱和时, 管子两端压降很小, 电源电压 E_c 几乎全部加在集电极负载电阻 R_c 两端; β 越大, 控制越灵敏

晶体管三种接法的比较见表 1-4。

表 1-4 晶体管三种接法的比较

名 称	共发射极电路	共集电极电路 (射极输出器)	共基极电路
电 路 图			
输出与输入电压的相位	反相	同相	同相
输入电阻	中(几百欧至几千欧)	大(几十千欧以上)	小(几欧至几十欧)
输出电阻	中(几千欧至几十千欧)	小(几欧至几十欧)	大(几十千欧至几百千欧)
电压放大倍数	大	小(小于 1 并接近于 1)	大
电流放大倍数	大(β 为几十)	大($1+\beta$ 为几十)	小(β 小于 1 并接近于 1)
功率放大倍数	大(约 30~40dB)	小(约 10dB)	中(约 15~20dB)
频率特性	高频差	好	好
稳定性	差	较好	较好
失真情况	较大	较小	较小
对电源要求	只需一个电源	只需一个电源	需两个独立电源
应用	多级放大器的中间级, 低频放大	输入级、输出级或作阻抗匹配用	高频或宽频带电路及恒流电路

注: PNP 型三种接法的电源极性相反。

3. 交流放大器的设计要点

需要考虑放大器工作点的稳定性和放大器的电压放大倍数这两项指标。

通常应满足以下条件:

$$\begin{cases} I_1 \geq (5 \sim 10) I_b (\text{硅管电路 } I_1 \text{ 可以选得更小}) \\ U_b \geq (5 \sim 10) U_{be} (\text{PNP 管电压取绝对值}) \end{cases}$$

式中 I_1 —— 流过三极管基极分压电阻的电流;

I_b —— 三极管基极电流;

U_b —— 三极管基极电压 (对地);

U_{be} —— 三极管基-射极电压。

对于硅管电路, 基极分压电阻 R_{b1} 、 R_{b2} 可选得很大, 这样可以减小它们对信号的分流作用。

设计时, 一般可先选定管子的工作电流集电极电流 I_c (或 I_e) 和管电压 (集-射极电压) U_{ce} , 并且要满足以上两式所提出的工作点稳定的条件, 由这些条件出发来计算电路的元件参数, 可使计算过程大大简化。

利用负反馈电路和温度补偿电路稳定工作点。
四种反馈电路的特点见表 1-5。

表 1-5 四种反馈连接形式的特点

负反馈的连接形式		稳定了哪个输出量	输入电阻	输出电阻
反馈信号取自哪个输出量	输入端怎么连接			
电压	串联	U_{sc}	提高	减小
电流	串联	I_{sc} (或 I_e)	提高	提高 (或近似不变)
电压	并联	U_{sc}	减小	减小
电流	并联	I_{sc} (或 I_e)	减小	提高 (或近似不变)

表 1-5 中, U_{sc} 、 I_{sc} 为放大电路的输出电压和输出电流; I_e 为三极管发射极电流。

由于三极管参数会随温度的变化而变化, 从而引起放大器特性的变化, 为此可利用一些温度特性与三极管相近的元件去补偿三极管参数的变化, 以实现三极管工作点的稳定。

补偿元件有二极管和热敏电阻等。二极管的正向压降随温度升高而减小, 它的反向电流随温度升高而增大。

利用热敏电阻 R_t 来补偿三极管温度特性的实例如图 1-2 所示。

工作原理 温度升高, 使三极管集电极电流 I_c 增加, 而这时热敏电阻 R_t 的阻值也相应减小, 于是将造成三极管基极电位 U_b 下降, 从而使基极电流 I_b 减小, 达到牵制电流 I_c 的目的。

利用热敏元件, 只要参数选配得当, 可以获得很高的工作点稳定性, 常用在要求比较高的电路中。但元件挑选比较麻烦。利用热敏元件补偿远不如负反馈方法来得简单, 所以应用范围也很有限。

4. 功率放大器的保护电路

在电子控制电路中, 末级的功率放大器往往要推动接触器、继电器、电磁阀门等感性负载。在切断这些感性负载时会产生感应过电压, 因而可能击穿三极管, 为此需采取保护措施。常用的保护元件有二极管和电容, 还有稳压管、电阻等。

(1) 采用二极管和电容保护的电路 对于图 1-3(a), 其二极管 VD 的选择要求二极管最高反向工作电压 $U_R > E_c$, 额定正向电流 $I_F \geq I_{zmax}$ (I_{zmax} 为最大负载电流)。

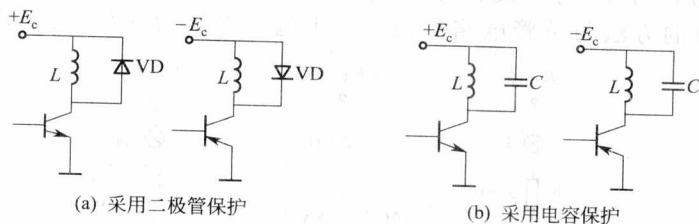


图 1-3 采用二极管或电容的保护电路

对于图 1-3(b), 其电容 C 的选择应满足: 电源合闸瞬间 (电容相当于短路), 充电电流应小于三极管集电极最大允许电流 I_{cm} 。若不能满足, 可串接一个限流电阻。同时还要考虑防止电容、电感可能产生自激振荡。

(2) 功率放大器连接白炽灯泡时的保护电路 白炽灯泡灯丝的冷态电阻要比点亮后的热态电阻小 8~10 倍, 因而放大器接通灯泡的瞬间, 其电流要比热态电流大 8~10 倍。如果根

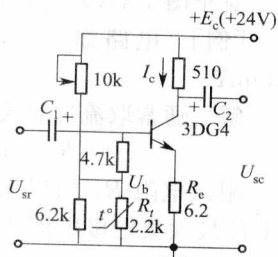


图 1-2 利用热敏电阻 R_t 补偿工作点的变化

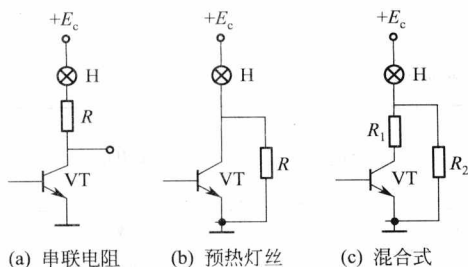


图 1-4 单管电路限制灯泡冷态电流的方法

据灯泡的标称功率（热态功率）计算出的热态电流来选择三极管的工作电流，则在接通灯泡的瞬间，可能会损坏三极管，这时需采取限流措施。

① 当输入信号较强时，采用单管电路，其保护电路如图 1-4 所示。混合式效果更好。

限流电阻 R 的计算如下。

对于图 1-4(a)：方法一，灯泡采用比电源电压 E_c 低一级的电压，其差值则由 R 降压；方法二，串联电阻压降按 $0.1E_c$ 来选择，其电阻 R 能降低灯泡的工作电压，该方法可提高灯泡的使用寿命。

对于图 1-4(b)：当三极管 VT 截止时， R 与灯泡串联，使灯泡上的电压降约为 $(0.1 \sim 0.2) E_c$ ，灯泡中流过少量预热电流但又不点亮。

对于图 1-4(c)：具有图 1-4(a) 和 (b) 的优点，所以效果更好。

[例] 电路如图 1-5 所示，电源电压 E_c 为 6V，三极管采用 3DD1，灯泡为 3.6V、150mA。

解 通常取流过泄放电阻 R_4 的电流为灯泡额定电流的 1/5，所以

$$R_4 = 5E_c / I_H = 5 \times 6 / 0.15 = 200 \Omega$$

限流电阻 R_3 用以限制点灯时的负载电流，使之不超过三极管 VT 的最大集电极电流 I_{cm} ，其值为

$$R_3 \geq E_c / I_{cm} = 6 / 0.3 = 20 \Omega$$

R_2 的作用是当输入电压为零时，使之产生一反向基极电流 I_{cbo} ，以保证三极管 VT 可靠截止，所以

$$R_2 < U_{be} / I_{cbo} = 0.7V / 15\mu A \approx 47k\Omega$$

其中， I_{cm} 和 I_{cbo} 可由器件手册中查得。

R_1 用于限制基极电流，若三极管 VT 的 $\beta \geq 25$ ，则

$$I_b = I_H / \beta = 150 / 25 = 6mA$$

若输入最高电压为 2.7V，则

$$R_1 = \frac{U_{srm} - U_{be}}{I_b + (U_{be} / R_2)} = \frac{2.7 - 0.7}{6 \times 10^{-3} + \frac{0.7}{47 \times 10^3}} \approx 330 \Omega$$

② 当输入信号较弱时，采用复合管电路，其保护电路如图 1-6 所示。

选择限流电阻的方法与单管电路类似。对于电源电压为 6V，三极管采用 3AG71 和

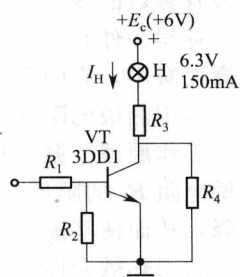
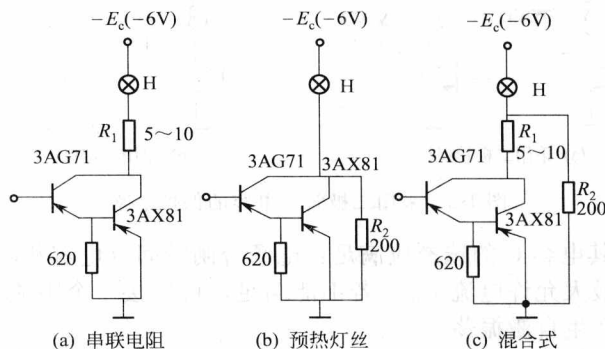
图 1-5 保护电路
计算例

图 1-6 复合管电路限制灯泡冷态电流的方法

3AX81 时, 其电阻数值如图所示。

对于图 1-6(a), 由于灯泡点亮后灯丝电阻约为 40Ω (对 6V、150mA 灯泡), 因此 R_1 串入后灯泡电压稍降低一些, 但对亮度影响不大; 对于图 1-6(b), 当三极管截止时, 灯泡中流过的电流近似等于 $E_c/R_2=6/200=30\text{mA}$, 这样大小的电流是不会使灯丝发光的。

二、直流放大器和运算放大器

直流放大器就是直接耦合放大器。它能将直流信号或变化极缓慢的信号进行放大。

1. 简单的直流放大电路

常用简单的直流放大电路见表 1-6。简单的直流放大电路最大的问题是零点漂移。

表 1-6 简单的直流放大电路

耦合方式	电 路 图	说 明
同类型管的直接耦合		耦合方法简单 调 R_b 使得 U_{sc1} 在 VT_1 单独存在时为 0.7V 多用于前置级
NPN-PNP 管直接耦合		VT_1 有较大的放大倍数 VT_2 采用硅 PNP 管能减小零点漂移 常用于晶闸管触发电路的前置级
第二级有发射极电阻的直接耦合		用 R_e 来调整工作点 提高了 VT_1 的放大倍数和输出电压幅度 VT_2 的放大倍数下降
第二级发射极接有二极管管的直接耦合		用二极管 VD 代替 R_e , 既保证合适的工作点, 放大倍数也不降低 采用稳压管效果更好

2. 差动式放大器

差动式放大器能较好地解决直流放大器增益和零点漂移的矛盾。

差动式放大器的输入信号是差动信号, 两管的输入信号振幅相等、相位相反, 即 $u_{sr1} = u_{sr2}$ 。放大器的输出正比于差动信号, $u_{sc} = K_{du}(u_{sr1} - u_{sr2})$ 。式中, K_{du} 为差动式放大器的差动电压放大倍数。

差动式放大器的基本电路见表 1-7。

例如, 对于表 1-7 中双端输入双端输出的电路, 如果电路参数相同, VT_1 、 VT_2 对称 (β 和 U_{be} 均相同, 且 U_{be} 随温度变化的规律也相同), 则输出为 $U_{sc} = U_{sc1} - U_{sc2} \approx 0$ 。就是说, 在电路完全对称的条件下, 由于 U_{be} 随温度变化引起的零点漂移等于零。当然, 实际电路不可能完全对称, 但由于 R_e 的负反馈作用, 不对称性就可以减少, 电路稳定性提高, 而对差动信号都有放大作用。

差动放大器的实际电路形式很多, 常用的有复合管差动电路、共集-共基差动电路、自

表 1-7 差动式放大器基本电路

电路形式	电 路 图	电压放大倍数	输入、输出电阻
双端输入 双端输出		$K_{du} = -\beta \frac{R'_z}{r_{be} + R_{b1}}$ $R'_z = R_c // \frac{R_z}{2}$	$r_{sr} = 2(R_{b1} + r_{be})$ $r_{sc} = 2R_c$
双端输入 单端输出		$K_{du} = -\beta \frac{R'_z}{2(r_{be} + R_{b1})}$ $R'_z = R_c // R_z$	$r_{sr} = 2(R_{b1} + r_{be})$ $r_{sc} = R_c$
单端输入 单端输出		$K_{du} = -\beta \frac{R'_z}{2(r_{be} + R_{b1})}$ $R'_z = R_c // R_z$	$r_{sr} = 2(R_{b1} + r_{be})$ $r_{sc} = R_c$
单端输入 双端输出		$K_{du} = -\beta \frac{R'_z}{r_{be} + R_{b1}}$ $R'_z = R_c // \frac{R_z}{2}$	$r_{sr} = 2(R_{b1} + r_{be})$ $r_{sc} = 2R_c$

举式差动电路、互补差动电路、共射-共基差动电路、具有恒流源的差动电路、共模负反馈差动电路、有源负载差动电路和场效应差动电路等。

3. 运算放大器的典型接线及内部线路

运算放大器是具有很高放大倍数 (K_0) 和深度负反馈的直流放大器, 可用来实现信号的组合和运算。它的输出-输入关系仅简单地决定于反馈电路和输入电路的参数, 与放大器本身的参数没有很大关系。运算放大器在工业自动控制、模拟计算机和测量装置中应用广泛。

(1) 常用运算放大器的典型接线 如图 1-7 所示。

(2) 常用运算放大器的内部线路 如图 1-8 所示。图中所注符号意义: IN 为输入; OUT 为输出; comp 为补偿; V 为电源。

(3) 常用运算放大器的引脚图 图 1-9(a) 为 Y-8 金属圆壳封装, 如 5G24、F007、 μ A741 等。图 1-9(b) 也为 Y-8 金属圆壳封装, 但各引脚意义与图 1-9(a) 不同, 如 F052、5G23 等。图 1-9(c) 为 Y-12 金属圆壳封装, 如 F003、F054、FC31、5G922、8FC1、BG301 等。F001、FC3 也属于这种封装, 仅引脚意义不同 [参见图 1-8(a) 和 (b)]。图 1-9(d) 为 8 线双列直插封装, 如 5G24、 μ A741 等。该形式集成块内有通用单运放和双运放, 各引脚意义有所不同。图 1-9(e) 为 14 线双列直插封装, 如 LM324 通用单电源四运算放大器等。另外, 还有其他一些封装方式, 使用时应弄清楚各引脚, 以免造成损失。