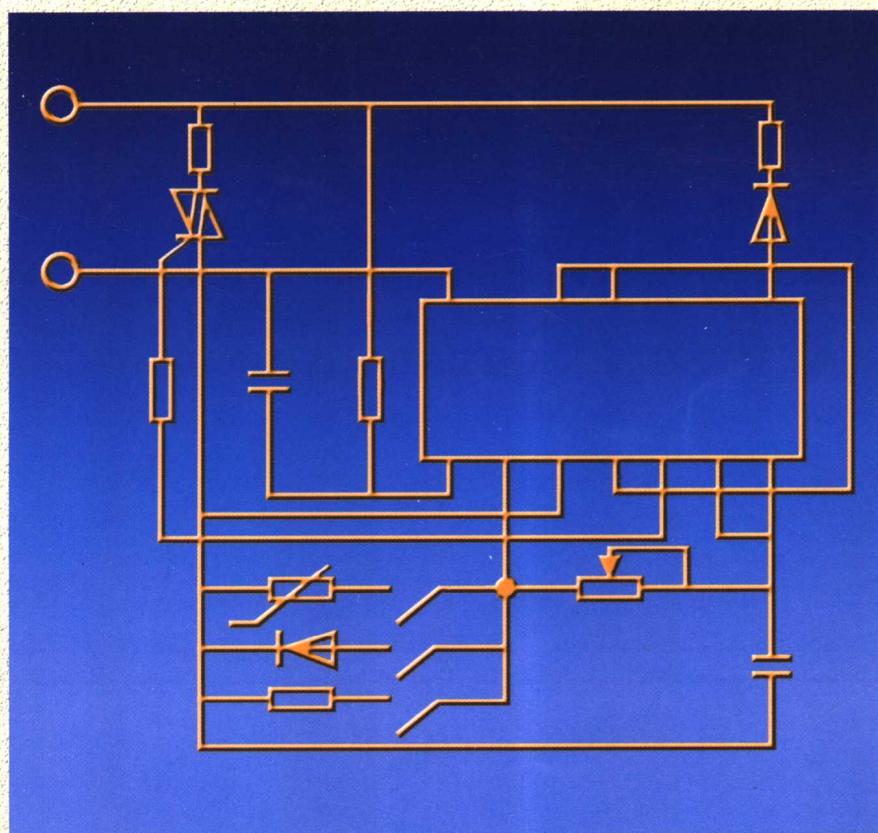


方大千 鲍俏伟 编著

# 实用电子控制电路

SHIYONG DIANZI KONGZHI DIANLU



国防工业出版社

# 实用电子控制电路

方大千 鲍俏伟 编著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书较系统全面地介绍了各类实用电子控制电路。这些电路大都是电子技术在电气线路中的典型应用。内容包括实用电子电路、逻辑电路及数字电路,液位控制及时控电路,照明及光控、声控电路,电加热及温控、湿控电路,报警电路及抢答电路。

本书叙述通俗易懂,每个电路都介绍了工作原理及主要元件选择要求,图中元件均标明了具体参数,便于读者掌握和应用。

本书适合于电气、电子技术人员,新产品开发人员,电工技师和中高级电工阅读,也可供业余电子爱好者阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

实用电子控制电路 / 方大千, 鲍俏伟编著. —北京:  
国防工业出版社, 2003.4  
ISBN 7-118-03076-7

I. 实... II. ①方... ②鲍... III. 电子电路: 控制  
电路 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 110597 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 17 391 千字  
2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月北京第 1 次印刷  
印数: 1—4000 册 定价: 23.00 元

---

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

# 前 言

电子控制电路在各行各业的应用十分广泛。本书围绕电子技术在电气线路中的应用,系统而全面地介绍了工业整流电路和交、直流放大器,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,数字电路及其在工业自动控制设备中的应用,光电耦合器及接口电路,电子电路的抗干扰措施;浮球式、感应式、电接点式液位控制线路,充电式、放电式、晶体管式、晶闸管式、运算放大器式及 555 时基电路的时控电路;触摸式、光电式、延时式等照明控制电路及光控、声控电路;电加热及温控、湿控电路,以及报警、抢答电路等。编写中充分注意到了新技术在电气、电子电路中的应用。

笔者长期从事电气、自动化工作,参加过国内外许多自动化生产线的电气安装、调试工作,所开发的多种工业自动控制设备在全国各地推广使用。在实践中笔者深切感到:弄懂电子控制线路的工作原理对快速检修电气、电子设备和开发新产品具有重要意义。本书所选电路和编写方式及内容,是作者的经验总结。书中的电路类型较全,实用性很强,原理介绍准确、明了。读者通过它能很快地提高自己的技术水平。书中的名词术语、电气图形符号和文字符号均采用了新的国家标准。

协助参加本书编写工作的有郑鹏、朱征涛、方立、那春刚、许纪秋、杨丽梅和方欣等同志,全书由方大中高级工程师审校。

限于作者的水平,不妥之处在所难免,望广大读者批评指正。

作 者

2002 年 8 月

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第一章 实用电子电路、逻辑电路及数字电路 ..... | 1  |
| 第一节 工业整流电路和交流放大器 .....     | 1  |
| 一、各种工业整流电路 .....           | 1  |
| 二、晶体管三种工作状态及三种基本电路 .....   | 4  |
| 三、交流放大器的设计要点 .....         | 6  |
| 四、功率放大器的保护电路 .....         | 7  |
| 第二节 直流放大器及运算放大器 .....      | 9  |
| 一、简单的直流放大器 .....           | 9  |
| 二、差动式放大器 .....             | 10 |
| 三、运算放大器及其应用 .....          | 11 |
| 四、运算放大器的保护电路 .....         | 18 |
| 五、运算放大器输出电压和功率扩展电路 .....   | 21 |
| 第三节 逻辑电路 .....             | 23 |
| 一、逻辑代数的基本运算及等效电路 .....     | 23 |
| 二、门电路 .....                | 26 |
| 三、典型组合的逻辑电路 .....          | 27 |
| 四、反相器 .....                | 33 |
| 五、门电路与开关放大器的连接 .....       | 34 |
| 第四节 双稳态、单稳态、无稳态触发器 .....   | 35 |
| 一、双稳态触发器 .....             | 35 |
| 二、单稳态触发器 .....             | 38 |
| 三、无稳态触发器 .....             | 42 |
| 四、晶体管变换器 .....             | 46 |
| 五、射极耦合触发器 .....            | 50 |
| 六、锯齿波发生器 .....             | 51 |
| 七、常用非正弦振荡器电路及频率计算公式 .....  | 53 |
| 八、LC振荡器电路 .....            | 53 |
| 第五节 数字电路及其应用 .....         | 54 |
| 一、RC电路在脉冲数字电路中的应用 .....    | 54 |
| 二、简单的秒脉冲源电路 .....          | 56 |
| 三、由晶体管构成的计数电路 .....        | 56 |
| 四、自动周期开关 .....             | 57 |

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| 五、光电毛巾计数器 .....                | 58        |
| 六、冲床等自动计数电路 .....              | 59        |
| 七、读孔机电路 .....                  | 60        |
| 八、罐头自动计数器 .....                | 61        |
| 九、用电子计算器作计数器的防停机装置 .....       | 62        |
| 十、通用数字显示计数器 .....              | 62        |
| 十一、电平驱动显示电路 .....              | 64        |
| 十二、自动辨向计数电路 .....              | 65        |
| 十三、几种常用数字集成电路 .....            | 66        |
| 十四、TTL 驱动大功率负载的接口电路 .....      | 68        |
| 十五、光电耦合器及其接口电路 .....           | 69        |
| 十六、电子电路的抗干扰措施 .....            | 71        |
| <b>第二章 液位控制及时控电路 .....</b>     | <b>75</b> |
| 第一节 液位控制线路 .....               | 75        |
| 一、简单的晶体管水位控制线路 .....           | 75        |
| 二、干簧管液位控制线路 .....              | 77        |
| 三、浮球液位控制线路 .....               | 80        |
| 四、稳定性好的晶体管液位控制线路 .....         | 81        |
| 五、晶闸管液位控制线路 .....              | 83        |
| 六、采用功率集成电路的水位控制线路 .....        | 86        |
| 七、采用 JYB 型液位控制器的液位自控线路 .....   | 87        |
| 八、采用电接点压力表的液位控制线路 .....        | 88        |
| 九、水塔和蓄水池同时监测的自动上水控制线路 .....    | 92        |
| 十、自动定量加油装置 .....               | 95        |
| 第二节 时控电路 .....                 | 96        |
| 一、充电式时间继电器 .....               | 97        |
| 二、放电式时间继电器 .....               | 98        |
| 三、不用大电容的晶体管长延时时间继电器 .....      | 99        |
| 四、JSJ 型晶体管时间继电器 .....          | 100       |
| 五、JS15、JS12 型单结晶体管时间继电器 .....  | 102       |
| 六、脉冲充电式单结晶体管时间继电器 .....        | 103       |
| 七、具有辅助脉冲电源的时间继电器 .....         | 104       |
| 八、JSB-1、JS-20 型场效应管时间继电器 ..... | 105       |
| 九、晶闸管延时电路 .....                | 106       |
| 十、单稳态时间继电器 .....               | 110       |
| 十一、集成电路长延时电路 .....             | 111       |
| 十二、用 555 时基集成电路制作的延时电路 .....   | 113       |
| 十三、用 555 时基集成电路制作的时间累计电路 ..... | 117       |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 十四、利用运算放大器的定时电路 .....       | 118        |
| 十五、禁止再次接通的定时电路 .....        | 119        |
| 十六、搅拌机定时、调速控制电路 .....       | 120        |
| 十七、自动周期开关电路 .....           | 120        |
| <b>第三章 照明及光控、声控电路 .....</b> | <b>123</b> |
| 第一节 照明电路及照明节电电路 .....       | 123        |
| 一、利用断丝荧光灯的接线 .....          | 123        |
| 二、能适应电压低和温度低的荧光灯接线 .....    | 123        |
| 三、荧光灯晶闸管镇流器 .....           | 127        |
| 四、电灯多地控制线路 .....            | 128        |
| 五、白炽灯延寿电路 .....             | 130        |
| 六、渐亮渐暗电灯开关电路 .....          | 133        |
| 七、触摸式照明开关 .....             | 135        |
| 八、楼梯、廊道灯延时关灯开关之一 .....      | 139        |
| 九、楼梯、廊道灯延时关灯开关之二 .....      | 140        |
| 十、楼梯、廊道灯自控器 .....           | 141        |
| 十一、应急照明灯——逆变器电路 .....       | 142        |
| 十二、双管应急荧光灯电路 .....          | 148        |
| 十三、一种家用、船用逆变电源 .....        | 152        |
| 十四、节电型指示灯 .....             | 153        |
| 十五、荧光灯电子镇流器 .....           | 155        |
| 十六、照明负荷限电器 .....            | 162        |
| 十七、全自动限电器 .....             | 164        |
| 十八、居民用电限电器 .....            | 165        |
| 第二节 光控、声控电路 .....           | 166        |
| 一、几种简单的白炽灯调光电路 .....        | 166        |
| 二、亮度稳定的调光灯电路 .....          | 169        |
| 三、大功率调光器 .....              | 170        |
| 四、荧光灯亮度调节器 .....            | 171        |
| 五、路灯光电控制器 .....             | 172        |
| 六、舞台晶闸管调光器 .....            | 180        |
| 七、荧光灯光电控制器 .....            | 180        |
| 八、照明声控开关 .....              | 181        |
| 九、光电继电器 .....               | 184        |
| 十、GDK-1 型防爆光电控制器 .....      | 186        |
| 十一、抗干扰能力强的光电控制器 .....       | 187        |
| 十二、光控开关 .....               | 187        |
| 十三、红外光控断丝检测器 .....          | 189        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 十四、冲床光电控制安全装置 .....          | 190        |
| 十五、无触点接近开关 .....             | 193        |
| <b>第四章 电加热及温控、湿控电路 .....</b> | <b>196</b> |
| 第一节 电加热及温控电路 .....           | 196        |
| 一、手动调温电路 .....               | 197        |
| 二、简易双金属片恒温控制器 .....          | 199        |
| 三、几种小型温度自控电路 .....           | 200        |
| 四、电烘房及电炉温度自动控制器 .....        | 205        |
| 五、ZF-85 系列电热蒸饭箱电路 .....      | 211        |
| 六、几种高精度无触点温度自控电路 .....       | 212        |
| 七、温度开关电路 .....               | 217        |
| 八、电阻炉继电器式温度自控电路 .....        | 219        |
| 九、电阻炉晶闸管式温度自控电路 .....        | 221        |
| 十、盐浴电阻炉快速启动节电电路 .....        | 223        |
| 十一、零触发型晶闸管温度自控电路 .....       | 224        |
| 十二、采用零触发集成电路的炉温自控电路 .....    | 227        |
| 十三、避免电接点压力式温度表触头烧毛的电路 .....  | 232        |
| 第二节 湿控电路 .....               | 233        |
| 一、空气湿度测量仪 .....              | 234        |
| 二、简易加湿器 .....                | 235        |
| 三、灵敏湿度控制器 .....              | 236        |
| <b>第五章 报警电路及抢答电路 .....</b>   | <b>238</b> |
| 第一节 液位、亮度、温度、气体等报警器 .....    | 238        |
| 一、水满报警器 .....                | 238        |
| 二、水开报警器 .....                | 238        |
| 三、锅炉水位报警器 .....              | 239        |
| 四、光线不足指示器 .....              | 241        |
| 五、超温报警器 .....                | 242        |
| 六、冷库用深冷报警器 .....             | 242        |
| 七、气敏报警器 .....                | 243        |
| 八、防盗报警器 .....                | 246        |
| 九、安全型防卫电网电路 .....            | 248        |
| 十、单线控制指示灯电路 .....            | 250        |
| 十一、能传达多种信号的单线远控电路 .....      | 251        |
| 十二、汽车转弯闪光灯电路 .....           | 251        |
| 十三、夜间车辆交会灯光自控电路 .....        | 253        |
| 十四、汽车倒车提醒器 .....             | 254        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 十五、汽车转弯告知器 .....            | 254 |
| 第二节 抢答电路 .....              | 255 |
| 一、继电器式抢答电路 .....            | 255 |
| 二、电子—继电器式抢答电路 .....         | 259 |
| 三、晶闸管式抢答电路 .....            | 260 |
| 四、采用与非门的抢答电路 .....          | 262 |
| 五、采用 CMOS 数字集成电路的抢答电路 ..... | 263 |
| 六、举重有效信号电路 .....            | 264 |
| 参考文献 .....                  | 264 |

# 第一章 实用电子电路、逻辑电路及数字电路

## 第一节 工业整流电路和交流放大器

### 一、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。不同整流电路有各自的特点,适用范围也有所不同,如表 1-1 所列。

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<br>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<br>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<br>耐压高<br>电流大 | 较差       | 脉动大     | 有直流分量<br>产生损耗 | 元件少,但<br>每个价格贵       | 简单   | 要求线路简单、<br>方便时采用 |
|       | 全波 | 数量多<br>耐压小        | 较好       | 脉动小     | 无直流分量         | 元件多,<br>但每个<br>价格较便宜 | 复杂   | 要求工作效率<br>高时采用   |

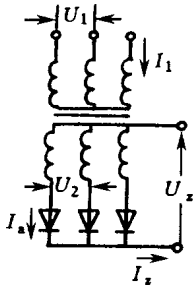
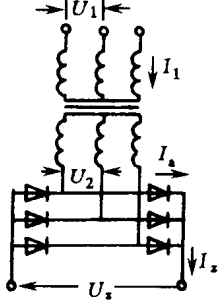
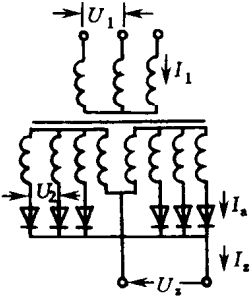
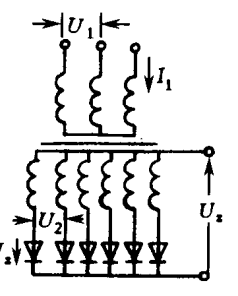
各种整流电路参数及比较如表 1-2 所列。

表 1-2 整流电路

| 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                     |                               |                               |                               |
| 空载直流输出电压 $U_{d0}$       | $0.45U_2$                     | $0.90U_2$                     | $0.90U_2$                     |
| 元件最大正向和最大反向电压峰值 $U_m$   | $1.41U_2$<br>( $3.14U_{d0}$ ) | $2.83U_2$<br>( $3.14U_{d0}$ ) | $1.41U_2$<br>( $1.57U_{d0}$ ) |
| 输出电压纹波系数 $\gamma$       | 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 $P_{s1}$       | $2.69U_zI_z$                  | $1.23U_zI_z$                  | $1.23U_zI_z$                  |
| 变压器二次侧容量 $P_{s2}$       | $3.49U_zI_z$                  | $1.74U_zI_z$                  | $1.23U_zI_z$                  |
| 变压器平均计算容量 $P_{\Sigma}$  | $3.09U_zI_z$                  | $1.49U_zI_z$                  | $1.23U_zI_z$                  |

注:  $e$  为硅元件正向压降;  $n$  为硅元件串联只数;  $k = U_2/U_1$

的基本电量关系

| 三相半波(星形零点)                                                                        | 三相星形桥式                                                                            | 六相双反星形                                                                            | 六相星形半波                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |
| $1.17U_2$                                                                         | $1.35U_2$                                                                         | $1.35U_2$                                                                         | $1.17U_2$                                                                           |
| $2.45U_2$<br>( $2.09U_{d0}$ )                                                     | $1.41U_2$<br>( $1.05U_{d0}$ )                                                     | $2.83U_2$<br>( $2.09U_{d0}$ )                                                     | $2.45U_2$<br>( $2.09U_{d0}$ )                                                       |
| 0.183                                                                             | 0.042                                                                             | 0.042                                                                             | 0.042                                                                               |
| $0.333I_z$                                                                        | $0.333I_z$                                                                        | $0.167I_z$                                                                        | $0.167I_z$                                                                          |
| $0.47kI_z$                                                                        | $0.817kI_z$                                                                       | $0.407kI_z$                                                                       | $0.576kI_z$                                                                         |
| $0.58I_z$                                                                         | $0.817I_z$                                                                        | $0.289I_z$                                                                        | $0.407I_z$                                                                          |
| $0.855U_z + ne$                                                                   | $0.428U_z + 2ne$                                                                  | $0.855U_z + ne$                                                                   | $0.744U_z + ne$                                                                     |
| $1.21U_zI_z$                                                                      | $1.05U_zI_z$                                                                      | $1.05U_zI_z$                                                                      | $1.28U_zI_z$                                                                        |
| $1.49U_zI_z$                                                                      | $1.05U_zI_z$                                                                      | $1.48U_zI_z$                                                                      | $1.81U_zI_z$                                                                        |
| $1.35U_zI_z$                                                                      | $1.05U_zI_z$                                                                      | $1.26U_zI_z$                                                                      | $1.43U_zI_z$                                                                        |

## 二、晶体管三种工作状态及三种基本电路

### 1. 晶体管三种工作状态的特点和条件

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;晶体管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。

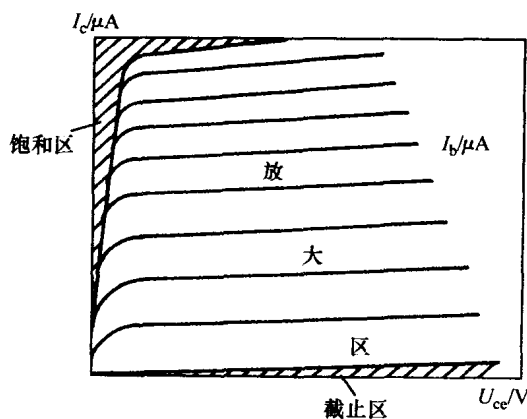


图 1-1 晶体管的放大区、饱和区和截止区

(1) 截止状态。在截止区内,晶体管所承受的电压较高,管子中流过的电流却很小,相当于一个开关的断开状态。

① 条件:对 PNP 型管,  $U_b \geq U_e$ ; 对 NPN 型管,  $U_b \leq U_e$ 。截止时的特点是两个 PN 结均为反向偏置。

② 特点:

$$I_b \approx 0A, I_c \approx 0A, U_{ce} \approx E_c (E_c \text{ 为电源电压})$$

为了使晶体管更好地截止,可采取下列措施:采用  $I_{c0}$  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,  $U_{be} \geq 0V$ ; 对于 NPN 型管,  $U_{be} \leq 0V$ 。

(2) 放大状态。在放大区内,微弱的电信号能被放大到很大的数值。

① 条件:发射结加正向电压,  $U_b > U_e$ ; 集电结反向,  $U_c > U_b$ 。

② 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。在饱和(导通)区内,晶体管三个电极间的电压均很小,电流却很大,相当于一个开关的接通状态。

① 条件:

$$I_b \geq \frac{I_{CM}}{\beta} \left( \text{如果 } I_{CM} = \frac{E_c}{R_c}, \text{ 则 } I_b > \frac{E_c}{\beta R_c} \right)$$

② 特点:发射结、集电结都处于正向,  $I_b$  增加,  $I_c$  不再增加,  $I_c = E_c / R_c$  由  $R_c$ 、 $E_c$  决定,饱和压降  $U_{ces} \approx 0V$ ,这时可以把晶体管的三个电极看做是接通的。

## 2. 晶体管三种工作状态和数量关系(表 1-3)

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    | $I_b \leq 0A$ , $I_b$ 为负值时, 表示实际方向与图中所示相反                                    | $I_b > 0A$ , 其实际方向如图所示                                                       | $I_b > E_c / (\beta R_c)$ , 为使晶体管处于深度饱和和工作区, $I_b = (2 \sim 3) E_c / (\beta R_c)$ |
|         | 锗管 $U_{be} \approx +0.3V \sim -0.1V$<br>硅管 $U_{be} \approx -0.3V \sim +0.5V$ | 锗管 $U_{be} \approx -0.1V \sim -0.2V$<br>硅管 $U_{be} \approx +0.5V \sim +0.7V$ | 锗管 $U_{be} < -0.2V$<br>硅管 $U_{be} > +0.7V$                                        |
|         | $I_c \leq I_{\infty}$                                                        | $I_c = \beta I_b + I_{c0}$                                                   | $I_c = E_c / R_c$                                                                 |
|         | $U_{ce} \approx E_c$                                                         | $U_{ce} \approx E_c - I_c R_c$                                               | (管子饱和压降) $U_{ce} \approx 0.2V \sim 0.3V$                                          |
| 工作状态的特点 | 当 $I_b \leq 0A$ 时, 集电极电流很小, 晶体管相当于截止, 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; $\beta$ 越大, 控制越灵敏            |

3. NPN 晶体管三种接法的比较(表 1-4)

表 1-4 NPN 晶体管三种接法的比较

| 名称             | 共发射极电路          | 共集电极电路<br>(射极输出器)   | 共基极电路                    |
|----------------|-----------------|---------------------|--------------------------|
| 电路图            |                 |                     |                          |
| 输出与输入<br>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( $\beta$ 为几十) | 大( $1 + \beta$ 为几十) | 小( $\alpha$ 小于 1 并接近于 1) |
| 功率放大倍数         | 大(约为 30dB~40dB) | 小(约为 10dB)          | 中(约为 15dB~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

三、交流放大器的设计要点

1. 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:

$$I_1 \geq (5 \sim 10) I_b \text{ (硅管电路 } I_1 \text{ 可以选得更小)}$$

$$U_b \geq (5 \sim 10) U_{be} \text{ (PNP 管电压取绝对值)}$$

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,由这些条件出发计算电路的元件参数,可使计算过程大大简化。

## 2. 利用负反馈电路和温度补偿电路稳定工作点

四种负反馈电路的特点如表 1-5 所列。

表 1-5 四种负反馈电路的特点

| 负反馈的连接形式    |         | 被稳定的输出量             | 输入电阻 | 输出电阻      |
|-------------|---------|---------------------|------|-----------|
| 取自输出的反馈信号类型 | 输入端连接形式 |                     |      |           |
| 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) |

注:  $U_{sc}$ 、 $I_{sc}$  分别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互补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,于是造成三极管基极电位  $U_b$  下降,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,可以很好地稳定工作点,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。

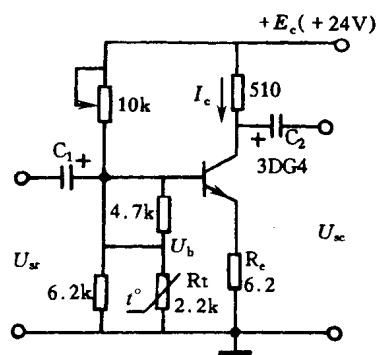


图 1-2 利用热敏电阻  $R_t$  补偿工作点的变化

## 四、功率放大器的保护电路

### 1. 感性负载的保护电路

在控制电路中,末级的功率放大器往往要推动接触器、继电器、电磁阀门等电感性负载。在切断这些电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。采用二极管和电容保护的电路如图 1-3 所示。

对于图 1-3(a),其二极管按以下要求选择:最高反向工作电压  $V_R > E_c$ ;额定正向电流  $I_F \geq I_{zmax}$  ( $I_{zmax}$  为最大负载电流)。

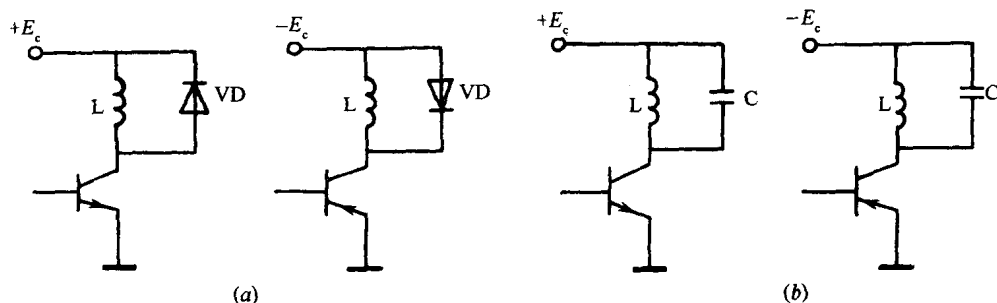


图 1-3 采用二极管或电容的保护电路

(a) NPN 管和 PNP 管的二极管保护; (b) NPN 管和 PNP 管的电容保护。

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, 可串联一个限流电阻。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时的保护电路

白炽灯灯丝的冷态电阻要比点亮后的热态电阻大 8 倍~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 倍~10 倍。如果根据灯泡的标称功率(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, 为此需采取限流措施。

(1) 单管电路。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。

限流电阻  $R$  的计算:

① 对于图 1-4(a)所示的电路, 有两种计算方法。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  $R$  降压补偿。方法二: 串联电阻降压按  $0.1E_c$  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。

② 对于图 1-4(b)所示的电路, 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。

③ 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 3DD1C, 灯泡为 6.3V/150mA。

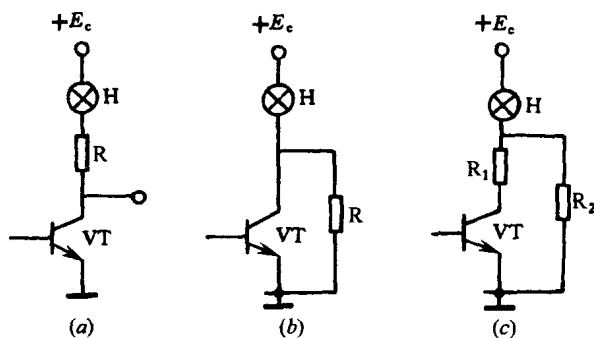


图 1-4 单管电路限制灯泡冷态电流的方法

(a) 串联电阻; (b) 预热灯丝; (c) 混合式。

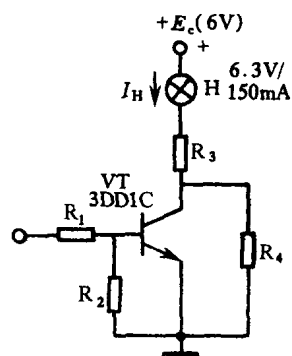


图 1-5 保护电路计算实例