

晶体管电路

(上册)

清华大学 电子系 自动化系 《晶体管电路》编写小组

北京无线电二厂翻印

TN710.2

毛 主 席 语 录

我们的教育方针，应该使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展，成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者。

学制要缩短，教育要革命，资产阶级知识分子统治我们学校的现象，再也不能继续下去了。

要自学，靠自己学。

大学生，尤其是高年级，主要是自己研究问题，……

要把精力集中在培养分析问题和解决问题的能力上，……

我们一定要有无产阶级的雄心壮志，敢于走前人没有走过的道路，敢于攀登前人没有攀登过的高峰。

前 言

在毛主席教育革命路线的指引下，教育革命的洪流滚滚向前，我国第一代工农兵大学生，肩负着无产阶级的历史重托，高举毛泽东思想伟大红旗豪迈地跨进了社会主义大学的阵地，他们同学校的革命教职工团结战斗在一起，为无产阶级教育革命创造了新的经验，谱写了新的篇章，将教育革命推进到一个崭新的阶段。

毛主席教导我们：“无产阶级必须在上层建筑其中包括各个文化领域中对资产阶级实行全面的专政。”无产阶级教育革命，是无产阶级在文化教育阵地上彻底推翻资产阶级的统治、对资产阶级实行全面专政的一场深刻的政治革命。长期以来，叛徒、内奸、工贼刘少奇及其在教育界的代理人把大量封、资、修的黑货塞进了旧教材，用来毒害青年，打击工农兵，旧教材简直成了他们向无产阶级进攻的罪恶工具，是可忍，孰不可忍？！在这场教育革命中，我们一定要继续深入地“批判资产阶级”。当前，特别要遵照毛主席关于“认真看书学习，弄通马克思主义”，“进行一次思想和政治路线方面的教育”等一系列重要指示，认真读马、列的书，认真学习毛主席著作，深入批判刘少奇一类假马克思主义政治骗子所贩卖的唯心论的先验论、反动的唯生产力论、地主资产阶级的人性论、阶级斗争熄灭论，进一步分清什么是毛主席的无产阶级教育路线，什么是刘少奇一类政治骗子推行的修正主义教育路线，提高执行毛主席革命路线的自觉性；并且在工人阶级的领导下，经过坚持不懈的努力，编写出“为工农兵服务，为无产阶级政治服务，为社会主义服务”的新教材，进一步落实毛主席关于“教材要彻底改革”的伟大指示。

当前，贯彻毛主席历来提倡的“要自学，靠自己学”的伟大指示，形成学员“主要是自己研究问题”的生动活泼的学习局面，是关系到培养什么人、如何培养人的方向问题，是教育战线的一场革命。在这种情况下，教材自然也应当适合学员自学，这正是我们这次编写《晶体管电路》的一个基本出发点。因此，我们在讨论电子学的问题时，首先运用辩证唯物主义的观点，努力阐明问题的物理本质，同时进行必要的数量分析，书中的绝大部分内容只需要具备初等数学和电工学的基本知识就可以自学。作为一种引导，每一章的开头都写了内容提要，重要的章节后面还写了小结，指明重点及基本要求。大部分章节附有思考题、习题和实验提纲，便于学员在学习过程中进行检查和复习。

《晶体管电路》分上、下两册出版，上册计有交流放大器、直流放大器、运算放大器等五章；下册包括调制式直流放大器、交流功率放大器、直流稳压电源、正弦波振荡器、可控硅及其应用等六章。

上册第一章通过工人在技术革新中应用晶体管实现自动化的几个实例，通俗地介绍了晶体管的放大作用，目的是打破资产阶级散布的“电子神秘论”，作为学习晶体管电路的一个入门。第二章从晶体管的P—N结结构出发，解释了晶体管电流放大的原理，并

介绍了晶体管的特性及主要参数，而晶体管的特性和参数则是我们在选用晶体管和分析晶体管电路时的重要依据。

第三章和第四章分别介绍了晶体管的交流放大器和直流放大器，重点讨论了晶体管放大器的基本单元电路（如共发射极放大电路、工作点稳定的放大电路、射极输出器、差动放大器等等）及其基本分析方法（包括计算法、图解法及晶体管等效电路），这些内容对晶体管放大电路具有普遍意义。此外，考虑到不同专业的教学结合点不同，有的专业可能先接触到交流放大器，而另外一些专业则可能先接触到直流放大器，因此第三章和第四章在内容上尽量做到相互独立，以便学习直流放大器的学员可以不必先学习第三章的内容。

第五章在第四章的基础上，介绍了在自动控制系统中获得广泛应用的直流运算放大器，通过 F—2J 型晶体管运算放大器的实例，比较详细地介绍了运算放大器的设计方法，同时还介绍了 BG 301 型组件运算放大器的电路特点，以及运算放大器的应用、测试等实际问题。

这本教材是在 1969 年各教改小分队所编写的教材的基础上，特别是 1970 年下半年新学员入学之后，又在电子系和自动化系的教学实践的基础上，由两系有关教员共同编写的，希望对自动控制、工业自动化、可控硅装置等专业都有一定程度的通用性。教材初稿的大部分章节曾发给两系的一部分学员征求意见。

由于我们对毛主席的教育思想领会不深，实践经验又很差，教材中肯定会有许多缺点错误，恳切希望广大工农兵学员和读者同志给以批评指正。

电子系
自动化系 《晶体管电路》编写小组

1971 年 5 月

序 言

毛主席教导我们：“要下决心搞尖端技术。……西方资产阶级有的，东方无产阶级要有；西方资产阶级没有的，东方无产阶级也要有。”

遵照毛主席的这一重要指示，我厂广大革命职工，树雄心立壮志，胸怀远大革命目标，立足搞好本职工作，为革命努力、提高自己为人民服务的技能和本领。在广大工人和技术人员业余学习的迫切要求下，我们翻印了清华大学电子系和自动化系编写的教材《晶体管电路》。在翻印过程中，清华大学教改组、清华大学印刷工厂以及北京市印刷一厂的有关负责同志和工人师傅们，都给予我们极大的支持和无私的援助，对此我们表示衷心地感谢。在今后的工作中我们一定要以您们为榜样，虚心学习您们这种共产主义大协作的精神。让我们在不同的工作岗位上，为着一个共同的革命目标“团结起来，争取更大的胜利！”

北京无线电二厂情报资料室

1972 年 2 月

符号及脚注的说明

(一) 原 则

1. 尽量采用国际通用符号, 当不足时用汉语拼音字母;
2. 电压、电流的直流值用大写字母 U 、 I , 交流值用小写字母 u 、 i ;
3. 静态电阻用大写字母 R , 动态电阻用小写字母 r 。

(二) 符 号

D : 晶体二极管; 稳压管	P : 功率
T : 晶体三极管	K : 放大倍数 (或电压放大倍数); 开关
C : 电容	T : 温度; 时间常数
R : 电阻; 静态电阻	f : 频率
r : 动态电阻; 电阻	t : 时间
W : 电位器	Δ : 变化量, 增量
B : 变压器	U : 直流电压
J : 继电器	u : 交流电压 (瞬时值)
E : 直流电源电压	I : 直流电流
e : 交流电源电压	i : 交流电流 (瞬时值)

(三) 脚 注

c : 集电极 (U_c : 集电极电压, I_c : 集电极电流)
b : 基极 (i_b : 基极的交流电流瞬时值)
e : 发射极 (U_e : 发射极电压)
sr : 输入 (U_{sr} : 输入电压, R_{sr} : 输入电阻)
sc : 输出 (U_{sc} : 输出电压)
fz : 负载 (R_{fs} : 负载电阻)
s : 上限 (f_s : 上限频率)
x : 下限 (f_x : 下限频率); 信号 (e_x : 信号电源, R_x : 信号源内阻)
u : 电压 (K_u : 电压放大倍数)
i : 电流 (K_i : 电流放大倍数)
max : 最大值
min : 最小值
m : 最大值, 峰值 (I_{bm} : 基极交流电流的峰值)

(四) 补 充 符 号

R'_{fs} : 放大器的总负载电阻

U_{os} : 直流放大器的输入失调电压

I_{os} : 直流放大器的输入失调电流

β (或 h_{fe}): 晶体管的动态电流放大系数

$\bar{\beta}$ (或 h_{FE}): 晶体管的静态电流放大系数

I_{cbo} : 集电极反向截止电流

I_{ceo} : 集电极——发射极反向截止电流 (或穿透电流)

I_{cm} : 集电极最大允许电流

P_{cm} : 集电极最大允许耗散功率

BV_{ceo} : 集电极——发射极击穿电压

U_{srms} : 输入交流电压的峰值

U_{scms} : 输出交流电压的峰值

$\tilde{U}$: 交流电压的有效值

$\tilde{I}$: 交流电流的有效值

目 录

第一章 晶体管的放大作用	1
第一节 晶体三极管的放大作用	1
第二节 从几个实例看三极管的放大作用	3
(一) 光电控制	3
(二) 纸张折角自动检测	5
(三) 水位控制	6
小结	8
第二章 晶体管的 P—N 结结构和特性参数	9
第一节 半导体的导电特性	9
(一) 什么是半导体?	10
(二) 半导体中的特殊载流子——空穴	10
(三) P 型和 N 型半导体	12
第二节 P—N 结的特性——扩散力与电场力的矛盾	13
(一) 感性的认识	13
(二) P—N 结的根本矛盾——扩散力与电场力的矛盾	13
(三) 外加正向电压促使 P—N 结转化为导通状态	14
(四) 外加反向电压促使 P—N 结转化为截止状态	15
第三节 半导体二极管的特性和参数	16
(一) 半导体二极管的结构	16
(二) 二极管的特性和参数	16
(三) 二极管参数举例	17
(四) 二极管的简易测试方法	19
第四节 晶体三极管	19
(一) 三极管的结构	19
(二) 三极管的电流放大作用	
——扩散运动和复合运动的矛盾	20
(三) 三极管的输入特性与输出特性	22
(四) 三极管的主要参数	25
(五) 温度对三极管参数的影响	28
(六) 利用万用表检查三极管	30
小结	31
附录: 国产半导体器件型号命名方法	32
第三章 交流放大器	35

第一节	静态工作点的设置	37
	(一) 什么叫静态工作点?	37
	(二) 不设置静态工作点行不行?	38
	(三) 怎样才能使放大器不失真?	39
	小结	41
第二节	基本放大电路的分析方法	42
	(一) 晶体管放大器的基本电路	42
	(二) 分析放大电路的计算法	42
	(三) 分析放大电路的图解法	46
	(四) 单管交流放大器的设计举例	53
	小结	54
第三节	工作点的稳定	57
	(一) 温度对放大器工作点的影响	57
	(二) 工作点稳定的典型电路	58
	(三) 工作点稳定的双管直接耦合放大电路	65
	(四) 其他稳定工作点的放大电路	67
	小结	69
第四节	晶体管等效电路的应用	71
	(一) h 参数及其等效电路	71
	(二) 放大器的输入电阻及输出电阻的概念	78
	(三) 应用晶体管等效电路计算放大器的输入电阻、输出电阻 和放大倍数	81
	(四) 射极输出器	82
	(五) 具有负反馈的共发射极放大电路	87
	小结	89
第五节	多级放大器	92
	(一) 多级放大器的特殊矛盾	92
	(二) 多级放大器的设计	99
第六节	放大器的调整、测试与制造工艺	102
	(一) 调整静态工作点	102
	(二) 输入交流信号的调试	103
	(三) 放大器的噪声与振荡	106
	(四) 工艺要求	109
第四章	直流放大器	110
第一节	直流放大器解决什么问题有什么矛盾	110
	(一) 在自动控制系统中为什么用直流放大器	110
	(二) 单管放大电路	111
	(三) 几个单管放大电路联接后出现的问题	119

小结	121
第二节 差动放大器	122
(一) 主导思想	122
(二) 差动式电路的工作原理	123
(三) 典型差动放大电路的分析	124
(四) 单端式差动放大电路	129
(五) 差动放大电路的进一步改善措施	132
小结	135
第三节 多级放大器	136
(一) 多级放大器级间耦合时出现的问题	136
(二) 多级放大器的几种耦合方式	137
(三) 放大器的输入电阻	139
(四) 放大器的输出电阻	149
(五) 射极输出器	153
(六) 多级放大器中的反馈	161
小结	170
第四节 直流放大器的应用举例	176
(一) 单晶炉温度控制系统中的直流放大器	176
(二) 国产 XWD 型自动电位差计中的放大器 JF-12	179
(三) 国产 DDZ-2 型自动调节仪表中的电压 — 电流变换器	180
第五章 运算放大器	183
第一节 什么是运算放大器	183
(一) 测试二极管反向特性所遇到的问题	183
(二) 引入负反馈所起的作用	184
(三) 输出和输入的关系	186
(四) 运算放大器的基本要求	187
小结	188
第二节 晶体管运算放大器的设计	188
(一) 设计数据	189
(二) 电路方案选择	189
(三) 各级工作情况	190
(四) 各级参数计算	191
(五) 静态工作点的校核	195
(六) 输入电阻估算	197
(七) 各级电压放大倍数的估算	198
(八) 调整	200
(九) 设计步骤小结	202

第三节	利用组件的运算放大器	203
	(一) 固体组件的特点	203
	(二) BG 301 线性组件的电路原理图、技术指标和 外形图	204
	(三) BG 301 组件各级工作情况	205
	(四) BG 301 组件各级工作点的估算	207
第四节	运算放大器在自动控制系统中的应用	209
	(一) 比例放大器	210
	(二) 加法器 (信号的组合)	211
	(三) 积分器	213
	(四) 比例—积分—微分放大器 (PID 放大器)	214
	(五) 限幅器	216
	小结	217
第五节	运算放大器的参数和测试方法	217
	(一) 输入失调电压 U_{os}	218
	(二) 输入失调电流 I_{os}	219
	(三) 输入偏置电流 I_b	219
	(四) 电压放大倍数 K	220
	(五) 输入电阻 r_{sr}	220
	(六) 输出电阻 r_{sc}	221

毛主席语录

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

人民，只有人民，才是创造世界历史的动力。

第一章 晶体管的放大作用

无产阶级文化大革命，摧毁了以刘少奇为首的资产阶级司令部及其推行的反革命修正主义路线，广大革命群众在工人阶级领导下，全面地贯彻执行毛主席提出的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线和“抓革命，促生产，促工作，促战备”的伟大指示，电子工业和其它事业一样，取得了飞速的发展。

在波澜壮阔的大办电子工业的群众运动中，从城市到农村，从大工厂到小车间，到处摆开了战场，刚刚放下凿子、镟头的木匠、铁匠，成了电子工业的闯将，简陋的弄堂里，破旧的锅台上生产出赶超世界水平的产品……。事实雄辩地说明：“卑贱者最聪明，高贵者最愚蠢！”电子技术并不神秘。

第一节 晶体三极管的放大作用

毛主席教导我们：“认识开始于经验——这就是认识论的唯物论。”

晶体管电路在工农业生产、国防建设以及人民生活中都有广泛的应用，晶体三极管是组成电路的关键元件，所以，人们在实践中都不同程度地接触到晶体三极管。

例如在集会或者游行的时候，组织者常常通过扩音器指挥和调动队伍，不用扩音器，由于讲话的声音弱，就难于使成千上百的人都听得很清楚。如果人数更多，没有扩音器，简直办不到。扩音器能把本来很微弱的声音放大，这是大家所熟悉的。但是扩音器为什么能有这个作用呢？毛主席教导我们：“我们看事情必须要看它的实质，而把它的现象只看作入门的向导，一进了门就要抓住它的实质，这才是可靠的科学的分析方法。”让我们打开扩音器看一看，这个秘密就不难揭穿了。

图1—1是手提半导体扩音器的结构图。它由三个部分组成：第一，叫话筒，它把说话的声音转换成音频的电压(或电流)；第二，叫半导体放大器，它的作用是把微弱的电信号(电压和电流)增强，即担负“放大”的任务；第三，是喇叭，把电信号又变成声音。显然，就是依靠半导体放大器的放大作用，才使喇叭发出的声音远远超过讲话的声音。

而在半导体放大器中起放大作用的关键又是晶体三极管，那么什么是晶体三极管呢？

晶体三极管是由半导体材料(锗或硅)制成的电子器件，它的外形如图1—2所示。

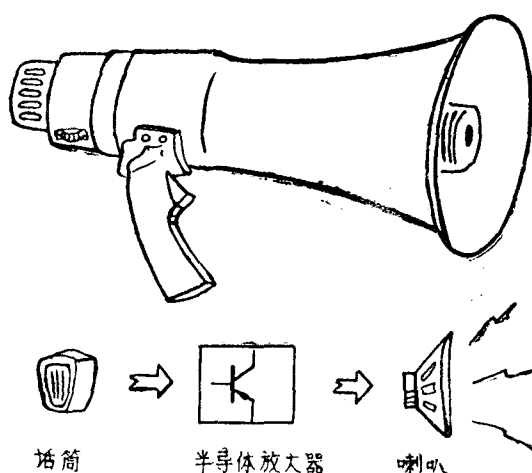


图 1-1 手提半导体扩音器结构图

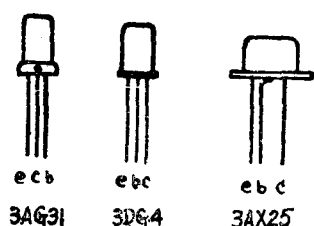


图 1-2 晶体三极管的外形图

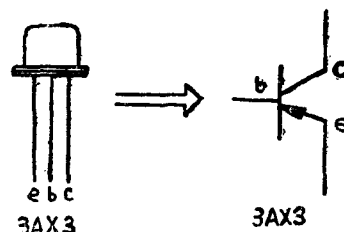
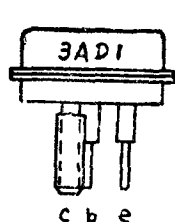


图 1-3 晶体三极管的符号

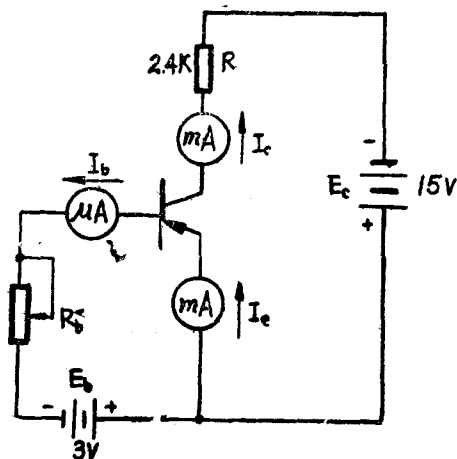


图 1-4 晶体三极管的电流关系

改变电阻 R_b , 电流 I_c 、 I_b 、 I_e 都发生变化, 它们的变化规律, 可以用电流表分别测出, 如表 1。

管子有三个电极: 集电极、基极和发射极, 分别用字母 c , b , e 表示。一般查阅半导体手册, 就知道如何识别不同型号三极管的三个管脚。也可以用万用表辨别管脚(可参阅第二章)。为了方便通常用图 1-3 所示的符号代表三极管。

三极管具有什么特性, 它又是怎样起放大作用的呢? 遵照毛主席关于“你要有知识, 你就得参加变革现实的实践”的教导, 首先通过实验了解一下三极管三个极电流的相互关系。把三极管按图 1-4 的接法连起来, 其中 E_c , E_b 是电源, 分别为 15V 和 3V, 电流的方向标在图上。

表 1

实验次数 电流种类	1	2	3	4	5	6
基极电流 I_b (mA)	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06
集电极电流 I_c (mA)	0.55	1.10	1.94	2.69	3.41	4.62
发射极电流 I_e (mA)	0.55	1.11	1.96	2.72	3.45	4.68

从以上材料可以看出：

1. 晶体三极管要工作，必须加上电源 E_c , E_b ，即必须“通上电”。
2. 电流 $I_e = I_c + I_b$ ，即发射极电流 I_e 等于基极电流 I_b 和集电极电流 I_c 之和，符合节点电流定律。
3. I_b 比 I_c 及 I_e 小得多，基极电流 I_b 的少量变化，可以引起集电极电流 I_c 的较大变化，这就是晶体管的电流放大特性。比如 I_b 由 0.02 mA 变到 0.04 mA 时， I_c 由 1.94 mA 变到 3.41 mA ，它们之间变化量的比例，称为电流放大系数 β 。例如

$$\beta = \frac{I_{c5} - I_{c3}}{I_{b5} - I_{b3}} = \frac{3.41 \text{ mA} - 1.94 \text{ mA}}{0.04 \text{ mA} - 0.02 \text{ mA}} = \frac{1.47 \text{ mA}}{0.02 \text{ mA}} = 73.5$$

其中， I_{b3} , I_{c3} 是第三次测得的基极电流和集电极电流，

I_{b5} , I_{c5} 是第五次的测量数据。

电流放大特性是三极管最重要和最基本的特性，扩音器正是利用它实现对声音的放大。话筒把人讲话的声音变换成微弱的电流变化，输入到三极管的基极，由于管子电流放大的作用，集电极电流的变化增强了几十倍，接上几个管子，每个管子 I_c 都比 I_b 大几十倍，在最后的三极管集电极回路中就可以得到很大的电流变化。如果在集电极回路上安上喇叭，就可以发出很强的声音，我们说讲话的声音被放大了。自然，这个很强声音的能量是电源提供的，不加电源晶体管不能工作。换句话说，电源供给能量，晶体三极管只是根据需要加以利用和控制就是了。因此所谓“放大”，实质上就是“以小控制大，以弱控制强”的意思。

第二节 从几个实例看三极管的放大作用

有了对三极管特性的了解，就可以“拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。”广大工农兵群众，依靠战无不胜的毛泽东思想，根据自己的实践经验，利用三极管的电流放大特性进行技术革命和革新，解决大量生产实际问题。下面仅举几个例子。

(一) 光电控制

生产塑料丝的塑料拉丝机，要求在断丝时立即停车。原来由人工看管，一个人只能

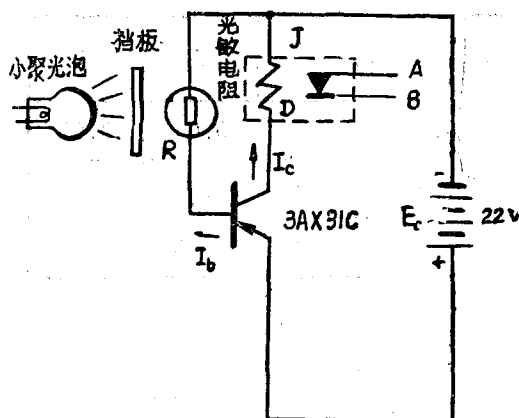


图 1—5 断丝自动停车原理图

转，光线直接照到光敏电阻上，它的阻值大大减小（约 $50\text{ K}\Omega$ ），这时基极电流是

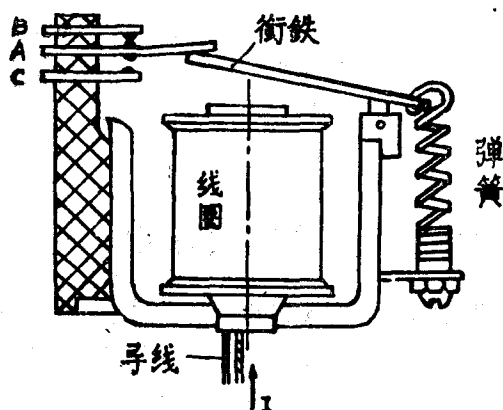
$$I_b = \frac{E_c - U_{be}}{R} = \frac{22V}{50\text{ K}\Omega} = 440\text{ }\mu\text{A}$$

而

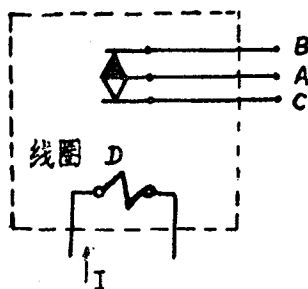
$$I_c = \beta I_b = 30 \times 0.44 = 13.2\text{ mA}$$

这里，三极管的电流放大系数 $\beta = 30$ ， U_{be} 是三极管基极到发射极的电压降，一般约 $0.1 \sim 0.2\text{ V}$ 。由于流过继电器线圈的电流增大，接点打开，切断机器的电源。

继电器的工作原理见图 1—6。线圈不通电流时，弹簧使衔铁保持在打开的位置上



(a) 结构图



(b) 符号

图 1—6 继电器的结构图和符号

（结构图所示的位置），接点 A 、 B 处于闭合状态， A 、 C 处于打开状态。当由导线向线圈通入电流 I ，超过一定数值后（比如 6 mA ），由电流形成的磁场吸力，超过弹

簧的拉力，衔铁吸合，接点 A 和 B 打开， C 和 A 闭合。通常把线圈不通电流时处于闭合状态的接点（ A 和 B ）称为常闭接点，反之，称常开接点（ A 和 C ）。

既然继电器线圈通上一定的电流就会动作，那么，直接把光敏电阻和继电器线圈相串联，加上电源电压，如图 1—7，不是也能起自动控制的作用吗？需要指出的是，要使继电器动作，一般需要几个毫安以上的电流，例如 6 mA 。如果不用晶体三极管，而是按图 1—7 接线，那么流过光敏电阻的电流，至少也要 6 mA 。光敏电阻（其它变换元件也类似）的功率总是很小，不能通过大电流，所以不能直接带动继电器（或其它执行机构），这样，图 1—7 的电路在实际上是行不通的。在光敏电阻和继电器之间接上晶体三极管，正是利用三极管的电流放大作用，使流过光敏电阻的小量电流能引起大于继电器动作的电流，从而解决了上述的矛盾。

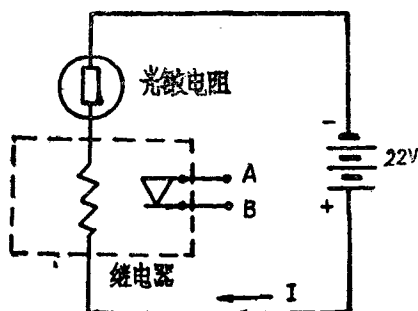


图 1—7 光敏电阻和继电器直接串联时的情况

由此可见，只要我们把控制的对象（例如继电器）放在晶体管的集电极回路，把控制的信号（例如光敏电阻受光后的阻值变化）放在晶体管的基极回路，同时接上合适的电源电压，就可以实现“以小控制大，以弱控制强”的目的。

上面提到的光电控制原理，也可运用到其它场合。例如，把光敏电阻和电源安在剪床或冲床上，送工件或取工件时，由于操作工人的手挡住了光源，光敏电阻阻值变大，流过继电器线圈的电流减小，衔铁释放，它的接点切断剪床或冲床的电源，从而避免因误操作而造成工伤事故，保证了操作的安全。显然，它的工作原理和断丝自动停车一样，不同的只是利用继电器的 A 、 C 常开接点（图 1—6）就是了。读者根据上面提出的原则，就可以画出它的原理图。

（二）纸张折角自动检测

印刷机传输带传送纸张过程中容易出现折角现象，影响印刷质量。广大印刷工人怀着对伟大领袖毛主席无限忠诚、无限热爱的心情，想方设法保证印刷毛主席红宝书的质量，创造出大量技术革新的项目，纸张折角自动检测就是其中之一。

图 1—8 是它的原理图。传送带的上方安一根铁丝做的探针，从探针引出一根导线，通过电阻接到三极管的基极，传送纸张的金属带接到电源的负端。因为纸是绝缘的，没有折角时，探针和金属传送带不相通，没有基极电流，继电器不动作。出现折角时，探针和金属带接通，出现基极电流 I_b （如图 1—8 箭头所示），三极管集电极电流 $I_c = \beta I_b$ ，流过继电器线圈，因而接点闭合，发出停车信号。能不能省去三极管呢？比如把继电器线圈直接串在电源和探针之间，当探针和金属带接通时，电流流过继电器线圈，照样使它动作，似乎也能达到同样的作用。不过应当看到，这时通过探针的电流至

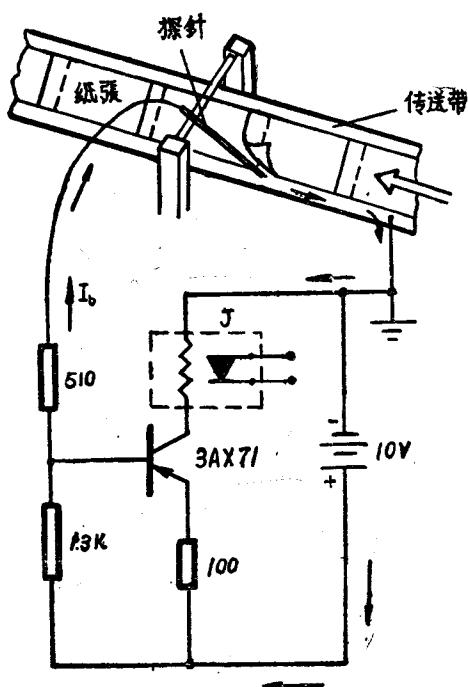


图 1—8 纸张折角检测原理图

A 和 B 之间。

少是继电器的动作电流，电流加大了，容易在探针和金属带的接触之间出现“打火”或接触不良的现象，影响可靠性，实际上往往行不通。

在这里工人师傅用了和光电控制同样的原理，把控制的对象（继电器）放在晶体管的集电极回路，把控制的信号（探针、金属带之间接触电阻的变化）放在晶体管的基极回路，加上电源，通过管子电流放大的作用，达到“以小控制大”的目的。

（三）水位控制

为了保证供水，水塔的水位要经常保持在一定水平上，如图 1—9，当水位低到 B 时，水泵应自动向水箱打水，当水位升到 A 时，水泵应停止工作，即自动维持水箱的水位总在

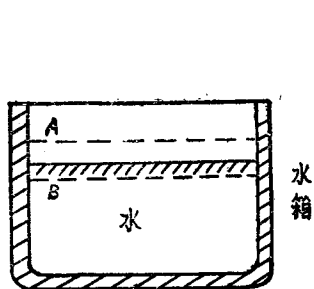


图 1—9 水箱

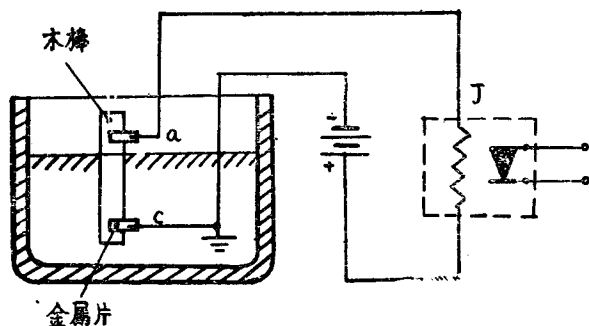


图 1—10 水位控制的原理

怎样实现这个要求呢？我们可以运用上面提供的知识，利用一只继电器，当水位升到 A 时，使继电器动作，切断水泵的电源停止打水，当水位降到 B 时，继电器不动作，水泵继续打水，把水位保持在一定水平上。剩下的问题是怎样取得控制信号，我们知道不含任何杂质的水是不导电的，但是只要水中有一点杂质，它的导电性能就能提高很多，可以是几百欧姆的数量级甚至更小。所以，能不能设想在水箱中放进几个金属片，然后把继电器的线圈通过电源和这几个接点联到水源上，利用水位的变化控制继电器的动作（如图 1—10），也就解决控制信号的来源问题。但需要指出的是，以上的设