

电子技术讲座(二)

晶体管放大与振荡电路

上海市业余工业大学

803



科学出版社

73.67

3

电子技术讲座 (二)

晶体管放大与振荡电路

上海市业余工业大学编

科学出版社

1971

内 容 简 介

本书是电子技术讲座之二。内容分四个部分：1. 晶体三极管，2. 放大器，3. 直流稳压电源，4. 自激振荡器。放大器部分结合实用线路讲述了低频小信号、功率放大器；直接耦合、差动、调制型直流放大器。直流稳压电源部分结合实用线路讲述了硅稳压管稳压器，串联型负反馈稳压电路及其简单计算。自激振荡器部分除介绍了自激振荡器的工作原理外，还结合实用线路分别讲述了LC自激振荡器及其线路分析，RC自激振荡器，石英晶体振荡器，陶瓷滤波器控频振荡器等。最后还附有晶体管几个参数说明、参数符号说明和国产晶体管参数表。

电子技术讲座共四本，分别是：《晶体管整流电路》、《晶体管放大与振荡电路》、《晶体管收音机》、《晶体管开关电路》。

电子技术讲座(二) 晶体管放大与振荡电路

上海市业余工业大学编

*

科学出版社出版

北京西直门外三里河路2号

北京市书刊出版业营业许可出字第061号

外文印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1971年3月第一版

开本：787×1092 1/32

1971年3月第一次印刷

印张：7 1/4 插页1

字数：162,000

统一书号：15031·240

本社书号：3512·15-7

定价：0.40 元

毛主席语录

中国共产党是全中国人民的领导核心。没有这样一个核心，社会主义事业就不能胜利。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

我们必须全心全意地依靠工人阶级，团结其他劳动群众，争取知识分子，……

打破洋框框，走自己工业发展道路。

前 言

看万山红遍，层林尽染。面对着国内外一派大好形势，全国人民满怀胜利豪情，以战斗的步伐，跨入了社会主义革命和社会主义建设新高潮的一九七一年。我们热烈欢呼毛主席的无产阶级革命路线的胜利，衷心祝愿我们的伟大领袖毛主席万寿无疆！

今年，是我国实行发展国民经济第四个五年计划的第一年。毛主席教导说：“**我国人民应该有一个远大的规划，要在几十年内，努力改变我国在经济上和科学文化上的落后状况，迅速达到世界上的先进水平。**”要实现这一伟大战略目标，我们要以两个阶级、两条道路、两条路线斗争为纲，**鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。**要贯彻执行“**提高警惕，保卫祖国**”，“**备战、备荒、为人民**”的伟大战略方针，发扬**独立自主、自力更生、艰苦奋斗、勤俭建国**的革命精神。

应用电子技术，对我国工业、农业、科学技术、国防以及人民政治生活有着密切的联系。经过无产阶级文化大革命，彻底摧毁了以叛徒、内奸、工贼刘少奇为首的资产阶级司令部，粉碎了反革命修正主义路线，大破洋奴哲学、爬行主义。在毛主席的革命路线指引下，随着技术革新群众运动的蓬勃开展，应用电子技术，越来越广泛。广大工农兵对电子技术知识的需要也越来越迫切。

我们上海市业余工业大学，在驻校工人、解放军毛泽东思想宣传队和校革命委员会领导下，组织了以工人为主体，有革命干部、革命知识分子参加的“三结合”小组，编写电子技术讲

座。《晶体管放大与振荡电路》是继《晶体管整流电路》之后的第二讲。本书主要是搜集了上海地区在工业上应用电子技术革新的群众运动中涌现出来的一些资料，以及我校在教育革命实践中的部分教材，可供具有初中文化程度的工农兵读者自学。

在编写过程中，得到上海很多工厂，有关工业局（公司、厂）的工人电子技术训练班及各地有关单位的关怀和支持，我们表示深切感谢。

由于我们水平有限，缺点错误一定不少，希望广大工农兵读者给予批评指正。

1971年1月

目 录

第一章 晶体三极管并不神秘.....	(1)
第一节 晶体三极管基本结构.....	(1)
第二节 晶体三极管的电流分配和放大作用.....	(3)
第三节 用于生产中的晶体管简单电路举例.....	(7)
第四节 晶体三极管的特性曲线.....	(13)
第五节 晶体三极管的粗测.....	(16)
本章小结.....	(22)
第二章 低频放大器.....	(24)
第一节 单管低频小信号放大器.....	(25)
第二节 多级放大器.....	(40)
第三节 功率放大器.....	(50)
第四节 放大器中的负反馈.....	(64)
第五节 应用实例.....	(74)
本章小结.....	(80)
第三章 直流放大器.....	(83)
第一节 直接耦合放大器.....	(83)
第二节 差动放大器.....	(86)
第三节 调制型直流放大器.....	(92)
第四节 应用实例.....	(95)
本章小结.....	(103)
第四章 晶体管直流稳压电源.....	(105)
第一节 硅稳压管稳压器.....	(106)
第二节 串联型负反馈稳压电路.....	(110)

第三节	串联型负反馈稳压电路的简单计算	(116)
第四节	应用线路举例	(125)
本章小结		(133)
第五章	自激振荡	(134)
第一节	LC 振荡回路中的电磁振荡	(134)
第二节	自激振荡的产生	(137)
第三节	LC 自激振荡线路分析	(140)
第四节	LC 自激振荡器应用举例	(150)
第五节	RC 自激振荡器	(158)
第六节	石英晶体振荡器	(167)
第七节	陶瓷滤波器控频振荡器	(171)
第八节	几个脉冲振荡线路	(175)
本章小结		(180)
附录一	关于晶体管电路中电流和电压方向及其正负值的规定	(181)
附录二	参数符号说明	(185)
附录三	晶体管几个参数的说明	(189)
附录四	国产晶体管参数选录	(200)
附录五	国产稳压管参数选录	(219)

第一章 晶体三极管并不神秘

晶体三极管又名半导体三极管,它与电子管相比,具有体积小、重量轻、坚固耐震,使用寿命长,可靠,省电等优点。因此,在国防、工农业生产和科学实验等方面得到了极为广泛的应用。可是,叛徒、内奸、工贼刘少奇及其代理人竭力鼓吹“专家治厂”,“洋奴哲学”等反革命修正主义路线,把那些资产阶级反动学术“权威”捧上了天,胡说什么“工人不懂 A、B、C,不能搞电子”,把工农兵排斥在电子技术门外,阻碍了我国电子技术的发展。无产阶级文化大革命以来,我国工人阶级高举毛泽东思想伟大红旗,发扬“独立自主、自力更生”的革命精神,大搞电子工业群众运动。例如:许多原来根本不接触电子技术的老木工、老漆工**破除迷信,解放思想**,土法上马,在短短 21 天的时间里造出了赶超世界先进水平的半导体元件,我国半导体工业,在毛主席革命路线的指引下,发展很快,并取得了很大成绩。

“卑贱者最聪明!高贵者最愚蠢”。电子科学技术是劳动人民创造的。我们广大工农兵群众一定能掌握它,应用它,为发展工农业生产,实现生产过程的自动化和半自动化,为赶超世界先进水平作出贡献。

第一节 晶体三极管基本结构

晶体三极管比晶体二极管多一个极,从外形来看,三极管一般都是三个极(大功率管外壳是一个极)如图 1-1 所示。

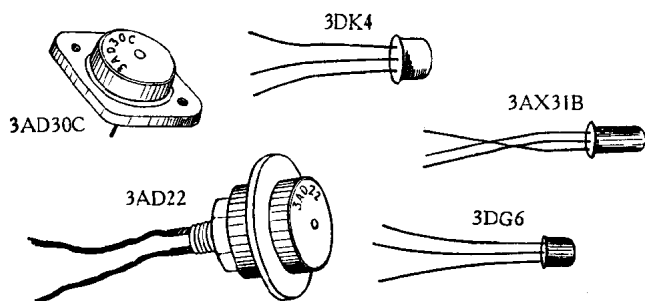


图 1-1

二极管有一个 $p-n$ 结, 用图 1-2(1) 符号表示, 如果我们在一块半导体上制造二个 $p-n$ 结, 就形成晶体三极管了。根据组合方式的不同, 晶体三极管有 $p-n-p$ 型和 $n-p-n$ 型两种 [见图 1-2 (2) 及 1-2 (3)], 但他们的工作原理是相同的。晶体三极管共有三个不同的导电区域: $p-n-p$ 型晶体管中间是 n 区, 二边是 p 区, $n-p-n$ 型晶体管中间是 p 区, 二边是 n 区。中间区域的电极称为基极, 用 B 表示, 其它两边一端是发射极, 用 E 表示, 一端是集电极, 用 C 表示。其中发射极和基极形成一个 $p-n$ 结, 叫发射结, 集电极和基极形成的那个 $p-n$ 结, 叫集电结。

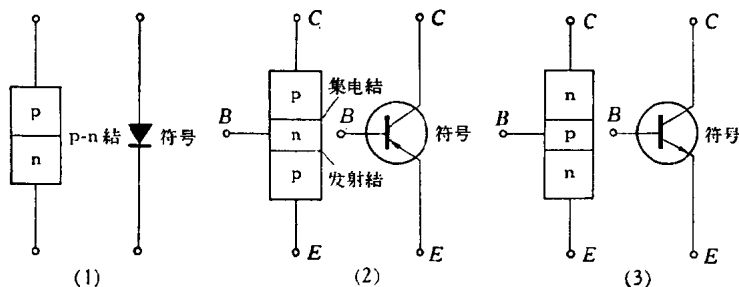


图 1-2

晶体三极管最主要的作用是放大作用,下面我们以 p-n-p 型晶体管为例来说明它的工作原理。

第二节 晶体三极管的电流分配和放大作用

毛主席教导我们:“一切真知都是从直接经验发源的。”

把晶体三极管接成如图 1-3 所示,在线路中有三个电流:发射极电流用 I_E 表示,基极电流用 I_B 表示,集电极电流用 I_C 表示。

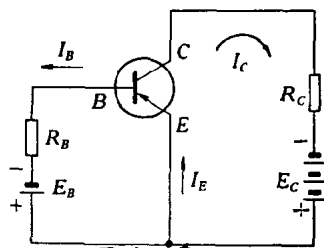


图 1-3

为了了解晶体三极管电流分配的规律,在图 1-3 电路中串接入三个电流表如图 1-4 所示,用来测量晶体管三个电流。在这里,我们将串接在集电极回路中的毫安表的内阻,作为图 1-3 中负载电阻 R_C ,由于毫安表内阻很小,如果测量时把基极电阻 R_B 调得过小,可能将管子烧毁,因此在基极回路中,用 5 千欧电阻来限制基极电流,起保护管子的作用,用 2 兆欧电位器作粗调,50 千欧电位器作微调。

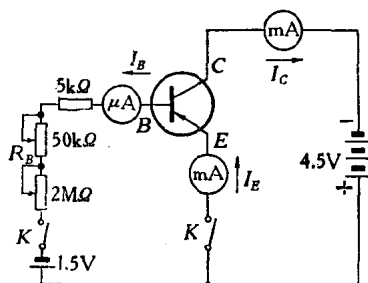


图 1-4

我们通过调节电位器改变基极电流 I_B 的大小,便可相应地得到集电极电流 I_C 和发射极电流 I_E 的数值,现将测得的数据列在表 1 中,通过这样的测量,我们从表中找出如下规律:

表 1

I_E 毫安 (mA)	0	0.300	1	2	3	5	10	20
I_C 毫安 (mA)	0.006	0.300	0.990	1.972	2.960	4.935	9.890	19.800
I_B 毫安 (mA)	-0.006	0	0.010	0.028	0.040	0.065	0.110	0.200

1. 表中纵向数据都是满足 $I_E = I_B + I_C$

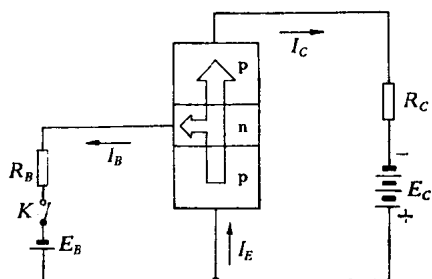


图 1-5

上式说明了发射极电流等于基极电流与集电极电流之和。其中基极电流很小，发射极电流绝大部分流向集电极。可以形象地用图 1-5 来描述。

2. 从表中我们看到，当基极电流 I_B 从 0.010 毫安变化到 0.028 毫安时，集电极电流 I_C 却从 0.990 毫安变化到 1.972 毫安，这两个变化量相比 $\frac{1.972 - 0.990}{0.028 - 0.010} = \frac{0.982}{0.018} \approx 54$ ，也就是说集电极电流 I_C 的变化比基极电流 I_B 的变化大 54 倍，这就是共发射极电路的电流放大系数，通常用 β 来表示(或用 h_{fe} 表示)

即

$$\beta \approx \frac{\text{集电极电流 } I_C \text{ 变化量}}{\text{基极电流 } I_B \text{ 变化量}} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

(Δ 表示微小变化量)

β 是晶体三极管主要参数之一， β 值的大小，除了由半导体材料的性质，管子的结构和工艺决定外，还与管子工作电流大小有关，也就是说这只管子在不同的工作电流下 β 是不一样的。

从表 1 中也可看出,不同的 I_C , β 也不同。

3. 在表中, $I_E = 0$ 时, I_C 不等于零,这个电流我们称它为集电极-基极的反向截止电流,用 I_{CBO} 来表示。 $I_E = 0$, 就是发射极断开,集电结加上反向电压,因此 I_{CBO} 相当于集电结二极管反向漏电流。如图 1-6(1) 所示。

还有表中当 $I_B = 0$ 时, I_C 不是零。这个电流我们称它为集电极-发射极的反向截止电流,又称穿透电流,用 I_{CEO} 表示,也就是 CE 两极接通电源, B 极断开,图 1-6(2) 所示。

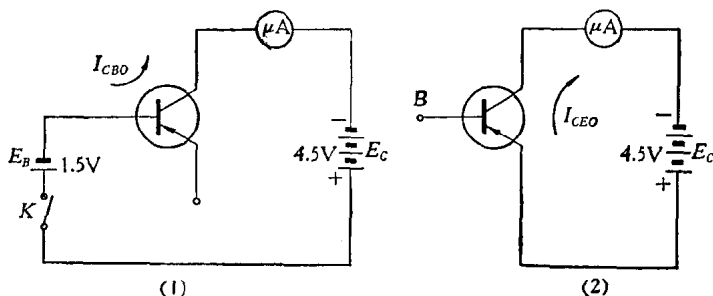


图 1-6

I_{CEO} 与 I_{CBO} 是晶体三极管质量指标的重要参数,它们之间关系从理论推导和实践证明是 $I_{CEO} = (1 + \beta)I_{CBO}$, 外界温度对它们有很显著的影响,当温度升高时, I_{CBO} 会很快增高,因为 I_{CEO} 比 I_{CBO} 大 $(1 + \beta)$ 倍,所以 I_{CEO} 增加得更为显著,会影响晶体管正常工作。 I_{CBO} 愈大, β 值愈高的晶体管,稳定性愈差。由上面所述,集电极电流 I_C , 不但是 $\beta \times I_B$, 同时也还有 I_{CEO} , 所以电流相互关系应该是:

$$I_C = I_B \beta + I_{CEO}$$

上面讲到共发射极电路得到电流放大系数 β 。这里再介绍一种叫共基极电路,见图 1-7,一个晶体管用共基极接法后,它的输入电流为 I_E , 输出电流为 I_C 。电流放大系数,用

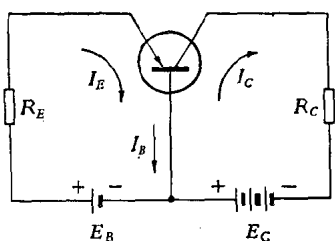


图 1-7 共基极电路

α 表示, 关系式: $\alpha \approx \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$, 就是发射极发射到集电极电荷数的百分比, 例如发射极发射 100 个电荷, 集电极收到 98 个, 则 $\alpha = 0.98$ 。由此可知共基极电路没有电流放大作用, 常用于电压放大和

功率放大上。根据 $\beta \approx \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ 和 $\alpha \approx \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$ 二个式子可找出 β 与

α 之间关系为:

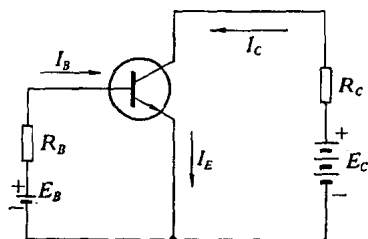
$$I_E = I_B + I_C$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad \text{或} \quad \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

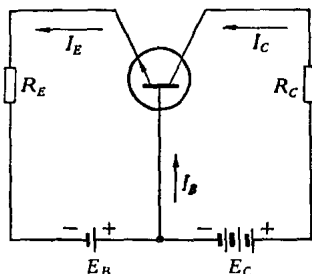
例如: $\alpha = 0.98$, 则 β 为

$$\beta = \frac{0.98}{1 - 0.98} = 49$$

上面讨论了 p-n-p 型晶体管的工作原理, n-p-n 型晶体管的工作原理与 p-n-p 型基本一样, 只要在电路中外接电源极性相反, 而电流方向也相反, 如图 1-8 所示。



(1) 共发射极电路



(2) 共基极电路

图 1-8

第三节 用于生产中的晶体管简单电路举例

我们如何来应用晶体三极管的特性和原理呢？让我们先来分析一下图 1-9 所示电路，这三个电路中所用电源均为 20 伏， J 是高灵敏继电器，它的内阻是 3 千欧，吸动电流是 6 毫安，所不同的是图 (1) 电路中是串一只开关 K ，图 (2) 用一只 47 千欧的电位器，图 (3) 用一只晶体三极管 (3AX31B)。

图(1)当开关一合上，回路中有电流通过， $I_1 = \frac{E_c}{R} = \frac{20 \text{ 伏}}{3 \text{ 千欧}} \approx 6.7 \text{ 毫安}$ 。继电器吸动电流是 6 毫安，使继电器动作，从而去控制其它电器设备。

图(2)当电位器 R_1 调节到最大值时，电路中电流：

$$I_2 = \frac{E_c}{R_1 + R_2} = \frac{20 \text{ 伏}}{47 \text{ 千欧} + 3 \text{ 千欧}} = \frac{20 \text{ 伏}}{50 \text{ 千欧}} = 0.4 \text{ 毫安}$$

继电器不动作。若电位器 R_1 调节到零值时，电流：

$$I_2 = \frac{E_c}{R} = \frac{20 \text{ 伏}}{3 \text{ 千欧}} \approx 6.7 \text{ 毫安，情况就同图(1)一样，} J$$

就动作。

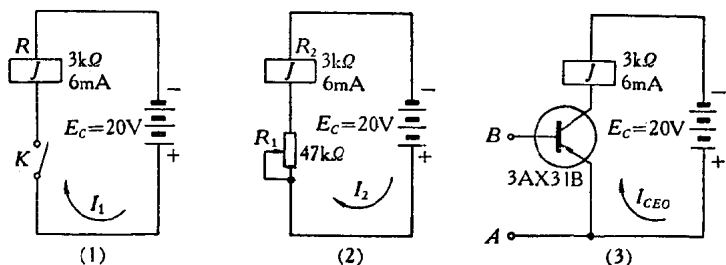


图 1-9

图(3)电路中换上一只晶体三极管 (3AX31B)，并多出 A B 两个接头来，前面讲过，晶体三极管基极没有电流，这只管子

就没有工作电流,只有穿透电流 I_{CEO} (从附录表查得 3AX31B

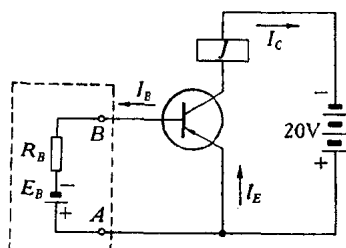


图 1-10

的 $I_{CEO} \leq 0.75$ 毫安),推不动继电器,但若在基极给它一个电流,如图 1-10 所示,管子马上有工作电流 I_C ,其大小等于 $\beta \times I_B$,所以我们只要在基极控制一定的电流,就能控制继电器动作。我们

把三种线路比较一下,它们都是用来控制继电器 J ,所不同的是:开关和电位器要用人去控制,而晶体三极管只要在 AB 两端给它一个微小电流,就能灵敏地自动控制继电器吸动,所以晶体三极管并不神秘,在有些场合中往往当作开关或电位器用罢了。

“理论的基础是实践,又反过来为实践服务。”人们了解了晶体三极管的特性,就能用来为生产服务,某厂是生产塑料丝的,过去拉丝机一断头就得人去关车接头,一个人只看一台机,工人老师傅在“抓革命,促生产,促工作,促战备”的号召鼓舞下,急生产所急,利用三极管的特性,简单地在 AB 两端串一只 2CR11 光电池,如图 1-11 所示。当拉丝断头时,挡板下落,光源照在光电池上,光电池受光时内阻很小,能为晶体管提供一定的基极电流 I_B ,经晶体管放大,则 $I_C = \beta I_B$,就可使

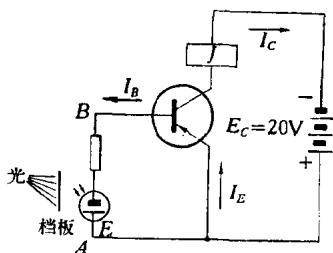


图 1-11

继电器 J 动作,再由 J 带动开关使机器停车,这样不但使停车自动,扩大看台数,同时也降低了劳动强度,提高了产品质量。

在上例的启发下,同样可以利用另一种光电器件,图 1-12

$R_{光}$ 是一只 625—A 型光敏电阻，它的性能光照时电阻小，光暗时电阻很大， $R_{光} \leq 50$ 千欧， $R_{暗} \geq 50$ 兆欧，这两个阻值相差 1000 倍，我们简单估计一下基极电流和集电极电流（若 $\beta = 50$ ）。

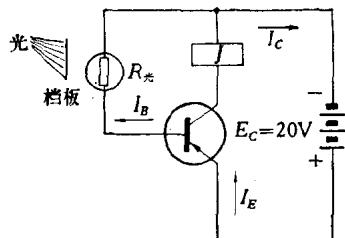


图 1-12

$$\text{当光照时: } I_{B\text{亮}} = \frac{20 \text{ 伏}}{50 \text{ 千欧}} = 0.4 \text{ 毫安}$$

则: $I_{C\text{亮}} = 0.4 \times 50 = 20 \text{ 毫安}$, 所以足够使 J 动作。

$$\text{当光暗时: } I_{B\text{暗}} = \frac{20 \text{ 伏}}{50 \text{ 兆欧}} = 0.4 \text{ 微安}$$

则: $I_{C\text{暗}} = 0.4 \times 50 = 20 \text{ 微安}$, 所以继电器不动作。

我们用这种原理同样也可以自动控制拉丝机，以上两个例子，都是利用光电变换，使光电池产生电流或光敏电阻改变阻值，从而达到自动控制的目的，这种元件我们称它光电转换元件，这种线路我们称它为光电继电器。

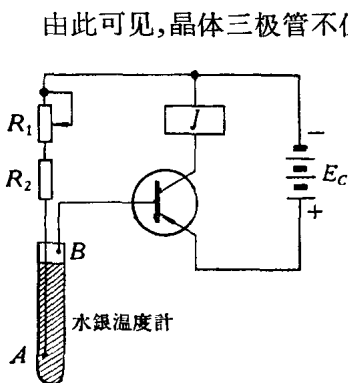


图 1-13 温度控制计

由此可见，晶体三极管不但起到开关和电位器的作用，更重要的是它有放大作用，能把微弱变化的电流讯号放大后推动控制机构。如果在晶体管的输入端接上不同的转换元件，我们还可以做出各种简单的控制电路，如温度控制计和液面控制器等。如图 1-13 是串一只水银温度计，当温度升高，水银上升到