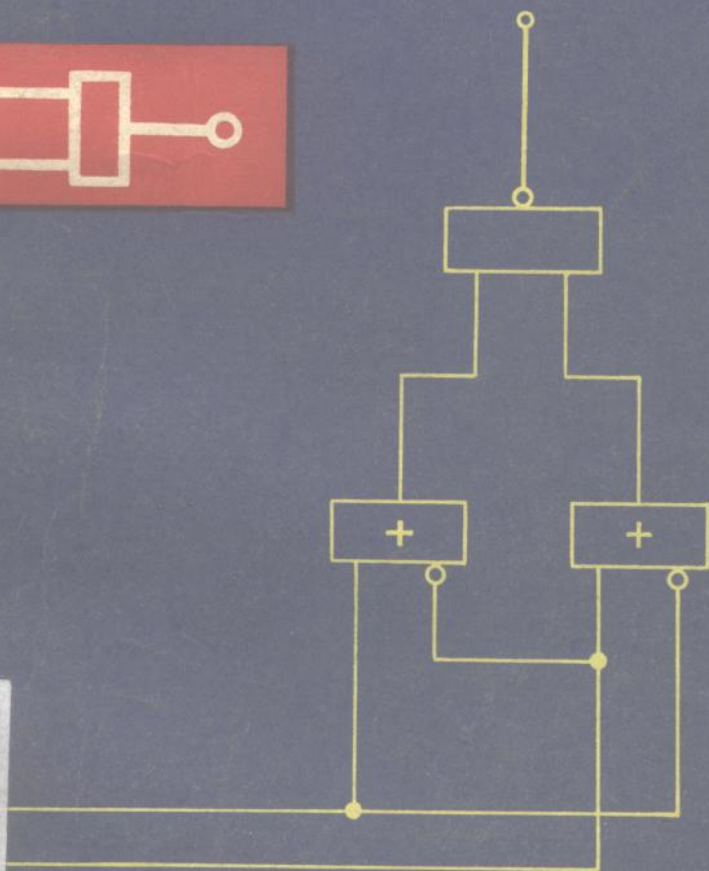


门电路

M E N D I A N L U



王永江 编著 · 人民邮电出版社出版

72.7237
602
1

门 电 路

陈永有 王永江 编著

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

在电子技术中常常用到逻辑电路，而门电路则是逻辑电路中最基本和最常用到的电路之一。本书主要讲述用分立元件组成的低速门电路。前四章介绍基本类型的门电路的原理，运用简化的方法和简单的数学分析了电路，并给出设计方法。内容简明扼要，通俗易懂。本书第五章给出一些实用电路及其数据，目的是使初学者，按实际需要可以选用相关的电路。

本书适合对晶体管有初步知识的工人、技术人员和中等技术学校师生参考。

门 电 路

陈永有 王永江

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津市第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32 1978年12月第一版
印张：5 8/32 页数：84 1978年12月天津第一次印刷
字数：118 千字 印数：1—119,500 册
统一书号：15045·总2261-无655
定 价：0.43 元

前 言

电子电路在技术革新中应用十分广泛。一些简单或不太复杂的电路，往往能使设备增加新的性能，或者在设备管理、工作效率方面取得很好的效果。当前广大工农兵迫切要求掌握它、运用它。本书先就门电路作一介绍。主要讲述用分立元件组成的低速开关电路。力图通过对基本类型门电路的讨论，讲清工作原理；运用简化方法，分析电路的数量关系；从实际需要出发考虑级间的配合问题；给出选择电路和元件数值的依据。在了解电路原理的基础上，还介绍了一些可供选用的实用电路。

本书内容力求简明扼要；原理力求通俗易懂；讲述方法力求循序渐进同时又使各部分内容有一定的独立性，便于初学者能系统了解门电路的原理和基本设计方法，也便于有一定基础的读者选读有关章节。

本书在编写过程中得到黑龙江省邮电学校的领导和同志们的大力支持和帮助。限于我们的水平和经验，书中会有不少缺点和错误，恳切希望读者批评指正。

作者

一九七八年三月

目 录

第一章 电子继电器	1
第一节 用晶体三极管代替继电器	1
第二节 晶体管的开关特性	3
第三节 基本类型的电子继电器	13
第四节 变化电路	19
第二章 非门	26
第一节 什么是非门	26
第二节 数量分析	29
第三节 电路设计	37
第四节 非门的时间特性	40
第五节 非门的应用	47
第六节 变化电路	50
第三章 与门和或门	60
第一节 什么是与门、或门	60
第二节 二极管与门	62
第三节 二极管或门	69
第四节 应用举例	77
第四章 其它类型的门电路	87
第一节 特殊的二极管门电路	87
第二节 三极管多输入端门电路	92
第三节 电阻-三极管门电路	99
第五章 实用电路	104
第一节 非门	109
第二节 与门	120
第三节 或门	123

第四节	与非门	125
第五节	或非门	130
第六节	其它门电路	133
第七节	电子继电器	142
附	晶体管的筛选	153

第一章 电子继电器

第一节 用晶体三极管代替继电器

早期继电器被认为是良好的电路开关，利用它的机械触点接通或断开某一部分电路，起着电信号的控制作用。一个继电器单独使用，其作用是有局限性的，但是一定数量的继电器，根据不同的要求组合起来，便可构成不同类型的控制电路。所以无论在市内电话、长途电话、电报、邮政机械以及各种自动化的设备中都有着广泛的应用。

继电器或者某些类似继电器的接线器，因为它用机械触点做控制开关的，所以统称为有触点开关。这种类型的开关有很大优点，它的开关状态比较理想：即接点在断开时，接点之间绝缘电阻很大，一般均在几十兆欧以上；而接点闭合时，接点的接触电阻很小，一般均在零点几欧以下。

继电器还有一个特点，就是线包消耗的功率比触点所能控制的功率可以小得很多，所以继电器不仅可以控制电信号的通断，并兼有以弱控强的功能。

有触点的开关也有缺点，主要是动作速度太慢，目前动作速度最快的笛簧继电器，每秒钟也只能动作近千次。这就限制了它在高速开关方面的应用。同时接点在接通和断开瞬间，又要发生抖动，造成不可靠、打火花以至烧坏接点，伴随而来的是产生干扰和杂音、缩短使用寿命。结果是降低了通信质量，产生故障和增加维护工作量。

晶体管出现以后，利用晶体管作为开关元件，可以节省大量

有色金属和贵金属，还具有动作速度快，寿命长，体积小，重量轻，动作无噪音，安全可靠，价钱便宜，维护工作量小等许多优点，这些长处是远非继电器所能比拟的。

目前，不但新型设备中开关电路，大量地采用晶体管，而且对现在使用继电器的设备，也在进行技术革新，逐步地用晶体管开关代替部分继电器。

最简单的晶体管开关电路如图1.1所示，它有两种基本形式，一种用于负电源(图1.1a)，另一种用于正电源(图1.1b)。

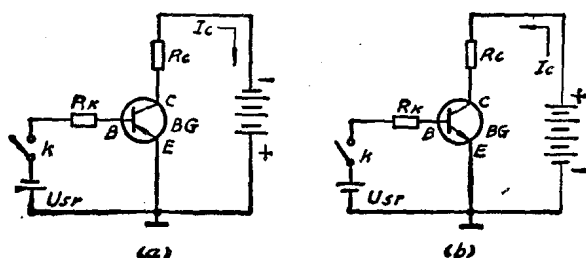


图 1.1

当开关K断开时，基极电流 $I_B = 0$ ，集电极到发射极之间只有很小的穿透电流，负载 R_C 中电流也很小，此时管子是截止的，可以看作晶体管集电极和发射极之间断开了。

当开关K接通时，输入电压 U_{sr} 通过 R_k 给基极很大正向电流， $I_B \approx \frac{U_{sr}}{R_k}$ ，由于三极管有放大作用，集电极产生很大的电流 I_C ，流过负载，此时管子是导通的，可看作晶体管集电极和发射极之间是短路的。

晶体管在电路中的作用好象是一只继电器，集电极和发射极相当于继电器的接点，基极、发射极相当于继电器的线包。管子截止相当于继电器接点不通，切断电路；管子导通，相当

于继电器接点闭合，接通电路。由于三极管有放大作用，集电极能够控制较大的功率，基极所需要的推动功率又较小，即可以以弱控强。由于其功能和继电器相似，所以也把这种电路叫做电子继电器。

要使晶体管在电路中起到良好的开关作用，就要求它在截止时的集电极电流越小越好，因为电流越小，就表明集电极发射极间的电阻越大，更接近于电路断开；而导通时，管子的压降 V_{CE} 越小越好，因为 V_{CE} 越小，表明集电极发射极间电阻越小，越接近于电路接通。

这种工作状态和普通放大是不一样的，不能按放大的工作状态来设计开关电路，而要按着开关状态来设计，这就需要首先研究晶体管的开关特性，再进一步讨论如何利用这些特性，选择适当的工作状态提高开关电路的性能。

第二节 晶体管的开关特性

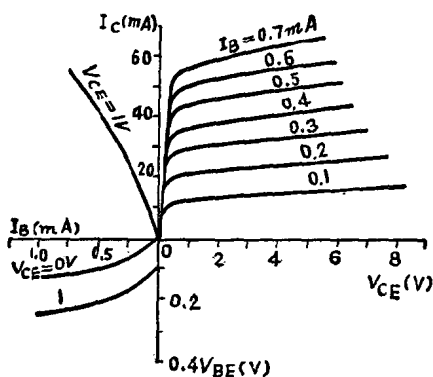


图 1·2

晶体三极管的特性曲线有截止、放大、饱和三个不同的区域，也可以叫作三种状态，如图1·2所示。

用作放大器的管子，主要在放大区工作，其工作特性主要取决于管子的交流参数（小信号参数）。用作开关电路的管

子，为了截止得好则要工作于截止区；为了导通得好，又要工作于饱和区。工作特性主要取决于管子的直流参数（大信号参数）。下面分别讨论一下管子截止和饱和二区的特性。

一、截止区特性

1. 截止区的特征

截止区的特征，一是集电极所加电压对于集电结来说是反偏，二是基极没有正向电流。

前面一条表示集电极和发射极之间电压比基极和发射极之间电压大，对于PNP型管来说集电极比基极负，对于NPN型管集电极比基极正。后面一个条件表示 $I_B \leq 0$ 。

在截止区中，集电极电流 I_C 称为集电极截止电流，它的数值与 V_{CE} 关系不大，而与基极接法有密切关系。基极接法不同， I_C 也不同，因而就有 I_{CBO} 、 I_{CER} 、 I_{CES} 、 I_{CEX} 等几种参数。这几种参数就反映了截止区的特性。

2. 截止区的几种特性参数

(1) I_{CBO}

当集电极和基极之间加上额定电压，发射极开路时的集电极电流叫 I_{CBO} ，见图1·3。

I_{CBO} 可以看作是集电结的反向电流，它的数值决定另外几

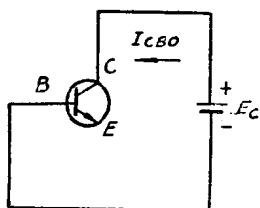


图 1·3

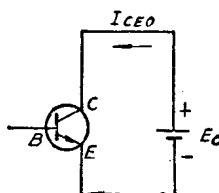


图 1·4

种不同情况下的集电极截止电流的数值，是截止区的主要参数。

(2) I_{CEO}

当集电极和发射极之间加有额定电压，基极开路时的集电极电流叫 I_{CEO} ，通常称为穿透电流，见图1·4。

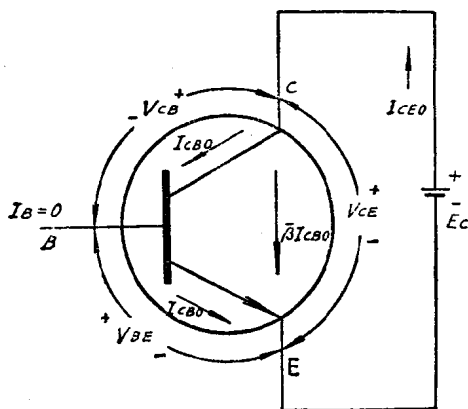


图 1·5

E_c 加在集电极和发射极之间，集电结和发射结两个PN结分压，对于集电结来说，集电极为正，基极为负是反偏由于集电结是反偏，呈高阻状态，所以 E_c 大部分降在集电结 V_{CB} 是很大的，发射结

只有很小的电压 V_{BE} ，但它却是正偏，见图1·5。

集电结有较大的反偏电压 V_{CB} ，则它必然有反向电流 I_{CBO} ，基极开路， I_{CBO} 不能从基极流出，就要注入发射结，又被放大产生数值为 $\bar{\beta}I_{CBO}$ 的集电极电流分量，此时集电极电流是 I_{CBO} 与此分量之和，因此：

$$I_{CEO} = (1 + \bar{\beta}) I_{CBO}$$

某些管子，尤其是锗合金管，实测数据有时不完全符合上述规律，一是电流小时 $\bar{\beta}$ 要小，二是表面有漏电流， I_{CBO} 不能全部注入发射结被放大，因而实测 I_{CEO} 要小。

从上式看出， I_{CEO} 比 I_{CBO} 大 $\bar{\beta}$ 倍，是比较大的，不能把这种情况看作很好的截止状态。

1106964

5

(3) I_{CER}

当集电极和发射极之间加额定电压，基极和发射极之间接电阻，此时集电极电流叫 I_{CER} ，见图1.6。

基极和发射极间接了电阻 R_B 以后， I_{CBO} 的一部分 I'_B 就流过 R_B 而不再注入发射结，实际流过发射结的电流为 $I_{CBO} - I'_B$ ，因此，

$$\begin{aligned} I_{CER} &= I_{CBO} + \bar{\beta}(I_{CBO} - I'_B) = I_{CBO}(1 + \bar{\beta}) - \bar{\beta}I'_B \\ &= I_{CEO} - \bar{\beta}I'_B \end{aligned}$$

它的数值比 I_{CEO} 要小。 R_B 数值小一些，则 I'_B 就会大些， I_{CER} 就小一些。

从图1.6可以看出，此时 V_{BE} 和 R_B 两端电压相同， I'_B 在 R_B 上压降使发射极为负，基极为正，对于发射结来说仍然是微小的正偏，由于 R_B 的接入，使基极和发射极之间等效电阻减小，所以比基极开路时正偏还要小一些。

(4) I_{CES}

当集电极和发射极之间加额定电压，基极和发射极短路，此时集电极电流叫 I_{CES} ，见图1.7。

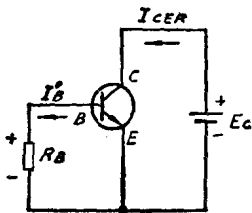


图 1.6

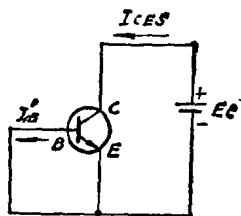


图 1.7

基极和发射极短路，相当于基极和发射极之间接上了阻值为 0 的电阻，集电极电流就更小。虽比 I_{CER} 要小，但仍然比 I_{CBO} 要大些。

此时 $V_{BE} = 0$ ，发射结真正是零偏。

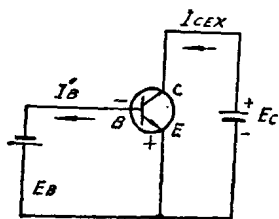


图 1·8

小, I_{CEX} 不但比 I_{CES} 小, 甚至比 I_{CBO} 还要小。这种状态管子截止是比较理想的。

管子所加反偏电压(此处是 E_B)一般并不需要很高, 有1伏就足够了, 再加大 E_B , 反向电流 I'_B 变化极微, 并不能使 I_C 进一步变小。

(6) 几种参数的比较

图 1·9 所示是某小功率低频管截止区特性。可见, I_C 随 R_B 的减小而减小。其中 $R_B = \infty$ 对应 I_{CEO} ; $0 < R_B < \infty$ 对应 I_{CER} ; $R_B = 0$

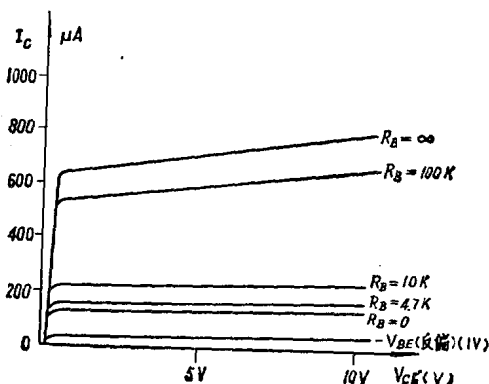


图 1·9

对应 I_{CES} ; $-V_{BE}$ 对应 I_{CEX} 。因而有

$$I_{CEO} > I_{CER} > I_{CES} > I_{CBO} > I_{CEX}$$

3. 截止电流的温度特性

截止电流对温度是很敏感的, 一般可以按PN结温度每增高 10°C , 截止电流增大一倍计。例如某管在结温 15°C 时, I_{CBO}

是 $5\mu\text{A}$ ，当结温为 45°C 时，温度上升了 30°C ，则 $I_{\text{CBO}} = 2^3 \times 5\mu\text{A}$ 约为 $40\mu\text{A}$ 。从温度特性考虑，管子截止状态的电流越小越好。因为截止电流大，基数大，同样温度变化 I_{CBO} 递增得很多，截止得就不好。

硅管比锗管截止电流小很多，所以硅管相对锗管来说温度特性好，同时硅管允许的最高结温一般为 150°C ，而锗管一般为 75°C ，所以在工作温度较高的场合用硅管为宜。

二、饱和区特性

1. 怎样进入饱和区

分析图1.1电路，当 I_B 较小时管子工作在放大状态，此时它与集电极电流有如下关系：

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

$$V_{\text{CE}} = E_C - I_C R_C$$

这时，由于 $I_C R_C \ll E_C$ ，因此 V_{CE} 值接近 E_C 。如果增大 I_B ，则 I_C 增大，但 I_C 增大将使 $I_C R_C$ 值也增大，结果使 V_{CE} 下降。

当 $V_{\text{CE}} < V_{\text{BE}}$ 时， $V_{\text{BE}} = V_{\text{CE}} + V_{\text{CB}}$ ， V_{CB} 极性如图所示，可以看出集电结就由反偏变为正偏并导通，见图1.10。

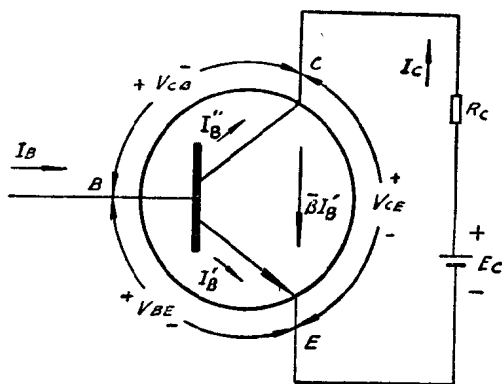


图 1.10

集电结导通后基极电流就要有一部分 I_B' 注入集电极，结果

注入发射结的电流 I_B' 就小了, 经放大产生的集电极电流 $\beta I_B'$ 也就小了, 从而限制了 I_C 的继续增长标志着管子已经进入饱和区。这时, 如果再加大 I_B , 那么直接注入集电极的那一部分电流 I_B'' 将增加得较大, 而流入发射极的电流 I_B' 却增加得很小, 这就使 I_C 变化很小, 并逐渐接近于 $\frac{E_C}{R_C}$; V_{CE} 也逐渐下降, 这时集电极和发射极之间电压称为集电极饱和压降 V_{CES} , 其数值为零点几伏。

当 $I_B = \frac{E_C}{\beta R_C}$ 时, 称为临界饱和; 当 $I_B < \frac{E_C}{\beta R_C}$ 时, 晶体管工作于放大状态; 当 $I_B > \frac{E_C}{\beta R_C}$ 时, 晶体管工作于饱和状态。

综上所述, 要能使管子进入饱和状态有两个条件: 一是集电极要有 R_C 限流, 二是 I_B 要足够大。饱和区的特征是基极有正向电流 ($I_B > 0$), 集电结是正偏 ($V_{CE} < V_{BE}$)。

2. 饱和区集电极电压和电流的关系

集电极电压和电流的一般关系式可以表示为

$$I_C = \frac{E_C - V_{CE}}{R_C}$$

当电路工作在饱和状态时, V_{CE} 比 V_{BE} 还要小, 而且 I_B 越大, 管子饱和越深, V_{CE} 越小。这时, V_{CE} 与 E_C 相比, 可以忽略。因而

$$I_C \approx \frac{E_C}{R_C}$$

上式表明, 在饱和状态下, I_C 的大小取决于 E_C 和 R_C , 而管子的特性、 I_B 的大小对 I_C 影响甚小。

通常, 为了使管子深度饱和, 基极注入电流要比临界饱和时的电流大 N 倍。

$$I_B = \frac{NE_C}{\beta R_C}$$

式中N称为过推动系数。

$$N = 1 \text{ 时 } I_B = \frac{E_C}{\beta R_C} \text{ 为临界饱和}$$

$$N < 1 \quad I_B < \frac{E_C}{\beta R_C} \text{ 为放大状态}$$

$$N > 1 \quad I_B > \frac{E_C}{\beta R_C} \text{ 为饱和状态}$$

N越大，饱和得越深， V_{CE} 越小。

3. 饱和区的特性曲线和参数

图1·11所示是某小功率低频管饱和区附近的特性曲线。

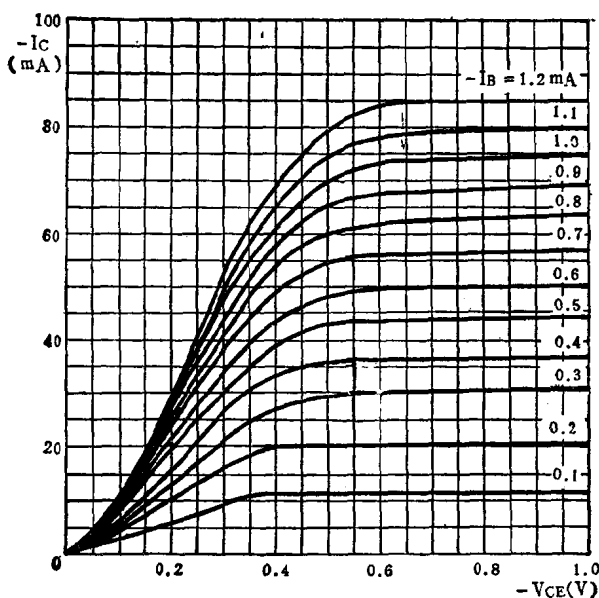


图 1·11

可以看出，曲线在饱和区由平变陡，密集起来。

如果 I_C 一定，加大 I_B 可以使 V_{CE} 略小一些，表示饱和得深一些，例如：在 $I_C = 30\text{mA}$ 的条件下，

若 $I_B = 0.4\text{mA}$ ，则 $V_{CES} = 0.34\text{V}$ ；

若 $I_B = 1.2\text{mA}$ ；则 $V_{CES} = 0.2\text{V}$ 。

如果 I_B 一定，减少集电极电阻加大 I_C ， V_{CES} 要略大一些，表示饱和得浅一些。例如，当 $I_B = 0.4\text{mA}$ 时，减小 R_C 使 $I_C = 35\text{mA}$ ， V_{CES} 由 0.34V 变为 0.45V 。

如果再进一步减小 R_C ， I_C 为 37mA 时，就不再增加了，曲线由陡变平，表示脱离饱和区而进入放大区。

三、开关电路对管子的要求

1. 对管子特性的要求

在电子继电器和低速的逻辑电路中，管子工作于低速开关状态，要选用特性适于工作在这种状态的管型。

在负电源系统中多用PNP型管，可选用3AX型锗低频管或3AD型大功率锗低频管，它们的低速开关性能较好，而且价廉备料方便。不必追求用3AK型开关管，3AK型管主要用于高速开关电路，在低速状态下使用并没有特殊优点，而且价格贵。也不宜使用3AG型高频管，很多高频管的 V_{CES} 甚大，导通状态不好。

在正电源系统多用NPN型管，NPN型管大多是硅管，大部分硅管均可作低速开关用，一般可选用3DK型硅开关和3DD型大功率硅低频管。

2. 对管子定额的要求

任何类型的开关所能控制的电压、电流都是有一定限度的。电子开关也有一定的限度，这就是晶体管的极限参数。显