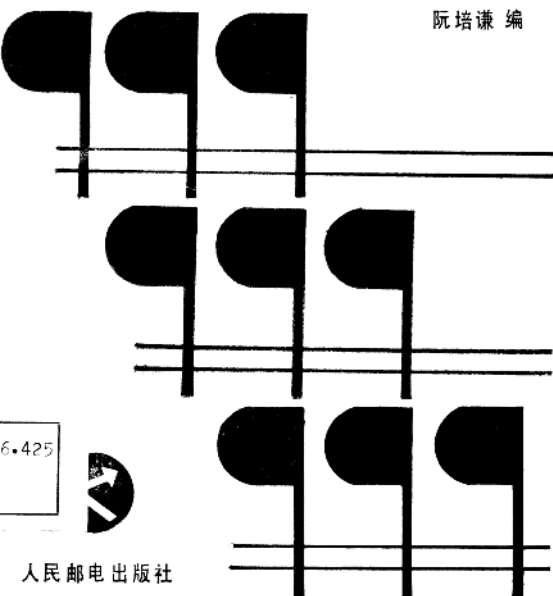


纵横制电话小交换机用 晶体管电路

阮培谦 编



6.425

人民邮电出版社

前 言

随着我国通信事业的迅速发展，纵横制自动电话小交换机在各地得到了广泛的使用。信号系统是交换机的重要组成部分。为了保证信号系统可靠地工作，必须对它们有充分的了解，以便正确地使用和维护。

本书以初级电工知识和电子技术为基础，深入浅出、通俗易懂地介绍了信号系统的基本工作原理和维修方法，从而对故障的排除能做到有的放矢，既准确又迅速。书中的电路均为原理图，各种数据仅供参考，实际使用的电路可参阅工厂有关电路图。

由于水平所限，书中难免有不足和错误之处，恳切希望读者批评和指正。

阮培谦

一九八三年十月

概 述

纵横制电话小交换机在启动、接续、通话和终了的整个过程中，都有相应的信号音，以表示交换接续的各种状态。例如：主叫用户摘机，必须听到拨号音后才能拨号；主叫用户听到回铃音，说明已接通被叫用户；被叫听到振铃声，即可摘机与对方通话；摘机用户闻忙音或嘟鸣音应立即挂机；超过一定时限将使相关电路释放等。这些铃流、音流的产生电路和时延、稳压电路等都是用晶体管电路来实现的。

为了更好地掌握各种信号设备的工作原理及其检修方法，就要充分了解小交换机中各种晶体管电路的原理与作用。

本书将从晶体管（二极管、稳压管和三极管）的原理与特性讲起，分别介绍纵横制电话小交换机用各种晶体管电路（时延、稳压、铃流、回铃音、拨号音、忙音及嘟鸣音等电路）的工作过程与特点，以及信号系统的维护和检修方法。

为了便于不具备电子技术基础知识的读者阅读，本书适当增加了部分晶体管电路的基本知识的内容。

目 录

概 述

一、晶体管的原理与特性	(1)
(一) 半导体的基本知识	(1)
(二) 晶体二极管的特性	(8)
(三) 晶体三极管的特性	(16)
二、时延电路	(35)
(一) 电容充放电电路	(36)
(二) 比较开关	(39)
(三) 时延电路的工作过程	(39)
(四) 主要元件的作用与电路分析	(42)
(五) 时延时间的计算	(47)
三、-48伏直流稳压电源	(50)
(一) 硅稳压管和简单的稳压电路	(50)
(二) 带有放大环节的串联型稳压电路	(54)
(三) -48伏直流稳压电源的工作原理	(57)
四、音流电路的电工基础	(69)
(一) 自感现象	(69)
(二) 互感现象	(76)
五、铃流发生器	(79)
(一) 铃流发生器的工作原理	(81)
(二) 铃流电压的计算	(85)
(三) 铃流频率的计算	(88)
六、回铃音和拨号音发生器	(93)
(一) 整流电路	(93)

(二) 滤波电路.....	(97)
(三) 晶体管反相器.....	(100)
(四) 回铃音和拨号音发生器.....	(102)
(五) 回铃音和拨号音频率的计算.....	(109)
(六) 回铃音和拨号音电压的计算.....	(110)
七、忙音发生器.....	(114)
(一) 自动断续器的周期计算.....	(114)
(二) 电路中元件的作用.....	(116)
(三) 忙音输出电压的计算.....	(118)
(四) 忙音监视电路.....	(118)
八、轰鸣音发生器.....	(120)
(一) 电路结构和工作原理.....	(120)
(二) 乙类推挽功率放大器.....	(121)
九、交换机中晶体管电路的维护与检修.....	(131)
(一) 晶体管电路的维护.....	(131)
(二) 晶体管电路的故障检修.....	(133)

附 录

一、晶体管的原理与特性

(一) 半导体的基本知识

1. 什么是半导体

金、银和铜等金属都是电阻率很小的导电材料，极易通过电流，称为导体。橡胶、塑料和陶瓷等电阻率很大，很难通过电流，称为绝缘体。除了这两种物质以外，在自然界中还存在着一种导电性能介于导体与绝缘体之间的物质，称为半导体。晶体管就是由半导体材料构成的。

从材料的内部结构来看，一切物质都是由原子构成的。而原子又是由带正电的原子核和带负电的电子组成。电子分几层围绕原子核作飞速运动。金属材料中原子的外层电子，受原子核的吸力最小，因此有大量的电子能够克服原子核的吸引力，而成为自由电子。当原子在外电场的作用下，这些自由电子将作定向运动而形成电流，所以金属的导电性能比较好。

在绝缘材料中，原子的外层电子受原子核的束缚力很大，很难挣脱出来。因此自由电子非常少，所以绝缘材料的导电性能比较差。

半导体的原子结构比较特殊，其外层电子既不象导体材料那样容易挣脱原子核的吸引力，也不象绝缘体那样被原子核束缚得很紧，所以它的导电性能介于导体和绝缘体之间。

半导体的种类很多，在晶体管中应用最普遍的半导体材料是锗和硅两种，它们的化学符号分别为Ge与Si。

锗和硅等半导体材料是由无数的晶体粒所构成，晶体粒又由许多原子组成。在晶体粒中，原子的排列虽然是整齐的，但从整个的晶体块来说，每个晶体粒的方向是彼此不同的，所以原子的排列还是不整齐的，这叫做“多晶体”。只有把多晶体经过提炼，即所谓“拉单晶”工艺加工后，才成为原子排列整齐的“单晶体”。锗和硅半导体都是单晶体结构，因此人们又把半导体管叫做晶体管。

2. 半导体的内部结构

在纵横制电话小交换机中，应用最普遍的是锗管。因此，本书将以锗半导体管为主进行讨论。

纯净的单晶结构的半导体，称为本征半导体。锗本征半导体的原子结构如图1-1(a)所示。

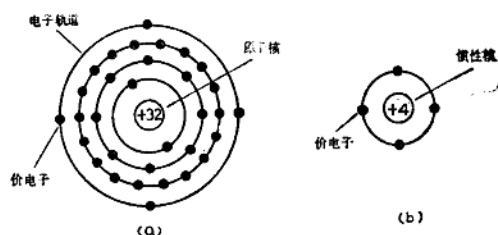


图 1-1

由图1-1(a)可见，一个锗原子是由带正电的原子核和围绕着它的32个带负电的电子组成。32个电子按一定的规律分布在四层轨道上，由于原子核带32个电子电量的正电，故在正常的情况下，原子是呈中性的。靠近原子核内三层的28个电子，由于受原子核吸引力较大，很难有活动的余地，所以它们与原子核组成一个惯性核。最外层的四个电子，称为价电子，它们

受原子核的束缚较小。锗原子可用原子结构的简化图表示，如图1-1(b)所示。图中锗原子结构简化为由一个惯性核和四个价电子组成。由于锗和硅都有四个价电子，故叫做四价元素。每一元素的导电性能和化学性能，都与价电子有极大的关系。

在纯净的锗单晶半导体中，每个锗原子最外层的四个价电子，不仅受自身原子核的束缚，而且还与周围相邻的四个原子发生联系。每两个相邻的原子之间有一对价电子。价电子对中的任何一个电子，一方面围绕本身的原子核运动，另一方面也出现在相邻的原子所属的轨道上，这样的组合叫做共价键结构。每个锗原子有四个共价键，共价键像纽带一样将排列整齐的原子联系起来，如图1-2所示。

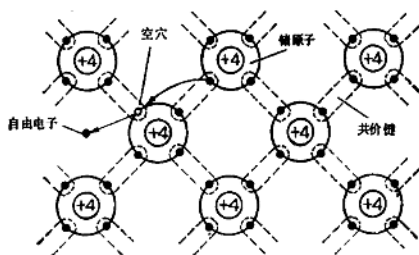


图 1-2

锗本征半导体在低温情况下，由于共价键的作用，价电子很难摆脱这个束缚。若在室温情况下，由于晶体中的束缚电子受热激发获得足够的能量，使少量价电子挣脱共价键的束缚，而成为自由电子。价电子在挣脱束缚成为自由电子后，在共价键的位置上，就留下了一个空位，空位由于失去一个电子而带正电。有了这个空位，附近的价电子就可以很容易进来填补，从而形成价电子的运动。这种运动，好像一个带正电荷的空位在移动，我们把这空位子叫做“空穴”。打个通俗的比方，

好比大家坐在剧场看节目，如果前面的座位出现了空位，后面的人递补空位向前坐，看起来就好像空位子在向后运动一样。显然，这种空位的移动同没有坐位的人到处走动不一样，后者好比自由电子的运动，而空位的移动，则好比空穴运动。故决定半导体导电特性的不仅有电子导电，而且还有空穴导电。

在锗本征半导体里，因为温度的影响，不断产生自由电子，同时也出现相应数量的空穴，电子和空穴是相伴而生，成对出现的，我们称为电子—空穴对。

3. P型和N型半导体

在本征半导体里，虽然有电子和空穴的导电，但是这种导电能力很差，没有多大实用价值。如果在纯净的单晶半导体中掺入一些元素（称为杂质），虽然这些杂质只不过是沧海之一粟，但是它却可以使半导体的导电性能有很大的改善。以锗为例，只要加入一千万分之一的有用杂质，它的电阻率就会下降到原来的 $\frac{1}{16}$ 。

从原子结构来看，如果在纯净的单晶锗中掺入少量的硼（B），因为硼是三价元素，即外层只有三个价电子，所以当它与锗原子组成共价键时，就自然形成了一个空穴。这样，掺入硼杂质的每一个原子就可能提供一个空穴，从而使锗单晶中空穴的数目大大增加。这种半导体内几乎没有自由电子，主要靠空穴导电，叫做空穴半导体，简称P型半导体，如图1-3(a)所示。

若在纯净的单晶锗中掺入五价元素磷（P），那么情况又不一样了。磷外层的五个价电子中，四个与相邻的锗原子组成共价键，多出的一个价电子受原子核的束缚很小，很容易成为自由电子。这种半导体中，电子载流子的数目很多，主要靠电

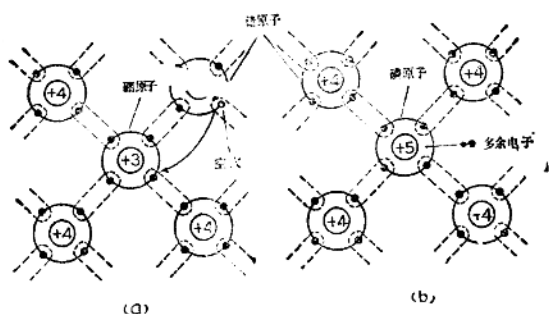


图 1-3

子导电，叫做电子半导体，简称 *N* 型半导体，如图 1-3(b) 所示。

所以，在纯净的单晶中掺入适量的有用杂质，可使半导体的导电性能大大增强，由此获得 *P* 型和 *N* 型半导体。

综上所述，可知，*P* 型半导体有大量的空穴和极少量的电子，而 *N* 型半导体有大量的电子和极少量的空穴。这种情况可以分别用图 1-4(a)(b) 来表示，图中 $\oplus$ 表示空穴， $\ominus$ 表示电

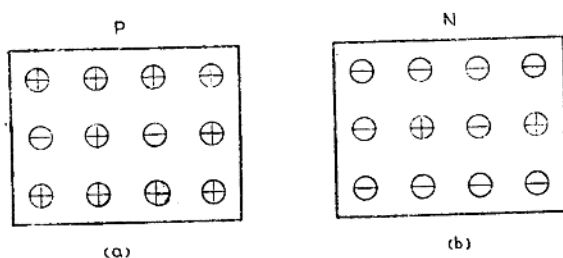


图 1-4

子。但是不论 *P* 型或 *N* 型半导体，从整块半导体来说，还是呈中性，不带电的。如 *N* 型锗半导体中，五价的磷原子多余的一

个电子成为自由电子后，自由电子带负电，而磷原子由于失去一个电子而带正电，但就整块半导体而言还是呈中性的。

4. PN结的形成

由于P型锗具有多余的空穴，N型锗具有多余的电子，当两者以化学的方法结合在一起时（如通过合金法或扩散法等技术，而不是简单的机械连接），就会在两者接触面附近发生扩散现象，使N型区的电子向P型区扩散，P型区的空穴向N型区扩散，如图1-5(a)所示。随着扩散的进行，在P型和N型半导体的交界面将形成一个正、负空间电荷层，即阻挡层，也称PN结，如图1-5(b)所示。这个PN结有一个电场，以 E_{pn} 表

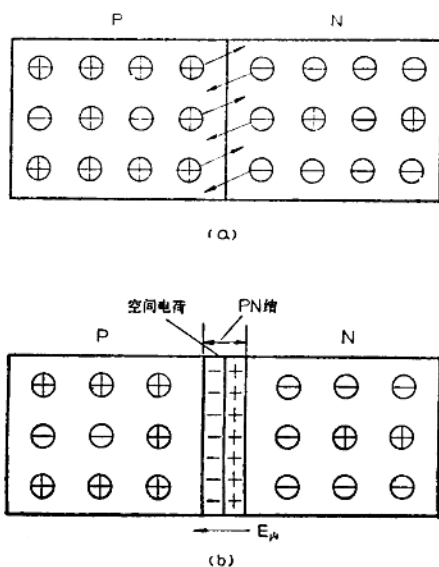


图 1-5

示、其方向是从 N 指向 P 。这个电场将阻止扩散的继续进行，直至达到动态平衡，使扩散停止。这种 PN 结就是构成晶体管的核心。

5. PN 结的特性

若在 PN 结上接一适量的直流电源， P 接正、 N 接负，则在外电源的作用下将产生一外加电场 $E_{外}$ ，它与内电场 $E_{内}$ 方向相反，使阻挡层变窄， P 型区的空穴会更容易扩散到 N 型区，形成空穴流。而 N 型区的电子也更容易扩散到 P 区，形成电子流。两个电流之和，构成了正向电流 I 。这个电流可达几十毫安以至几安培。这种接法，称为正向接法，即正向偏置，如图 1-6 所示。

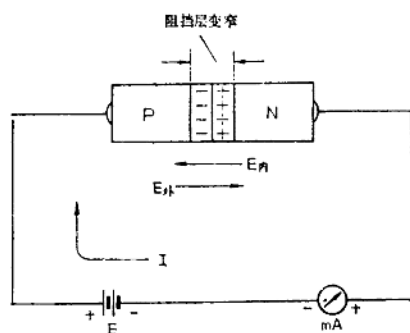


图 1-6

如果电源的正负极反接，则外电源产生的外电场 $E_{外}$ ，与内电场 $E_{内}$ 方向相同，因而使阻挡层加厚，加强了阻挡作用，使电子和空穴很难越过交界处，所以回路电流很小 ($I \approx 0$)，这种接法，称为反向接法，即反向偏置。但由于温度的影响，此时可能有很小一部分电子与空穴，会冲过 PN 结，构成反向

电流，但数量很小，只有几个或几十微安。如图1-7所示。

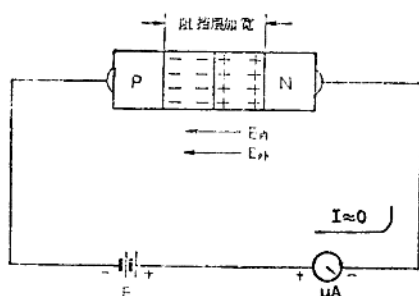


图 1-7

上述现象，称为PN结的单向导电性能，这是半导体材料最重要的特性。

(二) 晶体二极管的特性

晶体二极管实际上就是一个PN结，它是由PN结、管壳和相应的电极引线组成。它在电路中通常用符号 $\overset{1}{\text{---}} \rightarrow \overset{2}{\text{---}}$ 表示，1端称为正电极，2端称为负电极。当两端所加的电压，1端为正、2端为负时，此电压称为正向电压，而由1端流向2端的电流称为正向电流；若所加的电压和流过的电流与上述方向相反，则分别称为反向电压和反向电流。

1. 晶体二极管的伏安特性

晶体二极管最主要的特性是具有单向导电的性能。即加上正向电压时，它的电阻很小、电流很大，成为导通状态。当加上反向电压时，它的电阻很大、电流很小，成为截止状态。

加到二极管两端的电压与通过二极管电流的关系曲线，叫晶体二极管的伏安特性。图1-8为锗二极管典型伏安特性曲线。图1-9为硅二极管典型伏安特性曲线。图中，横轴表示电压，原点右侧轴线代表正向电压值（伏），左侧代表反向电压值（伏）；纵轴表示电流，原点上部为正向电流值（毫安），下部为反向电流值（微安）。

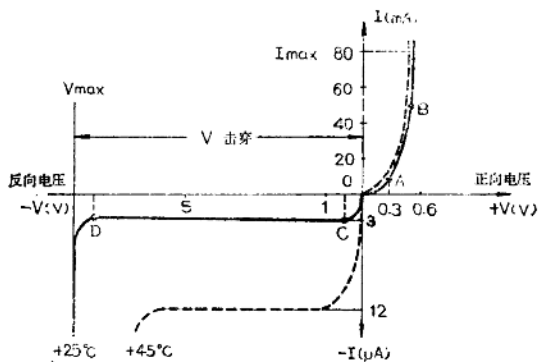


图 1-8

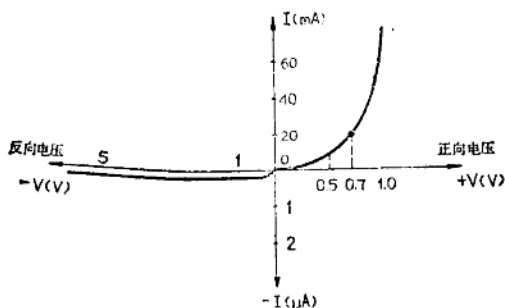


图 1-9

晶体二极管的伏安特性曲线可以分成正向特性和反向特性

来描叙，现以图1-8为例说明如下。

(1) 正向特性

正向特性的测量电路如图1-10所示。

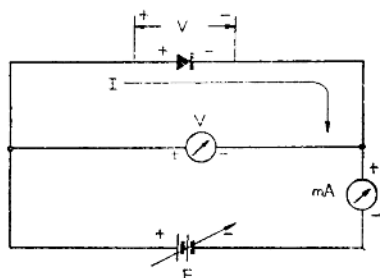


图 1-10

a. 当 $V = 0$ 时， $I = 0$ （图1-8中原点 0）

通过上述PN结的分析可知，在外加电压为零时，PN结只存在内部电场 $E_{内}$ ，其中有少量N区的空穴和P区的电子，在这个电场的作用下，只有微小的电流 I_s 能通过PN结，从N流向P。同时P区的空穴和N区的电子，其中能量较大的能克服 $E_{内}$ 的阻挡，而穿过PN结，形成由P流向N的另一微小电流 I_a 。当平衡时， I_a 和 I_s 大小相等、方向相反，因此外电路的电流 $I = I_a - I_s = 0$ （ I_a 为正向电流， I_s 为反向电流）。

b. 当正向电压从0向+0.3伏增加时（图1-8中O—A曲线段）

由于外电场开始抵消内电场 $E_{内}$ ，即 $I_a > I_s$ ，因此，正向电流从零开始上升，但这时正向电流仍很小，二极管呈现的电阻较大，仍处于截止状态。这0.3伏的数值通常称为“死区电压”。

c. 当正向电压由+0.3伏再增加时（图1-8中A—B曲线段）

这时由于内部电场 $E_{内}$ 几乎全部抵消，此时PN结的电阻很小，正向电流直线上升，形成A—B正向特性曲线，此曲线表示二极管成为导通状态。

d. 正向电压继续上升

随着正向电压继续上升（如图1-8中B点以后），正向电流也将急剧增大，当电流超过二极管的最大极限值时（如图中 I_{max} ），二极管将损坏。所以在使用时要注意正向电流不能大于这个极限值。

（2）反向特性

晶体二极管反向特性的测量电路如图1-11所示。

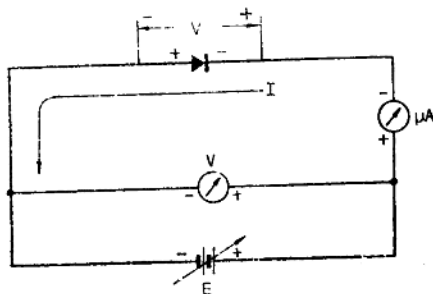


图 1-11

a. 当反向电压从0到-0.5伏变化时（如图1-8中O—C曲线段）

这时外加电场与内电场 $E_{内}$ 方向一致，使PN结阻挡层加厚，于是由P流向N的电流 I_s 将越来越小，所以 $I_b > I_s$ ，电路将开始出现反向电流，并且由零逐渐加大。

b. 当反向电压加到-0.5伏以后时（图1-8中C—D线

段)

这时正向电流 $I_F \approx 0$ ，故 I 就等于反向电流 I_R ，当反向电压继续增加时， I 几乎不再增加，成为饱和状态(如 3 微安)，这个电流叫做反向饱和电流。对锗管来说，反向饱和电流受温度的影响很大，当 25°C 时为 3 微安，而 45°C 时则为 12 微安(虚线所示)。所以锗管的反向特性受温度的影响很大，而正向特性却受温度的影响较小。

c. 当反向电压从 D 点继续增加时

这时反向电流不再是 3 微安，而是突然迅速增加，当反向电压达到某一极限数值，如图中 V_{max} 时，由于反向电流的急速增加(可达几百微安)，将使二极管击穿损坏。这个电压就是二极管反向击穿电压，即 $V_{击穿}$ 。

以上讨论的是锗二极管的伏安特性，硅二极管的伏安特性和锗二极管具有同样的变化规律。只是它的死区电压比较大，一般是 0.7 伏，其次，它的反向饱和电流比锗管小得多，故硅管的特性受温度的影响也较小。

通过上述晶体二极管伏安特性的分析可知，对锗二极管来说，所加的正向电压必须大于 0.3 伏才能导通(对硅管来说是 0.7 伏)。导通后的锗二极管，其本身的正向压降约为 0.3 伏(硅管为 0.7 伏)。这个特点在以后的晶体管电路的分析中，将经常用到。

2. 晶体二极管的参数和型号

(1) 晶体二极管的主要参数

所谓参数就是反映晶体管性能的质量指标，只有了解了二极管的参数，才能更好地识别、选择和使用二极管，一般二极管有下列几个主要参数：