

晶体管及其电路

[日] 川上正光 等 编

尹达衡 译 冯重熙 李玉文 校

人 民 邮 电 出 版 社

73.767
113

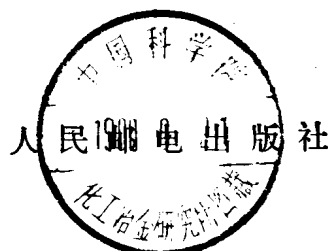
晶体管及其电路

〔日〕 川上正光 等编

尹达衡 译

冯重熙 李玉文 校

360321-5



ソリッドステート回路シリーズ2, 3

編集

川上正光

大内淳義

伝田精一

吉田重藏

トランジスタとその回路Ⅰ, Ⅱ

—基礎とアナログ回路—

—パルス回路とディジタル回路など—

川上正光/編 1974年版

内 容 提 要

本书是川上正光等主编的固体电路丛书的组成部分。书中主要介绍晶体管模拟电路、脉冲与数字电路的原理和应用。前四章讲解晶体管基本原理及连续波信号的晶体管电路，后三章介绍使用晶体管的脉冲电路、数字电路及直流稳定电源电路。

本书的特点是讲述简明、条理清楚并列了具体应用电路，可供应用电子技术的工程技术人员及高等院校师生参考。

晶 体 管 及 其 电 路

〔日〕 川上正光 等编

尹达衡 译

冯重熙 李玉文 校

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津新华印刷一厂印刷

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 1980年4月第一版

印张：11 页数：176 1980年4月天津第1次印刷

字数：248 千字 印数：1—48,500册

统一书号：15045·总2345-无688

定价：1.00元

译 者 的 话

“晶体管及其电路”一书译自日本东京工业大学川上正光等主编的固体电路丛书的卷二和卷三。

书中介绍了晶体管模拟电路、脉冲与数字电路的原理和应用。前四章是原丛书的卷二，讲解了晶体管基本原理以及连续波信号的晶体管电路。后三章是原丛书的卷三，分别介绍了使用晶体管的脉冲电路、数字电路及直流稳定电源电路。

本书原理简略，条理清楚又有一定的深度，内容也比较全面。为了实际运用，作者使用图表归纳了实用要领以及各技术部门使用着的具体电路。所以可望对于应用电子技术的有关人员有所帮助。对于教师和学生也是一本较好的参考书。

原书中的差错已尽可能做了改正，个别地方作了简要注明。由于译者水平有限，错误、不妥之处在所难免，恳切希望读者批评指正。

译文曾经冯重熙、李玉文二同志校阅，特此表示深切谢意。

译 者

• 35315

目 录

1. 晶体管的工作和构造

1.1 晶体管的工作	1
A. 晶体管的工作原理	1
B. 晶体管直流偏置电路	6
C. 晶体管放大电路的类型	10
D. 放大系数的频率特性	11
E. 晶体管等效电路与四端常数	13
1.2 晶体管的构造	17
A. 少数载流子基极渡越原理	17
B. 晶体管的内部构造	19
C. 晶体管的外形和名称	23

2. 放 大 电 路

2.1 直流放大电路	25
A. 直流放大器的用途	25
B. 直流放大器的种类	26
C. 差分放大电路	26
D. 共模抑制比的改善	31
E. 失调电压	35
F. 失调电压的温度漂移	36
G. 增益的改善	37
H. 使用场效应管 (FET) 的直流放大器	39
I. 直流放大器的频率补偿	41

J. 直流放大器的应用	43
2.2 低频放大电路	44
A. h 参数和等效电路	44
B. 晶体管小信号放大基础	48
C. 变压器耦合电路	50
D. 阻容耦合电路	51
E. 负反馈电路	53
F. 甲类功率放大电路	57
G. 乙类推挽电路	59
2.3 宽频带放大器	66
A. 电阻耦合放大器的频率特性	66
B. 高频特性补偿	67
2.4 调制信号放大电路	70
A. 调幅放大电路	70
B. 调频放大电路	73
C. 电视接收机中频放大电路	75
2.5 极限特性	77
A. 临界放大频率	77
B. 低噪声电路	83
C. 低功耗放大电路	88

3. 振 荡 电 路

3.1 LC振荡电路	93
A. 哈特莱振荡电路	95
B. 科耳皮兹振荡电路	97
C. 调谐式反馈振荡电路	100
D. 频率稳定和稳幅	101
3.2 RC振荡电路	103
A. 相移式振荡电路	103

B. 桥式振荡电路	105
3.3 机械振子振荡电路	107
A. 石英晶体振荡器	107
B. 钟表用振荡器	109
3.4 多相振荡电路	112
3.5 脉动振荡器	113
3.6 同步振荡器	114

4. 调制与解调电路

4.1 概述	117
4.2 调幅的调制、解调电路	117
4.3 调幅波无失真传输条件	120
4.4 调幅电路	123
A. 基极调制	125
B. 集电极调制	127
C. 采用相乘器的调幅电路	129
D. 采用光导元件的调幅电路	130
E. 晶体管平衡调制器	131
4.5 调幅解调电路	133
A. 利用具有平方律特性的元件解调	133
B. 二极管检波器	135
C. 单相全波整流型检波电路	136
D. 利用同步检波的解调	137
E. 单边带解调电路	138
4.6 调频的调制、解调电路	139
4.7 调频波的无失真传输条件	144
4.8 调频电路	145
A. 利用可变电抗电路的调频	146

B.采用移相电路的调频	149
C.采用阿姆斯特朗调制方式的调相	150
D.采用矢量合成的调相	151
E.锯齿波调制器	152
F.对晶体振荡器直接调频的电路	154
4.9 调频解调器	154
A.采用①的方法	156
B.采用②的方法	157
C.采用③的方法	159
D.采用④的方法	165

5.脉 冲 电 路

5.1 脉冲的概念	169
A.脉冲和脉冲序列	169
B.脉冲波形	170
5.2 脉冲响应	171
A.开关工作	171
B.负载影响	174
C.驱动电流和响应速度	181
5.3 多谐振荡器	194
A.双稳态多谐振荡器	195
B.单稳态多谐振荡器	201
C.非稳态多谐振荡器	204
5.4 间歇振荡器	208
A.原理电路	208
B.非稳态间歇振荡器	210
C.接入发射极电阻	212
D.触发方式	213
5.5 开关电路的高速化	213

A. 高速开关晶体管	214
B. 加速电容	215
C. 二极管钳位	216
D. 电流开关电路	217
E. 电平钳位电路	219
F. 雪崩区	220
5.6 锯齿波的产生	221
A. 密勒积分电路	222
B. 自举电路	225
5.7 幅度比较电路	227
A. 电平限制器	228
B. 幅度比较电路	231
5.8 时间基准电路和分频电路	231
A. 时间基准电路	232
B. 采用锯齿波的同步、分频	232
C. 采用多谐振荡器的同步、分频	234
D. 采用间歇振荡器的同步、分频	235
E. 利用数字电路的分频	236

6. 数 字 电 路

6.1 数字电路和二进制数	239
A. 二进制数	239
B. 二进制运算	240
C. 数的表示法	243
6.2 逻辑电路和布尔代数	246
A. 逻辑变量和基本运算	247
B. 最简化	249
C. 标准逻辑功能	252
D. 时序电路	254

6.3	计数电路	260
A.	二进计数电路	260
B.	n 进计数电路	261
C.	计数的高速化	263
D.	环形计数器	264
E.	可逆计数器	268
6.4	移位寄存器	269
A.	多相时钟移位寄存器	269
B.	单相时钟移位寄存器	270
C.	动态移位寄存器	270
D.	移位寄存器的应用	272
6.5	晶体管逻辑电路	274
A.	逻辑电路的一般特性	274
B.	二极管-晶体管逻辑(高电平)(DTL)	276
C.	二极管-晶体管逻辑(低电平)	278
D.	带截止缓冲级的二极管-晶体管逻辑	280
E.	电流开关电路(CML)	282
6.6	模拟-数字变换电路	285
A.	计数型AD变换电路	285
B.	DA变换器	286
C.	比较型AD变换电路	288
6.7	电缆驱动电路	289
A.	饱和型驱动方式	292
B.	非饱和型驱动方式	297
C.	差动型驱动方式	298
6.8	安装与布线	299
A.	印制电路板	300
B.	印制电路板之间的接线	302
C.	布线与噪声	303

7. 直流稳定电源电路

7.1 直流稳定电源的基本概念	305
A. 直流稳定电源的质量	305
B. 直流稳定方式	306
C. 直流稳定电源的稳定度	307
7.2 晶体管直流稳定电源	308
A. 稳压电路	308
B. 稳流电路	328
C. 保护电路	331

1. 晶体管的工作和构造

晶体管有点接触型，单极型，双极型，场效应型等几种。其中现在常用的是双极型晶体管。因此，若简称晶体管，多指双极型。在本章，除事先说明，也把PNP或NPN双极型晶体管简单地称作晶体管。

1.1 晶体管的工作

A. 晶体管的工作原理

双极型晶体管是1949年美国肖克莱 (shockley) 发明的半导体放大元件，是比它早几年发表的点接触型晶体管的改进。这种晶体管如图1.1所示，是使P型半导体和N型半导体交替相接，所以也称为面结型双极晶体管。双极晶体管在构造上有PNP型和NPN型两种，虽各个电极上所加偏置电压极性相反，

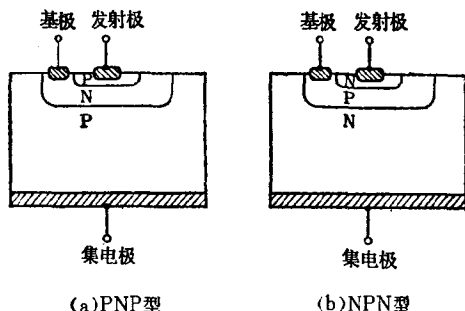


图 1.1 PNP, NPN型晶体管

但它们的工作原理是一样的。因此，下面就以现在常用的NPN型为例说明工作原理，至于PNP型另注在括弧内。

晶体管是利用半导体可具有两种载流子（运载电荷的粒子：电子和空穴）的特殊性质，进行放大的元件。本征半导体内电子和空穴是等浓度存在的，但在加入了少量受主的P型半导体中，空穴浓度就比电子浓度高出很多；在加入了少量施主的N型半导体中，电子浓度就比空穴浓度高出很多。半导体的载流子，浓度高的称为多数载流子；浓度低的称为少数载流子。把这样的P型和N型半导体相接起来的元件，就显示出电流的流向有方向性的二极管性质。

图1·2是使P型和N型半导体相接，并在其上加反向偏置电压时的情况，(a)是电路，(b)表示PN结附近的载流子浓度分布。在这样的偏置电压作用下，能够通过结面的载流子，仅仅是各个半导体内的少数载流子（电场作用使少数载流子向对方半导体移动）。因为在常温下载流子处于热平衡状态，少数载流子的浓度非常低，所以由于少数载流子移动而流过结面的反偏电流就很小，约为几毫微安左右（依结面大小等而异）。如图1·2(c)所示，该值随着半导体的温度而有较大的变化，但和反偏电压关系不大。

在图1·3(a)所示电路中，若在一个PN结面上加以正偏压，那么多数载流子，即P区的空穴以及N区的电子，通过结面相互流向对方的半导体，各个半导体中的少数载流子浓度作图1·3(b)所示的上升。少数载流子浓度上升的程度是与流过结面的载流子流量（即电流）成正比。因为多数载流子浓度比少数载流子浓度高许多，所以如图1·3(c)所示，在0.5~1V电压下就流过几十mA以上的电流。另外，若适当地选择P型及N型半导体中的多数载流子浓度，就能够使流过结面的载流子只

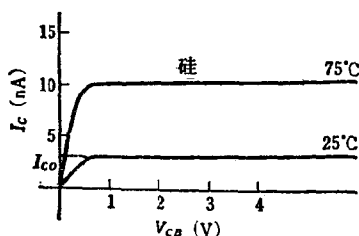
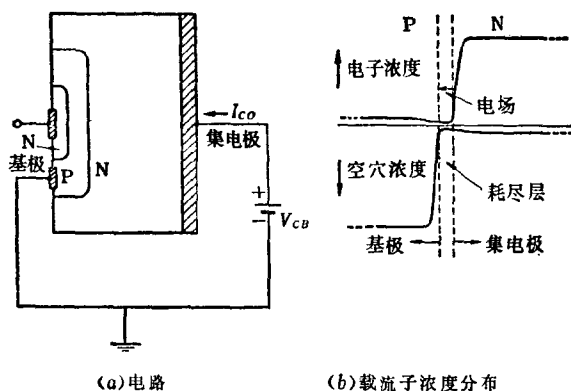


图 1.2 加有反偏电压的PN结

是一种（而使另一种特别少）。用这样的方法使半导体中少数载流子异常上升（非热平衡状态），一般称为少数载流子注入。被注入的少数载流子，在一定的生存时间（几百微秒以下）后就与多数载流子复合而消失。

如前所述，依P型及N型半导体中少数载流子浓度，PN结面的反偏电流有较大变化。晶体管就是在反偏的PN结面附近从外部注入少数载流子，让该部分的少数载流子浓度异常上升，以使流过PN结面的反偏电流增大的器件。

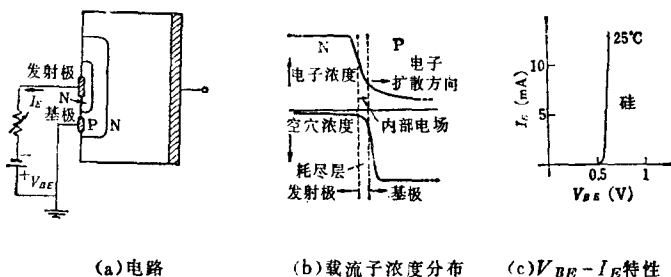


图 1.3 加有正偏电压的PN结

如图1.1所示，双极型晶体管就是在半导体中做出PNP 或NPN三层区域，而且使两个PN结面紧密地接在一起（约几微米）的器件。图1.4是表示晶体管的符号，由发射极上所加的箭头（表示电流的方向）来区别NPN、PNP型。如图1.5(a)

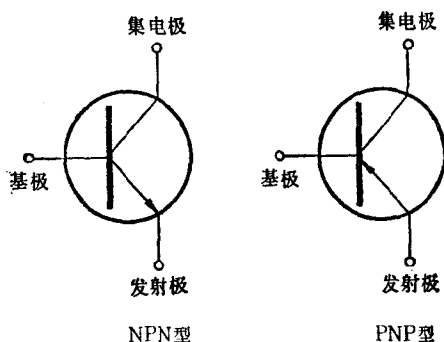
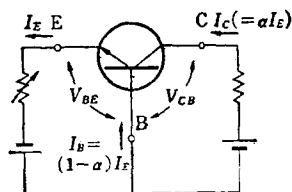


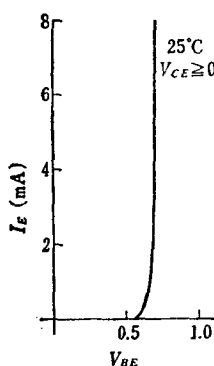
图 1.4 晶体管的符号

所示，若在晶体管上加以直流偏置电压，那么流过基极—集电极结面的少数载流子电流（反偏电流）就正比于从发射极注入的少数载流子电流（图1.5(b)），且象图1.5(c)所示那样增

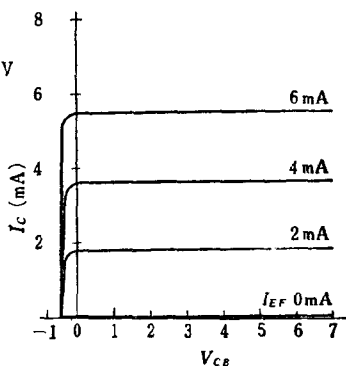
减。一般的晶体管，从发射极注入的少数载流子流（NPN型为电子，PNP型为空穴）的90~99%达到集电极成为集电极电流，而剩下的10~1%的少数载流子在基区与多数载流子复合而形成基极电流。因而，集电极电流与发射极电流之比（一般称为基极接地电流放大系数 α ）小于1（0.9~0.99左右）。但是，由于集电极内阻是发射极输入电阻的几百~几千倍，所以就能把电压按同样比例放大（基极接地放大电路）。这个放大作用一直保持到基区载流子浓度的变化（因渡越时间长）跟不上信号的变化频率为止。图1·6是 α 随信号频率变化的一个例



(a) 电路



(b) 输入特性



(c) 输出特性

图 1·5 晶体管的工作

子。一般，把 α 变到为低频信号时的数值(α_0)的70%(-3dB)时的频率称为晶体管的 α 截止频率($f_{\alpha c}$)。

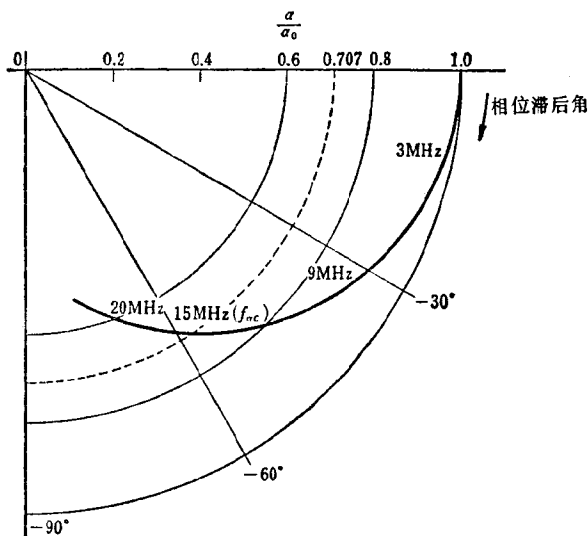


图 1-6 α 的频率特性

B. 晶体管直流偏置电路

为了使晶体管做为放大元件工作，如图1·7(a)所示，要加直流偏置电压以使基极—发射极结成为正向，使基极—集电极结成为反向。图1·7(b)是它的直流近似等效电路。图中 I_{CBO} 称为集电极截止电流，它相当于把基极—集电极结当成一个PN二极管工作时的反向饱和电流(I_S)。如图1·8所示，这个电流随结的温度变化而变化很大，致使直流工作点移动。另外，如图1·9所示，基极—发射极结的电压电流特性也随温度而改变，且使工作点移动。在发射极电流一定时， V_{BE} 的温度系数