

半导体管电路原理

(上册)

(美) R. F. 茜 亚 著

科学技术出版社

半导体管电路原理

(上册)

[美] RICHARD F. SHEA 著

何 治 垓 译
朱 邦 俊

科学出版社

內 容 提 要

本書敘述半導體的基本原理、結構、型式、特性以及半導體的放大原理、偏壓穩定、直流放大、高頻運用、設計等。並分析了各種類型半導體管包括點接觸型、面接合型的特性和應用電路。

本書適合無線電技術人員以及大專學校無線電專業師生參考和閱讀。

半 导 体 管 电 路 原 理

Principles of Transistor Circuits

(上 册)

著 者 [美] R. F. Shea

譯 者 何 治 垓 朱 邦 俊

*

科 学 技 術 出 版 社 出 版

(上海南京西路2004号)

上海市書刊出版業營業許可証出 079 号

上海市印刷四厂印刷 新华書店上海發行所總經售

*

統一書号 15119 · 744

开本 850×1168 1/32 · 印張 8 5/8 · 字數 197,000

1958年8月第1版

1958年8月第1次印刷 · 印數 1—4,000

定價: (10) 1.80 元

序 言

半导体三极管的基本型式是在 1948 年由贝尔电话实验室 J. 巴登和 W. H. 布莱坦所写的“晶体管——一种半导体三极管”的论文(该文载在 1948 年 7 月 15 日出版的“物理通报”上)而公布于世的。从这一公布后,在由真空管代替了原始的半导体器件——晶体检波器以来,并一直由真空管统治着的领域中,半导体器件又打开了广泛应用的大门。1948 年以来,许多实验室对发展半导体三极管作了极大的努力,制成了各种各样的半导体器件。例如,在过去曾制成了好几种型式的点接触型半导体三极管,而现在新型半导体三极管——面接合型半导体三极管也出现了好几种型式。积极的研究工作仍在进行,继续研究将会制成更多新型的半导体三极管,很可能是利用新材料(象硅之类)制成的。

由于制成了各种各样的半导体三极管,遂使各种不同的电子电路成为实用的电路,而应用的范围也不断地在扩大着。瞻望到半导体三极管广阔的可能应用范围不能不令人感到鼓舞,而这一点是已由这方面的工作者在开始半导体三极管研究以来相当短的时间内作出的卓越贡献所证实了。

半导体三极管的主要特点扼要说来,有如下列:半导体三极管很小,但是异常坚固,能经得起大于地心吸力几千倍的振动。它不需要灯丝电源;事实上,面接合型半导体三极管只需一微瓦左右的功率就能工作。几种早期类型的半导体三极管的输出功率已达到若干瓦的数值。不过,耗散功率的上限主要是由器件的构造来决定,几百瓦的输出功率不算超出可能的范围。噪声(在最初设计的

半导体三极管中，它是一个严重的限制)已經显著地减小。面接合型半导体三极管中的噪声因数能小于 20 分貝，而点接触型半导体三极管中的噪声因数已有 20 分貝的改进。現有的点接触型半导体三极管的噪声因数，約为 50 分貝。今后的发展將能进一步改进这些数字。

除了消耗的功率小以外，半导体三极管能在低压电源下工作，特别是面接合型半导体三极管，实际上是在不足一伏的电压下工作的。这一特点使半导体三极管用于携帶式电子器件特别有利。最后，可能也是最重要的特点，半导体三极管的寿命很長，約 100,000 小时，或更多些，甚至在这段时期的最后也并不突然失去效用。因此，半导体三极管在工业上和軍事上的应用都是极端重要的，因为在那里出了故障或須付出很高的代价，或則甚至会招致到意外的危害。在計算机的領域中（在一架复杂的計算机中往往需要几千个电子器件），寿命長的半导体三极管將是維持連續工作中的主要因素。

自不待說，沒有一种器件是完善的，而半导体三极管亦不例外。举几項來說，如頻率范围、噪声、温度效应、制造上均一性等等都有待改进。目前正致力于改进这几點。毫無疑問，这种改进还需要若干年的不断的努力。半导体三极管除有上列的許多优点外，它的均一性最后会达到足以与真空管媲美的阶段，也是可以有理由預料得到的。虽然半导体三极管的价格目前很貴，但預料走上大量生产后就会逐步降低的。

在发展不同形式的半导体三极管的同时，曾經詳細地研究了它們的特性和最适合它們的电路。这一研究需要制造测量特性的复杂設備，作出对大量不同的半导体三极管的詳細測試，計算在許多电路結構下的工作阻抗和增益，以及在各种不同范围内运用这些計算。本書的目的是將在半导体三极管电路方面已經积累起来的大部分資料收集在一本書內。这并不是說这些資料完全是原始

的；事实上，正如参考文献中所列出的，我們毫无顧忌地借用了当代許多作者的著作。我們虽知道在这門科学的这样早的阶段来写一本完整的書是不可能的，但是我們仍旧希望本書將提供一般性的必要基本理論，以及能在这部門中应用的各种技术。因此，当这門科学不断发展而出現許多新型半导体三极管时，这些基本理論和技术將使这些器件得到适当的运用。

由于这个領域是比較新，因此我們決定使本書的讀者对象是研究生和实际工作的工程师。由于工程师必須熟悉广泛的数学方法（倘使他想充分运用網絡理論的話），所以这个决定也帶來了一些問題。我們着重講述不同电路和不同頻率範圍的基本等效电路，并且對本書的这一部分講得相当詳細，以便老工程师的閱讀，因为他們并不掌握所有上述的数学方法。为了同一原因，書中列入一章对偶性，并在好几章内指出了与真空管电路的相似点。总之，在很多时候后，工程师們將会熟練地掌握半导体三极管电路，但現在本書只是使在真空管方面非常熟練的工程师們能够从他們的經驗中來提高自己。

为了便于研究生和網絡理論的基础比較好的工程师們的閱讀，我們列入了一章矩陣分析法和一章反饋放大器，采用了現代的網絡理論，略加修改，以适用于半导体三极管电路。这部分講得比較詳細，俾使讀者能直接把这种專門知識用在半导体三极管电路中，不必全面学习網絡理論然后把它移用于半导体三极管电路。

由于我們想使本書能最有利于作参考書以致有若干重复，其目的也在于尽量使每一章能独立地闡明問題，使交叉参考的次数几乎減至最少。

半导体三极管采取許多不同的物理形狀，包括点接触型和許多不同的面接合型半导体三极管。新型的面接合型半导体三极管正繼續在發展着。为了使本書所講的內容尽可能对这些半导体三极管都适用，書中的分析法是尽可能使用一般性的，少用特殊性的，

而且这种分析法是建立在一般化的等效电路的基础上的(这种等效电路能很方便地用来表示这些半导体三极管的絕大部分)。因此,書中避免 $p-n-p$ 型和 $n-p-n$ 型半导体三极管間的差別,而所講的分析法对每一种型式的半导体三极管都是适用的。实践証明,随着技术的进展情况,在某种特殊用途中,用这种型式的半导体三极管要胜过另一种型式。这里所用的分析法是想能給不同形狀的半导体三极管对这些应用以正确的估价。因此,当更新的半导体三极管出現时,它們的用途便可适当地加以断定。

那些电路更适用于点接触型的半导体三极管,那些更适合于面接合型半导体三极管,是必須強調指出的。例如,在高頻时点接触型半导体三极管能应用串联調諧电路,而面接合型半导体三极管則以采用并联調諧电路为宜。我們决定着重講述目前或不久的将来在某項特殊应用中可以認為最适宜的半导体三极管,而在可以有选择的可能时,則引用对点接触型和面接合型半导体三极管都能用的資料。因此,低頻的各种应用完全是講面接合型半导体三极管。对于高頻則点接触型和面接合型半导体三极管都講,而在計算机的电路中主要是着重于点接触型半导体三极管。

在头两章扼要的叙述使讀者适当地了解半导体物理性能和各种型式的半导体三极管以后,本書主要分为三个部分,基本上包括了低頻应用、高頻应用和大信号非綫性应用。每部分中講述的程序都相同:等效电路的繪出与分析;数学关系的分析;以及应用电路的推广。目前对用开路阻抗、短路导納或其他参数(例如包括阻抗、导納和电流跟电压比的 h 因数)来表明等效电路的优缺点,还有許多爭論。我們决定利用 T 型等效电路,因为这种等效电路在現时的文献中获得广泛的应用,但是也列入了足够的其他材料,使能适合讀者的需要,讓他选择認為最方便的方法。因此,在矩陣分析一章中,叙述了更一般化的分析,这种分析允許运用能直接量得的各种参数,而不是計算出来的参数。例如,上述的 h 参数是可測

得的，而整个电路的作用不一定要变换成 T 型等效电路并求出其阻抗分量就可加以分析的。

同样，在测量一章中的内容也是一般性质的。虽然有相当大的一部分是讲到 T 型等效电路的各个参数的测量，但是也讲到用来确定其他等效参数的方法。因此，上述的 h 因数就能直接用这里所说明的方法来测定。

本书的第一部分叙述低频时半导体三极管在小振幅和大振幅信号下的运用。在这部分中，读者可找到关于各种类型及不同组合方式的直流放大器、声频放大器和超声频放大器的资料。由于这方面是半导体三极管最有前途的应用领域，因此讲得相当详细。

第二部分论述半导体三极管用作放大器及振荡器在较高频率（自 100 千赫到 10 兆赫）的小信号运用。这时，网孔阻抗和电流放大变成复数，而在较低频率可以略去不计的许多效应，此时亦占重要地位。这部分包括半导体三极管用在振荡器、中频放大器及射频放大器中的各种电路。

最后的主要部分是探讨半导体三极管的大信号及非线性运用，即用来作为触发（开关）电路、多谐振荡器及脉冲放大器等。其中有一章详细地讨论了半导体三极管瞬态工作的理论。这章中的内容在计算机和雷达方面特别重要。

书中插入了许多解释性质的例子及习题，供读者测验自己掌握内容的程度。书后还列有大量参考文献。

我同我的合作者谨向电子实验所的半导体应用组、半导体零件组和工程分析组的各位人员，商业和政府设备部门，以及研究所的各位人员，特别是 R. L. 泼立察特博士和 R. N. 霍尔博士所给予的帮助，表示衷心的感谢。我们同样也要衷心地感谢 I. J. 卡尔 L. T. 得沃尔博士、W. 赫乌兹、B. R. 莱斯特和 J. P. 乔登对本书的赞助和指导。

符 号

本書中所用符号的一般規律如下：

(1) 大写字母一般用来表示不变量或直流量值；小写字母表示增量或交流量值。当所研究的量值是由直流加一交流組成时，則采用特殊符号，如 $I(t)$ ，表示电流是時間的函数。

(2) 因直流电阻和交流电阻数值上往往相差很多，上面的規律对各种电路中所用的电阻也适用。例如，反射負載电阻是 r_i ，而变压器綫圈直流电阻是 R_i ；电納、电抗、导納和阻抗两种表示法都可以用，一般都用小写字母。

(3) 級間的区别則用脚注表示。因此， r_{i1} 和 r_{i2} 分別表示第一級和第二級的輸入电阻。

拉 丁 字 母

符号	代表的意义	a_{ij}	a 矩陣的元素
A	放大率	α_0	低頻电流放大系数
A^0	矢量电流比	B	基极
A_i	电流放大率	B	頻帶
A_c	矢量电流比	b	发射极接地电流放大系数
A_{in}	第 n 級电流放大率	b	迁移率之比 $\left(= \frac{\mu_e}{\mu_h} \right)$
A_{i_0}	短路时电流放大率	b	电納
A_{sc}^0	无反饋时短路电流比	b_i	輸入电納
A_v	矢量电压比	b_{ij}	b 矩陣的元素
A_v	电压放大率	b_o	輸出电納
A_{v0}	低頻电压放大率		
a	电流放大系数		

C	电容	e_i	輸入交流电压
C	集电极	e_m	外施網絡电压
C_c	集电极电容	e_n	等效噪声电压
c	电容	e_{nc}	开路时集电极等效噪声电压
D	迟延	e_{nB}	开路时发射极等效噪声电压
D	扩散常数	e_o	輸出交流电压
D	二极管	F	部分
D_n	扩散常数	F	噪声因数
D_o	鉗压二极管	F	倒逆差
db	分貝	F_{min}	最小噪声因数
div	散度	F_0	1000 赫时的噪声因数
E	直流电压	F_{oc}	发生器开路时倒逆差
E	电場	F_p	功率損耗因数
E, e	发射极	F_{sc}	发生器短路时倒逆差
E_b	基极直流电压	f	載流子濃度的空間函数 (直流)
E_c	集电极直流电压	f	頻率
E_{c1}	运用点集电极电压	f_{a0}	$ \alpha $ 减小 3 分貝时的頻率
E_e	发射极直流电压	f_{A0}	电压增益减小 3 分貝时的 頻率
E_{e1}	运用点发射极电压	f_{b0}	$ b $ 减小 3 分貝时的頻率
E_o	輸出电压	f_{g0}	功率增益 G 减小 3 分貝时的 頻率
E_m	最大結电場	f_0	諧振頻率
e	电子的电荷	f_r	摩擦力
e	自然对数的底(2.71828...)	$f(x)$	載流子濃度的空間函数 (直流)
e_c	集电极等效电源矢量电压	$f(z)$	复变数之函数
e_D	对偶網絡电压	G	濃度梯度
e_g	发生器电压		
e_g	柵极电压		
e_g'	变换后发生器电压		
e_{gn}	噪声电压发生器的均方根 值		

G	电导	I_b'	B 类基极电流峰值
G^r	功率增益	I_c	集电极直流电流
G_a	有用功率增益	I_{c0}	发射极电流为零时集电极 直流电流
$(G_a)_{\max}$	最大有用功率增益	$(I_c)_0$	静态时集电极电流
G_f	反馈电导	$(I_c')_0$	B 类零信号时集电极电流
G_{\max}	最大功率增益	I_c'	B 类集电极电流的峰值
G_0	低频功率增益	$I_c(t)$	集电极电流的瞬时值
G_t	四端网络转换增益	I_d	二极管直流电流
g	电导	I_{d-c}	集电极电流的直流分量
g	载流子浓度的空间函数 (交流)	I_e	发射极直流电流
g_c	集电极电导	I_e'	B 类发射极电流的峰值
g_i	输入电导	$(I_e)_0$	静态时发射极直流电流
g_i'	变换后输入电导	I_{es}	相当于饱和时发射极直流 电流
g_{ij}	g 矩阵的元素	$I_e(t)$	发射极电流的瞬时值
g_l	调谐电路的电导	I_i	输入电流
g_m	互导	I_m	虚部
g_o	输出电导	I_o	输出直流电流
g_o'	变换后输出电导	I_s	0°C 时 I_{c0} 之值
g_p	屏极电导	I_0	失真波形的直流分量
grad	梯度	I_0	$p-n$ 结饱和电流
$g(x)$	载流子浓度的空间函数 (交流)	I_{0e}	饱和电流 I_0 中由电子组成 的分量
h_{ij}	h 矩阵的元素	I_{0h}	饱和电流 I_0 中由空穴组成 的分量
$h(t)$	脉冲响应	I_1	网络输入电流
h_{11}	输出端短路时输入阻抗	I_2	网络输出电流
h_{12}	输入端开路时反向电压比	i	交流电流
h_{21}	输出端短路时电流转移比	i	电流密度矢量
h_{22}	输入端开路时输出导纳	i	由温度改变引起的电流增 量
I	直流电流	i_b	基极交流电流
I_b	基极直流电流		

i_b	I_b 的增量变化	k	比例因子
i_c	集电极交流电流	k_1, k_2	常数
i_c	I_c 的增量变化	L	阻擋层厚度
i_c	集电极矢量电流	L	少数载流子的扩散距离
i_{cb}	反馈电流	L	电感
i_{c0}	I_{c0} 的增量变化	L	长度
$i_c(t)$	集电极电路中的信号电流	L_B	基极区域内的扩散距离
i_D	对偶网络电流	L_e	电子的扩散距离
i_e	发射极交流电流	L_{eE}	电子在发射极区域内的扩散距离
i_e	I_e 的增量变化	L_h	空穴的扩散距离
i_e	发射极矢量电流	L_{hB}	空穴在基极区域内的扩散距离
$i_e(t)$	发射极电路中的信号电流	L_{hE}	空穴在发射极区域内的扩散距离
i_f	反馈交流电流	L_p	初级线圈的电感
i_i	输入交流电流	L_s	次级线圈的电感
i_l	负载电流的增量变化	\mathcal{L}^{-1}	拉普拉斯反变换算符
i_n	放大器输出电流	l	有效光通量
i_n	网络电流	l	单位长度的电感
i_o	输出交流电流	M	热骚动噪声电压的均方值
i_o	输出交流电流的峰值	M	$g(x)$ 的模
i_s	信号电流	M	互感
i_U	放大器输入电流	M	p 型区域
i_1	网络输入交流电流	m	依时变化的载流子浓度
\hat{i}_1	输入交流电流的峰值	m	质量
i_2	网络输出交流电流	m^2	阻抗变换比
		m_s	稳态时依时变化的载流子浓度
j	$\sqrt{-1}$	N	噪声功率
K	一部分		
K	放大器的电流放大率		
K	理想延迟线的延迟时间		
K	比例常数		
K	电流放大率的减退量		
k	玻耳兹曼常数		

N_A	受主密度	p	半导体多余空穴的区域
N_D	施主密度	Q	电容器的电抗与电阻之比 (品质因数)
n	载流子浓度	Q, Q'	电感线圈的电抗与电阻之比 (品质因数)
n	半导体多余电子的区域	q	电子电荷
n	匝数比	R	直流电阻
n^2	阻抗变换比	R	具电阻因次的参数
n_c	半导体单元体积内的电子数	R	整流比
n_h	半导体单元体积内的空穴数	R_b	基极外电阻
n_i	半导体单元体积内的本征载流子(空穴-电子对)的数目	R_b	大信号理想基极电阻
n_p	热平衡时载流子浓度	R_b'	基极电路中总的直流电阻
P	功率	R_{cf}	集电极等效二极管正向直流电阻
P_a	有用功率	R_{cr}	集电极等效二极管反向直流电阻
P_{a0}	放大器的有用功率输出	R_e	实部
P_D	集电极耗散功率	R_e	发射极直流电阻
P_{d-c}	直流耗散功率	R_{ef}	发射极等效二极管正向直流电阻
P_i	输入功率	R_{er}	发射极等效二极管反向直流电阻
P_l	负载功率	R_f	二极管正向直流电阻
P_n	噪声功率	R_h	发射极和集电极间的电阻
P_{ni}	输入端等效噪声功率	R_i	电流测量电阻
P_{no}	放大器输出端总的噪声功率	R_{ib}	基极电路电流测量电阻
P_{no}'	由信号电源内阻 r_g 因热骚动在放大器输出端引起的噪声功率	R_{ic}	集电极电路电流测量电阻
$(P_n)r_g$	因热骚动在信号电源内阻 r_g 上引起的噪声功率	R_{ie}	发射极电路电流测量电阻
P_o	输出功率	R_l	负载直流电阻
p	微分算符	R_r	二极管反向直流电阻
		R_s	分压器电阻

R_{1a}	无稳触发电路的负载电阻	$(r_i')_{\max}$	最大功率增益的负载电阻
R_{1m}	单稳触发电路的负载电阻	r_m	发射极-集电极等效转移电阻
r	交流电阻	r_n	噪声等效电阻
r	由辐射引起的热损耗	r_o	放大器(或信号电源)的输出电阻
r	变换电阻	r_p	初级线圈的电阻
r'	耦合电阻	r_p	真空管的屏极电阻
r_b	基极等效电阻	r_s	次级线圈的电阻
r_b'	与基极串联的电阻	r_{11}	输出端开路时网络输入电阻
r_c	集电极等效电阻	r_{12}	输入端开路时反向转移电阻
r_c'	高温时的 r_c 值	r_{21}	输出端开路时正向转移电阻
r_{cr}	集电极等效二极管反向交流电阻	r_{22}	输入端开路时网络输出电阻
r_{c0}	发射极电流很小时集电极等效电阻	r_{11}'	输出端短路时网络输入电阻
r_e	发射极等效电阻	r_{11}''	输出端短路时基极与1000欧的电阻串联后的输入电阻
r_e'	与发射极串联的电阻	r_{22}'	输入端短路时网络输出电阻
r_{ef}	发射极等效二极管正向交流电阻	S	信号功率
r_{e1}	发射极直流电流为1毫安时发射极交流电阻	S	稳定系数
r_g	信号电源的内阻	s	拉普拉斯算符
r_g'	最小噪声因数的信号电源的内阻	T	绝对温度
r_g'	变换后的信号电源内阻	T	脉冲周期
r_g'	对偶网络的信号电源内阻	T	倒逆比
r_i	输入交流电阻	T_c	RC网络的时间常数
r_{i0}	放大器输出端短路时的输入电阻		
r_i'	负载为 $(r_i')_{\max}$ 时的输入电阻		
r_l	交流负载电阻		
r_l'	高温时的负载电阻		
r_l'	变换后负载电阻		

T_{oc}	信号源开路时倒逆比	v_c	集电极矢量电压
T_{sc}	信号源短路时倒逆比	$v_c(t)$	集电极电路中的瞬时信号电压
t	时间	v_e	发射极交流电压
t	延迟时间	v_e	发射极矢量电压
u_e	电子速度	$v_e(t)$	发射极电路中的瞬时信号电压
u_h	空穴速度	v_g	交流电源电压
u_i	电流比	v_i	输入交流电压
u_j	根号内的虚部	\hat{v}_i	输入交流电压峰值
u_r	根号内的实部	v_o	输出交流电压
V	直流电压	v_o'	开路输出电压
V_{B2}	基极间偏电压	v_0	交流测量电压
V_c	集电极直流电压	v_1	网络输入交流电压
$V_c(t)$	集电极瞬时电压 (时间的函数)	v_2	网络输出交流电压
V_{c0}	集电极平均直流电压	W	通用网络的参数
$(V_c)_0$	集电极静态运用直流电压	W	宽度
V_c'	B 类运用时集电极峰值电压	W_B	基极区域宽度
$(V_c')_0$	B 类运用时集电极峰值电压	W_E	发射极区域宽度
V_e	发射极直流电压	x	距离
$V_e(t)$	发射极瞬时电压 (时间的函数)	x	从集电极由每一空穴拉到基极的电子数
V_e'	B 类运用时发射极峰值电压	x	射入的空穴数
V_i	输入电压	x	电抗
$V(t)$	瞬时电压 (时间函数)	x_C	容抗
V_1	网络输入电压	x_c	集电极容抗
V_2	网络输出电压	x_L	感抗
v	交流电压	Y	导纳
v_c	集电极交流电压	Y	具电导因数的参数
		y	导纳

y_c	集电极导纳(输入端开路)		入阻抗
y_{ij}	y 矩阵的元素	$z_i^0 (sc)$	无反馈时的短路输入阻抗
y_l	负载导纳	$(z_l)^R$	z_l 的实部
y_n^0	半导体管不接电源(即无源)时的导纳	z_l	负载阻抗
$[y_T]$	半导体管的 y 矩阵	$(z_l)^R$	z_l 的实部
$[y_V]$	真空管的 y 矩阵	z_m	发射极至集电极的阻抗
$[y_\pi]$	π 网络的 y 矩阵	z_n^0	半导体管不接电源时的阻抗
Z	阻抗	z_o	输出阻抗
z	阻抗	z_o'	变换后输出阻抗
z_b	基极阻抗	z_p	变压器初级线圈的阻抗
z_c	集电极阻抗	z_R	串联调谐电路的阻抗
z_{bias}	偏压阻抗	z_s	变压器次级线圈的阻抗
z_e	发射极阻抗	z_{11}	输出端开路时网络输入阻抗
z_g	信号电源内阻抗		
z_g^*	z_g 的共轭复数	z_{12}	输入端开路时反向转移阻抗
z_i	输入阻抗		
z_i'	变换后输入阻抗	z_{21}	输出端开路时正向转移阻抗
z_{ij}	z 矩阵的元素		
z_i^0	半导体管不接电源时的输出阻抗	z_{22}	输入端开路时输出阻抗

希 臘 字 母

α (alpha)	短路时电流放大系数	γ (gamma)	代替 $\sqrt{\frac{t}{\tau_n}}$ 的变数
α^*	集电极本征载流子倍增系数	γ	发射极电流增量流入基极区域的百分数
α_D	动态电流放大系数	γ_h	代表流入的是空穴时的 γ 值
α_0	低频时短路电流放大率	γ_e	代表流入的是电子时的 γ 值
β (beta)	注入的载流子能达集电极的百分数	γ	输出电流反馈入网络的百分数
β	反馈(电流)比		
β	反馈网络的电流放大率		

Δ (delta)	行列式	ρ	e_{ne}/e_{nc}
Δ	增量	ρ_i	本征电阻率
δ	狄拉克脉冲函数	Σ (sigma)	总和
Δf	带宽	σ (sigma)	电导率
Δ^i	第 i 次矩陣的行列式	σ_B	基极区域的电导率
Δ^0	半导体管不接电源时的行列式	σ_E	发射极区域的电导率
ϵ (epsilon)	相对介电常数	σ_n	n 型区域的电导率
ϵ_0	自由空间的介电常数	σ_p	p 型区域的电导率
η (eta)	效率	τ (tau)	时间常数
μ (mu)	真空管的放大系数	τ	载流子的寿命
μ	跃变函数	τ_n	载流子的寿命
μ	迁移率	τ_α	对应于 $f_{\alpha 0}$ 时的时间常数
μ_e	电子迁移率	τ_c	集电极电阻和电容的时间常数
μ_h	空穴迁移率	ϕ (phi)	相角
$\mu_{\mu f}$	微微法	ϕ_m	最大相角
μf	微法	ω (omega)	角频率
ξ (xi)	截止角	$\omega_{\alpha 0}$	$2\pi f_{\alpha 0}$
π (pi)	圆周与直径之比(3.14159)	$\omega_{b 0}$	$2\pi f_{b 0}$
π	180° 的弧度数	$\omega_{g 0}$	$2\pi f_{g 0}$
ρ (rho)	电荷密度	ω_0	谐振角频率
ρ	流体密度		

数 学 符 号

∇	算符	\cdot	点乘
\approx	约等于	\times	叉乘
\neq	不等于	grad	梯度
\gg	远大于	log	常用对数
\ll	远小于	ln	自然对数
Σ	总和	∞	无穹大
$ A $	A 的绝对值	div	散度
Δ	行列式	erf	误差函数
Δ	增量	erfc	误差补函数