

微型机辅助分析 常用电子线路

汪源浚 陶益之 著

0.3

科学出版社

内 容 简 介

本书通过实例介绍了应用微型机分析常用电子线路的方法。计算各实例的程序都是用 BASICA 语言编写的。这些程序运行后,在监视器屏幕上依次显示出被分析的电路图、计算时所用的方程式、计算结果和用计算结果画出的各种曲线。书中重点介绍了根据不同电路的特点和计算机的特点编写程序的方法和技巧。

本书可供电子技术工作者、微机软件编制者参考,亦可作为大专院校有关专业上机实习的例题。为配合阅读本书,书中的所有程序实例均已制作成软件,与本书同时发行,欢迎读者选购。

微型机辅助分析常用电子线路

汪源浚 陶益之 著

责任编辑 乐嘉敏 孙健霞

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100707

北京宏伟胶印厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1990 年 12 月第 一 版 * 开本: 787×1092 1/32
1990 年 12 月第一次印刷 印张: 6 1/2
印数: 0001—3 000 字数: 140 000

ISBN 7-03-002061-8 / TP·153

定 价: 5.40 元

前 言

使用计算机的重要性人们已经认识到了。很多同志都想利用计算机解决本职工作中的一些实际问题,电子技术工作者尤其如此。因为,以往的电子技术研究人员在设计电子线路时通常采用手算和试验的方法,即,先对所研究的电路进行初步估算,然后通过试验,逐步改进,最后得出满足要求的线路。微型计算机给研制人员设计各种电子线路提供了另一种有效手段。应用微型机研制电子线路不仅节省时间,而且精度也比较高。但学会使用计算机远非一件容易的事。一台比较复杂的电子仪器(如功能多一些的示波器、电视机等),用户很快就能学会使用它,而一台计算机即使是对于那些有相当理论基础和实践经验的电子技术工作者,要学会使用它也需要花相当大的功夫。我国现有计算机的工作效率比较低,重要原因之一就是会使用的人不多。

国内外电子线路方面的计算机辅助设计(CAD)已有成熟的软件,但大多数是用于设计大规模集成电路的,它是由数以万计的语句组成的大规模程序。掌握的人也只限于少数专业工作者。而广大实验工作者经常用到的多半是由几个或十几个晶体管组成的小型电路。如何用微机设计针对实验需要的线路?这方面的材料还不多。

本书的主要目的是通过一些计算实例向那些有一定电子技术基础的读者,提供一些运用计算机灵活地设计实验所需线路的方法。

书中介绍了利用微型机计算常用电子线路的方法和一些

实用程序。这些程序和方法主要是根据电子线路的特点和微型机的特点而设计的。程序执行时，在监视器的屏幕上依次显示出被分析电路的原理图、半导体三极管的等效模型、计算时采用的等效电路图、计算过程中所用的方程组、计算结果以及将计算结果处理后而获得的各种参数间的关系曲线。在短短几分钟内就能给出计算一个电子线路全过程的概貌。研究人员可根据计算结果和处理结果而获得的关系曲线改进电路设计，初学人员可根据屏幕上显示出来的方法编制计算其它电路的程序。

书中介绍的程序运行后所得到的结果，与用其它方法计算的结果完全一致；根据结果而绘制的波形图，与直接用实验方法观测的结果基本相符。程序全部是用 BASICA 语言编制的，其中一部分计算程序是根据计算对象的特点灵活运用 BASICA 语言编制的(如：用逐次逼近法计算电路的工作点的程序，计算温度对不同电路的影响的程序)；另一部分以一些通用计算程序(如：解多元联立一次方程式的程序，求网络传输特性的程序等)为基础，略加改动而得来的。书中介绍的作图程序，是根据 BASICA 语言中作图语句而编制的。这样，只要读者具有一定的电子技术知识(中专程度)，对计算机有一些基本常识(例如，启动操作系统，进入 BASICA 状态)，就能参照本书中的计算实例，计算读者所需要的具体电路。

书中介绍的全部程序及计算结果装在两张容量为 360K 字节的软盘上，在 IBM PC 机及其各种兼容机上都能正常运行。

核工业部九院科技委俞大光副主任、核工业部研究生院二部赖祖武副主任、西南计算中心林传骝副主任在百忙中抽

时间多次观审了本软件运行的全过程，并提出了不少宝贵意见，核工业部九院职工工学院姚向东老师在微机的使用方面给予了很多帮助，特在此一并致谢！

目 录

第一章 用逐次逼近法计算电子线路·····	1
1.1 逐次逼近法的基本思想和适用范围·····	1
1.2 计算简单偏置单管放大器的静态工作电流 I_c ·····	2
1.3 计算复杂偏置单管放大器的静态工作点·····	10
1.4 计算双管电压串联负反馈放大器的静态 工作电流·····	15
1.5 计算双管电压串联负反馈放大器的放大倍数···	19
第二章 计算温度变化对几种单管放大电路 工作点的影响·····	26
2.1 典型单管放大电路简介·····	26
2.2 计算温度对静态工作电流 I_c 影响的程序的 编写方法与步骤·····	28
2.3 计算程序和将计算结果打印成曲线的程序·····	32
第三章 计算双管电压串联负反馈放大器的 静态工作点、频率特性、过渡特性·····	42
3.1 静态工作点对电源、三极管内部参数依赖 关系的计算方法·····	43
3.2 频率特性和过渡特性的计算方法·····	53
第四章 计算调谐放大器的通频带·····	78
4.1 计算三级单调谐回路放大器的通频带·····	78
4.2 计算双调谐回路放大器的通频带·····	89
第五章 计算 TTL 与非门的电压传输特性·····	105
5.1 TTL 与非门·····	105

5.2 计算电压传输特性程序的编制方法	107
5.3 计算结果与实测结果相比较	136
第六章 计算 RC, LC 振荡器的振荡频率和	
起振条件	139
6.1 梯形网络	139
6.2 超前移相式 RC 振荡器的计算	143
6.3 滞后移相式 RC 振荡器的计算	148
6.4 LC 振荡器的计算	152
附录 “微型机辅助分析常用电子线路”软件的	
使用说明书和程序说明书	157
1. 一般说明	157
2. 操作步骤	157
3. 运行对应第一章的 SBSAM 程序	172
4. 运行对应第二章的程序	175
5. 运行对应第三章的程序	177
6. 运行对应第四章的程序	182
7. 运行对应第五章的程序	187
8. 运行对应第六章的程序	193
9. 显示汉字的方法	195

第一章 用逐次逼近法计算电子线路

1.1 逐次逼近法的基本思想和适用范围

逐次逼近法的基本思想是：在某个待分析的电路中，预先选定一条支路(或选定一个节点)以 I_k 表示该支路中的实际电流。然后，任意赋给该支路一个电流值 I_{k1} ，并根据该电路的结构和选定支路与其它支路、节点的关系，将 I_{k1} 作已知量，顺序推出其它支路的电流值和其它节点的电压值。再由推出的其它支路电流值和节点电压值，推算出选定支路的电流值 I_{k1}' 。一般说， $I_{k1} \neq I_{k1}'$ 。如 $I_{k1} > I_{k1}'$ ，说明预先赋给选定支路的电流值 I_{k1} 偏大，即 $I_{k1} > I_k$ 。第二次再用一个较小的电流值 I_{k2} 赋给选定支路。用同样方法，可得到第二个推算出来的选定支路的电流值 I_{k2}' 。如果 $I_{k2} < I_{k2}'$ ，说明第二次赋给选定支路的电流值 I_{k2} 小于支路中实际电流值，即 $I_{k2} < I_k$ 。由此两次计算，可确定 I_k 在 I_{k1} 与 I_{k2} 之间，即 $I_{k1} > I_k > I_{k2}$ 。第三次，可再赋给选定支路第三个值 I_{k3} ，并且 I_{k3} 在 I_{k1} 与 I_{k2} 之间。经过同样运算和讨论，可进一步缩小赋给值与实际值之间的差距。如此逐步进行下去，可使赋给选定支路的电流值与该支路的实际电流值间误差小于任意给定量。

当电路中选定支路的电流(或选定节点的电压)被精确地求出之后，就能推算出其它支路的电流与其它节点的电压。

对于有 m 个节点的电路(不含电压参考点)，最多可联 $m(m+1)/2$ 个支路。如果支路齐全，且节点电压、支路电

流都是独立变量，则难于用逐次逼近法计算，即使设法算出结果，其繁难程度也将超过其它方法。

但对于大量的常用电子线路来说，其中晶体管的基极电流 I_b 与集电极电流 I_c 之间有关系式 $I_c = \beta I_b$ ，场效应管的漏电流 I_d 与栅极电压 U_g 之间有关系式 $I_d = G_m U_g$ 。给 I_b 或 I_c 中的一个变量赋值就等于给 I_c ， I_b 都赋了值；给 I_d 或 U_g 中的一个变量赋值就等于给 I_d ， U_g 都赋了值；此外，联接节点的支路数一般小于 $m(m+1)/2$ 个。在联接某一节点的支路不超过三个情况下，给其中一个支路电流赋值就能确定流向该节点的其它支路电流和该节点的电压。根据这两个特点，应用计算机能快速重复运算的优点，逐次逼近法就能迅速、精确地算出大量常用电子线路的节点电压和支路电流。

下面介绍几个实例。

1.2 计算简单偏置单管放大器的静态工作电流 I_c 。

1.2.1 三极管的简化 h 参数模型

在计算过程中，用简化 h 参数模型代替图中的三极管。

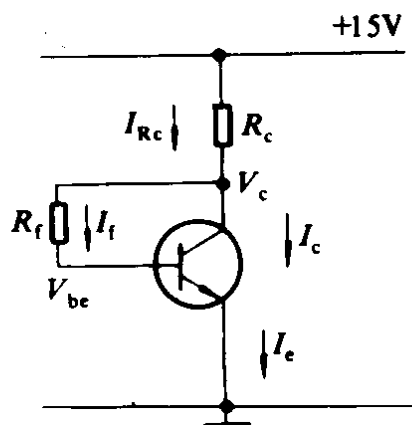


图 1.1 用逐次逼近法计算 I_c 。

所谓简化 h 参数模型，是将三极管的输入特性和输出特性理想化了的模型，即用图 1.3 所示折线代替图 1.2 所示的实际输入特性曲线，用图 1.5 所示等距水平平行线代替图 1.4 所示三极管的实际输出特性曲线。对于这样的理想模型，当三极管的基极-发射极间的电压 V_{be} 超过 $0.7V$ (对于 NPN 型硅三极管而言) 以后，其 $I_c = \beta I_b$ ，并且 β 和基极-发射极间的电阻 R_{be} 均为常数。

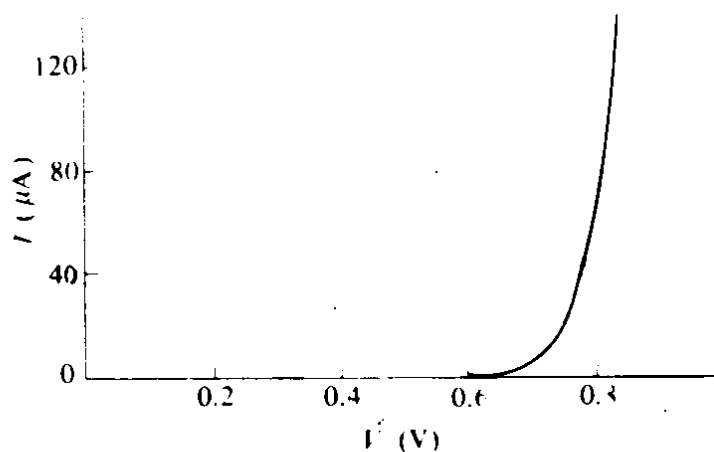


图 1.2 三极管的输入特性曲线

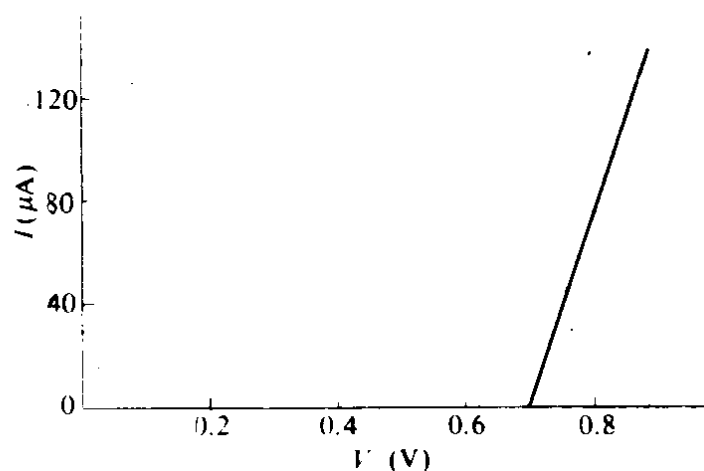


图 1.3 用折线代替输入特性曲线

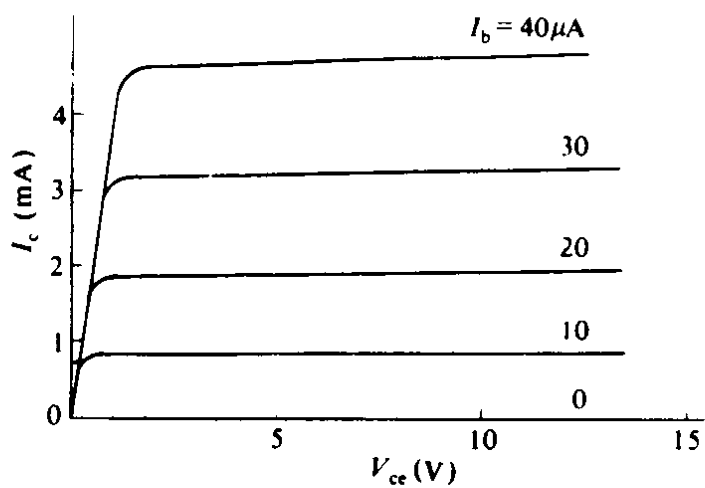


图 1.4 三极管的输出特性曲线

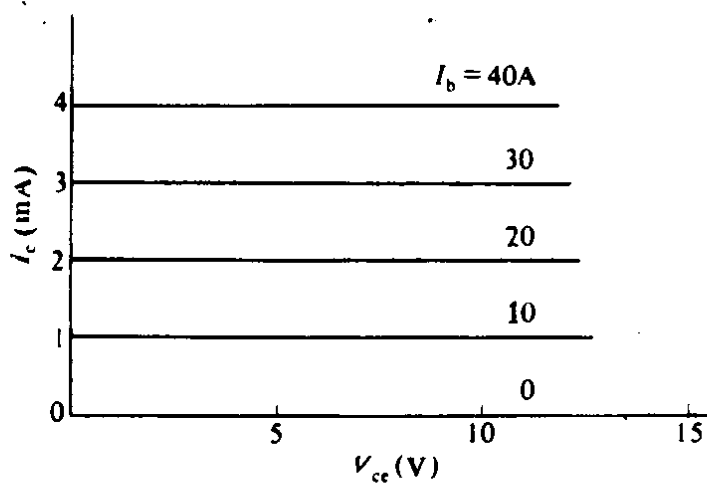


图 1.5 用等距平行线代替输出特性曲线

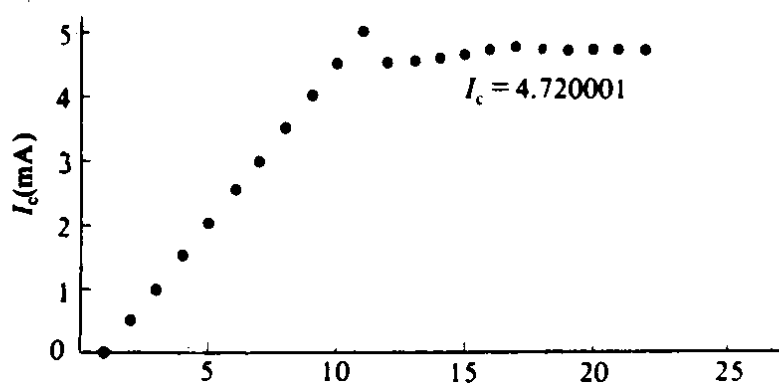


图 1.6 I_c 随计算次数的变化

设图 1.1 中的 $R_f=100k$, $R_c=2k$, $V_{be}=0.7V$, $\beta=100$, $E=15V$, $R_{be}=1k$ 。下面介绍用逐次逼近法计算图 1.1 中静态工作点的方法。

1.2.2 逐次逼近法具体过程

计算时, 我们选集电极电流 I_c 作为任意赋值对象和比较对象。从图 1.1 中可以看到, I_c , I_b , I_{rc} , V_c 之间有下列关系式:

$$I_c = \beta I_b \quad (1.1)$$

$$I_{rc} = I_c + I_b \quad (1.2)$$

$$V_c = E - R_c I_{rc} \quad (1.3)$$

$$I_b = (V_c - V_{be}) / (R_f + R_{be}) \quad (1.4)$$

除此之外还可以看到, I_c 的变化范围是: $E / R_c > I_c > 0$ 。这是因为电源电压为正值, I_c 不可能为负值, 又因为 R_c 的限制, 使它不可能大于 E / R_c 。

首先, 我们设 $I_c=0$, 由式(1.1), (1.2)推出 $I_{rc}=0$; 由式(1.3)可推得 $V_c=E$; 由式(1.4)可推得 $I_b=0.1415842mA$; 再由式(1.1)推得 $I_c=14.15842mA$ 。说明假设的 I_c 偏小。

再设 $I_c=0.5mA$, 同样经过 $I_c \rightarrow I_b \rightarrow I_{rc} \rightarrow V_c \rightarrow I_b \rightarrow I_c$ 路径推导出的值为 $13.15842mA$ 。这说明实际的 I_c 大于 $0.5mA$ 。

这样的过程继续进行下去, 直到第 11 次计算时, 才发生推导出来的 $I_c=4.158416mA$ 小于假定的 $I_c=5mA$ 。这说明实际的 I_c 在 $4.5—5mA$ 之间。

下边令 $I_c=4.5mA$, 并以步长为 $0.05mA$ 的速度逐次递增。当计算到第 17 次时, 又出现假定的 $I_c=4.75mA$, 大于推导出来的 $I_c=4.658414mA$ 。这说明, 实际的 I_c 在 $4.70—$

4.75mA 之间。

然后再令 $I_c = 4.7\text{mA}$ ，再以步长 0.005mA 的步长递增。当计算到第 22 次时，假定值大于推导出来的值。第 21 次 I_c 的假定值为 4.715mA ，第 22 次的假定值为 4.72mA 。实际的 I_c 就在这两个值之间。

当然，还可减少步长，继续逼近下去，从理论上说，可以算出任意精度的 I_c 值。 I_c 确定了，其它如 I_b ， I_{rc} ， V_c 等值也就确定了。

1.2.3 计算程序的编制方法

表 1.1 所列是用逐次逼近法计算图 1.1 中各变量值的程序。它是根据上一节介绍的具体过程编制出来的。程序运行后，屏幕上示出表 1.2 所列结果。

表 1.1

```
38 RF = 100: RC = 2: VBE = .7: B = 100: E = 15: RBE = 1
40 DIM IC(40), VC(40), IRC(40), IB(40)
42 LPRINT "RF =" RF; TAB(10) "RC =" RC; TAB(19) "VBE =" VBE;
    TAB(30) "B =" B; TAB(40) "E =" E; TAB(50) "RBE =" RBE
44 LPRINT STRING$(58, "-")
46 LPRINT "Ic    Vc    IRC    Ib"
48 LPRINT STRING$(58, "-")
50 FOR J = 0 TO 2
52 FOR IC = A TO E / RC STEP 1 / (2 * 10^J)
55 W = W + 1
60 IRC = IC * (1 + 1 / B)
70 VC = E - RC * IRC
```

```

80 IB=(VC-VBE)/(RF+RBE)
85 LPRINT W; TAB(5) IC; TAB(17) VC; TAB(30) IRC; TAB(42) IB
87 IC(W)=IC
90 IF (IB*B-IC)< 0 THEN 120
100 A=IC: NEXT IC
120 NEXT J
140 FOR I=1 TO 3000: NEXT

```

程序的 38 句用作给图 1.1 中电路的元件、三极管内部参数赋值, 40 句规定 4 个数组变量下标的最大值, 42—48 句打印表 1.2 顶部的格式; 50—120 句用逐次逼近法计算图 1.1 中三极管集电极电流 I_c ; 并将计算结果显示在屏幕上; 140 句用作延迟, 让用户有一定时间看清屏幕上显示的内容; 自动变动步长由 50, 52, 120 三句承担; 100 句给更换步长后的 I_c 赋初始值。

50—120 句是程序的核心。50 句中的外循环变量 J 按 $1/2 \times 10^J$ 的关系式确定 52 句中内循环变量 I_c 的增长步长。 J 增加 1, I_c 的步长减小一个量级。55 句中的 W 表示计算的次数。60—80 句是式(1.1)—(1.3)的 BASIC 语句形式。85 句打印各次计算的序号和结果。87 句将 I_c 值存入变量 $I_c(W)$ 之中, 以备画图 1.6 的下续程序之用。90 句判断任意值的 I_c 是否超过推算出来的 I_c , 如超过, 就自动减小步长。100 句中的 A 代表更换步长后的 I_c 起始值。

表 1.2 中的第 1 行是图 1.1 中电路的元件值和三极管内部参数。其中电阻的单位为 $k\Omega$, 电流的单位为 mA, B 表示三极管 β 值。

表中第 1 列、第 2 列、第 3 列、第 4 列对应用各次计算

出来的 I_c , V_c , I_{rc} , I_b 值。

表 1.2

RF = 100 RC = 2 VBE = .7 B = 100 E = 15 RBE = 1			
Ic	Vc	Irc	Ib
1 0	15	0	.1415742
2 .5	13.99	.505	.1315842
3 1	12.98	1.01	.1215842
4 1.5	11.97	1.515	.1115842
5 2	10.96	2.02	.1015842
6 2.5	9.95	2.525	9.158416E-02
7 3	8.940001	3.03	8.158416E-02
8 3.5	7.930001	3.535	7.158416E-02
9 4	6.92	4.04	6.158416E-02
10 4.5	5.91	4.545	5.158416E-02
11 5	4.9	5.05	4.158416E-02
12 4.5	5.91	4.545	5.158416E-02
13 4.55	5.809	4.5955	5.058416E-02
14 4.600001	5.707999	4.646001	4.958416E-02
15 4.650001	5.607	4.696501	4.858416E-02
16 4.700001	5.505999	4.747001	4.758415E-02
17 4.750001	5.404998	4.797501	4.658414E-02
18 4.700001	5.505999	4.747001	4.758415E-02
19 4.705001	5.495898	4.752051	4.748415E-02
20 4.710001	5.485798	1.757101	4.738414E-02
21 4.715001	5.475698	4.762151	4.728414E-02
22 4.720001	5.465597	4.767202	4.718413E-02

1.2.4 画图 1.6 的程序

表 1.3 所列是画图 1.6 的程序，它是表 1.1 所列程序的后继程序。此程序将前面计算出的 $I_c(W)$ 画成直观、形象的图表。从图中可清楚地看出 $I_c(W)$ 逐渐逼近其实际值的过程。

表 1.3

```
145 REM FIG.1-6
150 SCREEN 2: CLS
152 DRAW "BM40, 150; NU130; NR550; BL1; BU25; R2; BU25; L2; BU25;
      R2; BU25; L2; BU25; R2; BM40, 150;"
153 DRAW "BR100; U2; D4; BR100; U4; BR100; D4; BR100; U4; BR105; D4;
      BR100; U4; BR100; D4;"
154 LOCATE 4,2: PRINT "5mA": LOCATE 7,2: PRINT "4mA"
155 LOCATE 4,8: PRINT "Ic": LOCATE 7,50: PRINT "IC =" IC "mA"
156 LOCATE 10,2: PRINT "3mA": LOCATE 13,2: PRINT "2mA"
158 LOCATE 16,2: PRINT "1mA": LOCATE 19,2: PRINT "0"
159 LOCATE 21,10: PRINT "5    10    15    20    25"
190 FOR W = 1 TO 22
200 X = IC(W) * 25: Y = 20 * W
210 DRAW "BM40, 142; BR = Y; BU = X; E1; G2; E1; H1; F2; H1; L2; R4;
220 NEXT
```

程序的 145 句表示这段程序的功能，150 句设置屏幕的格式和清屏。152—153 句是用 BASICA 提供画线语句 DRAW 画出图 1.6 中的坐标轴线，154—159 是在轴线附近标出单位和序号。

190—220 句是用前面计算出来的 $I_c(W)$ 在坐标中描绘出对应各 $I_c(W)$ 值的 $\cdot$ 号。

1.3 计算复杂偏置单管放大器的静态工作点

1.3.1 用逐次逼近法计算的过程

图 1.7 所示是复杂偏置单管放大器的电路图。图中标出了主要工作点的电压和各支路电流。电路中的节点电压、支路电流之间存在下列关系式：

$$I_c = \beta I_b \quad (1.5)$$

$$I_e = I_c + I_b \quad (1.6)$$

$$V_e = R_e I_e \quad (1.7)$$

$$V_b = V_e + I_b R_{be} + E_{be} \quad (1.8)$$

$$I_1 = V_b / R_1 \quad (1.9)$$

$$I_2 = (E - V_b) / R_2 \quad (1.10)$$

$$I_f = I_1 - I_2 + I_b \quad (1.11)$$

$$V_c = V_b + R_f I_f \quad (1.12)$$

$$I_{rc} = I_c + I_f \quad (1.13)$$

$$V_c = E - R_c I_{rc} \quad (1.14)$$

运用逐次逼近法计算这个实例时，我们选 I_c 作为赋值对象，选集电极电压 V_c 作为比较对象。

从式(1.5)—(1.12)可以看出，在给定了 I_c 值之后，可以按 $I_c \rightarrow I_b \rightarrow I_e \rightarrow V_e \rightarrow V_b \rightarrow I_1 \rightarrow I_2 \rightarrow I_f \rightarrow V_c$ 的路径推算出 V_c 值，这个值用 V_{c1} 表示。

从式(1.13)和(1.14)看出，顺着 $I_c \rightarrow I_{rc} \rightarrow V_c$ 的路径可推出另一个 V_c ，这个 V_c 用 V_{c2} 表示。