

# 集成有源负载放大器的研究

陈子国

(阜阳职业技术学院, 阜阳 236016)

**摘要** 本文重点介绍了集成有源负载放大器的分析方法, 并以镜像电流源为例详细介绍、对比了两种方法(图解分析法和微变等效电路分析法)。此外, 介绍了用厄雷电压计算  $A_v$  的简便方法。

**关键词** 镜像电流源; 有源负载放大器; 厄雷电压

**分类号** INO14.453    **文献标识码**: A    **文章编号**: 1004-4329(2002)01-0059-03

## 1 引言

基本放大器的分析方法主要有微变等效电路法和图解分析法两种, 各有长处。微变等效电路分析法主要适用于小信号情况, 利用它可以很方便地求出放大器的  $A_v$ 。图解分析法适用于大信号工作情况, 他最大特点是直观, 物理过程清楚。图解法不仅能帮助我们在特性曲线上直观地确定静态工作点, 而且还可以形象地帮助我们理解电路参数 ( $V_{cc}$ ,  $R_c$ ,  $R_b$ ) 对信号失真产生的影响, 使我们方便地纵观全局, 对电路的工作状态有一个全面的了解。

图解法和微变等效电路法各有优点和不足, 互相补充。若用两种方法对同一电路进行分析, 不仅能得到相同的结果, 还能使读者对电路性能的理解, 更加透彻, 效果更好。目前的电子线路教材对有源负载放大器仅仅利用微变等效电路法进行分析, 作者在此用两种不同的方法对有源负载放大器进行分析, 以供参考。

## 2 集成有源负载放大器的构成

图1是集成有源负载放大器,  $T_1$ 、 $T_2$ 是两个横向PNP管, 构成常用的镜像电流源, 作为  $T_3$ 的集电极负载,  $T_3$ 是放大管。由于恒流源内阻为无穷大, 可视为开路, 相当于基本放大器的  $R_c$  无穷大。 $I_K$ 为基准电流, 整个有源负载放大器的电压放大倍数很大。

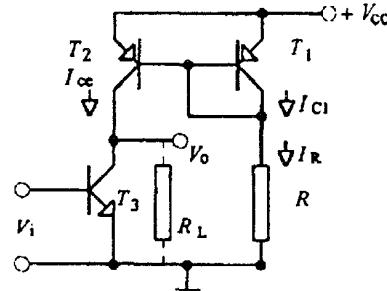


图1

## 3 集成有源负载放大器图解分析法

对于基本放大器应用图解分析法的主要步骤是:

- (1)根据电路在特性曲线上作出直流负载线;
- (2)估算基极电流  $I_B$ , 并确定静态工作点;
- (3)计算交流负载, 作出交流负载线;
- (4)进行动态图解, 在输入特性曲线上静态工作点附近取一个  $\Delta I_b$  查出  $\Delta V_{BE}$ , 再在输出特性曲线上查出对应的  $\Delta V_{CE}$ , 就是放大器的电压放大倍数。

在上述步骤中, 关键的是作负载线, 在基本放大器中, 集电极负载是线性电阻  $R_c$ (设  $R_L = \infty$ ), 因此负载线是一条直线, 只要在特性曲线上确定两个点  $M(V_{cc}, 0)$  和  $N(0, V_{cc}/R_c)$ , 连接  $MN$ , 直线  $MN$  就是负载线。但在有源负载放大器中, 充当  $R_c$  的是三极管  $T_2$ , 它是非线性元件, 如何画出负载线呢? 在图1

收稿日期: 2001-11-10

作者简介: 陈子国(1962-), 男, 安徽临泉县人, 阜阳职业技术学院, 讲师, 研究方向: 电子技术与电子。

中,设  $R_L = \infty$ (这种假设与实际电路是相吻合的,否则有源负载放大器的优点便丧失殆尽),根据镜像电流源的性质有

$$I_{c2} = I_{c1} = (V_{cc} - V_{BE1})/R \approx V_{cc}/R = I_R$$

$$I_{c3} = I_{c2}$$

$$V_{ce3} = V_{cc} - V_{ce2}$$

$T_2$ 、 $T_3$ 输出特性曲线如图2,因  $T_2$ 是PNP管, $T_3$ 是NPN管,故两管特性是左右相对的。图1电路图解分析法如下:

(1)根据  $T_3$ 偏置电路(实际电路中,可以估算),在  $T_3$ 特性上找到  $I_{B3}$  对应的曲线。

(2)根据  $I_{B2} = I_{C2}/\beta_2 \approx I_R/\beta_2$  在  $T_2$  特性上找到  $I_{B2}$  对应的曲线,该曲线就是负载线,  $I_{B3}$  与  $I_{B2}$  曲线之交点即为静态工作点  $Q$ 。具体作法如下:

①在  $T_3$  特性曲线上找一点  $M$ ,坐标为  $(V_{cc}, 0)$ ,由图1可见  $V_{ce3} = V_{cc}$ ,  $V_{ce2} = 0$ ,  $I_{c3} = I_{c2} = 0$ ,此时,  $T_2$ 、 $T_3$  均截止,显然  $M$  点为  $T_2$  特性曲线坐标原点,如图2所示:

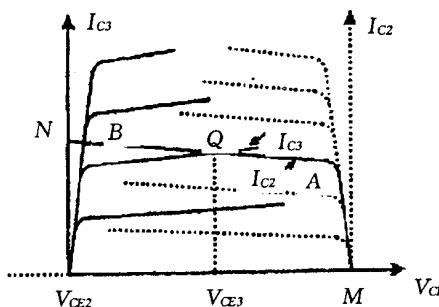


图2

②  $V_{ce3}$  逐渐减小时,  $V_{ce2}$  逐渐增加, 在  $V_{ce2} < 1V$  的范围内,  $T_2$  处于饱和区域,  $T_3$  处于放大区域, 可根据  $I_{B2}$  在饱和区的形状, 画出这段曲线如图2中  $MA$  段;

③  $V_{ce2}$  继续减小, 当  $V_{ce2} > 1V$  后, 两管皆进入放大区域,  $I_{c3} = I_{c2}$  保持恒定, 图中  $AB$  段, 放大器正常工作时, 都在这个区域内;

④  $V_{ce3}$  再减小, 当  $V_{ce3} < 1V$  时,  $T_3$  便进入饱和区, 如图中  $BN$  段, 因  $R_L = \infty$ , 故交、直流负载线重合, 均为  $MABN$ 。

图2中  $AB$  段的斜率很小, 只要  $I_{B3}$  有微小的变化, 就能产生很大的输出电压。为清楚起见, 实际做图时, 需将特性曲线放大。

#### 4 集成有源负载放大器微变等效电路分析法

由图1可作出微变等效电路(如图3), 根据图3

可得出其有源负载放大器的电压放大倍数

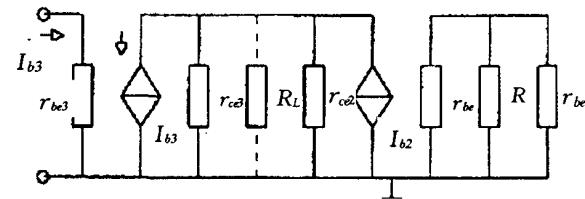


图3

$$\begin{aligned} A_v &= -\beta_3 R' / r_{be3} \approx -\beta_3 (r_{ce3} // r_{ce2}) / r_{be3} \\ &= -\beta_3 (r_{ce3} // r_{ce2}) / [300 + (1 + \beta_3) 26mV / I_{c3}] \\ &\approx -I_{c3} (r_{ce3} // r_{ce2}) / 26mV \end{aligned}$$

只要知道晶体管  $T_3$  和  $T_2$  的输出电阻  $r_{ce3}$ 、 $r_{ce2}$ , 代入即可求出电压放大倍数  $A_v$ 。

#### 5 关于厄雷电压

通常在集成电路中晶体管的输出电阻是未知的(型号不注明),这样还能不能求出  $A_v$ ?行之有效的措施就是利用晶体管的厄雷电压。

从晶体管的特性曲线上看,特性曲线并非完全平行于  $V_{ce}$  轴,而是略有倾斜(如图4),即  $I_c$  随  $V_{ce}$  的增加略有上升,其原因是  $V_{ce}$  增加,集电结反向电场增大,空间电荷区变宽,基区有效宽度随之变窄,载流子在基区复合的机会减小,  $\beta$  增大,这种现象称为“厄雷效应”。研究发现,将特性曲线族向左延伸,必与  $V_{ce}$  轴相交于一点  $A$ ,  $V_A$  就称为“厄雷电压”,如图4所示(实际  $A$  点更远离原点0)。

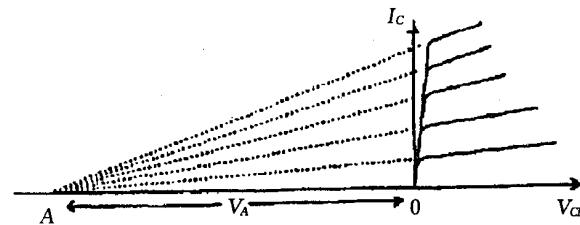


图4

由图4可以看出,晶体管的输出电阻  $r_{ce} = 1/t ga \approx V_A/I_C$ 。一般情况下,NPN管的  $V_{AN}$  约为 100V, PNP 的  $V_{AP}$  约为 50V,于是可得出有源负载放大器的电压放大倍数为

$$\begin{aligned} A_v &= -I_{c3}(V_{AN}/I_{c3} // V_{AP}/I_{c2})/26mV \\ &= -1/(26/V_{AN} // 26/V_{AP}) \\ &= -1.28 \times 10^3 \end{aligned}$$

可见有源负载放大器的电压放大倍数比基本放大器的电压放大倍数(100左右)大得多,而且计算较为实用,给分析集成运放带来方便。

## 6 结束语

作者介绍了集成有源负载放大器的分析方法，并以镜像电流源为负载详细介绍并对比了两种分析方法(图解分析法和微变等效电路法)，物理过程清

楚，效果非常明显。此外，介绍了用厄雷电压计算电压放大倍数，这种方法简捷、方便实用。本文对有源负载放大器的教学与实际应用有一定参考价值。

## 参考文献

- 1 康华光. 电子技术基础. 北京:高等教育出版社, 1998. 3
- 2 樊西汉、李元华、王值鑫. 电子技术基础. 北京:中国科技出版社, 1994.
- 3 王至正、朱汉荣、肖福坤、赵继德合编. 电子技术基础. 北京:高等教育出版社, 1988. 5
- 4 吕国泰主编. 电子技术. 北京:高等教育出版社, 1993. 4
- 5 武汉大学教材编写组编. 电子线路. 北京:高等教育出版社, 1979. 7
- 6 华中师范学院、湖南师范大学、广西师范大学合编. 电子线路基础. 武汉:湖北科学技术出版社, 1985. 6
- 7 孙肖子、张畴先、淡文心、张企民编. 电子线路基础. 西安:电子科技大学出版社, 1994. 2

## A Study of Integrated Active Load Amplifier

Chen Ziguo

(Fuyang Vocational and Technical College, Fuyang 236016)

**Abstract:** This paper introduces two ways of analyzing integrated active load amplifier with the help of image current source. In addition, it gives a simple way to calculate Av by using ErRay Voltage.

**Key Words:** Image current source; Active load amplifier; ErRay Voltage

~~~~~  
(上接第 58 页)

## Four-track Expansion Electric Circuit

Dong Shouyu

(Anhui Institute of Electronic Information and Industrial Techology, Bengbu 233040)

Liu Jixue

(Physics Dept, Fuyang Teachers College, Fuyang 236032)

**Abstract:** In this article, we discuss the reform of single-track oscillograph and the steady display of four-track wave on the reformed oscillograph, which proves to be of great practical value in experiments and teaching.

**Key Words:** Four-track display; Alternation; Intermittent; Simulated switch; Integrates count