

文章编号: 2096-1618(2019)01-0013-04

# 基于晶体三极管的放大电路分析

杜路泉, 刘德春

(阿坝师范学院电子信息与自动化学院, 四川 汶川 623002)

**摘要:**晶体三极管是重要的电子器件。为了更好地应用晶体三极管,必须对晶体三极管的各种组态分析清楚。晶体三极管具有三种组态,分别是共集电极放大电路、共基极放大电路、共射极放大电路。晶体三极管的主要参数有静态工作点、输出特性、输入特性、频率特性与放大特性。晶体管的静态工作点的设置对放大电路的正常工作至关重要,如果选择不恰当的静态工作点,输出信号将饱和失真或截止失真;输入输出特性能够分析出三极管带负载的能力;晶体三极管的频率特性表明了信号的通过性,对不同频率的信号具有不同的放大特性。对晶体三极管进行了简要概述,并针对性分析了共射极放大电路,即它的输入输出特性、放大特性。

**关键词:**晶体三极管;输出特性;输入特性;放大;电路

**中图分类号:**TN710.2

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2019.01.003

## 0 引言

三极管是电子电路设计中重要的元器件。三极管电路能够实现电压电流放大等作用。三极管有3个工作区域,分别是放大区、饱和区、截止区,对其输出输入特性曲线的研究具有重要意义。在放大区选择合适的静态工作点Q,让输入信号能够不失真的进行放大输出,让电路能够稳定地放大信号。同时,针对不同的信号频率,三极管具有不同的响应。如在高频电子线路中,主要工作在三极管的饱和区、截止区。下面以NPN晶体管为例进行研究<sup>[1]</sup>。

## 1 三极管放大电路概述

半导体三极管简称双极型晶体管。三个极,分别是发射极、集电极、基极。以三极管NPN为例,通过在硅晶片上进行生长掺杂等工艺,在三极管内部形成了两个背靠背的PN结,通过不同的电压偏置可以控制两个PN结的通断,进而实现电压电流的放大作用,这就极大地促进了电子技术的发展。

晶体三极管可以分为不同的类型,根据不同的制作材料可以将三极管分为锗管和硅管,它们的基极到发射极导通电压分别为0.7V和0.2V;根据使用PN结的组合方式不同可以分为PNP管和NPN管;也可以将三极管分为高频管和低频管;根据不同的频率将三极管分为低频管和高频管。晶体三极管可以分为3个区,分别是集电区、发射区、基区。基区和发射区之间

称为发射结,基区和集电区之间成为集电结<sup>[2]</sup>。

图1给出了NPN晶体三极管和PNP晶体三极管的结构示意图。在发射极使用不同的箭头表示NPN晶体三极管和PNP晶体三极管。由于基区很薄、发射区掺杂浓度较高等特点,使晶体三极管具有电流电压的放大作用<sup>[3]</sup>。

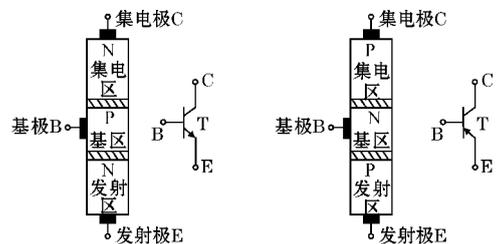


图1 NPN管和PNP管

## 2 不同组态的三极管放大电路

根据三极管在电路中的不同接法,三极管共有三种不同的电路设计模式,分别是共发射极放大电路、共基极放大电路、共集电极放大电路。

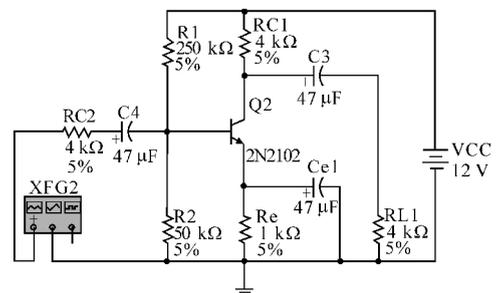


图2 共发射极放大电路

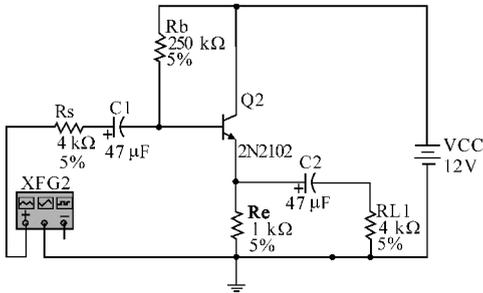


图3 共集电极放大电路

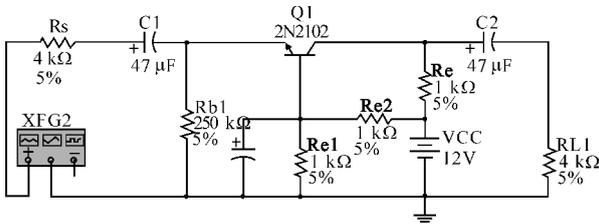


图4 共基极放大电路

以上是三极管不同的工作组态,具有不同的作用,这与电路的具体连接方式密切相关,在电路设计中共射结放大电路应用最为广泛。另外,三极管工作可以工作在放大区、饱和区、截止区,这是与三极管的外部偏置电压相关联。若集电结处于反向偏置,发射结处于正向偏置,三极管就工作于放大区。若发射结和集

电结均同时处于正向偏置,三极管将会饱和和失真。当发射结处于反向偏置,不管三极管的集电结处于哪种偏置,三极管都处于截止状态<sup>[4]</sup>。

### 3 共射极放大电路分析

图5给出了共射极电路连接方式,通过该电路进行测试三极管的放大系数 $\beta$ 。通过在基极和集电极连接滑动变阻器,在三极管工作于放大区时,调节滑动变阻器,记录下基极和集电极的电流值,进而计算三极管的电流放大倍数,电流放大倍数测试数据见表1。

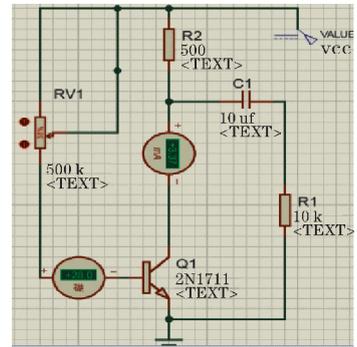


图5 共射极放大电路静态工作点测试

表1 电流放大倍数测试

$I_{b1}/\mu A$	17.8	8.9	5.9	4.4	3.5	2.9	2.5	2.2	1.9	1.7
$I_{c1}/mA$	1.9	1.1	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2

$I_b$  平均值为 $5.2 \mu A$ ;  $I_c$  平均值为 $0.6 mA$ ;  $\beta$  计算结果为117。如图2所示,该电路是一个单级放大电路,基极的偏置电压是通过电阻  $R_1$  和  $R_2$  在电源  $V_{cc}$  处进行分压,同时需要保证  $U_b$  和  $U_{be}$  一定的变比关系:

$$U_b > (5-10)U_{be} \quad (1)$$

而电阻  $R_1$  的电流约为  $10I_b$ ,通过分析,该电路利用了负反馈进行放大电路的静态工作点的稳定,即使温度等外界环境变化时,该电路都能够在固定的静态工作点进行工作。

$$U_{BQ} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{CC} \quad (2)$$

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BE}}{R_e} \quad (3)$$

通过式(2)和式(3)可以得到,基极电压  $U_{BQ}$  是由两个分压电阻决定,而通常 PN 结的开启电压为 $0.7 V$ 。因此,当  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_e$  选定后,静态工作点的相关电流电压就恒定了。

共射极晶体三极管电路的微变等效电路如图6所示。

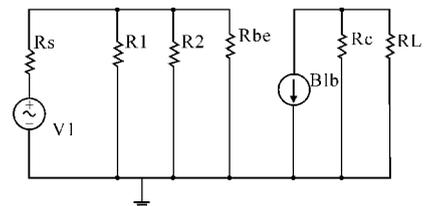


图6 微变等效电路

由于在发射极接入了大电阻,影响电路的放大倍数,将电路的放大倍数降低了。为避免这种情况发生,需要在发射极加入旁路电容  $C_e$ ,并且要求该电容的容值较大,因为大电容可以将交流信号全部短接到地,并且可以减弱交流信号对放大电路的反馈作用,导致电路不稳定。给出了该电路的交流电压放大倍数:

$$A_u = -\frac{\beta R'_L}{R_{be}}$$

输入电阻的表达式为

$$\frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{be}}$$

同理,给出输出电阻的表达式:

$$R_o = R_c$$

根据图 2 中的三极管,进行仿真分析,给出了输出特性曲线,如图 7 所示。

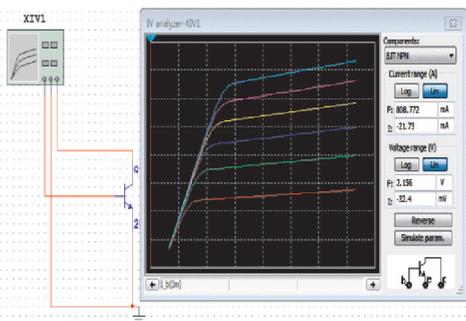


图 7 输出特性曲线

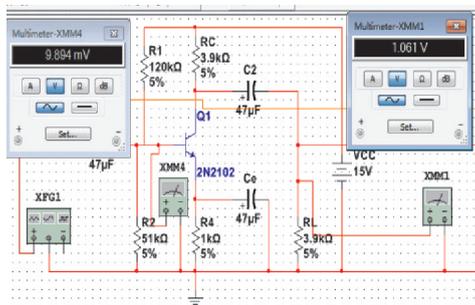


图 8 放大倍数测量

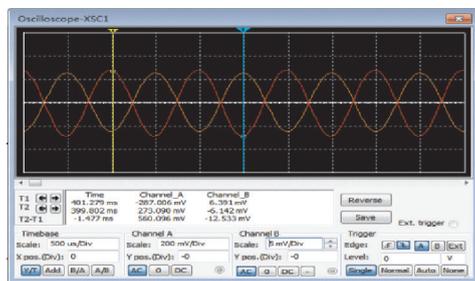


图 9 输入输出电压反相

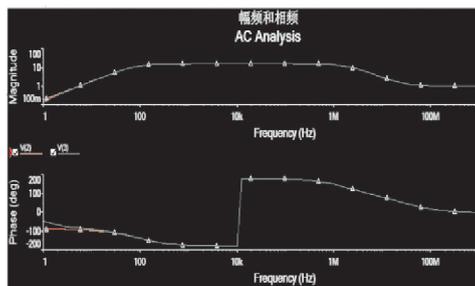


图 10 幅频特性和相频特性曲线

通过仿真分析,仿真电压的放大倍数:  $A_U = \frac{U_o}{U_i}$ ,  $A_U = -107$ , 负号表示相位相反。仿真输出电压的放大倍数为 107, 而实际算出来是 121, 两者间有一定的误差。图 10 给出了三极管的幅频特性和相频特性曲线。

通过幅频特性和相频特性曲线分析,该 NPN 管对频率处于 10 kHz 到 1 MHz 的信号具有较好的幅度放大作用。

### 4 共射极放大电路的应用

由晶体管组成的共射极放大电路具有广泛的应用。为了抑制零点漂移采用了差分放大电路(图 11); 在差分对电路中,发射极采用了恒流源(图 12),以提高共模抑制比,而该恒流源是利用晶体管组成<sup>[5]</sup>。另外可以根据晶体管的基极输入信号与集电极输出信号反相,组成反相器在电路中作为中间级。在集成运放中,设计多级放大电路时,输入第一级和第二级一般采用差动放大器;输入级常采用复合三极管或者场效应管,而采用互补对称式射极跟随器作为输出级,以进行功率放大,提高带负载的能力<sup>[6]</sup>。

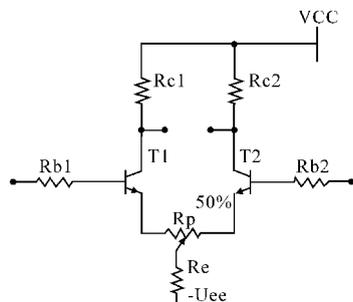


图 11 差分对电路图

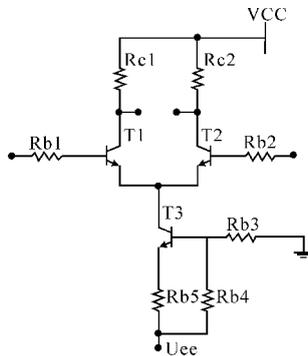


图 12 恒流源电路图

### 5 结论

晶体三极管在电子元器件中扮演着重要的角色。晶体管具有 3 种电路连接工作方式(共射、共基、共集),通过对晶体管工作方式的分析(共发射极放大电路),如频率特性、放大特性、微变等效电路等,能够深入掌握晶体管的性能,对电子电路设计具有重要作用。

致谢:感谢阿坝师范学院 2017 质量工程项目(20170706)对本文的资助

### 参考文献:

[1] 童诗白. 模拟电子技术基础[M]. 北京: 高等教

- 育出版社,2005.
- [2] 张士文. 一种三极管共射放大电路的讨论[J]. 电气电子教学学报,2012,34(6):2-4.
- [3] Tony Chan Carusone. ANALOG INTEGRATED CIRCUIT DESIGN[M]. USA: Library of Congress Cataloging,2011.
- [4] 程院莲,刘修泉. 基于 Multisim12 的晶体三极管开关电路应用研究[J]. 电子制作,2016(7):13-15.
- [5] 张润怀. EWB 在《电子技术》教学中的应用[J]. 包钢科技,2003,29(3):57-63.
- [6] 上海科技大学半导体器件教研组. 晶体管原理与实践[M]. 上海:上海科学技术出版,1978.
- [7] 华成英. 模拟电子技术基础[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [8] Paul Gray,Paul J Hurst,Stephen H Lewis,et al. Analysis and Design of Analog Integrated Circuits [M]. Fifth Edition,2018.

## Amplification Circuit Analysis base on Bipolar Junction Transistor

LU Quandu, DE Chunliu

(College of electronic information and automation, Aba Teachers University, Wenchuan, 623002, China)

**Abstract:** Bipolar Junction Transistor is important electron device. Each part of Bipolar Junction Transistor should be analyzed clearly for better application. It has Three types of configuration, they are common collector amplification circuit, common-base amplification circuit and common emitter amplification circuit. Major parameters of bipolar junction transistor are quiescent operating point, output characteristics, input characteristics, frequency characteristic and amplification characteristic. Quiescent operating point of bipolar junction transistor is great important to amplification circuit. Output signal will saturation distortion or cut-off distortion when choosing an improper quiescent operating point. Output and input characteristics can provide the ability of bipolar junction transistor's operating load. Its' frequency characteristic can provide signal's trafficability characteristic and different frequency of signal has different amplification characteristic. This paper summarizes bipolar junction transistor's amplification characteristic and common emitter amplification circuit's output and input characteristic.

**Keywords:** bipolar junction transistor; output characteristic; input characteristic; amplification; circuit