

# 多级放大器的 Multisim 仿真分析

## 摘 要

本文就多级放大器进行分析，分别采用理论计算和 Multisim 软件仿真两种分析方式进行受多级放大电路的分析。最终将传统的理论计算分析与 Multisim 软件仿真分析进行对比研究。突出 Multisim 软件仿真在电子电路运用中具有提高实验灵活性、降低实验耗材、降低实验时间、具有多种实验器材、仿真值更真实等优势。在教学方面，利用 Multisim 仿真分析软件分析电路，可把比较复杂抽象的理论分析，更直观地表现出来。Multisim 仿真软件虽然有很多优点，但是传统的分析计算也必不可少，因为软件仿真是一理论为基础的，所以要二者兼用，达到最佳效果。

关键词：

多级放大器 Multisim 仿真 放大倍数 通频带

## Abstract

This paper respectively analyzes multi-level amplifier, the theoretical calculation and Multisim simulation way two analysis by multi-level amplifier circuit analysis. Will eventually traditional theoretical calculation and analysis and Multisim software simulation analysis, comparative study. Prominent Multisim software simulation in electronic circuit application of improving experiment flexibility, reduce with experimental consumables, reduce the experimental time, has a variety of experimental apparatus, save value more real and other advantages. In teaching, using Multisim simulation analysis software, and circuit of the more complex the abstract theory analysis, show more intuitively. Although there are many Multisim simulation software, but a bit of traditional analysis and calculation also is essential, because the software simulation is a theory as a foundation, so want to achieve the best effect, both save.

### Key Word:

Multistage amplifier, Multisim, Simulation, Magnification, Passband

# 目 录

1. 绪论 .....	1
1.1 Multisim 仿真软件 .....	1
1.2 多级放大器 Multisim 仿真分析的研究意义 .....	1
1.3 多级放大器 Mutisim 仿真分析的内容 .....	2
2 多级放大器的 Multisim 仿真分析研究的内容 .....	3
2.1 多级放大器的要求 .....	3
2.2 多级放大器的构成 .....	3
2.3 保证多级放大器性能的措施 .....	4
3 多级放大器的理论分析 .....	5
3.1 放大器高频等效分析方法 .....	5
3.2 三极管的高频参数 .....	7
3.3 多级放大器的静态分析 .....	8
4 用 Multisim 软件分析多级放大器 .....	10
4.1 用 Multisim 仿真软件分析静态工作点 .....	10
4.2 多级放大器的波形分析 .....	10
4.3 多级放大器的频率特性分析 .....	11
5 多级放大器理论分析与 Multisim 仿真分析的对比 .....	13
6 总结 .....	14
参考文献 .....	16
致    谢 .....	17

---

---

## 1.绪论

随着计算机、仿真技术的电子设计自动化和虚拟仪器的概念电子技术实验在教学中的广泛应用，显著提高了电子技术实验教学的水平，极大地丰富教学的内容，大大降低实验成本和测试费用，并为学生工程素质和创新能力的培养和创造十分有利的条件。所以 Multisim 仿真软件也逐渐被应用于教学中，研究 Multisim 仿真分析也是很有必要的。

### 1.1 Multisim 仿真软件

Multisim 是一款先进的电路仿真分析软件，适合于各种模拟/数字电路板的设计应用。Multisim 提供了全面集成化的设计环境，完成从原理图设计输入、电路仿真分析到电路功能测试等工作。Multisim 作为一款优秀的行业专用软件，有如下的一些特点：（1）创建电路形象而且直观。全部工作通过电脑屏幕的仿真实验室台完成，所有需要的器件、测试设备都能从屏幕上选取；（2）软件仪器外形与操作方式跟实物吻合，而且实验仿真是实时的。除此以外，它还具有多种电路的分析手段；（3）使工程师在模拟过程中无需分析，便可运用数学表达式；（4）能够应用电路向导，根据设定的参数，自动产生电路。

基于计算机、仿真技术的电子设计自动化和虚拟仪器的概念电子技术实验在教学中的广泛应用，显著提高了电子技术实验教学的水平，极大地丰富教学的内容，大大降低实验成本和测试费用，并为学生工程素质和创新能力的培养和创造十分有利的条件。

在教学方面，用 Multisim 软件进行仿真验证，能使得我们在进行电路分析的时候更加的方便简单，不仅解决了传统实验教学中存在的设备紧张、设备陈旧等问题，同时能够对于学生开放潜力、拓展设计的内容和思维空间有很大的帮助。使用 Multisim 软件进行仿真验证的时候还放宽了对于空间的要求，当学生在课堂上没有完成整个实验时，可以在课余时间合理地运用 Multisim 软件继续仿真验证。从而让整个实验变的更加灵活化、方便化、精确化。

### 1.2 多级放大器 Multisim 仿真分析的研究意义

随着教育改革的深入，实现教育技术现代化、教学手段现代化，尤其是在电工电子实验教学方面，传统的实验教学方式由于受实验室条件的限制，在给学生开展一些扩展型、设计型及综合实验时将会遇到一些困难。传统的教学方式不能满足要求的时候，用 Multisim 来进行仿真分析就尤为重要。所以多

---

级放大器的 Multisim 仿真分析是很有必要的。

多级放大器作为一种电子设备的基本电路，是大多数电子设备必不可少的单元电路。它在电路中起着匹配输入输出、放大信号的作用，其性能的好坏，直接决定了电子设备的性能，也决定了整个设备对信号的处理能力。因此，对其元器件参数的选择，元器件参数对性能指标的影响分析就显得格外重要。

Multisim 是一种通用的电子电路的分析模拟软件，具有良好的人机交互性能，完善的电路模拟、仿真、设计等功能。是电子系统分析和设计中不可缺少的工具。通过建立精确的电路模型，计算机可以仿真出接近实际电路的结果。

长期以来，对多级放大器元件参数及性能指标的分析大多采用计算和图示的方法，计算复杂，工作量大而且周期较长。随着计算机技术的发展，出现了计算机辅助设计技术和电子设计自动化技术。利用这种技术，可大大降低费用，提高效率。Multisim 仿真分析软件具有非常强大的功能，它既可以进行电子线路的设计、仿真，也可以对电路性能进行分析。在教学方面，利用 Multisim 仿真分析软件分析电路，可把比较复杂抽象的理论分析，更直观地表现出来。

### 1.3 多级放大器 Multisim 仿真分析的内容

多级放大器作为一种电子设备的基本电路，是大多数电子设备必不可少的单元电路。它在电路中起着匹配输入输出、放大信号的作用，其性能的好坏，直接决定了电子设备的性能，也决定了整个设备对信号的处理能力。因此，对其元器件参数的选择，元器件参数对性能指标的影响分析就显得格外重要。用传统的计算方法分析多级放大器，和用 Multisim 仿真软件分析多级放大器的静态工作点和电压增益及频率特性等，比较两种分析方法，对两种分析结果进行对比。

---

## 2 多级放大器的 Multisim 仿真分析研究的内容

### 2.1 多级放大器的要求

本课题所研究的多级放大器要求工作频率高，频带宽，带宽为  $2\text{M}_{\text{HZ}} \sim 80\text{M}_{\text{HZ}}$ ，电压增益 25dB；要求在带宽内具有较高的保真度，也就是信号放大过程中的失真要小；由于电路工作频率高，易产生自激，因而提高放大倍数和失真系数以及带宽都存在着矛盾。通常采用集中滤波器和宽带放大相结合的方式，增益由宽带放大器保证，通频带由滤波器保证。

本文研究的多级放大器为宽带放大器。宽带放大器要求失真小，增益高，具有足够的频带宽度。

为了保证放大器的性能，常采取以下措施：

- 1.要展宽放大器的通频带，提高放大器的上限截止频率，选用特征频率  $f_T$  较高的晶体管。
- 2.用负反馈电路，展宽通频带，但降低了电压增益。
- 3.利用 L、C 元件补偿高频，展宽通频带，不降低电压增益。
- 4.采用不同组态放大电路组合，以提高增益。

### 2.2 多级放大器的构成

本文引用的多级放大器带宽为  $2\text{M}_{\text{HZ}} \sim 80\text{M}_{\text{HZ}}$ ，电压增益 25dB，电路原理图如图 2.1 所示。第一级为共射极放大器，电路  $L_1$  对中频开路，以消除输入级偏置电阻引入的噪声。第二级为共基极放大器，其集电极电路中的电感  $L_2$  为串联补偿电感。第三级为共集电极电路，作为隔离级，隔离负载（滤波器）对共基极放大器的影响。此电路为宽带中放，其下限、上限频率分别约为  $2\text{M}_{\text{HZ}}$ 、 $70\text{M}_{\text{HZ}}$ 、电压增益为 25dB。主要应用于雷达中频信号放大或其它视频信号放大。

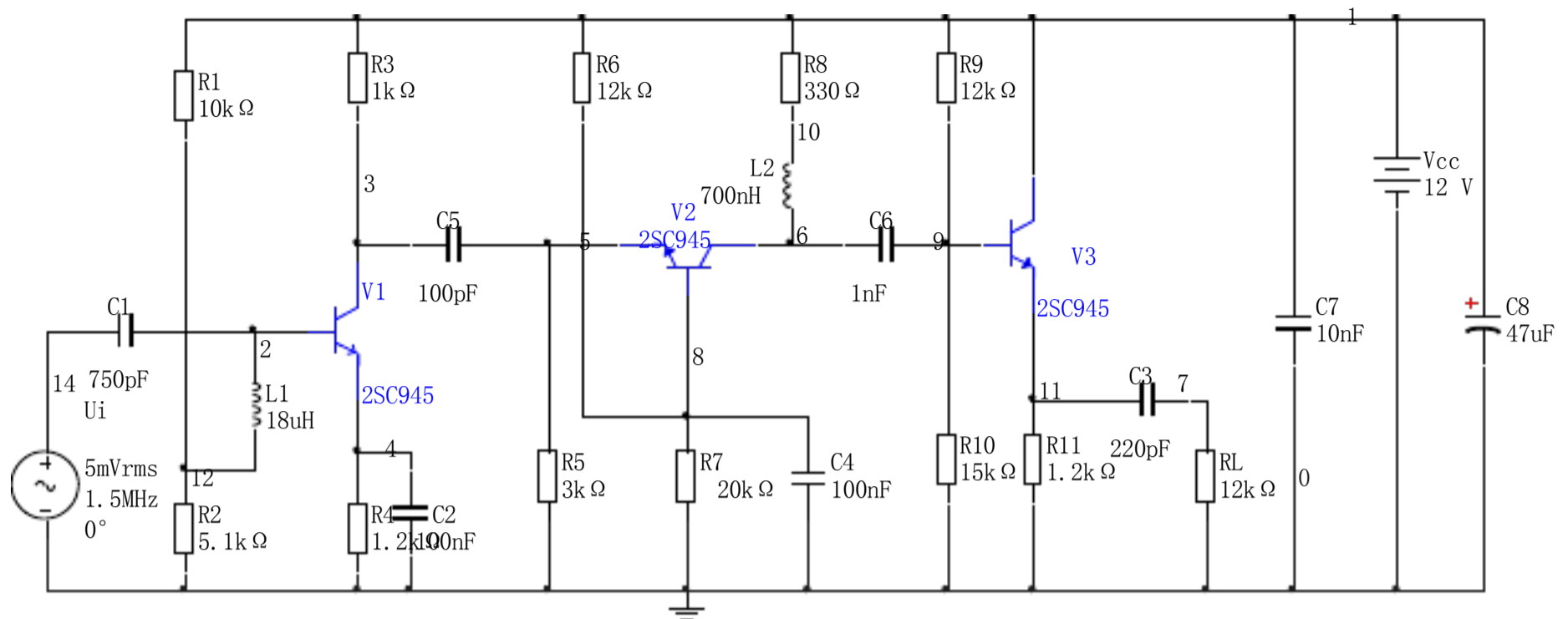


图 2.1 多级放大器原理图

## 2.3 保证多级放大器性能的措施

本文研究的多级放大器为宽带放大器。宽带放大器要求失真小，增益高，具有足够的频带宽度。为了保证放大器的性能，常采取以下措施：

1. 要展宽放大器的通频带，提高放大器的上限截止频率，选用特征频率  $f_T$  较高的晶体管。
2. 用负反馈电路，展宽通频带，但降低了电压增益。
3. 利用 L、C 元件补偿高频，展宽通频带，不降低电压增益。
4. 采用不同组态放大电路组合，以提高增益。

---

### 3 多级放大器的理论分析

#### 3.1 放大器高频等效分析方法

三极管在高频线性运用时常采用两种等效电路进行分析，一是混合  $\pi$  型等效电路，一是 Y 参数等效电路。

混合  $\pi$  型等效电路是从模拟三极管的物理机构出发，用集中参数元件 R、C 和受控源来表示管内的复杂关系。优点是各元件参数物理意义明确，在较宽的频带内元件值基本上与频率无关。缺点是随器件不同而有不少差别，分析和测量不方便。因而混合  $\pi$  型等效电路法较适合于分析宽带小信号放大器。

Y 参数法则是从测量和使用的角度出发，把三极管作为一个有源线性双口网络，用一组网络参数构成其等效电路。优点是导出的表达式具有普遍意义，分析和测量方便。缺点是网络参数与频率有关。由于高频小信号谐振放大器相对频带较窄，一般仅需考虑谐振频率附近的特性，因而采用这种方法分析较合适。

综上所述，本文采用混合  $\pi$  型等效电路进行分析。

##### 3.1.1 混合 $\pi$ 型高频小信号模型

混合  $\pi$  型高频小信号模型是通过三极管的物理模型而建立的，三极管的物理结构如图 3.1 所示。

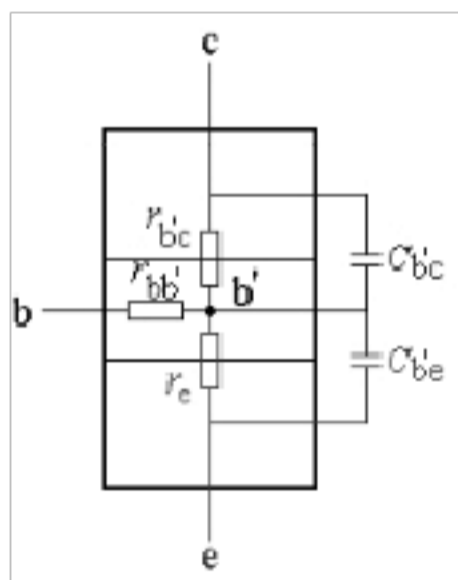


图 3.1 三极管物理模型

$R_{bb'}$ ——基区的体电阻， $b'$ 是假想的基区内的一个点。约  $15 \sim 50 \Omega$ 。

$r_e$ ——发射结电阻。

$r_{b'e}$ —— $r_e$  归算到基极回路的电阻，约几十欧到几千欧。

$C_{b'e}$ ——发射结电容，约 10 皮法到几百皮法。

$r_{b'c}$ ——集电结电阻，约  $10k \Omega \sim 10M \Omega$ 。



$C_{b'c}$ ——集电结电容，约几皮法。

$r_{ce}$ ——集电极-发射极电阻，几十千欧以上。

$g_m$ ——三极管跨导，几十豪西门子以下。

### 3.1.2 混合 $\pi$ 型等效电路

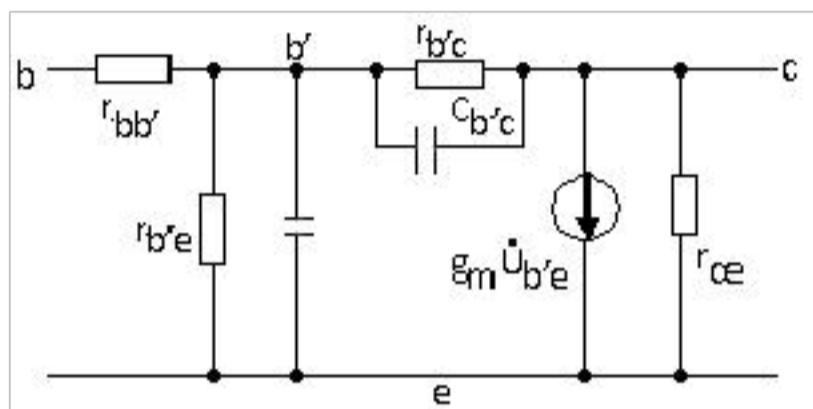


图 3.2 三极管高频发射极混合  $\pi$  型等效电路图

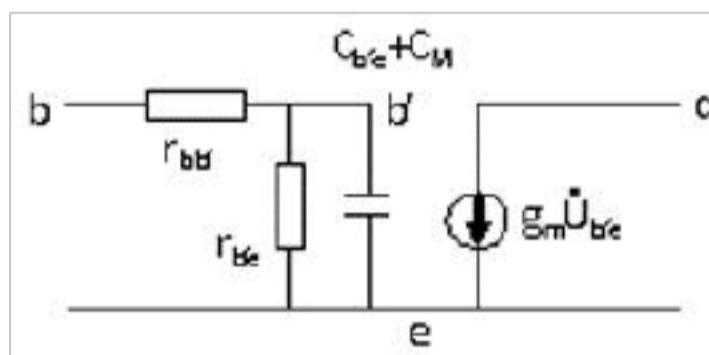


图 3.3 简化高频混合  $\pi$  型等效电路

图 3.2 为三极管高频发射极混合  $\pi$  型等效电路图由于集电结电容  $C_{b'c}$  跨接在输入输出端之间，是双向传输元件，使电路的分析复杂化。为了简化电路，可以把  $C_{b'c}$  折合到输入端  $b'$ 、 $e$  之间，与电容  $C_{b'e}$  并联，其等效电容为：

$$C_M = (1 + g_m R'_L) C_{b'c} \quad (3-1)$$

即把  $C_{b'c}$  的作用等效到输入端，这就是密勒效应。其中  $R'_L$  是考虑负载后的输出端总电阻， $C_M$  称为密勒电容。另外，由于  $r_{ce}$  和  $r_{b'c}$  较大，一般可以将其开路。这样，利用密勒效应后的简化高频混合  $\pi$  型等效电路如图 3.3 所示。

与各参数有关的公式如下：

$$r_e = \frac{kT}{q I_{EQ}} = \frac{26 \text{ (mV)}}{I_{EQ} \text{ (mA)}} \quad (3-2)$$

$$g_m = \frac{1}{r_e} \quad (3-3)$$

$$r_{b'e} = (1 + \beta_0) r_e \quad (3-4)$$

$$C_{b'e} = C_M = \frac{1}{2 f_T r_e} \quad (3-5)$$

其中  $k$  为玻尔兹曼常数， $T$  是电阻温度（以绝对温度  $K$  计量）， $I_{EQ}$  是发射极静态电流， $\beta_0$  是三极管低频短路电流放大系数， $f_T$  是三极管特征频率。

### 3.2 三极管的高频参数

#### 1. 共射三极管截止频率 $f_{\beta}$

共射短路电流放大系数  $\beta_0$  是指混合  $\pi$  型等效电路输出交流短路时，集电极电流  $I_c$  与基极电流  $I_b$  的比值。从图 3.2 可以看出，当输出端短路后， $r_{b'e}$ 、 $C_{b'e}$  和  $C_{b'c}$  三者并联。

$$\beta = \frac{g_m r_{b'e}}{1 + j \omega (r_{b'e} C_{b'e} + C_{b'c})} = \frac{\beta_0}{1 + j \frac{f}{f_{\beta}}} \quad (3-6)$$

$$\beta_0 = g_m r_{b'e} \quad (3-7)$$

$$f_{\beta} = \frac{1}{2 \pi r_{b'e} (C_{b'e} + C_{b'c})} \quad (3-8)$$

由式 (3-8) 可知， $\beta$  的幅值随频率的升高而下降。当下降到  $\beta_0$  的  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  时，对应的频率定义为共射三极管截止频率  $f_{\beta}$ 。

射三极管截止频率  $f_{\beta}$ 。

#### 2. 特征频率 $f_T$

当  $\beta$  的幅值下降到 1 时，对应的频率定义为特征频率  $f_T$ 。

#### 3. 共基三极管截止频率 $f_{\alpha}$

共基短路电流放大系数  $\alpha_0$  是三极管用作共基组态时的输出交流短路参数，即

$$\alpha = \left. \frac{I_c}{I_e} \right|_{U_c = 0} \quad (3-9)$$

$\alpha$  的幅值也是随频率的升高而降低的， $f_{\alpha}$  定义为  $\alpha$  的幅值下降到低频放大系数  $\alpha_0$  的  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  时的频率。

三个高频参数的关系满足下列各式：

$$f_T = f_{\beta} \beta_0 = g_m r_{b'e} f_{\beta} \quad (3-10)$$

$$f_T = f_{\alpha} \quad (3-11)$$

$$f_T = f_{\beta} \beta_0 = f_{\alpha} \quad (3-12)$$

### 3.3 多级放大器的静态分析

#### 3.3.1 多级放大器的直流通路

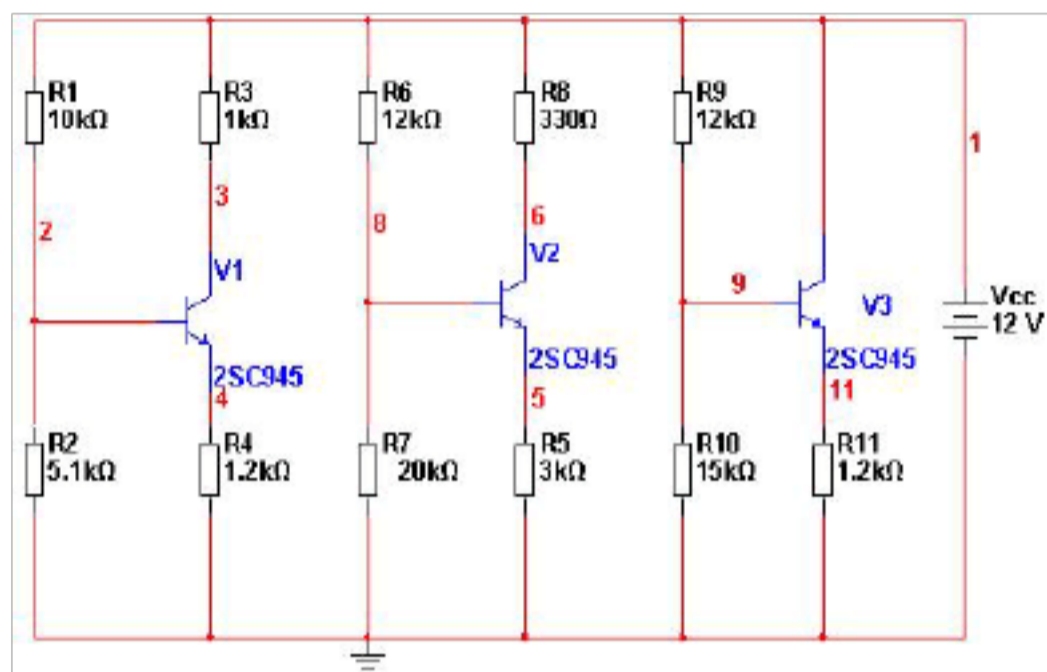


图 3.4 多级放大器的直流通路

#### 3.3.2 多级放大器的静态工作点计算

图 2.1 的直流通路如图 3.4 所示。各级电路的静态工作点参数估算如下：

第一级静态工作点：

$$V_{BQ1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{5.1k}{10k + 5.1k} \times 12V \approx 4V$$

$$I_{EQ1} = \frac{V_{BQ1} - U_{BEQ1}}{R_4} = \frac{4 - 0.7}{1.2} = 2.75(\text{mA})$$

$$I_{CQ1} \approx I_{EQ1} = 2.75(\text{mA})$$

$$I_{BQ1} = \frac{I_{CQ1}}{\beta} = \frac{2.75}{100} = 27.5(\mu\text{A})$$

$$U_{CEQ1} \approx V_{CC} - I_{CQ1}(R_3 + R_4) = 12 - 2.75 \times (1 + 1.2) = 5.95(\text{V})$$

第二级静态工作点：

$$V_{BQ2} = \frac{R_7}{R_6 + R_7} V_{CC} = \frac{20}{12 + 20} \times 12 = 7.5(\text{V})$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/715141142222012010>