晶体管电路设计

第二章

1. 放大的电路设计
2. 确定电源电压
3. 选择晶体管
4. 确定发射极电流的工作点
5. 确定Rc与Re
6. 基极偏置电路的设计
7. 确定耦合电容C1与C2
8. 确定电源去耦电容C3与C4
9. 放大电路的性能
10. 输入阻抗

用在信号源上连接串联电阻Rs、由串联电阻两端的振幅us与ui之差来求输入阻抗的方法。

1. 输出阻抗

在输出端接上负载电阻RL来测量输出振幅uo，然后与无负载（RL≈∞）时的输出振幅做比较来求输出阻抗的方法。输出阻抗高，容易受到作为负载所接电路的影响。

1. 放大倍数与频率特性
2. 高频截止频率
3. 高频晶体管
4. 频率特性不扩展的理由

密勒效应：在基极端来看Cbc时，可以将Cbc看成具有（1+Av）倍的电容器。

在晶体管的数据表中，往往以Cbc和rb（基极串联电阻）的乘积来表示（记作Cb·rbb'，单位为s）。显然Cbc·rb越小，表示高频特性越好。通常，低频晶体管为数十至数百皮秒，高频晶体管为数皮秒至数十皮秒。

1. 提高放大倍数的手段

增加发射极旁路电容

1. 噪声电压特性
2. 总谐波失真率
3. 共发射极应用电路
4. 使用NPN晶体管与负电源的电路
5. 使用PNP晶体管与负电源的电路
6. 使用正负电源的电路
7. 低电源电压、低损耗电流放大电路
8. 两相信号发生电路
9. 低通滤波器电路

在集电极电阻Rc上并联一个电容C，因此频率越高，集电极的负载电阻就越小，电路的电压增益就下降。截止频率fc=1/(2πC\*Rc)

1. 高频增强电路(高通滤波器)

在发射极电阻上并联一个电容C，截止频率fc=1/(2πC\*Re)

1. 高频宽带放大电路
2. 140MHz频带调谐放大电路

将共发射极放大电路的集电极换成LC并联谐振电路。在谐振频率f0时，由外部看到的阻抗无限大；而在其他频率时，阻抗就变小。

1. 增强输出电路
2. 观察射极跟随器的波形

1、与输入相同的输出信号

2、不受负载电阻的影响，可以认为射极跟随器的输出阻抗为零。

二、电路设计

1、确定电源电压

2、选择晶体管

3、晶体管集电极损耗的计算

4、决定发射极电阻Re的方法

5、偏置电路的计算

6、电容C1~C4的计算

三、射极跟随器的性能

1、输入输出阻抗

2、输出负载加重的情况

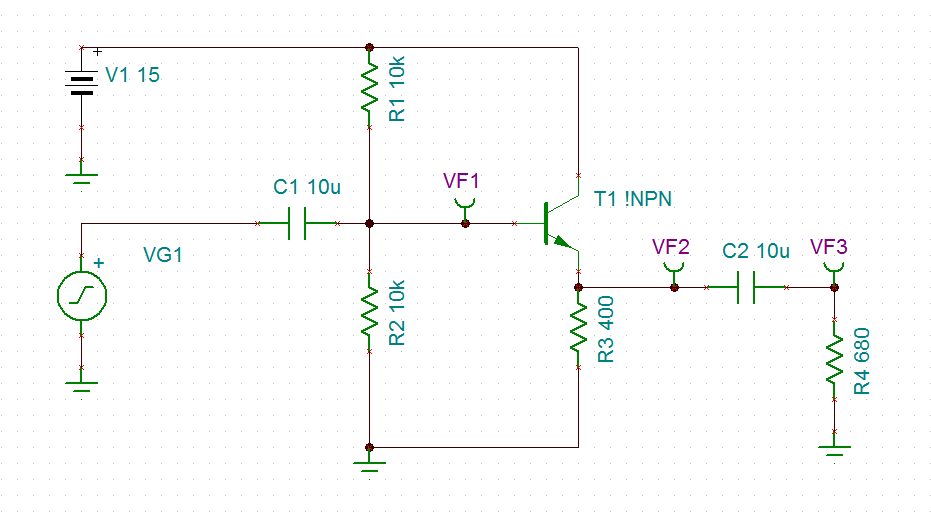


图1

使用发射极负载电阻的射极跟随器，在取出很大电流（接上阻抗低的负载）时，输出波形的复侧被截去，可以减小Re。

1. 推挽型射极跟随器

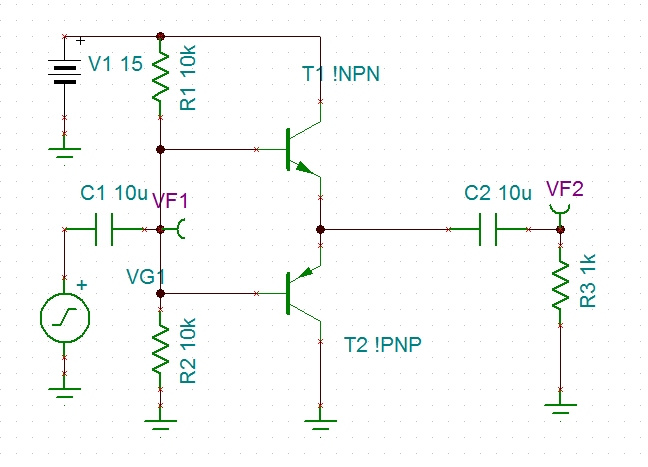


图2

1. 改进后的推挽型射极跟随器

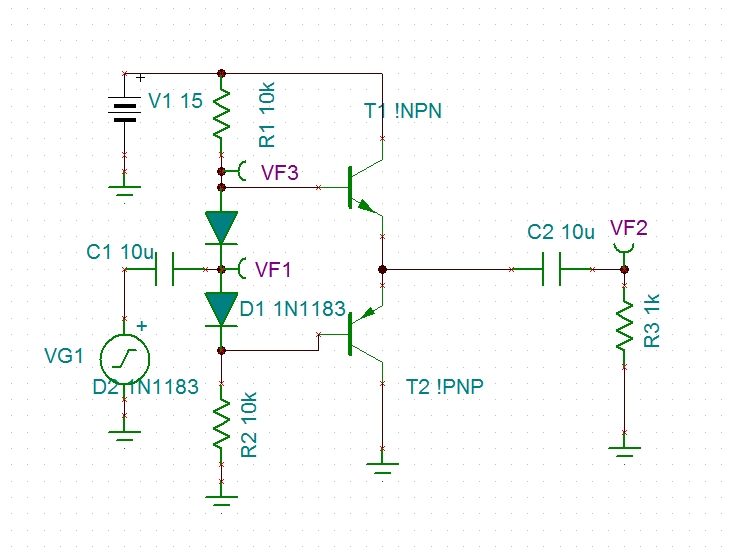


图3

如图2和图3，在输出从状态总有一个晶体管是截止的电路称为B类放大电路，图1晶体管常进行工作的电路称为A类放大电路。

5、振幅频率特性

6、噪声及总谐波失真率

四、射极跟随器的应用电路

1、使用NPN晶体管与负电源的射极跟随器

2、使用PNP晶体管与负电源的射极跟随器

3、使用正负电源的射极跟随器

4、使用恒流负载的射极跟随器

5、使用正负电源的推挽型射极跟随器

6、二级直接连接型推挽射极跟随器

7、OP放大器与射极跟随器的组合

8、OP放大器与推挽射极跟随器的组合（之一）

9、OP放大器与推挽射极跟随器的组合（之二）

第四章 小型功率放大器的设计与制作

一、功率放大电路的关键问题

1、电压放大与电流放大

2、简单推挽电路

3、对交越失真进行修正

4、防止热击穿

5、抑制静态电流随温度的变动

6、实际的电路设计

二、小型功率放大器的设计方法

1、电路规格

2、确定电源电压

3、共发射极放大电路的工作点

4、决定放大倍数的部分

5、射极跟随器的偏置电路

6、射极跟随器的功率损耗

7、输出电路周边的元件

三、小型功率放大器的性能

1、电路的调整

2、电路工作波形

3、音频放大器的性能

四、小型功率放大器的应用电路

1、用PNP晶体管制作的偏置电路

2、由PNP晶体管进行电压放大的电路

3、微小型功率放大器

第五章 功率放大器的设计与制作

一、获得大功率的方法

1、关键点是如何解决发热问题

2、控制大电流的方法

3、达林顿连接的用途

4、使用并联连接增大电流

5、并联连接时电流的平衡是至关重要的

6、并联连接的关键是热耦合

7、静态电流与失真率的关系

A类放大：即在无信号时，静态电流也在晶体管上不断的流动着

B类放大：指在没有静态电流流动、且无信号时晶体管在截止状态使用的状况

AB类放大：是静态电流仅在最大输出电流的1/2以下流动的偏置方法

1. 静态电流与发热的关系
2. 考虑散热的设计

在进行散热计算时，将热传导的难易程度考虑为热阻。如热阻小，则易于导热也易于散热，如热阻大则难于散热也难于导热。

设由发热的接触部分到管壳表面间的热阻为θjc，由管壳到热沉的热阻为θcs，由热沉到空气的热阻为θsa。热阻的单位采用1℃/W（即1W的热使温度上升多少）

(Tj - Ta) = Pc(θjc + θcs + θsa）

θsa = (T - Ta)/Pc - θjc - θcs

θjc ≈ 1 ~ 1.5（℃/W） Tj = 结温（由手册的值减去15℃）

θcs ≈ 0.5（℃/W） Ta = 晶体管所处的环境温度

Pc = 集电极耗散（W）

1. 决定热沉的大小
2. 晶体管的安全工作区
3. 功率放大器的设计
4. 放大器的规格

|  |  |
| --- | --- |
| 电压增益 | 10倍 |
| 输出功率 | 10W(8Ω负载) |
| 频率特性 | DC~150kHz（-3dB带宽） |
| 失真率THD | 0.1%以下（目标） |

1. 电源电压

与最大输出功率Po相对应的最大输出电压Vo可以用下式来计算：

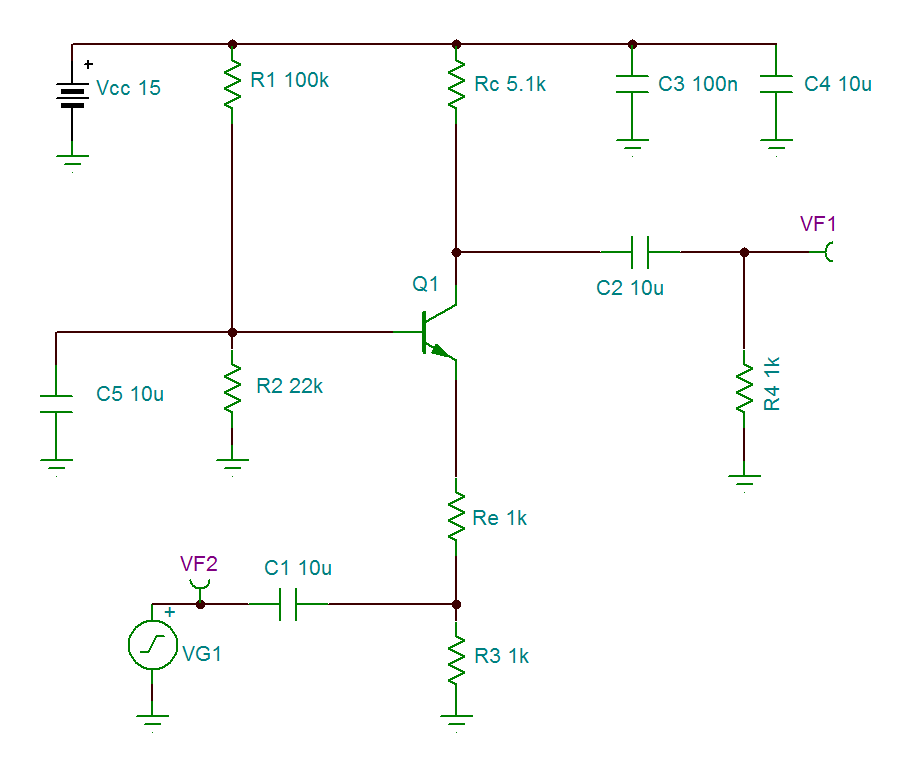
Vo =  = 8.94Vrms

Z位负载阻抗。所以最大输出电压峰峰值为25.3Vp-p（8.94Vrms \*  \* 2）。因为使用了正负电源，所以取峰峰值的一半即12.65V，外加4V的余量即17V。

1. 由OP放大器组成的电压放大级的设计
2. 扩宽频率特性

本章对共基放大器进行实验。由于共基放大器设计上阻抗低，所以是难以使用的电路。但是与共射放大器比较，由于没有基极和集电极的极间电容Cob的影响，频率特性变好，因此可以作为高频放大器来使用。

1. 观察共基极放大电路的波形
2. 同相5倍的放大器



1. 基极交流接地
2. 设计共基极放大电路

|  |  |
| --- | --- |
| 电压增益 | 5（14dB） |
| 最大电压输出 | 5Vp-p |
| 频率特性 | -- |
| 输入输出阻抗 | -- |

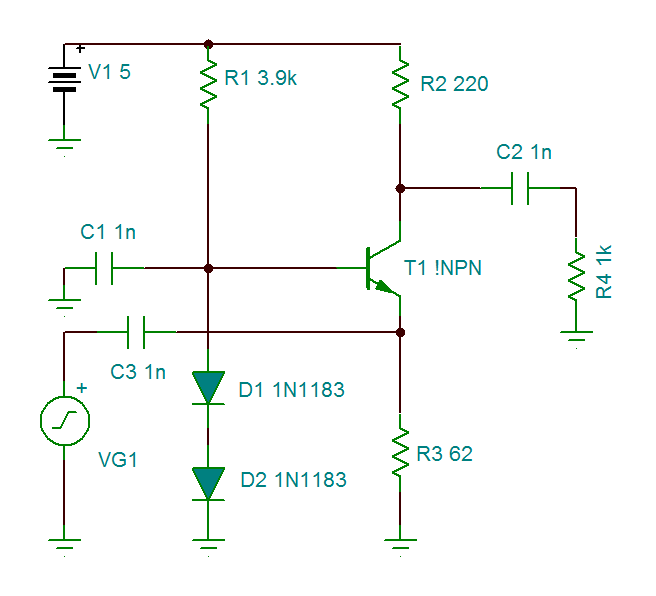
1. 电源周边的设计与晶体管的选择
2. 交流放大倍数的计算
3. 电阻Rc、Re与R3的确定方法
4. 偏置电路的设计
5. 决定电容C1~C5的方法
6. 共基放大电路的性能
7. 输入输出阻抗
   1. 输入阻抗是R3与Re的并联值，输出阻抗是集电极电阻Rc
8. 放大倍数与频率特性

比共发射极电路频带2倍左右。

1. 频率特性好的理由
2. 输入电容Ci的影响

在共基极放大电路中，由于发射极交流接地，晶体管的输入电容不能与Re形成低通滤波器，所以与共发射极放大电路比较，共基极电路的频率特性变好。还有，如果引进相反的考虑，也可以说成是，共基极电路的频率特性是晶体管自身的频率特性，而共射极电路由于在输入侧形成的低通滤波器，自身的频率特性被破坏。

1. 噪声及谐波失真率
2. 共基极电路的应用电路
3. 使用NPN晶体管的共基极放大电路
   1. 就是把管子换了，电源调换一下
4. 使用NPN晶体管与负电源的共基极放大电路
   1. 电源调换，不过电容极性注意
5. 使用正负电源的共基极放大电路
6. 直至数百兆赫兹的高频宽带放大电路



该电路可以直接用在UHF频带的升压放大器中（对接收天线输出的微弱电平信号进行放大到所需电平的放大器）。该电路的电压增益由所用晶体管的hfe来决定。该电路的输入电阻只有数欧，所以只能用在高频。

1. 150MHz频带调谐放大电路
2. 视频选择器的设计和制作

一、视频信号的转换

1、视频信号的性质

VTR（磁带录像机）和电视机出来的视频信号--通常是NTSC混合信号，其频谱从DC电平开始到4MHz的频宽。

2、何谓阻抗匹配

在高频中由于开环增益低，也没有很好的加负反馈，所以不能将输出阻抗做小到可以忽略不计，关于输入阻抗也是如此，不能做到很大。还有，如输入输出阻抗随频率而变化，则在电路间的连接部分就具有频率特性。因此，在高频电路中是用一定的输出阻抗（当然理想是电阻成分）进行发送，用一定输入阻抗进行接收。通常，高频中该输入输出阻抗为50Ω（图像信号系统为75Ω）。

为此，输出部分与输入部分的距离较远时（例如，机器之间的连接等），传送信号线路的特性阻抗（由分布参数引起的线路固有的阻抗）与输入输出阻抗要进行匹配。这就称为阻抗匹配（调整）。

如果不进行阻抗匹配，则在线路上会发生驻波，发送功率的一部分会返回来（称为反射），传输线路因而有频率特性。因此，在高频电路中进行电路间或机器间的连接时，必须使用电缆连接，电缆的特性阻抗与输入输出阻抗相等。例如，将视频信号在机器间进行连接时，必须使用特性阻抗为75Ω的同轴电缆。

3、对视频信号进行开关时

对没有送到视频输出的信号，如果开路，则不能取得匹配，所以不连接时进行端接（连接到75Ω电阻上）

二、视频放大器的设计

1、共基极电路+射极跟随器

2、各部分直流电位的设定

3、增大耦合电容的容量

4、观察对矩形波的响应

5、频率特性与群体延迟特性

6、晶体管改用高频晶体管

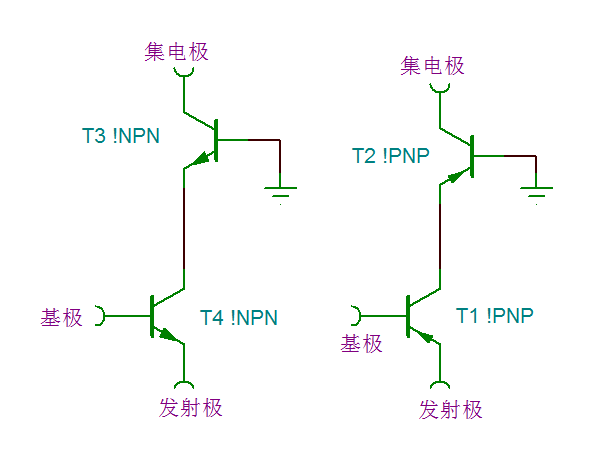
7、视频选择器的应用

三、视频选择器的应用电路

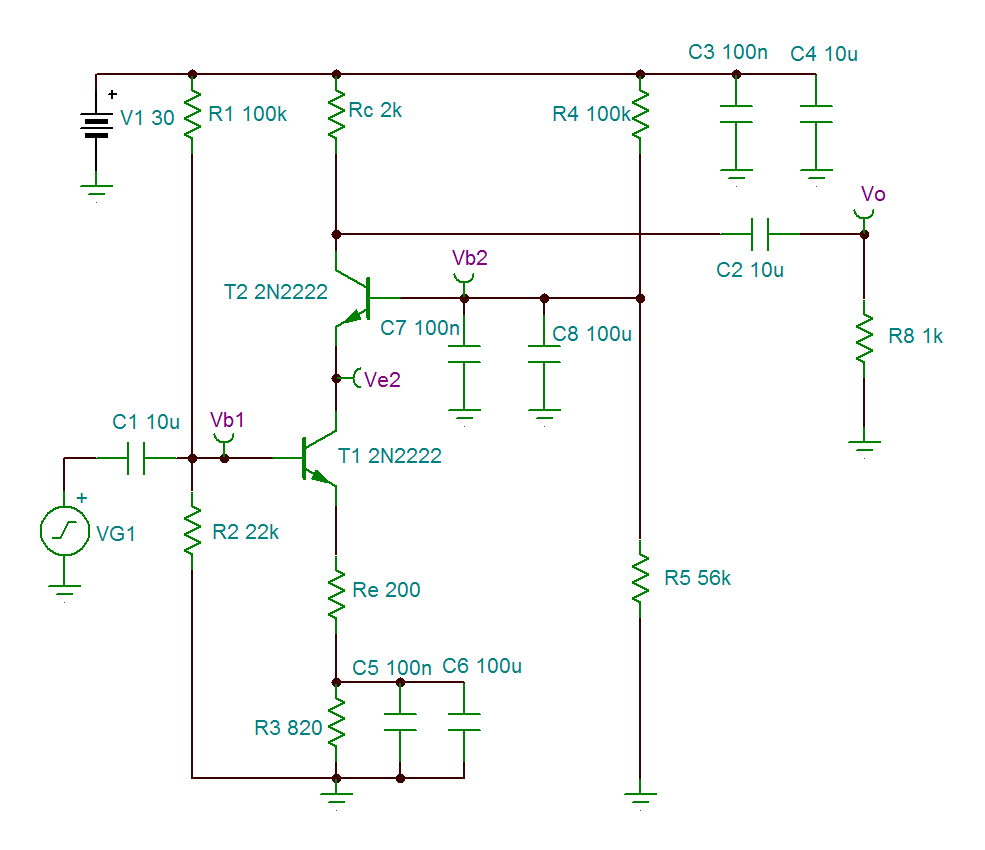
1、使用PNP晶体管的射极跟随器

2、以5V电源进行工作的视频选择器

1. 渥尔曼电路的设计
2. 观察渥尔曼电路的波形
3. 何谓渥尔曼电路



1. 与共发射极电路一样



3、增益为0的共发射极电路

在T1的集电极的电压（=T2的发射极），尽管流过交流电流，也不发生电压变化，所以与交流接地一样。

在共发射极放大电路中，将基极出现的交流成分进行电压放大后，在集电极上产生放大的交流电压（成为输出信号），但是在渥尔曼电路中，尽管以共发射极电路进行工作，但是下面晶体管集电极不产生交流成分。

总之，渥尔曼电路的下面晶体管可以认为是电压增益为0的共发射极放大电路（可以认为集电极接地，即集电极电阻为0Ω，所以增益为0）

1. 不发生密勒效应

共发射极电路的输入电容Ci为基极-发射极极间电容Cbe与由于密勒效应而乘上（Av+1）后的基极-集电极电容Cbc之和。但是渥尔曼电路的共发射极电路，由于Av=0，Ci仅为Cbe与Cbc之和，没有发生共发射极电路避免不了的密勒效应。所以频率特性好。

1. 可变电流源+共基极电路=渥尔曼电路
2. 设计渥尔曼电路

|  |  |
| --- | --- |
| 电压增益 | 10倍（20dB）左右 |
| 最大输出电压 | 5Vp-p |
| 频率特性 | 在高频端尽可能扩展 |
| 输入阻抗 | 10KΩ以上 |
| 输出阻抗 | 任意 |

1. 渥尔曼电路的放大倍数

交流电压增益Av = Rc/Re。

1. 决定电源电压

发射极电路的电源电压可以取为比最大输出电压（峰峰值）+发射极电阻上的压降（1V以上）稍大些的值。但是在渥尔曼电路中，还必须考虑到加在T1晶体管的集电极-发射极间的电压。通常，T1的集电极-发射极间电压Vce1有必要在2V以上。

设发射极电阻（Re + R3）的压降为2V，T1的VCe1为3V。最大输出电压为5Vp-p，所以电源电压必须为10V（2+3+5）。这里取15V。

1. 选择晶体管
2. 工作点要考虑到输出电容Cob

输出电容Cob与基极-集电极间电压Vcb成反比，希望Cob的值小，所以Vcb得在1V以上，因为发射极电位比基极低0.6V，所以集电极-发射极间电压Vce1必须为1.6V，有必要将Vce1设置为2V（≈1.6V）以上。

集电极电流的范围是0.1mA至数毫安，这里取2mA。

1. 决定增益的Re、R3与R2

先确定Rc的值，将发射极电阻分为Re和R3，R3用电容短路，由此获得想要的增益。

1. 设计偏置电路之前

由于Vbe = 0.6V，而发射极电阻（Re + R3）的压降为2V，所以T1基极电位为2.6V。

基极电位是由R1和R2决定的。R1的压降为15-2.6=12.4V。在晶体管基极上流过的基极电流是集电极电流的1/hef，假定为200，则T1的基极电流为0.01mA。

在偏置电路R1和R2中，有必要让其预先流过比基极电流大得多（10倍）的电流。

1. 决定R1与R2

R1 = 12.4/0.1 = 124kΩ，R2 = 2.6/0.1 = 26kΩ

取标准值100kΩ和22kΩ。输入阻抗为R1//R2 = 18kΩ，符合要求。

1. 决定R4与R5

同理可得，T2的发射极电位为5V（2V + 3V），所以基极电位为5.6V，R4 = 9.4V/0.1 = 94kΩ，R5 = 5.6/0.1 = 56kΩ。

1. 决定电容C1~C8

C1和C2是耦合电容，取10uF。C1和电路输入阻抗（R1//R2）形成高通滤波器，

截止频率fc1 = 1/（2πRC）= 0.9Hz。

1. 渥尔曼电路的性能
2. 测量输入阻抗

信号源电压Vs = 0.5Vp-p，在输入端串联一个电阻Rs = 18kΩ，电路输入信号Vi = 0.25Vp-p，所以输入阻抗为18kΩ（= R1//R2）。

1. 测量输出阻抗

在输出端接负载和没接负载的输出波形。输出阻抗为Rc。

1. 放大度与频率特性

放大倍数为为19.2dB，即9.1倍，比预设值小10%。这是由于T1发射极上产生的与输入信号Vi完全相同的信号，即认为Vbe是一定值而导致的。实际上随输入信号的变化，Vbe也发生微弱变化。

实际上放大器的低频截止频率为8.6Hz，与预设值相差一个数量级。这是Re和C6形成高通滤波器的原因。加在T1发射极的R3用C5和C6进行旁路，所以在高频时，发射极电阻就为Re本身。但是在低频时，对于Re来说，C5和C6的阻抗不能忽略，加在T1上电阻是比Re大的。

Re与C6（R5过小可以忽略）形成高通滤波器的截止频率fc1 = 1/2πRC = 1/2πx200Ωx100uF = 8Hz。

1. 注意高频端特性

高频特性比共发射极电路好。

1. 频率特性由那个晶体管决定

T2决定，T1通用晶体管就可。

1. 观察噪声特性

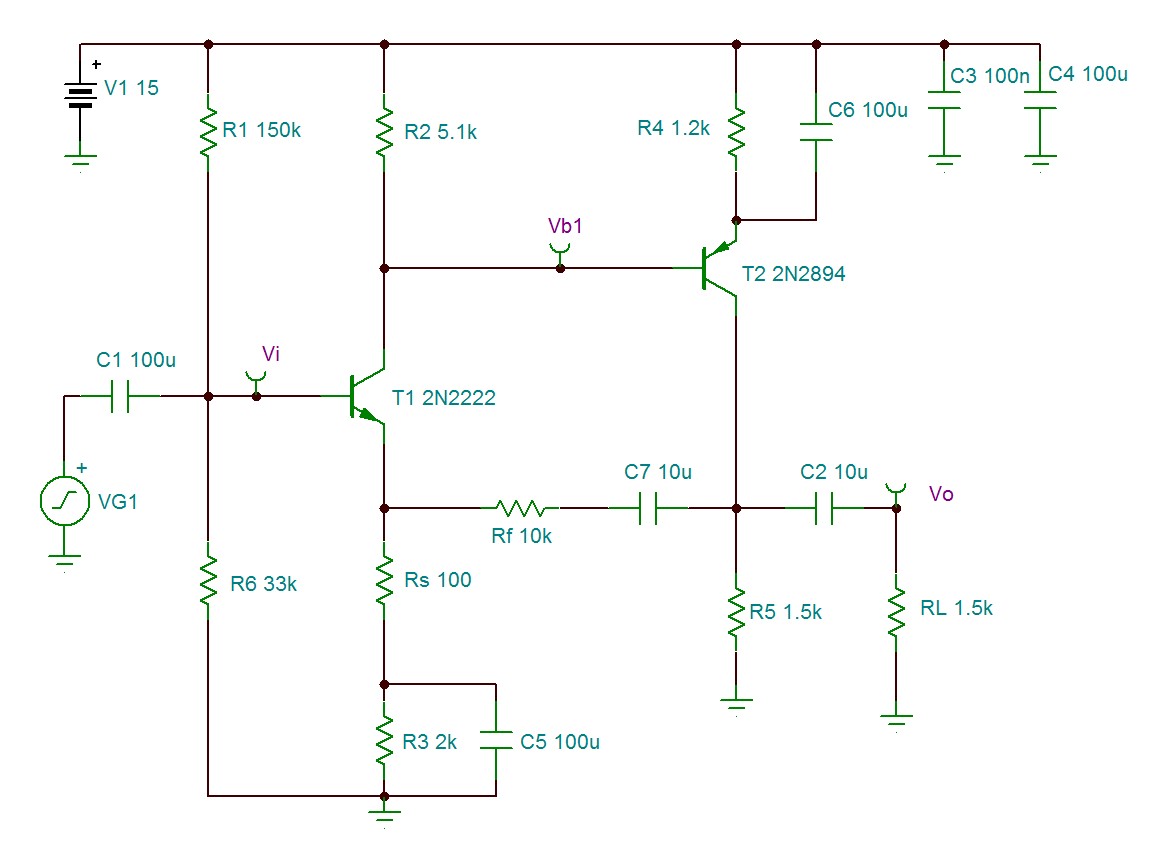
渥尔曼电路对噪声没有贡献，噪声特性与共发射极电路一样。

1. 渥尔曼电路的应用
2. 使用PNP晶体管的渥尔曼电路
3. 图像信号放大电路
4. 渥尔曼自举电路
5. 负反馈放大电路的设计
6. 观察负反馈放大电路的波形
7. 如何获得大的电压放大倍数

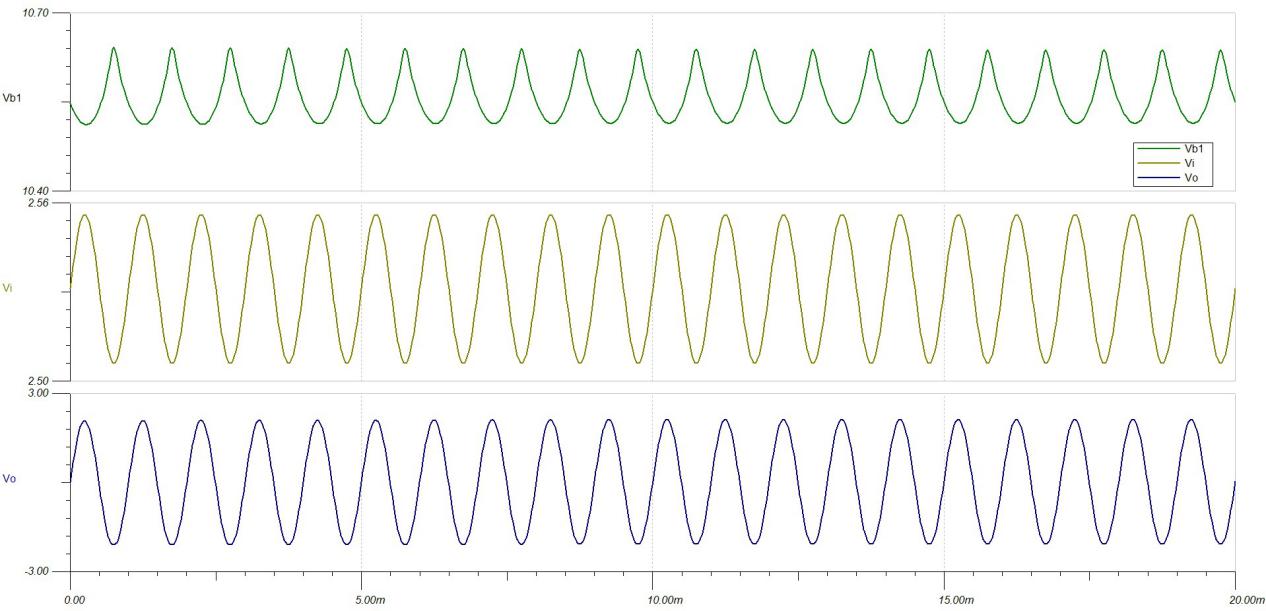
①级联。频率特性不如单个，噪声却为每个放大器的噪声之和

②级联加负反馈。加上负反馈后就有放大度稳定、频率特性好、噪声不增加等优点。

2、100倍的放大器



1. T1的工作有些奇怪



T1的集电极波形并没有放大R2/Rs = 51倍，而是增益为1

1. T2的工作
2. 负反馈放大电路的原理
3. 放大级的电流分配

T1的发射极交流成分Ve1与输入信号Vi是一样的，Rs上的电流

is = Vi/Rs = 50mVp-p / 100Ω = 0.5mA

Rf上的电流

If = （Vo - Vi）/ Rf = （4.6Vp-p - 50mVp-p）/ 10KΩ = 0.465mA

Is几乎和if相等，相差0.5 - 0.465 = 0.035mA，这个是由T1上的发射极流到Rs上的电流ie。

1. 加上负反馈
2. 确实是负反馈吗
3. 求电路的增益

电路总增益 Av = vo/vi = 

当A非常大时成立。

1. 反馈电路的重要式子

令Rf / （Rs + Rf）= β，称为·，所以Av = A /（1 + βA），A为电路的裸增益。

1. 设计负反馈放大电路

|  |  |
| --- | --- |
| 电压增益 | 100倍（40dB） |
| 最大电压输出 | 5Vp-p |
| 频率特性 | -- |
| 输入输出阻抗 | -- |

1. 电源周围的设计与晶体管的选择

对PNP和NPN没有特别的要求，因为电源电压取15V，所以晶体管的Vceo和Vcbo应大于15V。

1. NPN与PNP进行组合的理由

将T1集电极电流设为1mA，T2集电极电流设为3mA。

1. 决定Rs + R3 与 R2

Rs和R3上的压降应大于1V，否则温度稳定性就很差，这里取2V。

Rs + R3 = 2V/1mA = 2KΩ

因为电路的裸增益越大越好，所以R2越大越好，但是R2越大，在R2上的压降就越大，T1的集电极过于接近GND，不能取出最大输出电压。这里取R2压降为5V，

R2 = 5V / 1mA ≈ 5.1KΩ

T2的发射极电压为10.5V = 15 - 5.1 + 0.6

1. 决定R4与R5

R2上的压降为5.1V，所以R4的压降为5.1 - 0.6 = 4.5V，因为Ie2 = 3mA

R4 = 4.5V/3mA = 1.5KΩ

因为R4被C6交流短路了，所以R5无论怎么取，T2都是最大增益。

取R5上的压降为5V，使输出电压能达到最大。

R5 = 5V/3mA ≈1.5KΩ

实际时可以改变R4的值使Vc2 = 5V。

1. 决定Rf、Rs与R3

Rf是决定电路增益的重要反馈电路。Rf的值因为与电路的输出阻抗有关，所以不能取得太小（Rf接在输出端，从放大器来看与负载一样）。

在共发射极集电极直接作为输出的电路结构情况下，Rf的范围是数千至数十千欧，这里取10KΩ。



所以Rs = 10KΩ/ （100 -1）≈ 100Ω

所以R3 = 2KΩ -100Ω ≈ 2KΩ

1. 决定偏置电路R1与R6

为了使T1基极电位为2.6V = 2V+0.6V，而T1集电极上的电流为1mA，设T1的hef为100，所以T1基极电流为0.01mA = 1mA/100，为了略去基极电流的影响，R1和R6上的电流10倍与基极电流，即为0.1mA，

R6 = 12.4V/0.1mA = 124KΩ

R1 = 2.6V/0.1mA = 26KΩ

取150KΩ和33KΩ。

1. 决定电容C1~C4

C1与C2是为了将直流去掉的耦合电容，这里取10uF。

C1和输入电阻R（R1//R6=27KΩ）形成高通滤波器，截止频率f1 = 1/2πRC = 0.6Hz。

C3和C4取0.1uF和100uF，因为C4和C6串联接地，所以C4要比C6大或一样。

1. 决定电容C5~C7

C5与Rs形成高通滤波器，C5取100uF，截止频率f2 = 1/2πRC = 16Hz。

C6是为了充分提高T1的电压增益用来旁路R3的，也取和C5一样的100uF。

C7是将T2的集电极直流部分切断，仅让交流部分经过Rf的电容，它的交流阻抗要小，所以取10uF。

四、负反馈放大电路的性能

1、测量输入阻抗

Rs等于R1和R6并联的值。

1. 测量输出阻抗

加上负反馈后输出阻抗下降，下降的这一部分，即加上反馈后的最终增益，也称为闭环增益与裸增益之差。

例如，在没有加负反馈时的Z0为10KΩ，裸增益为60dB，加了负反馈后增益为20dB的电路中，Z0为-40dB（=20dB - 60dB），即Z0为没有加反馈时的1/100（= -40dB）即100Ω。

1. 放大度与频率特性

4、正确的裸增益

5、高频范围的特性

可以改善高频特性。闭环增益越小，越能扩展高频特性。

6、观察噪声特性

7、总谐波失真率

8、将T1换成FET

五、负反馈放大电路的应用电路

1、低噪声放大电路

2、低频端增强电路

3、高频端增强电路

1. 直流稳压电源的设计与制作
2. 差动放大电路的设计
3. OP放大器电路的设计与制作

1. FET放大电路的工作原理

一、放大电路的波形

1、3倍放大器

2、栅极上加偏压

3、栅极-源极间电压为0.4V

4、FET是电压控制器件

5、输出是源极电流的变化部分

6、漏极的相位相反

7、与双极晶体管电路的差别

1. FET的工作原理

1、