

# 2020\_12模电框架文章思考-晶体管

模电究竟在干什么？其实这是一个很值得思考的问题，让我们来看目录，绪论，运放，二极管及其基本电路，场效应管及其放大电路，双极结三极管及其放大电路，频率响应，模拟集成电路，反馈放大电路，功率放大电路，信号处理与信号产生电路，直流稳压电源

对这些东西进行分类，就是“绪论”“运放”，大局观先构成，思索关于模电这门课程对于放大的本源去探寻

再学习三种元件，是与电路理论不一样的三种元件（RLC），而是二极管，场效应管和双极结三极管，它最大的区别就是非线性（其实CL在时域里面也是非线性的，所以美其名曰中频分析），既然非线性，那么电路理论的很多技巧不能用了，那怎么计算呢？于是产生了几种运算方式，第一种是绝对的KCL, KVL, V-I函数关系联立解得，肯定是可以解的，但是呢，不好算，什么指数关系呀幂关系呀分段函数啊全囊括在一起，若是复杂的耦合起来更头秃了，第二种是绝对的图解法，但是画图又难又很难准确得到一个随着 $U_i$ 变化确定的 $U_o$ 函数关系，那么怎么办呢？于是产生了第三种方法，就是本质上的小信号分析法，函数太复杂了不好算对吧，那我就把它的静态工作点找到，再放线性关系就好了。

那么这个时候这个问题就拆解成了两个，找静态工作点和动态等效。静态工作点找法可以通过绝对的KCL, KVL, V-I函数关系联立解得，而且因为闲麻烦还能用一些近似化简，比如近似BJT的 $U_{BEQ}=0.7V$ ，这都是可以的，而一般做题也是用这方法。但是，这肯定显然是不准确的，于是也可以用图解法来做，图解法本质上是串联时两边UI关系在图上的一个交点为工作点，重点是在串联上面，对于Mos来说，输入得到 $U_{BEQ}$ 是好确定的，那么只需要画输出的图就好，对于BJT来说，输入和输出的图都要画。

好，说完了它们的分析方法，再来看它们的具体放大电路。首先先思考BJT和MOS的本质，BJT是靠由 $U_{BE}$ 电压控制的 $I_B$ 电流来控制 $I_C/I_E$ 电流，再通过 $R_C/R_E$ 将这电流的变化显现为输出电压的变化，MOS是靠 $U_{GS}$ 来控制场，来控制 $I_D/I_S$ 电流，再通过 $R_C/R_E$ 将这电流的变化显现为输出电压的变化。所以输入一定在 $be/gs$ 上，输出一定在 $ce/ds$ ，从而有那些组态。

那么这些组态对应的就有相应的性质，首先，对场效应管，共源级放大电路电压增益高，输入输出电压反相，输入电阻大，输出电阻主要由 $R_d$ 决定，共漏极放大电路电压增益小于1但接近于1，输入输出电压同相，有电压跟随器作用，输入电阻高，输出电阻低，可作阻抗变换，共栅级放大电路电压增益高，输入输出电压同相，电流增益小于1但接近1，有电流跟随作用，输入电阻小，输出电阻主要由 $R_d$ 决定，常用于高频和宽带放大。其次，对BJT，共射级放大电路电压增益高，输入输出电压反相，输入电阻大，输出电阻主要由 $R_e$ 决定，共集电极放大电路电压增益小于1但接近于1，输入输出电压同相，有电压跟随器作用，输入电阻高，**输出电阻不一定低但相对还是低**，可作阻抗变换，共基级放大电路电压增益高，输入输出电压同相，电流增益小于1但接近1，有电流跟随作用，输入电阻小，输出电阻主要由 $R_e$ 决定，常用于高频和宽带放大。

可以看出来，MOS和BJT电路基本上有着相同的性质，为什么会产生这种情况呢？其实还是电路结构和相似性质的原因。由于 $\beta/r_{be}$ 很大， $g_m=2K_n(U_{GSQ}-U_{TN})$ 也很大，所以哪个 $i_b$ 相对来说就可以忽略了，而且既然不管信号源内阻的话那么 $r_{be}$ 的影响也无了。这样子它们的结构就近乎相同了。

而多级串联就是一个个算就好了，只需要注意一点，共射共基输入电阻与负载无关，输出电阻与信号源内阻无关，但是共集不是这样，输入电阻与负载有关，输出电阻与信号源内阻有关，Mos同理

目前到此为止，我们都叫中频放大，为啥叫中频放大呢？就是电容该短路都是短路，该断路都是断路，完全不需要考虑频率对它的影响，但是事实上可不是这样，于是需要分析，对低频分析比较简单，主要针对的是电路中的耦合电容，旁路电容（换句话说只需要考虑能对直流电源起作用的电容，当时为了帮助静态和动态分开的电容现在都来捣乱了），对高频分析来说，就要考虑极间电容了，在共射/共基对BJT来说主要是 $C_{b'e}$ 和 $C_{b'c}$ ，考虑到密勒电容这样一种等效，把跨接电容 $C_{b'c}$ 等效成输入输出两

个电容，输入乘上 $A_0+1$ 倍，输出乘上1倍。对Mos来说也是一样。对于共栅/共基来说，不存在密勒电容效应，导致 $f_H$ 高。对于共漏/共集来说， $C_{b'e}$ 和 $r_{b'e}$ 在两端产生密勒效应，但是由于 $A_v \sim 1$ 密勒效应很小， $f_H$ 也高

多级电路的频率响应如果简化的话就是 $f_H$ 取最小值， $f_L$ 取最大值

到目前为止，用晶体管搭的这些比较基础的放大电路就结束了。从结构到电路到性质到频率响应，还是非常非常清晰的。那么再让我们看一遍目录，看看模电还有些啥剩下的，有模拟集成电路，反馈放大电路，功率放大电路，信号处理与信号产生电路，直流稳压电源。待我有时间再来写。

## 2020\_12模电框架文章思考-应用篇

首先这篇文章暂时不推荐阅读，等我写完后发现框架太散，一是自己能力问题，二是知识太多了很难一下子写完。

此次将接着晶体管篇接着来讲我心中的模电框架，有模拟集成电路，反馈放大电路，功率放大电路，信号处理与信号产生电路，直流稳压电源。那么在此开始之前希望再复习一遍上次文章，上次文章所有涉及到的东西我将会直接使用。

到了这个阶段，我们会很难过的发现，知识与知识之间的脉络联系淡掉了，它更像是上述知识的各种运用，那么此时我为了方便记忆和自己理解就算是强打联系吧。

首先是模拟集成电路，模拟集成电路中相当于是要实现我们之前用放大电路需要的东西，首先是直流偏置技术，确定静态工作点；第二个是差分放大电路进行放大，包括它的电路结构，传输特性，和用有源负载优化的传输特性；在了解了这些知识后，开始引入集成运放，带我们了解实际的集成运放芯片和需要在意的实际集成运放参数。

参数有：输入失调电压 $V_{IO}$ ，输入偏置电流 $I_{IB}$ ，输入失调电流 $I_{IO}$ ，开环差模电压增益 $A_{VO}$ ，开环带宽 $BW(f_H)$ ，单位增益带宽 $BW_G(f_T)$ ，查谟输入电阻 $r_{id}$ ，输出电阻 $r_o$ ，最大差模输入电压 $V_{idmax}$ ，最大输出电压 $V_{omax}$ ，共模抑制比 $K_{CMR}$ ，共模输入电压 $r_{ic}$ ，转换速率（压摆率），全带功率 $BWP$ ，电源电压抑制比 $K_{SVR}$ ，静态功耗 $P_V$

接着是反馈放大电路，反馈放大电路首先要明确几个概念，反馈是带有反馈回路的，区分直流交流反馈，区分正负反馈，区分串联反馈和并联反馈，区分负反馈电路的四种阻态。其次对于基本模型要掌握好，即阻态对应会导致的功能。然后需要理解负反馈对放大电路性能的影响，其中，降低增益相对变化量、非线性失真 $(1+AF)$ 倍；串联负反馈提高输入电阻 $1+AF$ 倍，并联减小输入电阻 $1+AF$ 倍，电压取样降低输出电阻 $1+AF$ 倍，电流取样提高输出电阻 $1+AF$ 倍； $f_H$ 提高 $1+AF$ 倍， $f_L$ 降低 $1+AF$ 倍，而增益带宽积 $A \cdot BW \approx f_T$ 约是一个定值。最后强调了在深度负反馈下的近似计算，这个是非常非常难的一点，因为图往往很复杂。要弄清楚到底哪个是差分哪个是一件很难的事情，尤其是要注意对于差分式放大电路是那两端，对于BJT放大电路是B和E等等。（多刷题吧）

再便是功率放大电路，功率放大电路和电压放大电路没有本质区别，只是目的改了。分为三种，甲类放大，始终有电流流过管子，乙类放大，有一半的时间有电流流过管子，甲乙类放大，有大于一半的时间有电流流过管子。甲类放大中有射极输出器，效率最高只能50%，乙类放大器主要是用BJT/MOS推挽进行输出，所谓推挽，就是两个射极输出器的合并，它的效率最高达78.5%，选择乙类BJT时需要注意三点，管耗 $P_{CM} > 0.2P_{OM}$ ， $V_{CEO} > 2V_{CC}$ ， $I_{CM} > V_{CC}/R_L$ 。但是乙类会有交越失真的问题，即会有死区，于是用两个二极管或者一个三极管两个电阻进行偏置，弥补上这个交越失真的问题，而且可以把双电源转换为单电源，只要把 $V_{CC}$ 改为 $1/2V_{CC}$ 即可。值得注意的是，乙类和甲乙类的计算方法近乎完全一样，除了静态工作点稍有变化。最后来一个功率管和集成运放（这两个不是重点，不管了），OVER。

到了信号处理与信号产生电路中，处理指滤波，产生包括正弦波振荡，非正弦波振荡。滤波电路中需要算传递函数，处理幅频响应，定义等效品质因数 $Q=1/3-A_{vf}$ 。正弦波振荡条件本质上就是一个没有输入信号的带选频网络的正反馈放大电路，且带稳幅（最后增益 $|AF|=1$ ），分析RC串并联电路网络的选频特性，根据正弦波振荡电路的振幅平衡和相位平衡射极合适的放大电路指标即可构成一个完整的振荡电路，有很多种振荡方法。而非正弦信号产生电路主要是依赖于比较器，于是先介绍单门限电压比较器和迟滞比较器，再通过迟滞比较器和RC积分电路产生方波，并用积分器产生锯齿波。

最后直流稳压电源，一般稳压电源由变压器，整流电路，滤波电路，稳压电路构成。讲线性稳压器和三端线性集成稳压器。讲了BUCK和BOOST电路。