

实验二十、运算放大器设计指标的验证优化

与应用电路设计

实验目的：

(1) 对前次实验设计的运放核心电路，构成反馈应用电路，加载合理设计的激励信号，通过适当的仿真验证方法，验证所要求的各个设计指标；

(2) 构建一个增益为-10 的反向放大器，培养学生运用理论知识，进行电路前端设计、分析与解决问题的能力。

实验要求：

1. 实验过程中采用合理的输入激励，利用常用的应用电路（如电压跟随器、反向放大电路等），验证和完善核心电路的性能指标仿真和电路优化设计；
2. 核心电路的仿真与优化：**设计各种仿真方法和负反馈应用电路，加载合适的激励型号，验证**各项性能设计指标，分析误差主要原因，误差较大的（小于指标的 90%，PM 不满足 45° ）修改设计参数后重新仿真，直至符合设计指标。
3. 要求：单个电阻不超过 10M 欧姆，构建反向放大器，增益约为-10；仿真其闭环增益和输入、输出电压动态范围。

实验内容：

- (1) 优化运放核心电路设计：修改器件参数和工作点，使运算放大器核心电路较好的满足性能指标：

提示：采用电压跟随器结构，瞬态仿真验证是否满足输入和输出电压范围、各管 V_{DS} > 过驱动电压，从仿真结果报告得到输入电容值，需要加上密勒效应使输入电容增加的数量。

大信号（转换速率、输入输出范围等）采用瞬态仿真，增益、带宽、PM 采用 AC 仿真。

仅仿真 27° 和 tt 工艺角。

问题：为什么运算放大器核心电路输出级可以是电流源负载？输出电平如何确定？（注意：负反馈应用时输入虚短）

参考以下理论分析：

R_z 和 C_c 串联组成频率补偿电路。

以下公式是仅有 C_c 频率补偿电路时推导出来的，可以用来近似地估算本实验电路的主极点和单位增益频率（应小于第 2 极点频率，与补偿电路 C_c 有关）， R_z 较小时公式较准。

$$\text{单位增益角频率 } \omega_u \approx \frac{g_{m1}}{C_c}, \text{ 应 } \omega_z > \omega_u, \quad \text{单位增益频率 } f_u = \frac{\omega_u}{2\pi} \approx \frac{g_{m1}}{2\pi C_c},$$

单位增益频率定义是环路增益为 1 时的频率，即所谓 GX 增益交点；等于 $\beta=1$ 时开环运放的增益交点频率。

相位裕度 60° 要求单位增益角频率小于第 2 极点角频率（约 -135° 相移），第 2 极点（也称为最小次极点或第 1 次极点） $\omega_{p2} > \sqrt{3}\omega_u \approx 2\omega_u$

$$\text{主极点 } \omega_{p1} \approx \frac{1}{R_{out1} g_{m7} (r_{op5} || r_{on7}) C_c},$$

这里 R_{out1} 是第一级放大电路的输出阻抗， $g_{m7} (r_{op5} || r_{on7})$ 是输出级低频增益。实际上，只要给出低频增益和单元增益带宽，主极点值就确定了。

(2) 采用所设计运放核心电路，设计一个低频增益(3dB)为-10 的反相放大电路。画出 **virtuoso** 电路图，加载合适的输入信号源。

实验报告要求

1. 完成实验后，申请教师或助教查看电路图和仿真与结果；
2. 实验完成后写出实验报告，需包含以下几部分内容：
 - (1)、电路结构分析及公式推导；
 - (2)、运放电路设计依据和步骤；
 - (3)、原则上要对每个指标进行仿真，给出波形或数据图，写明**激励信号**，仿真设置，进行结果（包括电路性能指标和单位增益零极点）分析；对严重不满足设计指标的要进行误差原因分析；
 - (4)、表格形式给出每个 MOS 管的宽长比（与电路图对应）；
 - (5)、给出理论计算所得到的零极点和 3dB 带宽（开环放大器、电压跟随器、闭环反相放大器），与仿真结果比较，分析解释存在误差的主要原因。
 - (6)、（选）结合实验和理论教学中给老师的建议或意见；
 - (7)、文档名：运放设计**学号姓名**；
 - (8)、报告中给出设计和仿真结果文件存放的服务器路径。