

题目一：高增益跨导放大器

一、设计要求

跨导放大器（operational transconductance amplifier, OTA）用于实现电压信号到电流信号的放大，要求设计一种差分输入、单端输出的两级跨导放大器。其中，差分输入信号需要达到轨至轨的输入范围，即输入电压在近似 0 到电源电压的范围内 OTA 均能正常工作；由于高增益的多级放大器容易出现稳定性问题，因此需要在第二级放大器中增加频率补偿电路。电路指标的设计要求如下：

表 1、跨导放大器设计指标	
设计指标	参数
电源电压	1.8V
负载电容	500fF
静态电流	≤200μA
电路工作温度	室温 300k
电路工艺角	tt
低频增益	>80dB
单位增益带宽	>60MHz
相位裕度	>45°
共模输入范围*	0.05V~1.75V

(*共模输入范围的仿真需要将 OTA 接为单位增益缓冲器进行 DC 扫描得到)

二、设计提示：

- 1、OTA 电路中的偏置电流源可以由 analogLib 中的理想电流源 idc 提供；
- 2、单独采用 NMOS 输入管或者 PMOS 输入管都无法达到轨至轨的输入范围，因此需要 NMOS 管与 PMOS 管并联输入的结构，另外本题目不要求实现输入跨导恒定；
- 3、设计指标中的难点在于需要达到 80dB 以上的低频增益，所以推荐采用 cascode 结构来提高第一级放大器输出电阻，同时设计要求的电源电压较低，采用折叠式 cascode 结构可以解决电源余度不足的问题；

三、报告内容：

- 1、根据设定指标和相关约束，设计相应的电路结构，说明选定该结构的理由；
- 2、针对选定的结构，通过必要的理论分析和计算，给出电路中各元器件的参数，包括 MOS 器件的 W/L、电阻和电容的取值等；
- 3、将上述计算得到的初参数带入电路后进行仿真验证(包括 DC 扫描仿真、AC 仿真)，对比仿真与计算结果的偏差，给出必要的分析；
- 4、根据偏差的原因，修改并调整相关参数，通过多次迭代，得到最终满足技术指标要求的电路，请给出设计定型的参数列表以及电路各性能参数的仿真结果截图。
- 5、总结：对所设计电路的优缺点进行总结，评估这次设计得失，探讨可能的改进策略。

题目二：大摆率跨导放大器

一、设计要求

跨导放大器（operational transconductance amplifier, OTA）用于实现电压信号到电流信号的放大，要求设计一种差分输入、单端输出的两级跨导放大器。其中，差分输入信号需要达到轨至轨的输入范围，即输入电压在近似 0 到电源电压的范围内 OTA 均能正常工作；由于本设计的负载电容较大，要达到大摆率的要求，需要动态输出电流足够大，因此本设计的输出级需要采用 AB 类放大器结构。电路指标的设计要求如下：

表 1、跨导放大器设计指标	
设计指标	参数
电源电压	1.8V
负载电容	20pF
静态电流	$\leq 200\mu\text{A}$
电路工作温度	室温 300k
电路工艺角	tt
低频增益	$> 60\text{dB}$
最大压摆率*	$> 6\text{V}/\mu\text{s}$
相位裕度	$> 45^\circ$
共模输入范围	0.05V~1.75V

(*最大压摆率指在输入信号为幅度 1.8V 的阶跃信号时，进行瞬态仿真得到的最大值)

二、设计提示：

- 4、OTA 电路中的偏置电流源可以由 analogLib 中的理想电流源 idc 提供；
- 5、单独采用 NMOS 输入管或者 PMOS 输入管都无法达到轨至轨的输入范围，因此需要 NMOS 管与 PMOS 管并联输入的结构，另外本题目不要求实现输入跨导恒定；
- 6、设计指标中的难点在于需要达到 $6\text{V}/\mu\text{s}$ 以上的压摆率，所以推荐设计两级放大器，其中第二级放大器采用 push-pull 结构，为保证输出级能够工作在 AB 类，推荐采用浮动电流源进行偏置，该结构能够在较小的静态电流下实现较高的动态电流；

三、报告内容：

- 6、根据设定指标和相关约束，设计相应的电路结构，说明选定该结构的理由；
- 7、针对选定的结构，通过必要的理论分析和计算，给出电路中各元器件的参数，包括 MOS 器件的 W/L、电阻和电容的取值等；
- 8、将上述计算得到的初参数带入电路后进行仿真验证（包括 DC 扫描仿真、AC 仿真和 TRAN 仿真），对比仿真与计算结果的偏差，给出必要的分析；
- 9、根据偏差的原因，修改并调整相关参数，通过多次迭代，得到最终满足技术指标要求的电路，请给出设计定型的参数列表以及电路各性能参数的仿真结果截图。
- 10、总结：对所设计电路的优缺点进行总结，评估这次设计得失，探讨可能的改进策略。

题目三：可输出多种电压的带隙基准电路

一、设计要求

带隙基准电路(Bandgap Reference, BGR)为集成电路系统提供基准电压或基准电流，是集成电路系统中的重要电路模块单元，它具有稳定性好，对系统的环境（电源电压，温度，输出负载等）不敏感的特点。带隙基准电路的工作原理是将具有正、负温度系数的电压以不同的权重相互组合，即可得到零温度系数基准电压。此题目要求利用 cadence 提供的 0.18μm CMOS 工艺，并采用电流模或缓冲驱动架构，设计一种可输出多种电压的带隙基准电路，该电路技术指标要求如下：

表 1、带隙基准设计指标	
设计指标	参数
电源电压	1.8V
静态电流	≤40μA
电路工作温度	室温 300K
输出基准电压	0.6V~1.2V
基准温度系数 (-40℃~125℃)	<20ppm/℃
线性调节率*	<10mV/V
电源抑制比 PSRR	<-40dB
电路工艺角	tt

(*线性调节率指输出基准电压随直流 VDD 的变化率，电源电压从电路正常工作的最小电压起到额定电源电压为止)

二、设计提示

- 1、基准源的设计关键转化为如何获取正、负温度系数电压。由于双极晶体管的重复性和稳定性良好，因此在基准源设计中，通常选用双极型晶体管组成具有相反温度系数的组件。
- 2、经典结构得到的零温度系数基准电压，其大小约为 1.2V，要实现其他电压基准常采用电流求和模式。电流求和的基准电压源将具有正、负温度系数的电流以不同的权重相互补偿，并将补偿电流作用于电阻上形成基准电压。通过调整电阻的阻值即可调整输出基准电压的大小,可采用电流模或缓冲驱动架构。
- 3、温度系数是衡量带隙电压源输出电压随温度变化的一个性能参数，它是衡量电压基准源的关键技术指标。温度系数的单位为 ppm 表示百万分之一，表示当温度变化 1℃时，输出电压变化的百万分比。其计算公式可表示为：

$$TC = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\text{nor}} (T_{\max} - T_{\min})} \times 10^6$$

其中，Vmax、Vmin 分别代表在工作温度范围内基准电压的最大值和最小值，Vnor 则代表室温条件下基准源的电压输出值，而 Tmax、Tmin 则分别代表基准源工作温度范围的最高温度和最低温度。

三、设计报告

- 1、根据设定指标和相关约束，设计相应的电路结构，说明选定该结构的理由；
- 2、针对选定的结构，通过必要的理论分析和计算，给出电路中各元器件的参数，包括 MOS 器件的 W/L、BJT 器件的发射区面积、电阻和电容的取值；
- 3、将上述计算得到的初参数带入电路后进行仿真验证，对比仿真与计算结果的偏差，给出必要的分析；
- 4、根据偏差的原因，修改并调整相关参数，通过多次迭代，得到最终满足技术指标要求的电路，请给出设计定型的参数列表以及电路各性能参数的仿真结果截图。
- 5、总结：对所设计电路的优缺点进行总结，评估这次设计得失，探讨可能的改进策略。

题目四：高电源抑制比的带隙基准电路

一、设计要求

带隙基准电路(Bandgap Reference, BGR)为集成电路系统提供基准电压或基准电流，是集成电路系统中的重要电路模块单元，它具有稳定性好，对系统的环境（电源电压，温度，输出负载等）不敏感的特点。带隙基准电路的工作原理是将具有正、负温度系数的电压以不同的权重相互组合，即可得到零温度系数基准电压。此题目要求利用 cadence 提供的 0.18 μm CMOS 工艺，并采用电压模架构，设计一种高电源抑制比(PSRR)的带隙基准电路，该电路技术指标要求如下：

表 1、带隙基准设计指标

设计指标	参数
电源电压	1.8V
静态电流	$\leq 40\mu\text{A}$
电路工作温度	室温 300K
输出基准电压	1.2V
基准温度系数 (-40 $^{\circ}\text{C}$ ~125 $^{\circ}\text{C}$)	$< 20\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$
线性调节率*	$< 10\text{mV}/\text{V}$
电源抑制比 PSRR	$< -60\text{dB}$
电路工艺角	tt

(*线性调节率指输出基准电压随直流 VDD 的变化率，电源电压从电路正常工作的最小电压起到额定电源电压为止)

二、设计提示

- 1、基准源的设计关键转化为如何获取正、负温度系数电压。由于双极晶体管的重复性和稳定性良好，因此在基准源设计中，通常选用双极型晶体管组成具有相反温度系数的组件。
- 2、经典电压模结构得到的零温度系数基准电压，其大小约为 1.2V。
- 3、带隙基准电压源输出电压抑制电源电压的小信号波动的能力，是通过性能指标电源电压抑制比(Power Supply Rejection Ratio, PSRR)来评估，其数学表达式如下：

$$PSRR = 20\lg\left(\frac{V_{ref}}{V_{in}}\right)$$

可通过上述公式，对电路进行交流小信号分析计算出电路的 PSRR，分析影响 PSRR 的因素从而对电路进行改进优化，改善带隙基准电路的电源抑制比性能。

- 3、温度系数是衡量带隙电压源输出电压随温度变化的一个性能参数，它是衡量电压基准源的关键技术指标。温度系数的单位为 ppm 表示百万分之一，表示当温度变化 1 $^{\circ}\text{C}$ 时，输出电压变化的百万分比。其计算公式可表示为：

$$TC = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\text{nor}} (T_{\max} - T_{\min})} \times 10^6$$

其中， V_{\max} 、 V_{\min} 分别代表在工作温度范围内基准电压的最大值和最小值， V_{nor} 则代表室温条件下基准源的电压输出值，而 T_{\max} 、 T_{\min} 则分别代表基准源工作温度范围的最高温度和最低温度。

三、设计报告

- 1、根据设定指标和相关约束，设计相应的电路结构，说明选定该结构的理由；
- 2、针对选定的结构，通过必要的理论分析和计算，给出电路中各元器件的参数，包括 MOS 器件的 W/L、BJT 器件的发射区面积、电阻和电容的取值；
- 3、将上述计算得到的初参数带入电路后进行仿真验证，对比仿真与计算结果的偏差，给出必要的分析；
- 4、根据偏差的原因，修改并调整相关参数，通过多次迭代，得到最终满足技术指标要求的电路，请给出设计定型的参数列表以及电路各性能参数的仿真结果截图。
- 5、总结：对所设计电路的优缺点进行总结，评估这次设计得失，探讨可能的改进策略。
探讨可能的改进策略