



CMS32F033 应用笔记

内置运算放大器应用笔记

Rev. 1.0.3

请注意以下有关CMS知识产权政策

* 中微半导体（深圳）股份有限公司（以下简称本公司）已申请了专利，享有绝对的合法权益。与本公司MCU或其他产品有关的专利权并未被同意授权使用，任何经由不当手段侵害本公司专利权的公司、组织或个人，本公司将采取一切可能的法律行动，遏止侵权者不当的侵权行为，并讨论本公司因侵权行为所受的损失、或侵权者所得的不法利益。

* 中微半导体（深圳）股份有限公司的名称和标识都是本公司的注册商标。

* 本公司保留对规格书中产品在可靠性、功能和设计方面的改进作进一步说明的权利。然而本公司对于规格内容的使用不负责任。文中提到的应用其目的仅仅是用来做说明，本公司不保证和不表示这些应用没有更深入的修改就能适用，也不推荐它的产品使用在会由于故障或其它原因可能会对人身造成危害的地方。本公司的产品不授权适用于救生、维生器件或系统中作为关键器件。本公司拥有不事先通知而修改产品的权利，对于最新的信息，请参考官方网站 www.mcu.com.cn

目录

1. 内置运放概述	3
2. 内置运放特性	3
3. 内置运放功能	3
3.1 运放结构图.....	3
3.2 运放的典型应用电路.....	4
3.2.1 同相比例放大电路.....	4
3.2.2 反相比例放大电路.....	4
3.2.3 差分放大电路.....	5
3.2.4 有直流偏置的差分放大电路.....	6
3.2.5 电压跟随器.....	7
3.3 运放相关寄存器.....	7
4. 参考样例	8
5. 注意事项	10
6. 其他信息	10
7. 版本修订说明	11

1. 内置运放概述

CMS32F033 是 ARM-Cortex M0 内核的通用 MCU，内置 2 个通用运算放大器，放大器的输入输出端是开放的，可通过外接电阻调整运放增益以实现基本的信号放大和运算功能。

2. 内置运放特性

- ◆ 带宽：5MHz
- ◆ Slew rate：5V/us
- ◆ 开环增益：105dB
- ◆ 输入失调电压 V_{os} ：±1mV
- ◆ 每个运放 3 端是开放的，且和 GPIO 复用
- ◆ 可配置成比较器模式
- ◆ 运放输出可从芯片内部接至 AN30 通道进行 ADC 转换

3. 内置运放功能

3.1 运放结构图

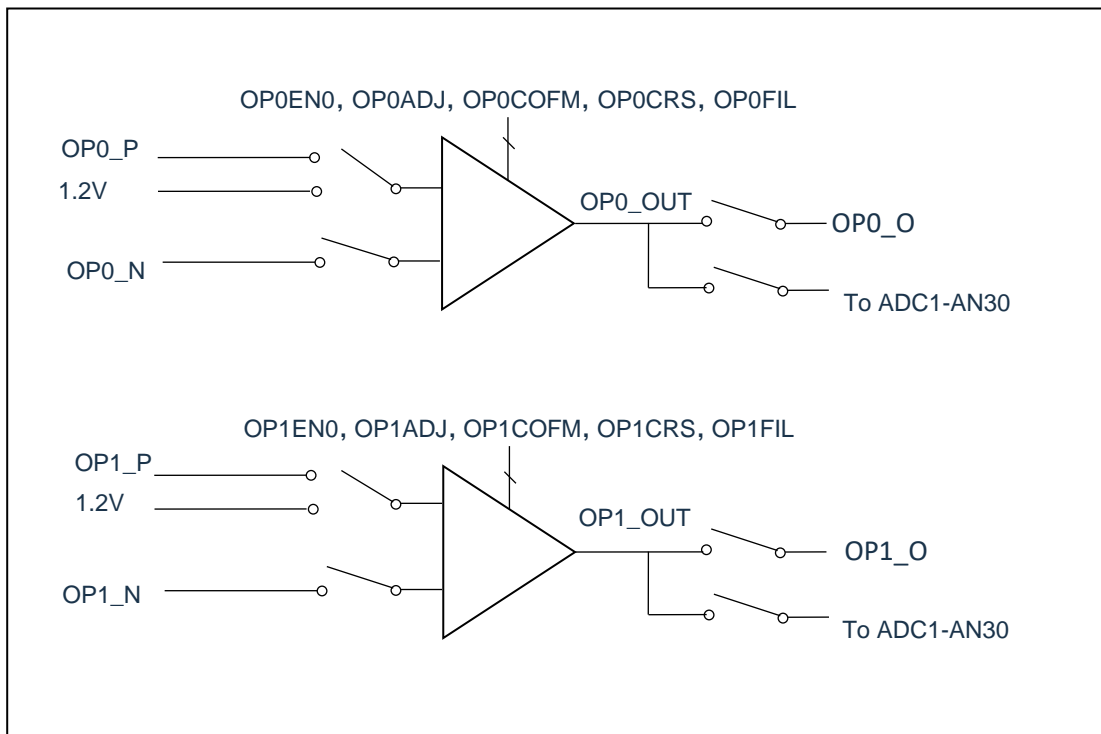


图 3- 1：内置运算放大器的结构图

3.2 运放的典型应用电路

3.2.1 同相比例放大电路

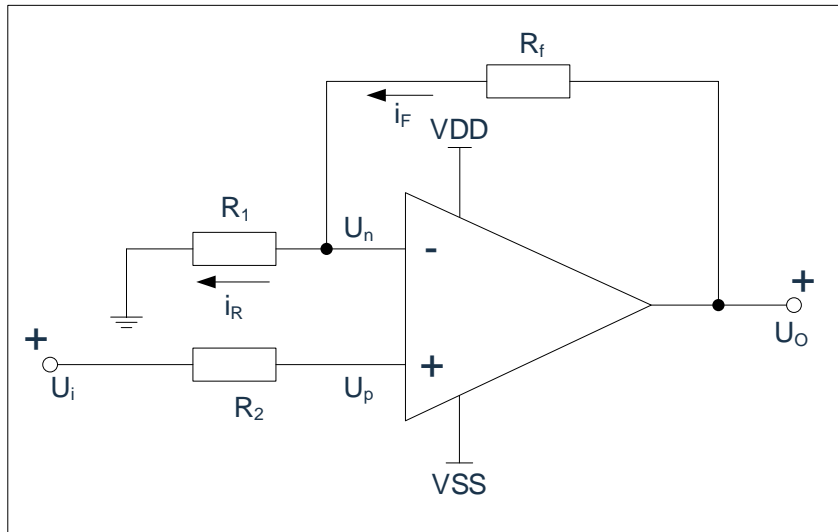


图 3- 2: 同相比例放大电路结构

该电路的特征为: $U_o = (1 + \frac{R_f}{R_1}) U_i$, 电路的闭环增益为 $A_v = (1 + \frac{R_f}{R_1})$

3.2.2 反相比例放大电路

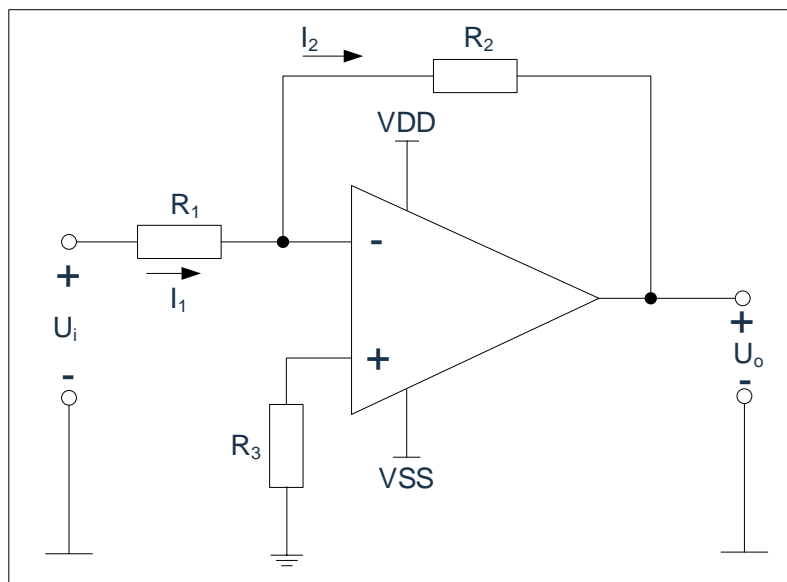


图 3- 3: 反相比例放大电路结构

该电路的特征为: $U_o = (-\frac{R_2}{R_1}) U_i$, 电路的闭环增益为 $A_v = (-\frac{R_2}{R_1})$

3.2.3 差分放大电路

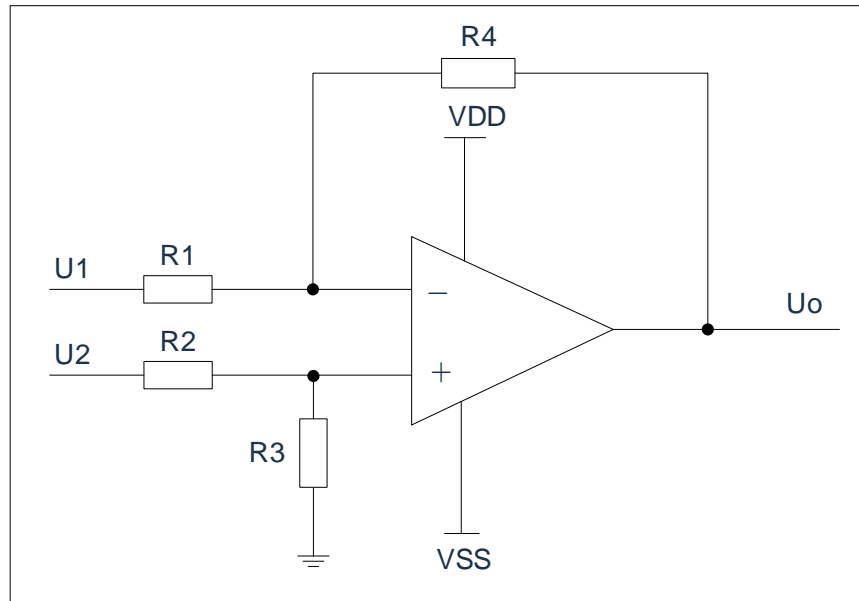


图 3- 4：典型的差分放大电路结构

上图为典型的差分放大电路，也属于减法电路。

其输出公式为： $U_o = \left(\frac{R_3}{R_2+R_3}\right) \times \left(\frac{R_1+R_4}{R_1}\right) \times U_2 - \frac{R_4}{R_1} U_1$

若 $R_1=R_2$ ， $R_3=R_4$ ，则公式简化为： $U_o = \frac{R_4}{R_1} (U_2 - U_1)$

那么电路的闭环增益为： $A_v = \frac{R_4}{R_1}$

3.2.4 有直流偏置的差分放大电路

在一些特定的场合，运放的输出需要有直流偏置，以便于可以放大交流信号。下图为典型的带直流偏置的差分放大电路：

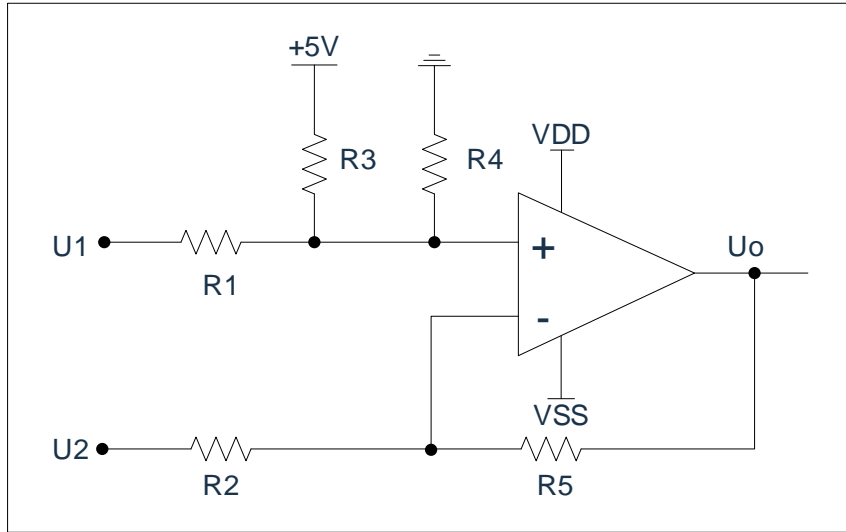


图 3- 5：有直流偏置的差分放大电路结构

如果 $R_1 = R_2$, $R_3 = R_4 = 2 \cdot R_5$ ，根据戴维南等效定理，上述电路简化为：

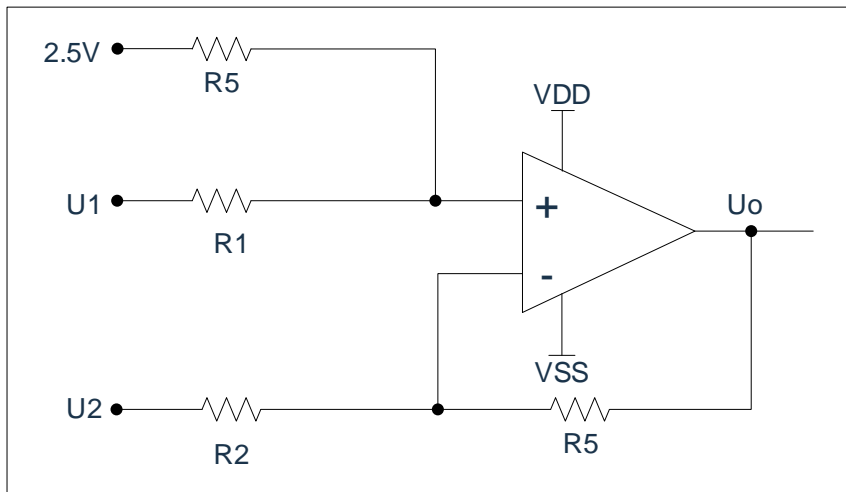


图 3- 6：有直流偏置的差分放大电路的等效结构

上述电路的直流偏置为 2.5V，且有非常好的共模抑制能力。

该电路对于输入差分信号的闭环增益为 $A_v = \frac{R_5}{R_2}$

3.2.5 电压跟随器

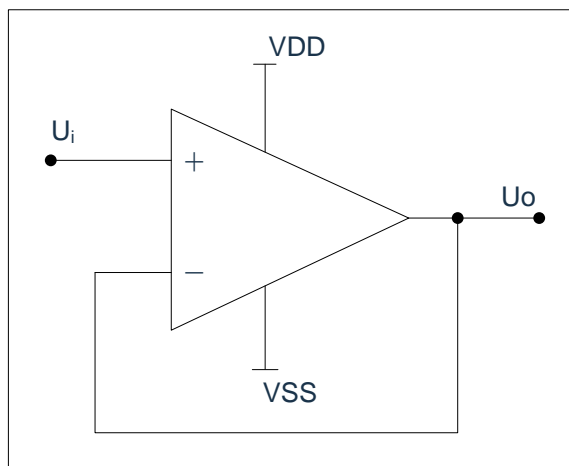


图 3-7：典型的电压跟随器电路结构

由运算放大器组成的电压跟随器具有输入阻抗高，输出阻抗低的特点。一般来说，输入电阻要达到几兆欧姆是很容易做到的，输出阻抗可低至几欧姆。

电压跟随器可起到缓冲、隔离、提高带载能力的作用。

3.3 运放相关寄存器

参考 CMS32F033 用户手册的“运算放大器（OP0/1，PGA0/1）”章节了解寄存器的详细信息。

4. 参考样例

运算放大器的使用非常简单，搭建好硬件电路后，请按照下述的步骤进行配置即可（以 OPA1 为例）。

1. OPA 时钟使能
2. 获取 OPA 的调节值以便对 OPA 进行修调
3. 配置 OPA 的运行模式，将 OPA 配置成运放模式（也可配置为比较模式）
4. 选择 OPA 的正端输入，可选择外部输入引脚（OPn_P）或者内部 1.2V 的 BG
5. 配置 OPA 的负端输入，只可选择外部输入引脚（OPn_N）
6. 配置 OPA 的输出端，作为运放模式，由于涉及到反馈电路，需要将 OPn_O 输出使能
7. 将之前获取的调节值写入运放失调电压选择位，以修调运放
8. 配置 OPA 的输入输出端口
9. 开启 OPA，进行正常地运算放大功能

样例代码如下：

```
/******  
** \brief OPA1_Config  
**  
** \param [in] none  
** \return none  
** \note  
*****/  
void OPA1_Config(void)  
{  
    uint32_t AdjData;  
  
    /*OPA 时钟使能*/  
    SYS_EnablePeripheralClk(SYS_CLK_OPA_PGA_MSK);  
  
    /*获取 OPA 调节值*/  
    AdjData = OPA_GetAutoAdjustResult(OPA1);  
  
    /*获取 OPA 运行模式*/  
    OPA_ConfigRunMode(OPA1,OPA_FIL_OPA);  
  
    /*配置 OP1 正端输入*/  
    OPA_ConfigPositive(OPA1, OPA_POSSEL_P);  
}
```



```
/*配置 OP1 负端输入*/
```

```
OPA_ConfigNegative(OPA1, OPA_NEGSEL_N);
```

```
/*配置 OP1 输出端*/
```

```
OPA_ConfigOutput(OPA1, OPA_OUTSEL_O);
```

```
/*配置电压调节模式*/
```

```
OPA_EnableOPADJAdjust(OPA1,AdjData);
```

```
/*配置 OP IO 口*/
```

```
SYS_SET_IOCFG(IOP21CFG,SYS_IOCFG_P21_OP1P);
```

```
SYS_SET_IOCFG(IOP17CFG,SYS_IOCFG_P17_OP1N);
```

```
SYS_SET_IOCFG(IOP16CFG,SYS_IOCFG_P16_OP1O);
```

```
/*开启 OP1*/
```

```
OPA_Start(OPA1);
```

```
}
```

5. 注意事项

在使用 CMS32F033 内置运算放大器时有以下几点需要注意：

1. 内置运放的输出电流为 2mA，因而运放的输入电阻和反馈电阻尽量大一些，以减小运放的自身损耗；（以 10 倍增益的同相放大电路为例，输入电阻可选择 2K，反馈电阻可选择 20K）
2. 内置运放的输出电压至少在 350mV 以上才能保证正常工作，因而对于放大小信号的场合，需要在输入端添加直流偏置；
3. 内置运放没有采用轨对轨的结构，运放工作电压为 5V 时，共模输入电压 VCM 的范围为 0~3.7V，使用时请注意输入电压不要超过这个范围；
4. 该运放输出电压范围为：0.3V~(VDD-0.3)，使用时请注意不要超过输出范围，导致波形失真；
5. 运放的压摆（SR）跟负载直接相关，负载电容为 30pf 时，压摆可达 5V/us；负载电容为 100pf 时，输出电容为 4V/us，请根据应用场合选择合适的负载电容；（选择电容时需要考虑寄生电容的影响）
6. 由于此版内置的运放无法输出负电压，因而采用反相放大电路时，输入信号需要是负压，才能保证运放的正常工作；
7. 运放失调电压可以使用 CONFIG 对应的失调电压（出厂时已调至最佳值），也可以由调节位进行再次调节，选择方式由写入 运放调节位选择寄存器 OPnADJE OPn 的值决定。
 - a) 写入 AAH：由失调电压调节位决定；
 - b) 写入其他值：由 CONFIG 相关位决定。

失调电压调节位为运放控制寄存器 OPnCON1 OPnADJ<4:0>，其值范围为 0~31。考虑到用户在极少数情况和特定条件下进行修调时，有可能存在难以达到用户期望的修调值情况，建议用户在使用过程中，直接使用内部 CONFIG 对应的失调电压即可（出厂时已调至最佳值）。

6. 其他信息

更多信息，请登录中微半导体网站查看 <http://www.mcu.com.cn>

7. 版本修订说明

版本号	时间	修改内容
V1.0.0	2019 年 7 月	初始版本
V1.0.1	2020 年 12 月	更改为新格式
V1.0.2	2021 年 3 月	修正电压跟随器的框图
V1.0.3	2022 年 9 月	章节 5 注意事项：新增注意事项 7