

R X 3 2 x 6 x x 应用笔记

文档编号：AN00016

典型运算放大器的配置方法

版本：V1.0

目录

1 简介	5
2 常见运放的配置步骤	6
2.1 非反相放大器	6
2.1.1 PGA 模式	6
2.1.2 独立模式（仅 OPAMP3）	8
2.2 电压跟随器模式	10
2.3 反相放大器	12
2.3.1 PGA 模式	12
2.4 差分放大器	15
2.4.1 PGA 模式	15
2.4.2 独立模式（仅 OPAMP3）	19
2.5 加法器（仅 OPAMP3）	21
2.6 减法器（仅 OPAMP3）	23
2.7 OPAMP3 P 端偏置电压的选择	25
3 版本历史	27

表目录

表 3.1 版本历史	27
------------------	----

图目录

图 2.1 OPAMP3 PGA 模式下的非反相放大	6
图 2.2 OPAMP3 PGA 模式非反相放大验证	7
图 2.3 OPAMP3 独立模式下的非反相放大器	8
图 2.4 OPAMP3 独立模式非反相放大验证	9
图 2.5 OPAMP3 电压跟随器模式	10
图 2.6 OPAMP3 电压跟随器模式验证	11
图 2.7 OPAMP3 PGA 模式下的反相放大	13
图 2.8 OPAMP3 PGA 模式偏置选择 $V_{REFBUF}/2$	14
图 2.9 OPAMP3 PGA 模式反相放大验证	14
图 2.10 OPAMP3 PGA 模式下的差分放大	15
图 2.11 OPAMP3 PGA 模式差分放大验证	16
图 2.12 OPAMP3 PGA 模式下的伪差分	17
图 2.13 OPAMP3 独立模式下的伪差分验证	18
图 2.14 OPAMP3 独立模式下的差分放大	19
图 2.15 OPAMP3 独立模式下的差分放大验证	20
图 2.16 OPAMP3 加法器	21
图 2.17 OPAMP3 加法器验证	22
图 2.18 OPAMP3 减法器	23
图 2.19 OPAMP3 减法器 $V1 > V2$	24
图 2.20 OPAMP3 PGA 模式下 (P 端输入外接偏置电压)	25
图 2.21 OPAMP3 PGA 模式	26

1 简介

6 系列提供了全新的 OPAMP 运算放大器，为了便于工程师能够快速的了解并运用，本文以 RX32S610E8P8 的 OPAMP3 为例，介绍了如何使用 6 系列的 OPAMP 实现电压跟随器、加法器、减法器、差分放大器、非反相放大器、反相放大器以及选择偏置电压的方法。

2 常见运放的配置步骤

2.1 非反相放大器

2.1.1 PGA 模式

1. OPAMP3 P 端选择 (选 VIN P2: 将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VP_SEL 位置 “1”)
2. 将 OPAMP3 配置为 PGA 模式 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VM_SEL[1:0]位设置为 “01”)
3. OPAMP3 N 端选择 (选择 VIN N1: 将 OPAMP3_CSR 寄存器的 OUTCONNECT[1:0]配置为 “10”)
4. 放大倍数选择 (配置 OPAMP3_CSR 寄存器的 GAIN[1:0]位, 选择倍数 00: 5X、01: 9X、10: 13X 或 11: 17X)
5. 使能 OPAMP3 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 OPAEN 位置 “1”)

注: 1、如果要将 OPAMP3_OUT 端的信号输入到 ADC 或者 CMP, 要将 OPAMP3_CSR 寄存器的 TOINT_EN 位置 “1”

2、N 端必须接地

输出 V_{OPAMP_O} :

- V_1 与 V_- 虚短, 所以 $V_1 = V_-$;
- $V_- = IR = (V_{out}/(R_1+R_2))*R_2$, 所以 $V_1 = IR = (V_{OPAMP_O}/(R_1+R_2))*R_2$;
- 换算得出输出 $V_{OPAMP_O} = (V_1 * ((R_1+R_2)/R_2))$
- R_1 的阻值会随着 OPAMP3_CSR 寄存器的 GAIN[1:0] 的值得变化而变化 (00: 160kΩ、01: 320kΩ、10: 480kΩ 或 11: 640kΩ)
- $R_2 = 40k\Omega$
- 输出 $V_{OPAMP_O} = V_1 * (5/9/13/17)$ (GAIN[1:0] = “00”: 5X, GAIN[1:0] = “01”: 9X, GAIN[1:0] = “10”: 13X, GAIN[1:0] = “11”: 17X)

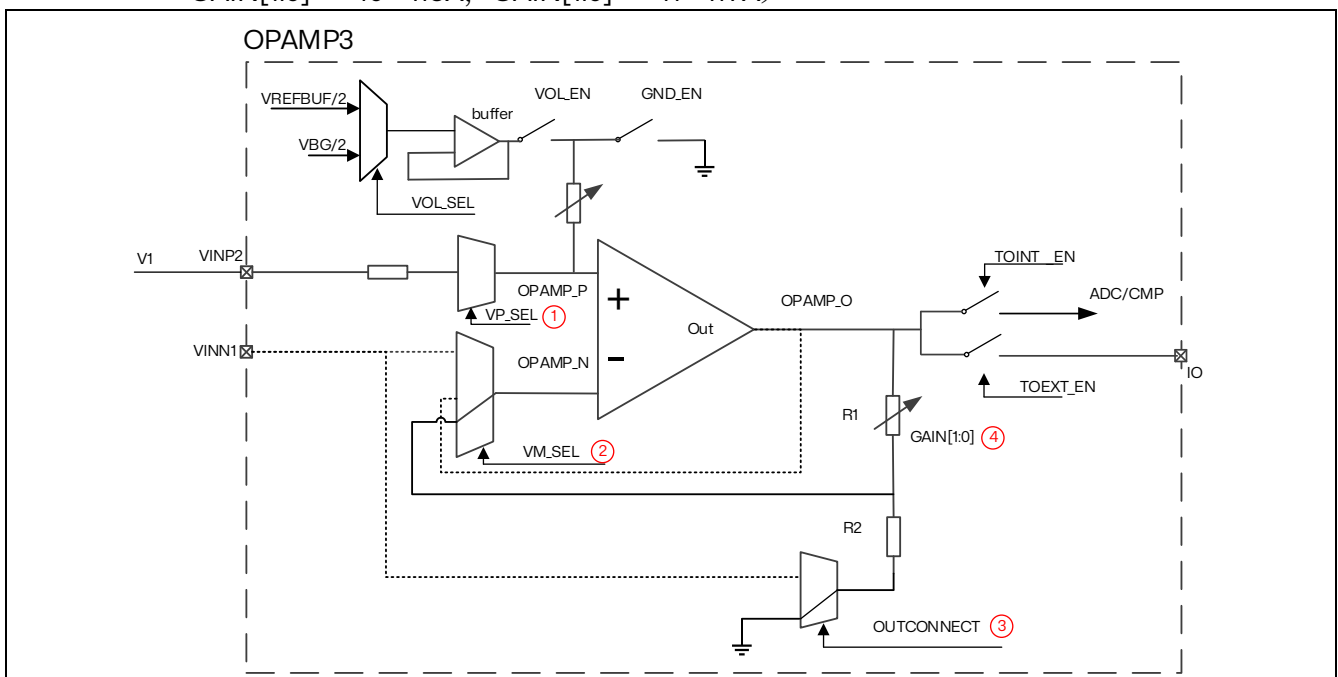


图 2.1 OPAMP3 PGA 模式下的非反相放大

OPAMP3 软件配置:

```

OPAMP_InitTypeDef OPAMP_InitStruct = {0};

OPAMP_InitStruct.VPSEL           = OPAMP_CSR_VPSEL_P2;           //P 端选择
OPAMP_InitStruct.FunctionalMode  = OPAMP_MODE_PGA;             //模式选择
OPAMP_InitStruct.OPAMP_OUTCONNECT = OPAMP_VM_TO_GND;           //OUT 端连接
OPAMP_InitStruct.TOEXT           = OPAMP_CSR_TOEXT_DISABLE;    //OUT 端输出至外部引脚(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.TOINT          = OPAMP_CSR_TOINT_ENABLE;     //OUT 端输出至内部 ADC/CMP(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.BIASMode        = OPAMP_BIAS_NONE;           //偏置选择
OPAMP_InitStruct.PGAGain         = OPAMP_GAIN_4;              //放大倍数选择 (仅 PGA 模式)
OPAMP_Init(OPAMP3, &OPAMP_InitStruct);

OPAMP_Enable(OPAMP3);
    
```

实例验证 (以 OPAMP3 为例):

P 端输入 $V_1=0.5V$, N 端内部接地, $GAIN[1:0]=“00”$: 5X,

输出 $V_{OPAMP_O} = V_1 * GAIN = 0.5 * 5 = 2.5V$



图 2.2 OPAMP3 PGA 模式非反相放大验证

2.1.2 独立模式 (仅 OPAMP3)

1. OPAMP3 P 端选择, 选择 VIN P2 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VP_SEL 位置 “1”)
2. OPAMP3 N 端选择, 选择 VIN N1 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VM_SEL[1:0]位设置为 “11”)
3. 使能 OPAMP3 输出至外部 IO 引脚 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 TOEXT_EN 位置 “1”)
4. 使能 OPAMP3 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 OPAEN 位置 “1”)

注: 1、如果要将 OPAMP3_OUT 端的信号输入到 ADC 或者 CMP, 要将 OPAMP3_CSR 寄存器的 TOINT_EN 位置 “1”

2、电路可参照下图。

3、N 端必须接地

4、 $R1 = R2$ (可根据不同的放大需求进行变换)

输出 V_{OPAMP_O} :

- $V1$ 与 V^- 虚短, 所以 $V1 = V^-$;
- $V^- = IR = (V_{OPAMP_O} / (R1 + R2)) * R2$, 所以 $V1 = IR = (V_{OPAMP_O} / (R1 + R2)) * R2$;
- 换算得出输出 $V_{OPAMP_O} = (V1 * ((R1 + R2) / R2))$

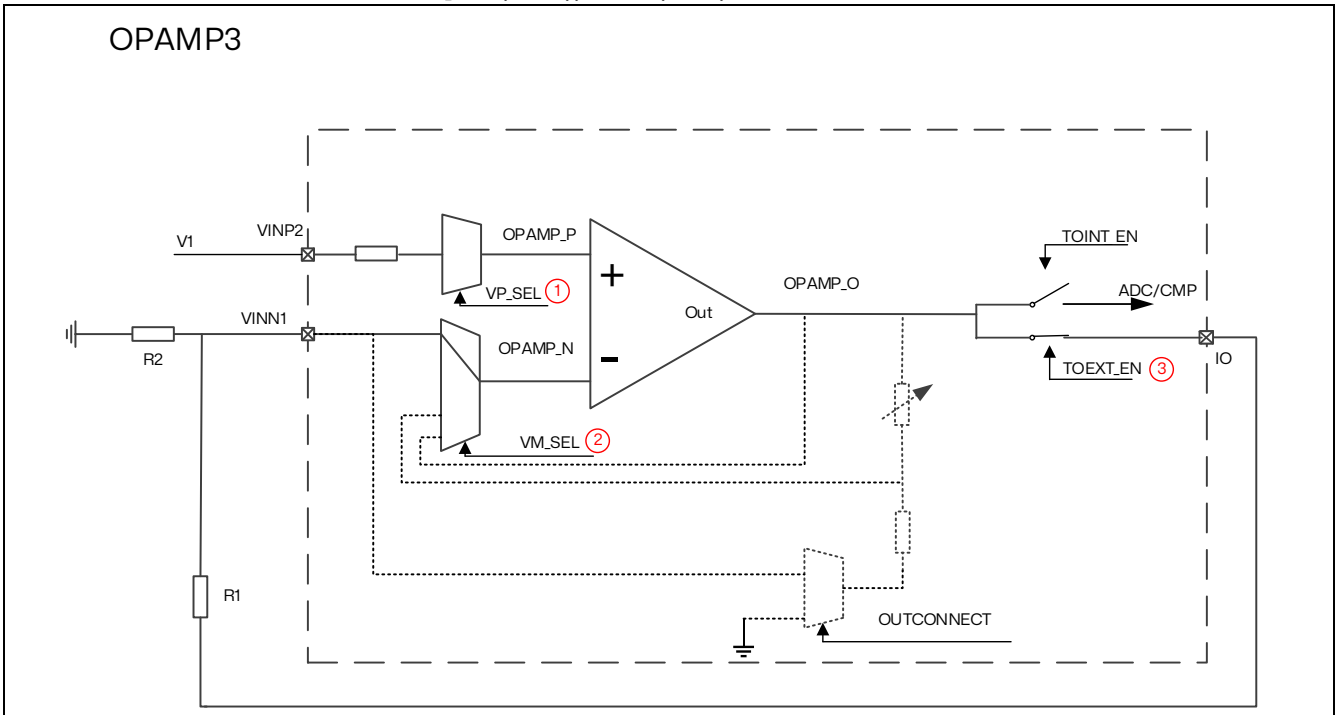


图 2.3 OPAMP3 独立模式下的非反相放大器

软件配置:

```

OPAMP_InitTypeDef OPAMP_InitStruct = {0};

OPAMP_InitStruct.VPSEL           = OPAMP_CSR_VPSEL_P2;      //P 端选择
OPAMP_InitStruct.FunctionalMode   = OPAMP_MODE_OPA;        //模式选择
OPAMP_InitStruct.OPAMP_OUTCONNECT = OPAMP_VM_NO_CONNECT;   //OUT 端连接
OPAMP_InitStruct.TOEXT            = OPAMP_CSR_TOEXT_ENABLE; //OUT 端输出至外部引脚(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.TOINT           = OPAMP_CSR_TOINT_ENABLE; //OUT 端输出至内部 ADC/CMP(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.BIASMode        = OPAMP_BIAS_NONE;        //偏置选择
OPAMP_InitStruct.PGAGain         = OPAMP_GAIN_NONE;        //放大倍数选择 (仅 PGA 模式)
OPAMP_Init(OPAMP3, &OPAMP_InitStruct);

OPAMP_Enable(OPAMP3);
    
```

实例验证 (以 OPAMP3 为例):

P 端输入 $V_1=1V$, N 端接地, 输出 $V_{OPAMP_O} = (V_1 * ((R_1+R_2)/R_2)) = (1 * 2) = 2V$



图 2.4 OPAMP3 独立模式非反相放大验证

2.2 电压跟随器模式

配置步骤:

1. OPAMP3 P 端选择 (选 VIN P2: 将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VP_SEL 位置 “1”)
2. 将 OPAMP3 配置成电压跟随器模式 (OPAMP3_CSR 寄存器的 VM_SEL[1:0]位设置为 “10”)
3. 使能 OPAMP3 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 OPAEN 位置 “1”)

注: 1、输出 $V_{OPAMP_O} = V_1$

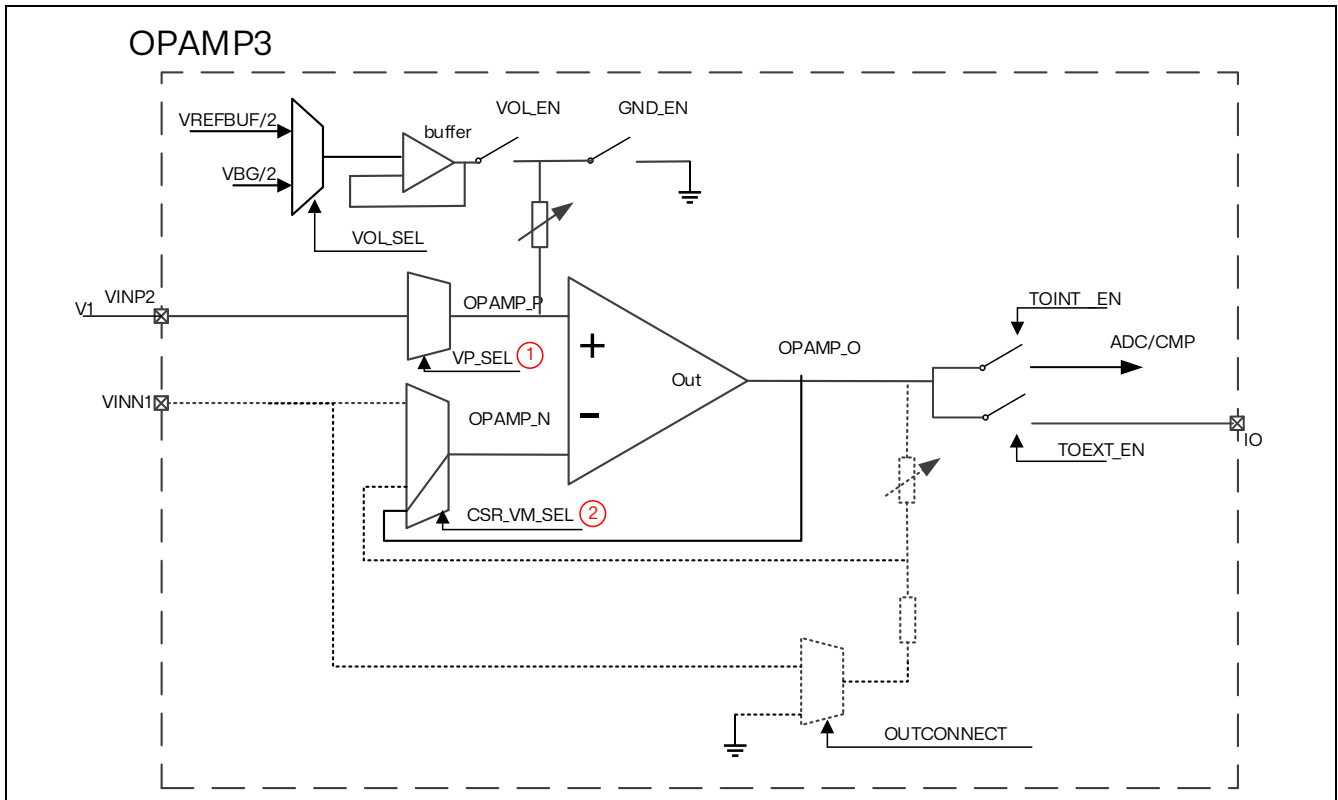


图 2.5 OPAMP3 电压跟随器模式

OPAMP3 软件配置:

```

OPAMP_InitTypeDef OPAMP_InitStruct = {0};

OPAMP_InitStruct.VPSEL           = OPAMP_CSR_VPSEL_P2;           //P 端选择
OPAMP_InitStruct.FunctionalMode  = OPAMP_MODE_FOLLOW;           //模式选择
OPAMP_InitStruct.OPAMP_OUTCONNECT = OPAMP_VM_NO_CONNECT;        //OUT 端连接
OPAMP_InitStruct.TOEXT           = OPAMP_CSR_TOEXT_DISABLE;     //OUT 端输出至外部引脚(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.TOINT           = OPAMP_CSR_TOINT_ENABLE;      //OUT 端输出至内部 ADC/CMP(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.BIASMode        = OPAMP_BIAS_NONE;             //偏置选择
OPAMP_InitStruct.PGAGain         = OPAMP_GAIN_NONE;             //放大倍数选择 (仅 PGA 模式)
OPAMP_Init(OPAMP3, &OPAMP_InitStruct);

OPAMP_Enable(OPAMP3);
    
```

实例验证 (以 OPAMP3 为例):

P 端输入 $V1=2V$, 输出 $V_{OPAMP_O} = V1 = 2V$

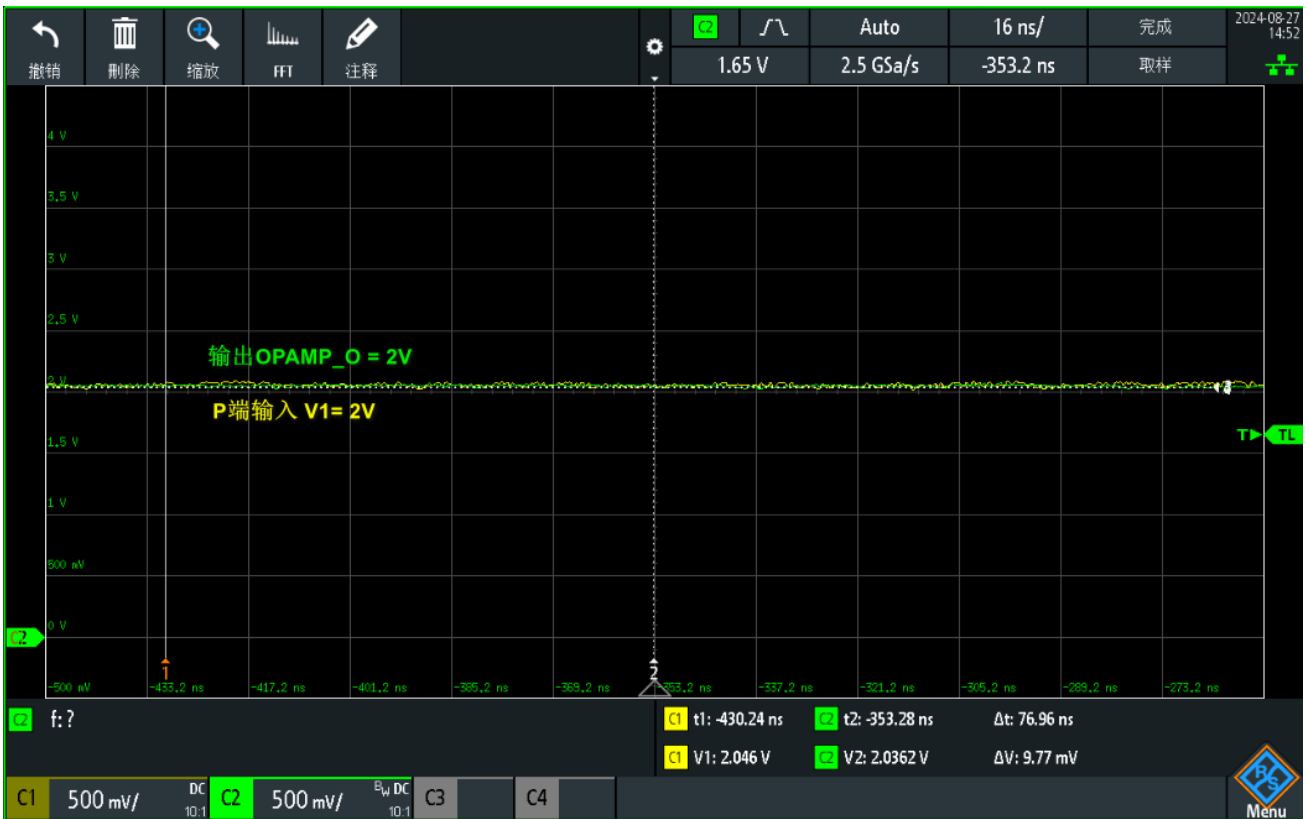


图 2.6 OPAMP3 电压跟随器模式验证

2.3 反相放大器

注意：反相放大器必须选择P 端输入外接偏置电压（偏置电压只能在PGA 模式下使用），否则输出为0

2.3.1 PGA 模式

1. OPAMP3 P 端选择（选 VIN P2：将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VP_SEL 位置“1”）
2. P 端输入外接偏置电压（OPAMP3_BIAS 寄存器的 VOL_EN 位）
3. 选择偏置电压 VREFBUF/2(不同芯片的 VREFBUF 值存在一定的差异)（配置 OPAMP3_BIAS 寄存器的 VOL_SEL 位选择偏执电压为 VBG/2 或 VREFBUF/2）
4. 将 OPAMP3 配置为 PGA 模式（将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VM_SEL[1:0]位设置为“01”）
5. OPAMP3 N 端选择（选择 VIN N1：将 OPAMP3_CSR 寄存器的 OUTCONNECT[1:0]配置为“10”）
6. 放大倍数选择（配置 OPAMP3_CSR 寄存器的 GAIN[1:0]位，选择倍数 00：4X、01：8X、10：12X 或 11：16X）
7. 使能偏置电压缓冲器（将 OPAMP3_BIAS 寄存器的 VBGINT_EN 位置 1）
8. 使能 OPAMP3（将 OPAMP3_CSR 寄存器的 OPAEN 位置“1”）

注：1、如果需要将 OPAMP3_OUT 端的信号输入到 ADC 或者 CMP，要将 OPAMP3_CSR 寄存器的 TOINT_EN 位置“1”

2、P 端必须接地

输出 V_{OPAMP_O} ：

- 同相端和反相虚短，所以 $V_1 = V_- = 0$ ；
- 反相输入端虚断，所以 $I_{R1} = I_{R2}$ ，所以 $(V_1 - V_-) / R_2 = ((V_-) - V_{OPAMP_O}) / R_1$
- 换算得出输出 $V_{OPAMP_O} = (V_1 * -(R_1/R_2))$
- R1 的阻值会随着 OPAMP3_CSR 寄存器的 GAIN[1:0]的值得变化而变化（00：160kΩ、01：320kΩ、10：480kΩ或 11：640kΩ）
- $R_2 = 40k\Omega$
- $V_{OPAMP_O} = (-V_1 * GAIN) + \text{偏置电压}$ （GAIN[1:0]= 00：4X、01：8X、10：12X 或 11：16X）

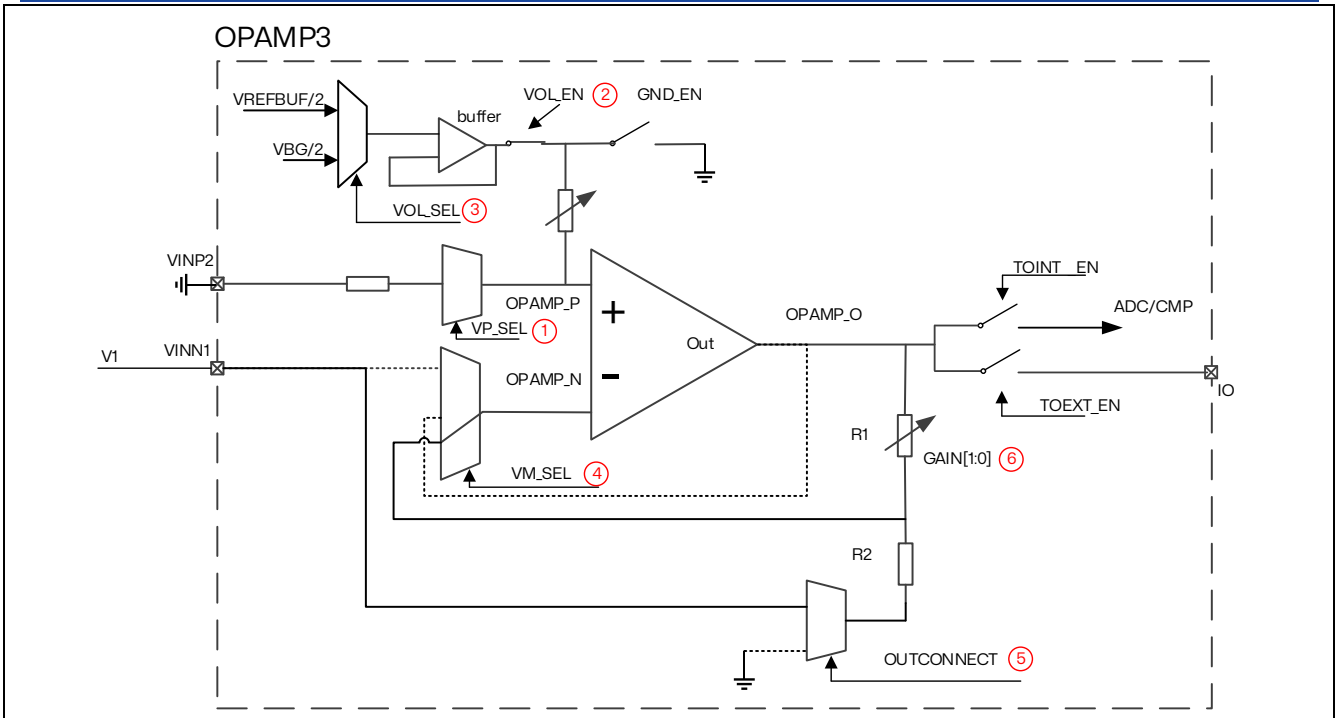


图 2.7 OPAMP3 PGA 模式下的反相放大

OPAMP3 软件配置:

```

OPAMP_InitTypeDef OPAMP_InitStruct = {0};

OPAMP_InitStruct.VPSEL           = OPAMP_CSR_VPSEL_P2;           //P 端选择
OPAMP_InitStruct.FunctionalMode  = OPAMP_MODE_PGA;              //模式选择
OPAMP_InitStruct.OPAMP_OUTCONNECT = OPAMP_VM_TO_VIN1;           //OUT 端连接
OPAMP_InitStruct.TOEXT           = OPAMP_CSR_TOEXT_DISABLE;     //OUT 端输出至外部引脚(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.TOINT           = OPAMP_CSR_TOINT_ENABLE;      //OUT 端输出至内部 ADC/CMP(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.BIASMode        = OPAMP_BIAS_VREF;             //偏置选择
OPAMP_InitStruct.PGAGain         = OPAMP_GAIN_4;                //放大倍数选择 (仅 PGA 模式)
OPAMP_Init(OPAMP3, &OPAMP_InitStruct);

OPAMP_Enable(OPAMP3);
    
```

实例验证 (以 OPAMP3 为例):

P 端内部接地, N 端输入 $V1=0V$, 偏置选择 $VREFBUF/2=1.39V$, $GAIN[1:0]=“00”$: 4X,
 输出 $V_{OPAMP_O} = (-V1 * GAIN) + 偏置电压 = (-0 * 4) + 1.39 = 1.39V$



图 2.8 OPAMP3 PGA 模式偏置选择 $VREFBUF/2$

P 端内部接地, N 端输入 $V1=0.1V$, 偏置选择 $VREFBUF/2=1.39V$, $GAIN[1:0]=“00”$: 4X,
 输出 $V_{OPAMP_O} = -0.1 * 4 + 1.39 = 0.99V$

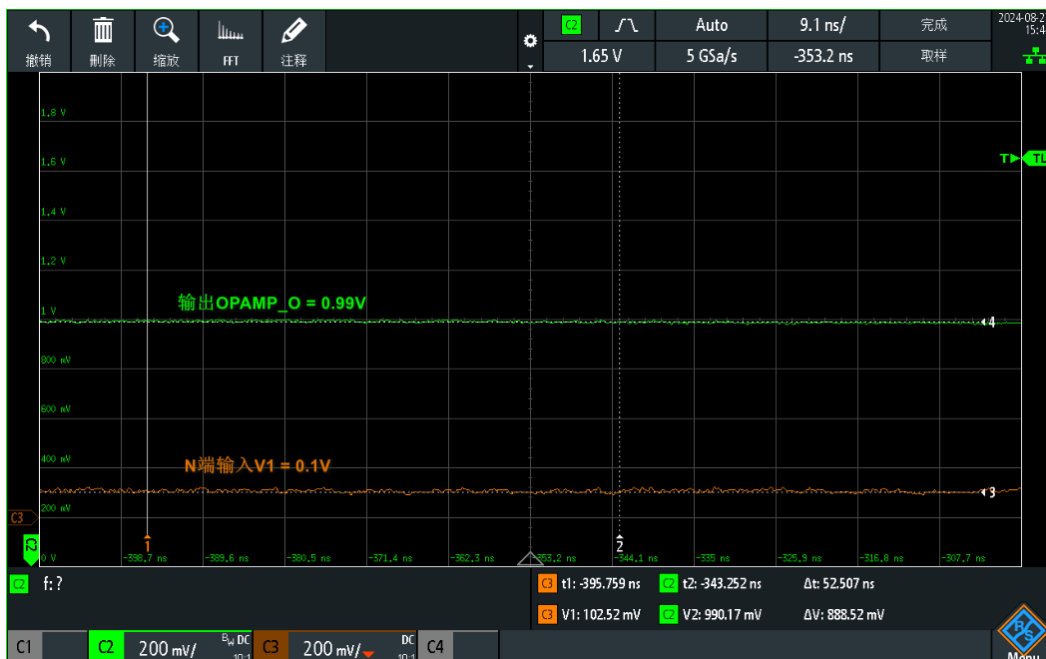


图 2.9 OPAMP3 PGA 模式反相放大验证

2.4 差分放大器

2.4.1 PGA 模式

2.4.1.1 差分放大

1. OPAMP3 P 端选择 (选 VIN P2: 将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VP_SEL 位置 “1”)
2. 选择 P 端输入外接偏置 GND (OPAMP3_BIAS 寄存器的 GND_EN 位置 “1”)
3. 将 OPAMP3 配置为 PGA 模式 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VM_SEL[1:0]位设置为 “01”)
4. OPAMP3 N 端选择 (选择 VIN N1: 将 OPAMP3_CSR 寄存器的 OUTCONNECT[1:0]配置为 “10”)
5. 放大倍数选择 (配置 OPAMP3_CSR 寄存器的 GAIN[1:0]位, 选择倍数 4X、8X、12X 或 16X)
6. 使能 OPAMP3 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 OPAEN 位置 “1”)

注: 1、如果要将 OPAMP3_OUT 端的信号输入到 ADC 或者 CMP, 要将 OPAMP3_CSR 寄存器的 TOINT_EN 位置 “1”

输出 V_{OPAMP_O} :

- 假设 V_2 接地, 那么该电路就相当于一个非反相放大电路, $V_{OUT1} = V_1 * (R_2 / (R_1 + R_2)) * (1 + R_4 / R_3)$
- 假设 V_1 接地, 那么该电路就相当于一个反相放大电路, $V_{OUT2} = -V_2 * (R_4 / R_3)$
- 所以 $V_{OPAMP_O} = V_{OUT1} + V_{OUT2} = V_1 * (R_2 / (R_1 + R_2)) * (1 + R_4 / R_3) - V_2 * (R_4 / R_3)$
- R_4 的阻值会随着 OPAMP3_CSR 寄存器的 GAIN[1:0] 的值得变化而变化 (00: 160kΩ、01: 320kΩ、10: 480kΩ 或 11: 640kΩ)
- $R_3 = 40k\Omega$
- 当 $R_1 = R_3, R_2 = R_4$, 输出 $V_{OPAMP_O} = (V_1 - V_2) * (R_4 / R_3) = (V_1 - V_2) * (GAIN)$

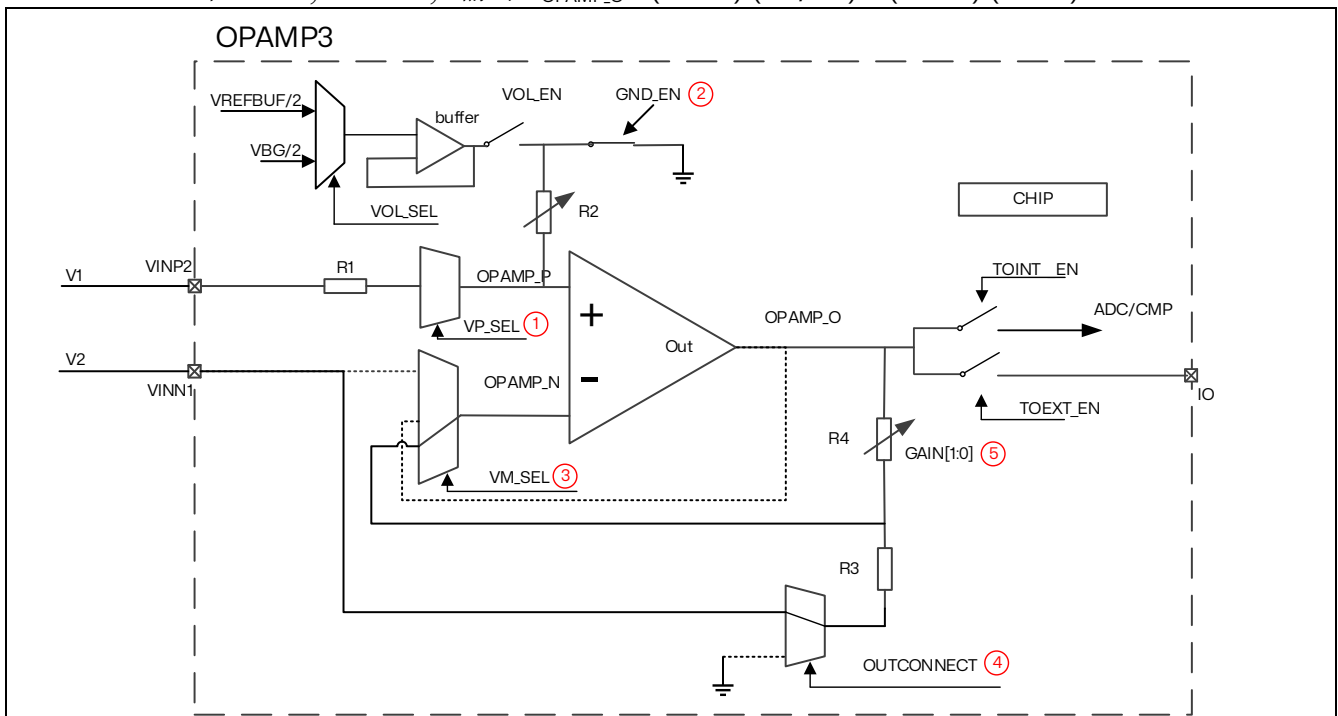


图 2.10 OPAMP3 PGA 模式下的差分放大

OPAMP3 软件配置:

```

OPAMP_InitTypeDef OPAMP_InitStruct = {0};

OPAMP_InitStruct.VPSEL           = OPAMP_CSR_VPSEL_P2;      //P 端选择
OPAMP_InitStruct.FunctionalMode  = OPAMP_MODE_PGA;          //模式选择
OPAMP_InitStruct.OPAMP_OUTCONNECT = OPAMP_VM_TO_VIN1;       //OUT 端连接
OPAMP_InitStruct.TOEXT           = OPAMP_CSR_TOEXT_DISABLE; //OUT 端输出至外部引脚(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.TOINT           = OPAMP_CSR_TOINT_ENABLE;  //OUT 端输出至内部 ADC/CMP(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.BIASMode        = OPAMP_BIAS_GND;          //偏置选择
OPAMP_InitStruct.PGAGain         = OPAMP_GAIN_4;            //放大倍数选择 (仅 PGA 模式)
OPAMP_Init(OPAMP3, &OPAMP_InitStruct);

OPAMP_Enable(OPAMP3);
    
```

实例验证 (以 OPAMP3 为例):

P 端输入 $V1=0.5V$, N 端输入 $V2=0.25V$, $GAIN=4$,
 输出 $V_{OPAMP_O} = ((V1 - V2) * GAIN) = ((0.5 - 0.25) * 4) = 1V$

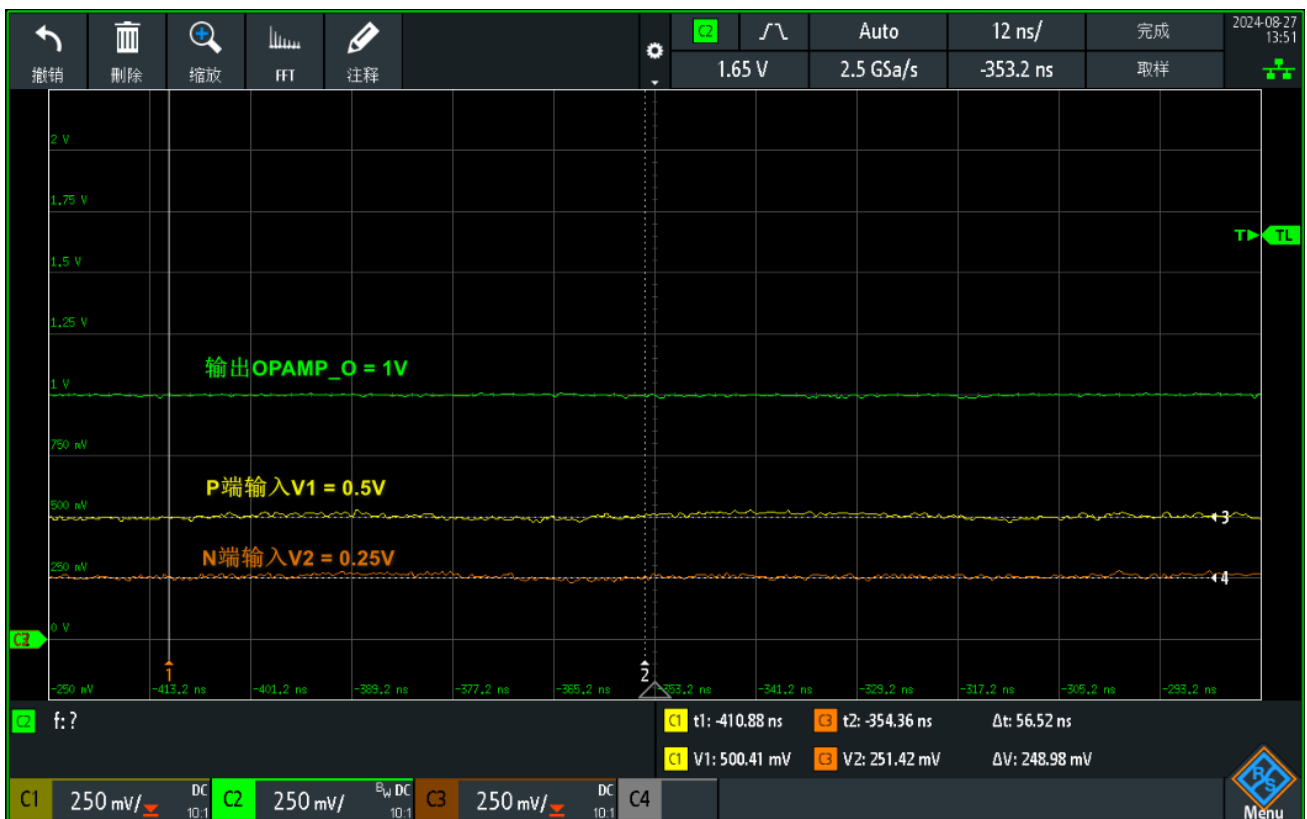


图 2.11 OPAMP3 PGA 模式差分放大验证

2.4.1.2 伪差分 (N 端内部接地)

1. OPAMP3 P 端选择 (仅 OPAMP3) (选 VIN P2: 将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VP_SEL 位置 “1”)
2. 选择 P 端输入外接偏置 GND (OPAMP3_BIAS 寄存器的 GND_EN 位置 “1”)
3. 将 OPAMP3 配置为 PGA 模式 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VM_SEL[1:0]位设置为 “01”)
4. OPAMP3 N 端接地 (选择 VIN N1: 将 OPAMP3_CSR 寄存器的 OUTCONNECT[1:0]配置为 “01”;))
5. 放大倍数选择 (配置 OPAMP3_CSR 寄存器的 GAIN[1:0]位, 选择倍数 4X、8X、12X 或 16X)
6. 使能 OPAMP3 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 OPAEN 位置 “1”)

注: 1、如果要将 OPAMP3_OUT 端的信号输入到 ADC 或者 CMP, 要将 OPAMP3_CSR 寄存器的 TOINT_EN 位置 “1”

2、输出 $V_{OPAMP_O} = (V1 * GAIN)$ (推导过程同差分)

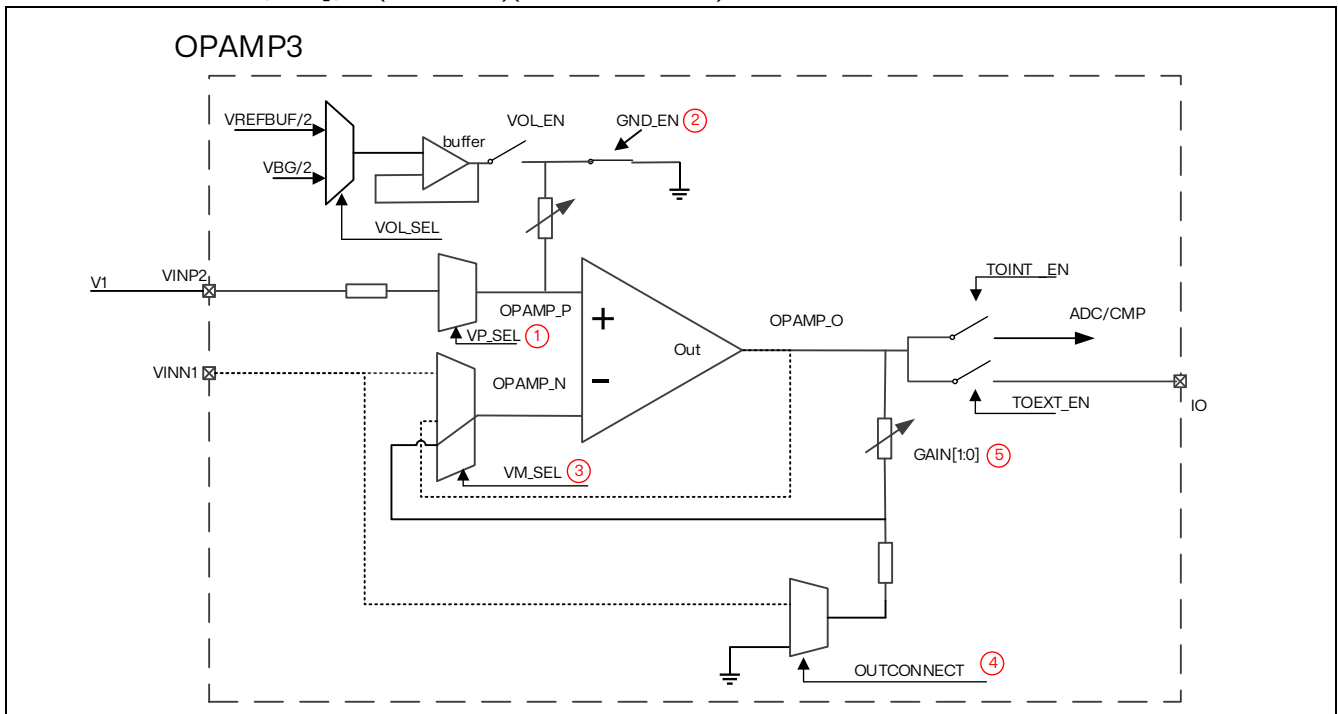


图 2.12 OPAMP3 PGA 模式下的伪差分

OPAMP3 软件配置:

```

OPAMP_InitTypeDef OPAMP_InitStruct = {0};

OPAMP_InitStruct.VPSEL           = OPAMP_CSR_VPSEL_P2;           //P 端选择
OPAMP_InitStruct.FunctionalMode  = OPAMP_MODE_PGA;              //模式选择
OPAMP_InitStruct.OPAMP_OUTCONNECT = OPAMP_VM_TO_GND;            //OUT 端连接
OPAMP_InitStruct.TOEXT           = OPAMP_CSR_TOEXT_DISABLE;    //OUT 端输出至外部引脚(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.TOINT          = OPAMP_CSR_TOINT_ENABLE;      //OUT 端输出至内部 ADC/CMP(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.BIASMode        = OPAMP_BIAS_GND;              //偏置选择
OPAMP_InitStruct.PGAGain         = OPAMP_GAIN_4;                //放大倍数选择 (仅 PGA 模式)
OPAMP_Init(OPAMP3, &OPAMP_InitStruct);

OPAMP_Enable(OPAMP3);
    
```

实例验证 (以 OPAMP3 为例):

P 端输入 $V1 = 0.5\text{ V}$, N 端内部接地, $\text{GAIN} = 4$, 输出 $V_{\text{OPAMP_O}} = (V1 * \text{GAIN}) = (0.5 * 4) = 2\text{ V}$

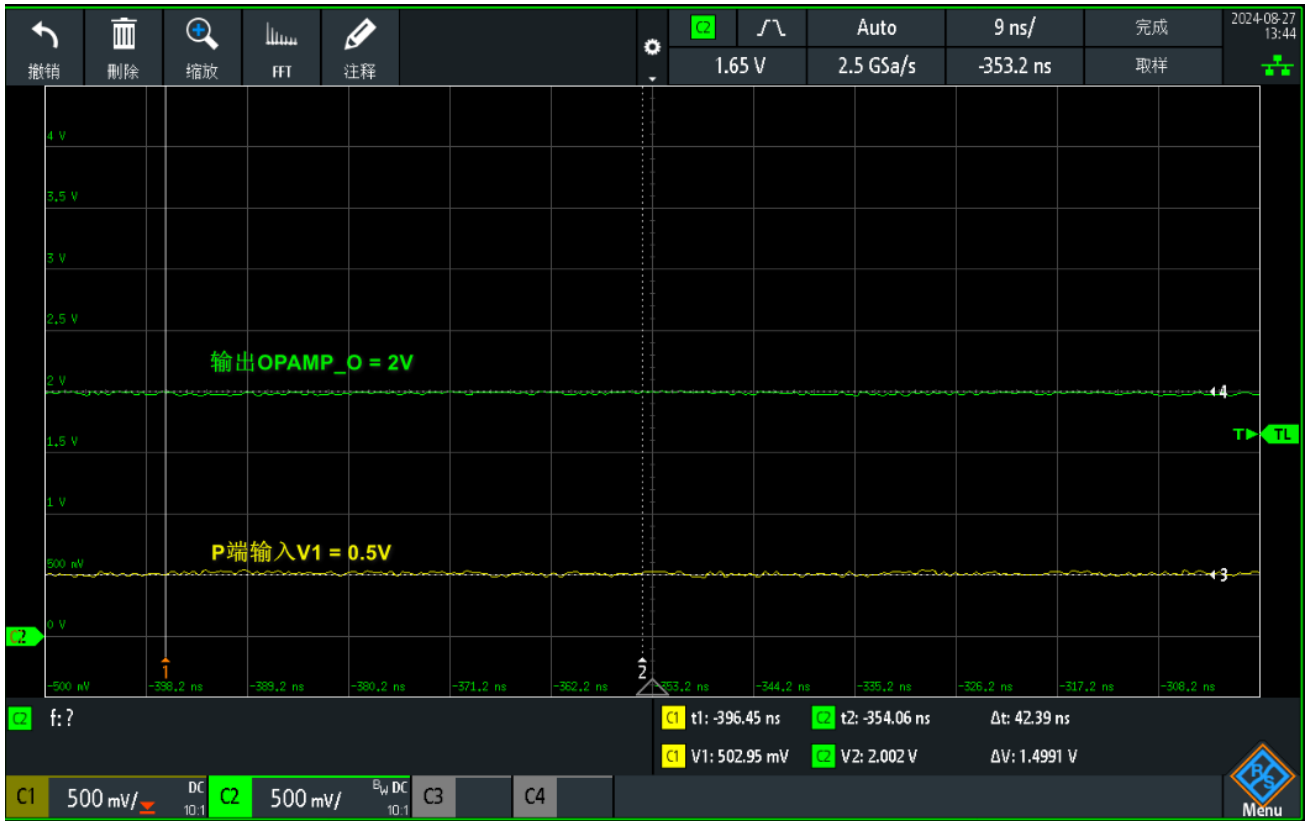


图 2.13 OPAMP3 独立模式下的伪差分验证

2.4.2 独立模式 (仅 OPAMP3)

1. OPAMP3 P 端选择, 选择 VIN P2 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VP_SEL 位置 “1”)
2. 选择 P 端输入外接偏置 GND (OPAMP3_BIAS 寄存器的 GND_EN 位置 “1”)
3. OPAMP3 N 端选择, 选择 VIN N1 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VM_SEL[1:0]位设置为 “11”)
4. 使能 OPAMP3 输出至外部 IO 引脚 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 TOEXT_EN 位置 “1”)
5. 使能 OPAMP3 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 OPAEN 位置 “1”)

注: 1、如果要将 OPAMP3_OUT 端的信号输入到 ADC 或者 CMP, 要将 OPAMP3_CSR 寄存器的 TOINT_EN 位置 “1”

2 电路可参照下图。

3、R1=R3, R2=R4 (R1=20 KΩ, R2=40KΩ (R2 是内嵌电阻))

V_{OPAMP_O} :

- 假设 V2 接地, 那么该电路就相当于一个非反相放大电路, $V_{OUT1} = V1 * (R2 / (R1 + R2)) * (1 + R4 / R3)$
- 假设 V1 接地, 那么该电路就相当于一个反相向放大电路, $V_{OUT2} = -V2 * (R2 / R1)$
- 所以 $V_{OPAMP_O} = V_{OUT1} + V_{OUT2} = V1 * (R2 / (R1 + R2)) * (1 + R4 / R3) - V2 * (R2 / R1)$
- 当 R1=R3, R2=R4, 输出 $V_{OPAMP_O} = (V1 - V2) * (R4 / R3)$

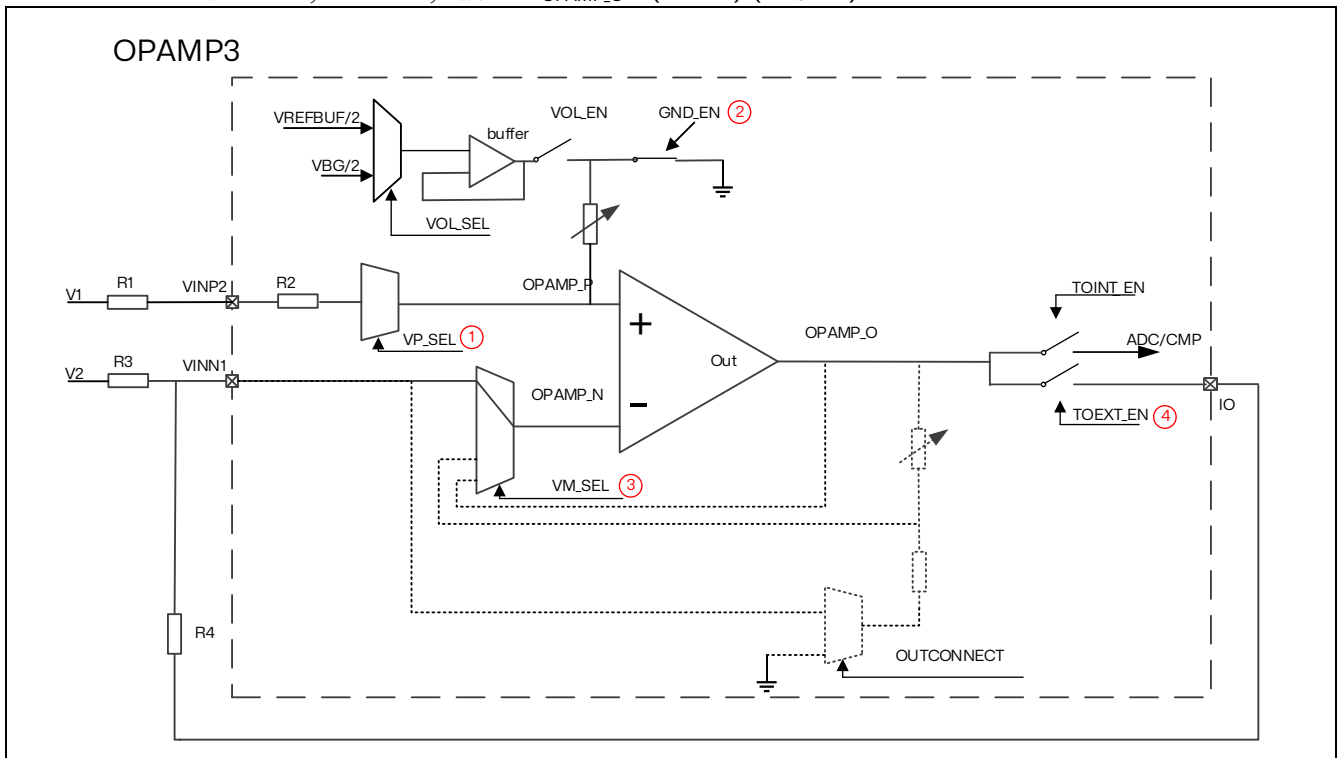


图 2.14 OPAMP3 独立模式下的差分放大

软件配置:

```

OPAMP_InitTypeDef OPAMP_InitStruct = {0};

OPAMP_InitStruct.VPSEL           = OPAMP_CSR_VPSEL_P2;           //P 端选择
OPAMP_InitStruct.FunctionalMode  = OPAMP_MODE_OPA;              //模式选择
OPAMP_InitStruct.OPAMP_OUTCONNECT = OPAMP_VM_NO_CONNECT;       //OUT 端连接
OPAMP_InitStruct.TOEXT           = OPAMP_CSR_TOEXT_ENABLE;      //OUT 端输出至外部引脚(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.TOINT           = OPAMP_CSR_TOINT_ENABLE;      //OUT 端输出至内部 ADC/CMP(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.BIASMode        = OPAMP_BIAS_GND;              //偏置选择
OPAMP_InitStruct.PGAGain         = OPAMP_GAIN_NONE;            //放大倍数选择 (仅 PGA 模式)
OPAMP_Init(OPAMP3, &OPAMP_InitStruct);

OPAMP_Enable(OPAMP3);
    
```

实例验证 (以 OPAMP3 为例):

P 端输入 $V1=1.5V$, N 端输入 $V2=0.5V$, 输出 $V_{OPAMP_O} = ((V1-V2) * (R4/R3)) = ((1.5-0.5) * 2) = 2V$

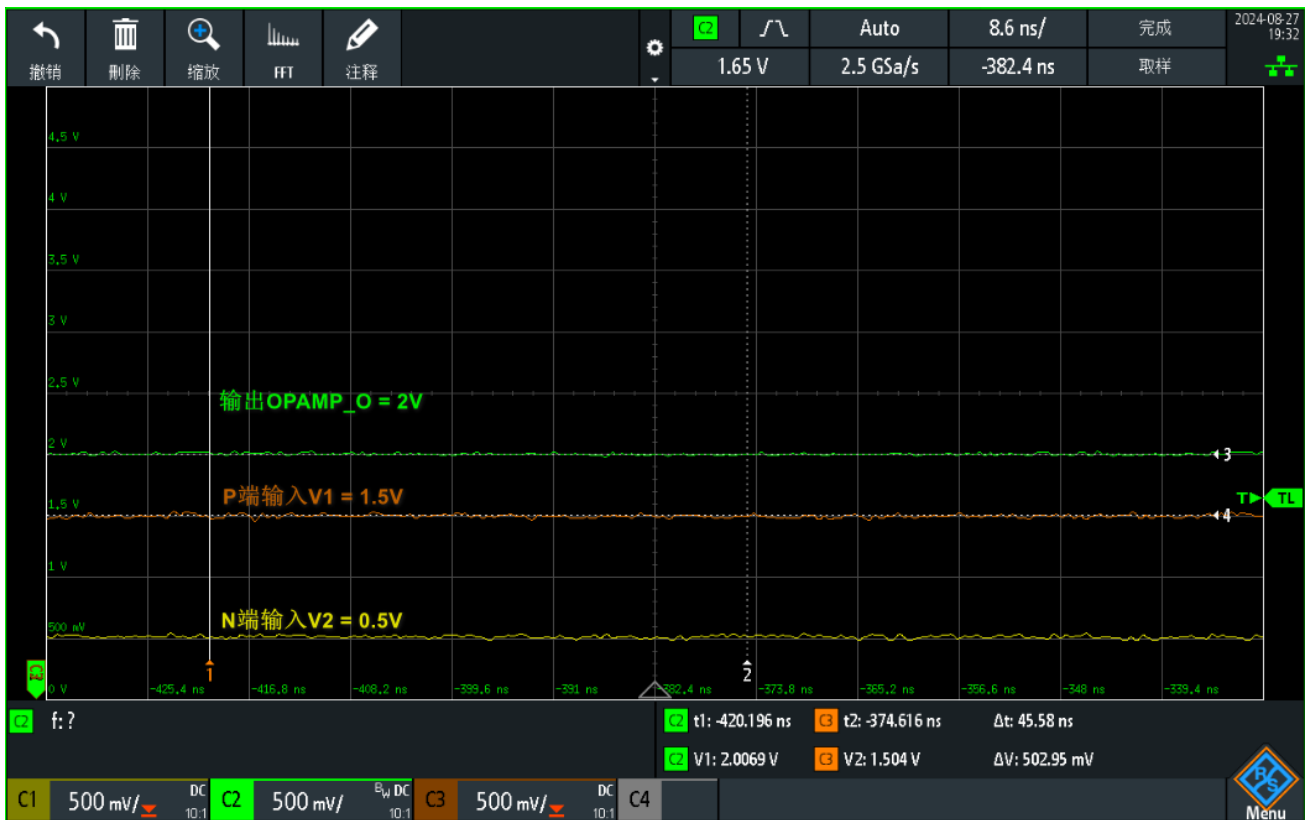


图 2.15 OPAMP3 独立模式下的差分放大验证

2.5 加法器 (仅 OPAMP3)

配置步骤:

1. OPAMP3 P 端选择, 选择 VIN P2 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VP_SEL 位置 “1”)
2. OPAMP3 N 端选择, 选择 VIN N1 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VM_SEL[1:0]位设置为 “11”)
3. 使能 OPAMP3 输出至外部 IO 引脚 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 TOEXT_EN 位置 “1”)
4. 使能 OPAMP3 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 OPAEN 位置 “1”)

注: 1、如果要将 OPAMP3_OUT 端的信号输入到 ADC 或者 CMP, 要将 OPAMP3_CSR 寄存器的 TOINT_EN 位置 “1”

2、电路可参照下图。

输出 V_{OPAMP_O} :

- P 端电压 $V_{p2} = I_p * R_{p2}$
- $I_p = I_1 + I_2 = (V_1/R_1) + (V_2/R_2)$
- $R_{p2} = R_1 \parallel R_2$, R_{p2} 为 VINP2 处的电阻值
- $R_{n1} = R_3 \parallel R_4$, R_{n1} 为 VINN1 处的电阻值
- 根据非反相放大 $V_{OPAMP_O} = (V_p * (1 + (R_3/R_4)))$,
- $V_{OPAMP_O} = ((V_1/R_1) + (V_2/R_2)) * R_p * (1 + (R_3/R_4)) = R_3 * (R_{p2}/R_{n1}) * ((V_1/R_1) + (V_2/R_2))$
- 当 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$, 输出 $V_{OPAMP_O} = V_1 + V_2$

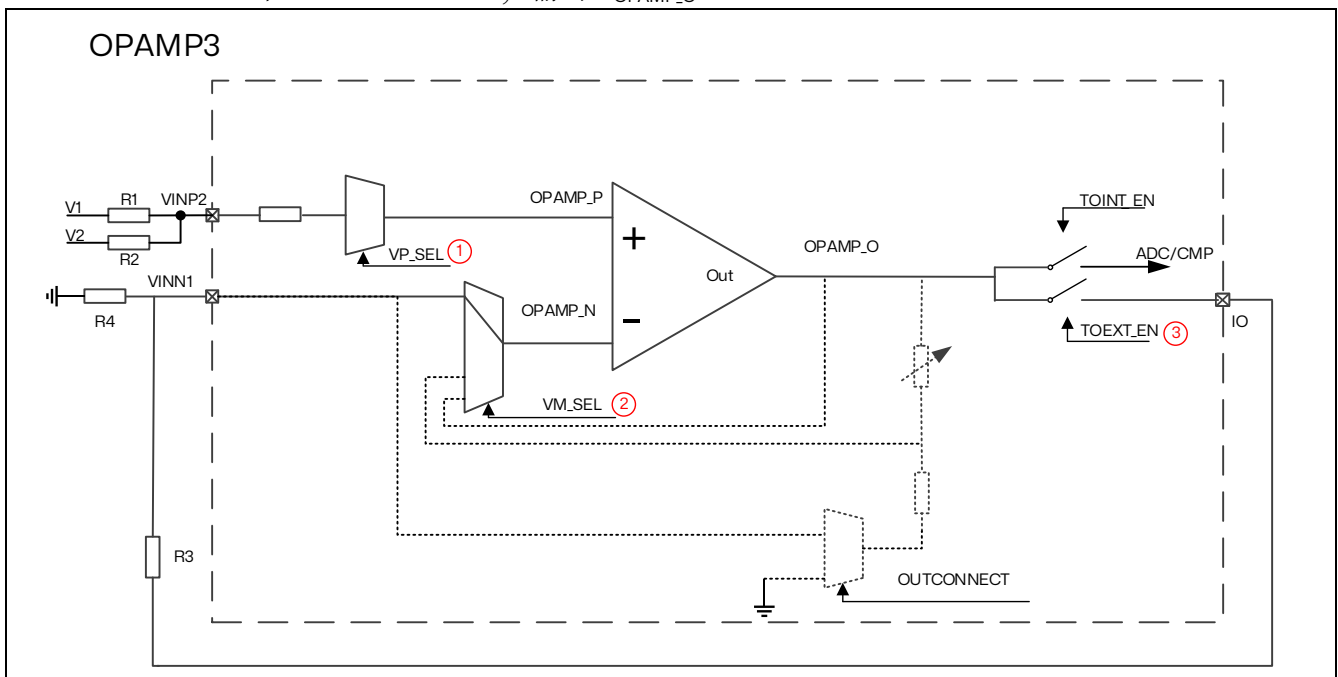


图 2.16 OPAMP3 加法器

软件配置:

```

OPAMP_InitTypeDef OPAMP_InitStruct = {0};

OPAMP_InitStruct.VPSEL          = OPAMP_CSR_VPSEL_P2;      //P 端选择
OPAMP_InitStruct.FunctionalMode = OPAMP_MODE_OPA;         //模式选择
OPAMP_InitStruct.OPAMP_OUTCONNECT = OPAMP_VM_NO_CONNECT; //OUT 端连接
OPAMP_InitStruct.TOEXT          = OPAMP_CSR_TOEXT_ENABLE; //OUT 端输出至外部引脚(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.TOINT          = OPAMP_CSR_TOINT_ENABLE; //OUT 端输出至内部 ADC/CMP(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.BIASMode       = OPAMP_BIAS_NONE;        //偏置选择
OPAMP_InitStruct.PGAGain        = OPAMP_GAIN_NONE;        //放大倍数选择 (仅 PGA 模式)
OPAMP_Init(OPAMP3, &OPAMP_InitStruct);

OPAMP_Enable(OPAMP3);
    
```

实例验证 (以 OPAMP3 为例):

P 端输入 $V1=1V$, $V2=1V$, N 端接地, 输出 $V_{OPAMP_O} = V1 + V2 = 1+1=2V$



图 2.17 OPAMP3 加法器验证

2.6 减法器 (仅 OPAMP3)

1. OPAMP3 P 端选择, 选择 VIN P2 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VP_SEL 位置 “1”)
2. OPAMP3 N 端选择, 选择 VIN N1 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VM_SEL[1:0]位设置为 “11”)
3. 使能 OPAMP3 输出至外部 IO 引脚 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 TOEXT_EN 位置 “1”)
4. 使能 OPAMP3 (将 OPAMP3_CSR 寄存器的 OPAEN 位置 “1”)

注: 1、如果要将 OPAMP3_OUT 端的信号输入到 ADC 或者 CMP, 要将 OPAMP3_CSR 寄存器的 TOINT_EN 位置 “1”

2、电路可参照下图。

输出 V_{OPAMP_O} :

- 假设 V2 接地, 那么该电路就相当于一个非反相放大电路, $V_{OUT1} = V1 * (R2 / (R1 + R2)) * (1 + R4 / R3)$
- 假设 V1 接地, 那么该电路就相当于一个反相向放大电路, $V_{OUT2} = -V2 * (R4 / R3)$
- 所以 $V_{OPAMP_O} = V_{OUT1} + V_{OUT2} = V1 * (R2 / (R1 + R2)) * (1 + R4 / R3) - V2 * (R4 / R3)$
- 当 $R1 = R3 = R2 = R4$, 输出 $V_{OPAMP_O} = (V1 - V2)$

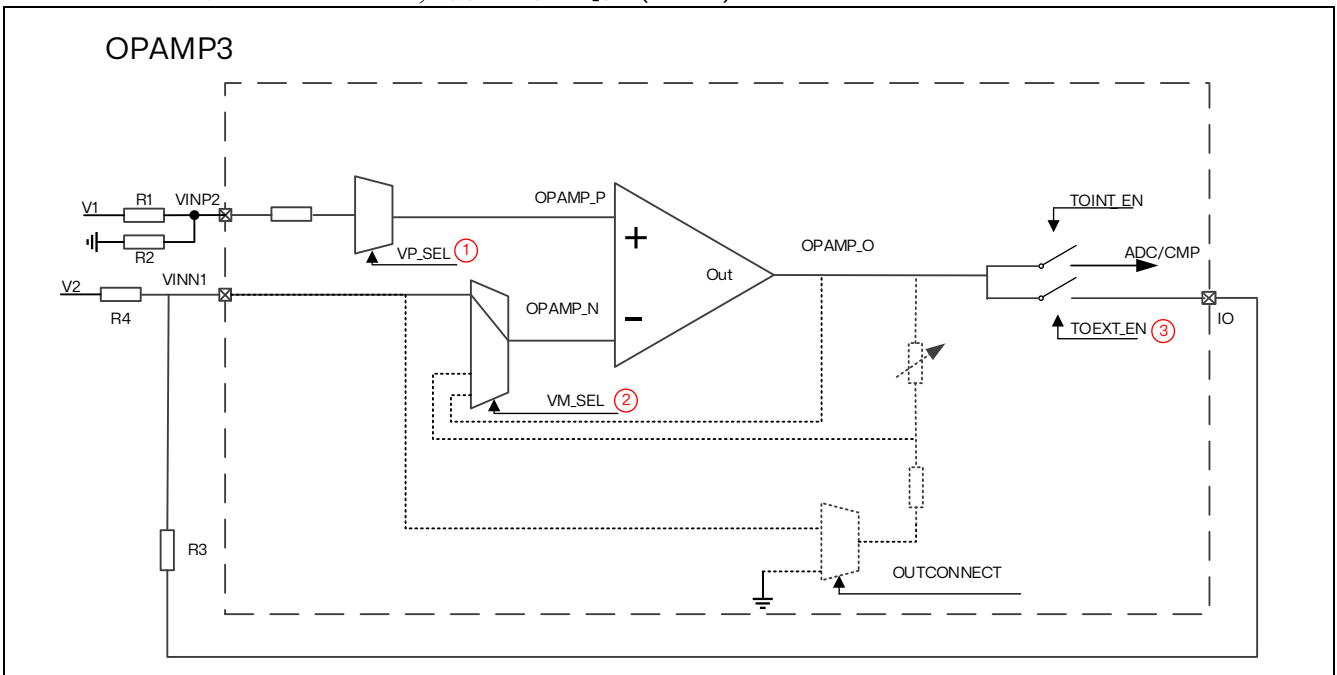


图 2.18 OPAMP3 减法器

软件配置:

```

OPAMP_InitTypeDef OPAMP_InitStruct = {0};

OPAMP_InitStruct.VPSEL           = OPAMP_CSR_VPSEL_P2;           //P 端选择
OPAMP_InitStruct.FunctionalMode  = OPAMP_MODE_OPA;              //模式选择
OPAMP_InitStruct.OPAMP_OUTCONNECT = OPAMP_VM_NO_CONNECT;       //OUT 端连接
OPAMP_InitStruct.TOEXT           = OPAMP_CSR_TOEXT_ENABLE;      //OUT 端输出至外部引脚(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.TOINT           = OPAMP_CSR_TOINT_ENABLE;      //OUT 端输出至内部 ADC/CMP(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.BIASMode        = OPAMP_BIAS_NONE;             //偏置选择
OPAMP_InitStruct.PGAGain         = OPAMP_GAIN_NONE;            //放大倍数选择 (仅 PGA 模式)
OPAMP_Init(OPAMP3, &OPAMP_InitStruct);

OPAMP_Enable(OPAMP3);
    
```

实例验证 (以 OPAMP3 为例):

P 端输入 $V1=2V$, N 端输入 $V2=1V$, 输出 $V_{OPAMP_O} = V2 - V1 = 1V$



图 2.19 OPAMP3 减法器 $V1 > V2$

2.7 OPAMP3 P 端偏置电压的选择

以 PGA 模式为例（偏置电压只能在 PGA 模式下使用）：

配置步骤：

1. OPAMP3 P 端选择，选择 VIN P2（将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VP_SEL 位置“1”）
2. P 端输入外接偏置电压（OPAMP3_BIAS 寄存器的 VOL_EN 位）
3. 选择偏置电压 VBG/2（配置 OPAMP3_BIAS 寄存器的 VOL_SEL 位选择偏执电压为 VBG/2 或 VREFBUF/2）
4. 将 OPAMP3 配置为 PGA 模式（将 OPAMP3_CSR 寄存器的 VM_SEL[1:0]位设置为“01”）
5. OPAMP3 N 端内部接地（将 OPAMP3_CSR 寄存器的 OUTCONNECT[1:0]配置为“01”）
6. 放大倍数选择（配置 OPAMP3_CSR 寄存器的 GAIN[1:0]位，选择倍数 4X、8X、12X 或 16X）
7. 使能偏置电压缓冲器（将 OPAMP3_BIAS 寄存器的 VBGINT_EN 位置 1）
8. 使能 OPAMP3（将 OPAMP3_CSR 寄存器的 OPAEN 位置“1”）

注意：1、OPAMP1 和 OPAMP2 共用一个 buffer，即当 OPAMP1 和 OPAMP2 都需要用到偏置时，它们只能选择同一偏置挡位，通过 OPAMPx_BIAS 寄存器的 VOL_SEL 位来选择接 VBG/2 还是 VREFBUF/2，OPAMP3 单独一个 buffer。

2、VBGINT_EN 和 GND_EN 不可以同时开启

3、输出 $V_{OPAMP_O} = (V_I * GAIN) + \text{偏置电压}$

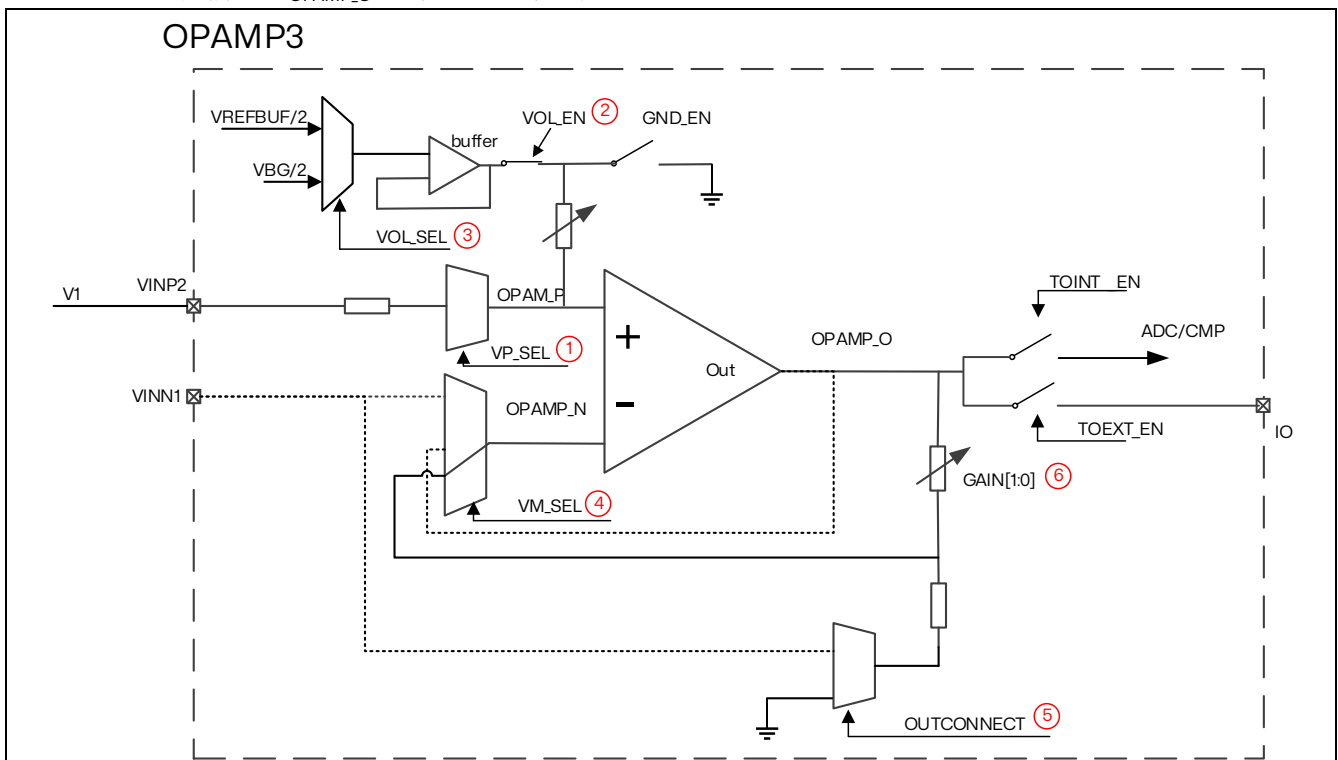


图 2.20 OPAMP3 PGA 模式下 (P 端输入外接偏置电压)

OPAMP3 软件配置:

```

OPAMP_InitTypeDef OPAMP_InitStruct = {0};

OPAMP_InitStruct.VPSEL           = OPAMP_CSR_VPSEL_P1;      //P 端选择
OPAMP_InitStruct.FunctionalMode  = OPAMP_MODE_PGA;          //模式选择
OPAMP_InitStruct.OPAMP_OUTCONNECT = OPAMP_VM_TO_GND;        //OUT 端连接
OPAMP_InitStruct.TOEXT           = OPAMP_CSR_TOEXT_DISABLE; //OUT 端输出至外部引脚(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.TOINT           = OPAMP_CSR_TOINT_ENABLE;  //OUT 端输出至内部 ADC/CMP(仅 OPAMP3)
OPAMP_InitStruct.BIASMode        = OPAMP_BIAS_VBG;          //偏置选择
OPAMP_InitStruct.PGAGain         = OPAMP_GAIN_4;            //放大倍数选择 (仅 PGA 模式)
OPAMP_Init(OPAMP3, &OPAMP_InitStruct);

OPAMP_Enable(OPAMP3);
    
```

实例验证 (以 OPAMP3 为例):

P 端输入 $V_1=0.5V$, 偏置电压 $V_{BG}/2(0.5V)$, N 端内部接地, $GAIN=4$, 输出 $V_{OPAMP_O} = (0.5 * 4) + 0.5 = 2.5V$

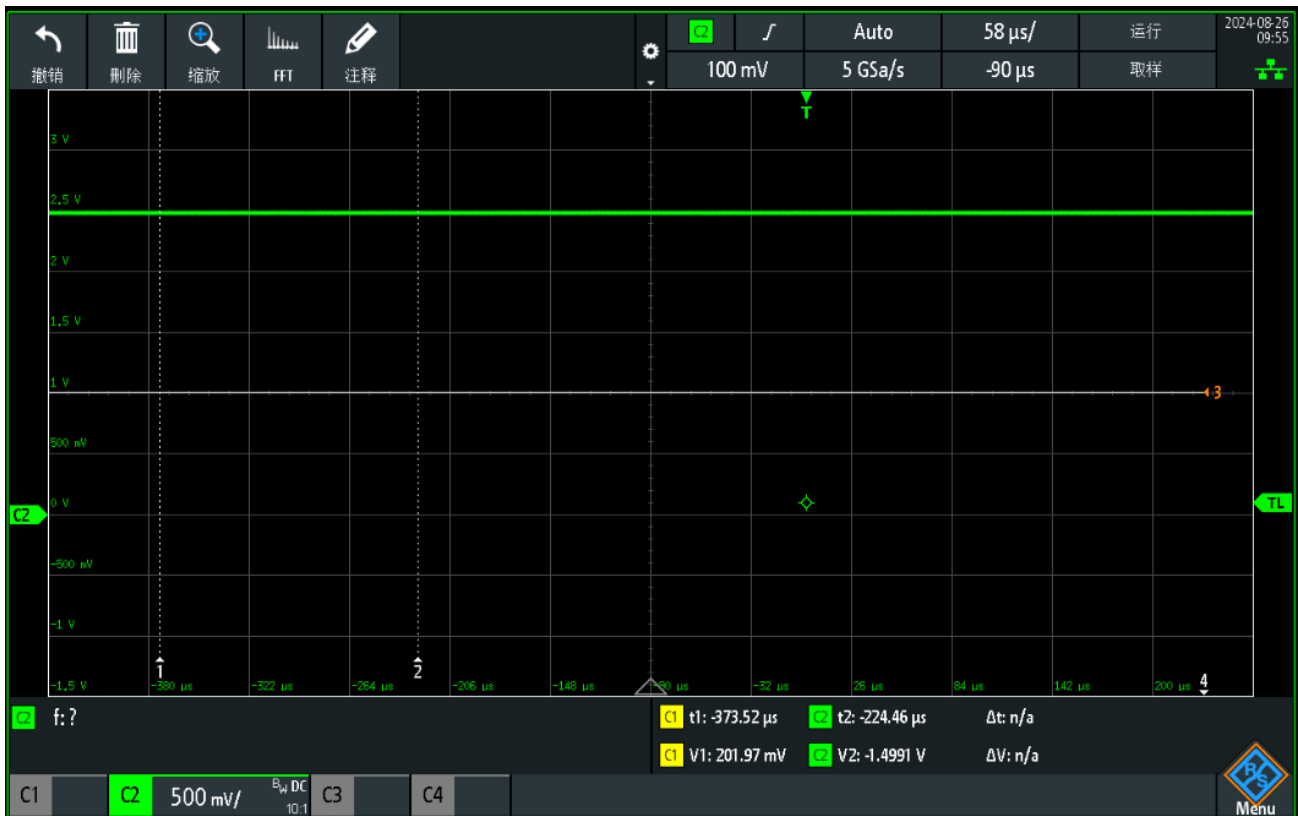


图 2.21 OPAMP3 PGA 模式

3 版本历史

表 3.1 版本历史

日期	版本	更改内容
2024 年 12 月 25 日	V1.0	初版