

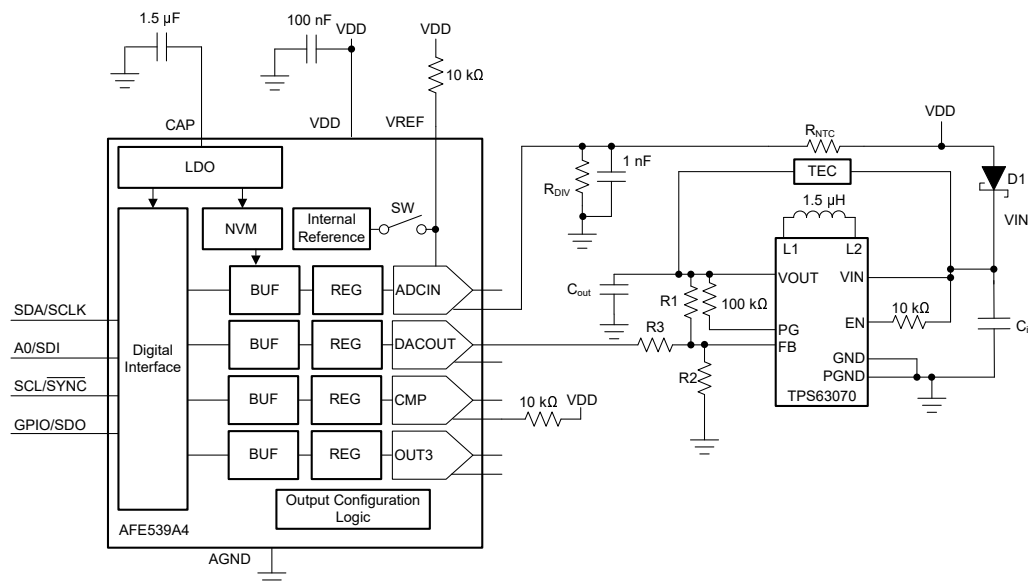
## 设计目标

主要输入参数	主要输出信号	推荐器件
使用 ADC 输入通过 NTC 热敏电阻测量温度	直流/直流转换器的电压输出, 2.5V 至 9V	AFE539A4

**目标：**设计由智能 AFE 控制的闭环系统，通过修改降压/升压转换器的功率输出来控制 TEC 的温度。

## 设计说明

此设计使用具有集成状态机和模数转换器 (ADC) 的 AFE539A4 智能模拟前端 (AFE)，通过降压/升压 (直流/直流) 转换器控制热电冷却器 (TEC)。TEC 是电阻元件，受电流控制。电流的大小和方向可改变 TEC 元件的温度。TEC 元件连接在直流/直流转换器的 VIN 和 VOUT 引脚之间，元件的温度随着直流/直流转换器 VOUT 引脚上的电压变化而变化。由三个电阻器组成的电阻网络连接到直流/直流转换器的 VFB 引脚和 AFE539A4 的 VOUT 引脚，用以改变直流转换器的输出电压。TEC 元件上的压降随着降压/升压转换器 VOUT 引脚上的电压变化而变化，从而使电流流经电阻式 TEC 元件。AFE539A4 上的集成状态机配置为比例积分 (PI) 控制器，可利用内部 ADC 检测温度并调节 DAC 输出，从而在 TEC 元件加热或冷却负载时保持所需的温度。此电路可用于汽车冷却、便携式制冷、激光二极管冷却和电子元件冷却。



TEC 直流/直流控制图

## 设计说明

## 器件选择

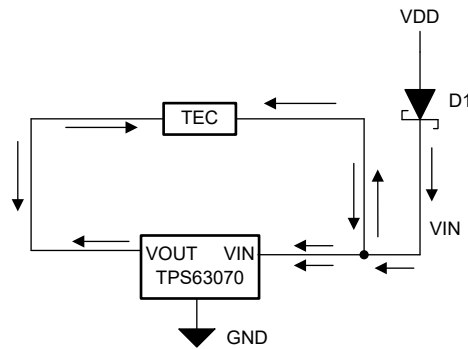
AFE539A4 能够控制直流/直流转换器：本参考设计选择了 TPS63070 降压/升压转换器。TPS63070 的输入电压范围为 2V 至 16V，输出电压范围为 2.5V 至 9V，能够驱动高达 2A 的电流。

## 总体概述

**AFE539A4** 具有四通道、10 位 DAC 和 ADC 以及使用 I2C 和 SPI 接口实现比例积分 (PI) 控制的智能模拟前端 (AFE) 数据表建议为 VDD 引脚使用 100nF 去耦电容器，为 CAP 引脚使用 1.5 $\mu$ F 或更大的旁路电容器。CAP 引脚连接至内部低压降 (LDO) 线性稳压器。将这些电容器靠近器件引脚放置。

由于 TEC 模块中存在双向电流，因此可以在 TPS VIN 引脚和电源之间连接一个二极管，以保护电源不受任何反向电流的影响。TEC 控制直流/直流保护二极管图显示了电流流动，红色箭头表示来自电源的电流，蓝色箭头表示对电源有害的反向电流。如果灌入源极的电流不是问题，则可以忽略此二极管。

二极管在工作时会表现出导通电压，需要在电路设计中考虑这一点。电源电压必须抵消二极管导通电压，在本设计中导通电压为 500mV。相反，TPS63070 的标称输出可设置为 4.5V，而不用升高电源电压。无论抵消哪个电压，都要跟踪会影响偏置电阻器网络 (R1、R2、R3) 计算的任何变化。在此设计中绕过了二极管，计算电阻时忽略了 500mV 的失调电压。



TEC 控制直流/直流保护二极管图

AFE539A4 上的比较器输入 (引脚 FB2) 可与电流检测放大器一起用于过流检测。在比较器未使用时，将比较器输入连接至 VDD 或 GND。此设计不使用比较器，输入连接至 VDD。寄存器 SRAM-DATA-36 设置比较器阈值，SRAM-DATA-39 设置安全输出设置。

TPS63070 上的引脚 FB2 用于调节电压输出。通常，此引脚在 TPS63070 的引脚 FB2 和 FB 之间连接了一个电阻器，用于更改 FB 引脚上的分压器分压比，从而控制输出电压。此配置不使用 FB2 引脚，并且此引脚已接地。TPS63070 PG 引脚是一个开漏、电源正常输出。建议为 PG 引脚使用一个 100k $\Omega$  电阻器。

## 标称值选择

TEC 上的电压为双极电压，其极性用于指示电流流动的方向。直流/直流转换器的 VOUT 引脚设置为在 2.5V 至 7.5V 的电压范围内运行，其中 2.5V 在 TEC 上产生负电压，7.5V 产生正电压。

TPS63070 的正电压通过 VOUT 最大值 (7.5V) 与输入电压 VIN (5V) 之间的差值计算得出。同样，负电压通过最小 VOUT (2.5V) 和 VIN 之间的差值计算得出。选择这些电压值是为了在电阻式 TEC 元件上产生 500mA 的电流。

## 电阻器网络设计

电阻网络可以将直流/直流转换器 VOUT 引脚上的裕度设置为所需的三种不同的输出电压。

- 情况 1：VDAC = 0，VOUT 设置为最大输出电压 (VHIGH)，即 7.5V
- 情况 2：VDAC = 800mV = VNOMINAL，VOUT 设置为 5V
- 情况 3：VDAC 设置为最大值，VOUT 设置为最小电压 (VMIN)，即 2.5V

以下公式使用 5μA 的标称电流来确定产生相应的电压输出所需的电阻器值。将电阻器的标称电流设置为明显大于 TPS63070 FB 引脚上的 100nA 漏电流。

$$R_1 = \frac{V_{\text{NOMINAL}} - V_{\text{FB}}}{I_{\text{NOMINAL}}} = 840 \text{ k}\Omega$$

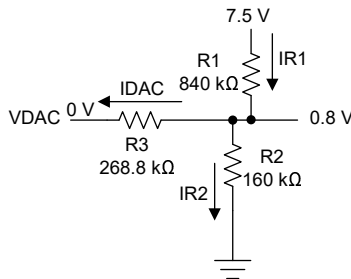
$$R_2 = \frac{R_1 \times V_{\text{FB}}}{V_{\text{NOMINAL}} - V_{\text{FB}}} = 160 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = \frac{V_{\text{FB}} - V_{\text{DAC}}}{I_{\text{R1}}}$$

要计算 R3 的值，必须先获取流经 R1 的电流。这个公式展示了如何根据情况 1 计算流经 R1 的电流，其中 VDAC = 0V 且 VOUT = 7.5V。

$$I_{\text{R1}} = \frac{V_{\text{OUT}} - V_{\text{FB}}}{R_1} = \frac{6.7 \text{ V}}{840 \text{ k}\Omega} = 7.98 \text{ }\mu\text{A}。$$

下图说明了电阻器 R1 和 R2 上的电流流动以及流向 DAC 的电流。



### 根据情况 1 计算 TEC 控制直流/直流电阻分压器值

流经 R1 的电流是 R2 和 R3 分支之间的总电流，使用欧姆定律可以计算得出该值。在本例中，DAC 具有 0V 输出。

$$R_3 = \frac{V_{\text{FB}} - V_{\text{DAC}}}{I_{\text{R1}}} = \frac{0.8 \text{ V} - 0 \text{ V}}{2.98 \text{ }\mu\text{A}} = 268.8 \text{ k}\Omega。$$

TPS63070 的 5V 标称电压与 VIN 相同，因此流经 TEC 的电流为零。在没有压降的情况下，由于没有电流，TEC 中不会发生温度变化。以下电阻值通过 5V 标称电压、5μA 标称电流和 800mV 反馈电压计算得出。

$$R_1 = \frac{5 \text{ V} - 0.8 \text{ V}}{5 \text{ }\mu\text{A}} = 840 \text{ k}\Omega$$

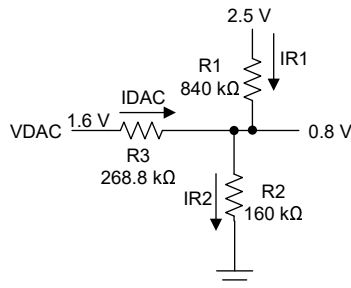
$$R_2 = \frac{840 \text{ k}\Omega \times 0.8 \text{ V}}{5 \text{ V} - 0.8 \text{ V}} = 160 \text{ k}\Omega$$

当 TPS63070 上的 VOUT 为 2.5V ( VMIN 情况 ) 时, AFE539A4 上 DAC 的电压输出根据 5.2V 的  $V_{min}$  和计算出的电阻值 R3 来计算。

$$I_1 = \frac{2.5V - 0.8V}{840k\Omega} = 2.02 \mu A$$

然后使用以下公式计算 DAC VOUT。

$$V_{DAC} = 0.8V + (2.98 \mu A) \times 268.8k\Omega = 1.6V$$



### 根据 VMIN 情况计算 TEC 控制直流/直流电阻分压器值

#### 选择热敏电阻值

负温度系数 (NTC) 热敏电阻的阻值会随着温度的降低而增大。热敏电阻的数据表定义了温度与电阻间的关系。用  $R_{DIV}$  电阻器产生一个分压器, 以从 NTC 获取电压输出。选择正确的  $R_{DIV}$  值, 这将决定输入电压范围 ( 以及温度 )。使用 12kΩ 电阻器为 ADC 输入提供  $-25^{\circ}C$  至  $100^{\circ}C$  范围内的电压。使用电阻分压器时, 此温度范围相当于 0V 至 5V 的电压范围。还可以通过此电路中使用的 5V VDD 和 10kΩ 热敏电阻来计算此分压器。按照分压器的公式, 可以使用给定温度范围内的 0V 至 5V ADC 输入范围来计算电阻分压器值。

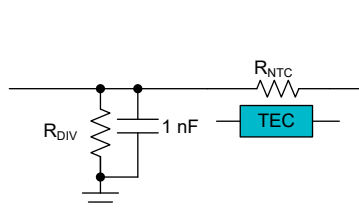
元件温度与  $R_{NTC}$  电阻值的关系

元件温度	$R_{NTC}$ 电阻
$-25^{\circ}C$	105kΩ
$25^{\circ}C$	10kΩ
$100^{\circ}C$	700Ω

表 1-1. 元件温度与  $V_{OUT}$  输出的关系

元件温度	VOUT
$-25^{\circ}C$	0.512 V
$25^{\circ}C$	2.72 V
$100^{\circ}C$	4.72 V

使用一个与  $R_{DIV}$  并联的额外 1nF 电容器来滤除噪声。下图显示了与 TEC 有关的  $R_{DIV}$  和  $R_{NTC}$ 。



### TEC 控制直流/直流去耦电容器放置

## PI 控制器设置

AFE539A4 有一个经过出厂编程的内部状态机，可用作比例积分 (PI) 控制器。PI 控制器的两个主要组成部分是比例增益和积分增益。将比例增益 (KP) 乘以瞬时误差。KP 值越高，环路校正速度越快，但环路也更容易出现更高的过冲，并且稳定所需的时间会更长。积分增益 (KI) 乘以累积误差。KI 可以降低稳态误差，但如果使用太小的值，则会导致更大的振荡。比例增益和积分增益编程到 16 位寄存器中。SRAM-DATA-35 是比例增益的寄存器。SRAM-DATA-38 是积分增益的寄存器。为此系统选择的 KP 和 KI 为：KP = 2048 和 KI = 15。根据来自 TEC 元件的响应反复测试 KP 和 KI 值，得出这些增益值，从而维持快速响应，尽量减小 TEC 温度的波动。

除了配置 PI 增益之外，还必须配置设定点值 (SRAM-DATA-37)。PI 控制器将设定点与 ADC 输入进行比较。在设定点值为 0x02DA 的情况下，AFE539A4 调节 VDAC，直至实现 3.46V 或 40°C 的 ADC 输入。以下公式展示了如何为设定点获得 3.46V 的值。

$$V_{\text{SETPOINT}} = V_{\text{DD}} \times \frac{R_{\text{DIV}}}{R_{\text{NTC}} + R_{\text{DIV}}} = 5 \times \frac{12 \text{ k}\Omega}{12 \text{ k}\Omega + 5356 \text{ k}\Omega} = 3.46 \text{ V}$$

前述公式中的 5.356kΩ 值基于 NTC 热敏电阻数据表中在 40°C 时的温度/电阻转换。

可以配置环路的极性。对于此参考设计，环路极性保留为默认值 (在 SRAM-DATA-39 中为 0)。此外，还可在此寄存器中配置 ADC 模式。ADC0-MODE 位确定 ADC 的阻抗。如果该位为低电平，则 AFE539A4 上的 ADC 具有无限阻抗，从而导致  $ADC_{\text{Code}}$  公式计算使用 K 值 3。如果该位为高电平，则阻抗有限，K 值为 1。对于此设计，ADC0 的阻抗有限，并使用安全输出。在失效场景中，安全输出可用作备份以测试器件功能。

寄存器 SRAM-DATA-36 配置比较器 2 的阈值。本设计使用的比较器阈值为 0x8000。

## ADC 和 DAC 代码计算

AFE539A4 上的 ADC 和 DAC 都是 10 位。使用以下公式计算 DAC 和 ADC 代码。

$$DAC_{\text{Code}} = \frac{V_{\text{DAC}}}{V_{\text{REF}} \times \text{GAIN}} \times 2^N$$

$$ADC_{\text{Code}} = \frac{V_{\text{IN}} \times K}{V_{\text{FS}}} \times 2^N - 1$$

N 是总位数。此设计将 DAC VOUT 通道配置为使用内部 1.21V 基准电压 (增益为 1.5 ×)，并将 ADC 输入配置为使用内部 1.21V 基准电压 (增益为 4 ×)。ADC 的 K 值是一个衰减因子，其值为 1，可将 ADC 设置为无限阻抗。

要计算 ADC 设定点，请使用以下公式。

$$ADC_{\text{SETPOINT}} = \frac{V_{\text{IN}} \times K}{V_{\text{FS}}} \times 2^N - 1 = \frac{4.72 \times 1}{1.21 \times 4} \times 1023 = 997$$

设置 ADC 共模值对于实现 PI 控制器的平稳控制也非常重要。

当 DAC 代码的设定点 (SRAM-DATA-34) 设置为 0.8V 时，系统使用 0.8V 作为阈值来达到控制器的已编程设定点。使用 0V 至 1.6V 的 DAC 范围，以下十进制值来自此设计的最小 DAC 值 (SRAM-DATA-33) 和最大 DAC 值 (SRAM-DATA-32)：

$$DAC_{MAXCode} = \frac{1.6V}{1.21 \times 1.5} \times 2^{10} = 903 d$$

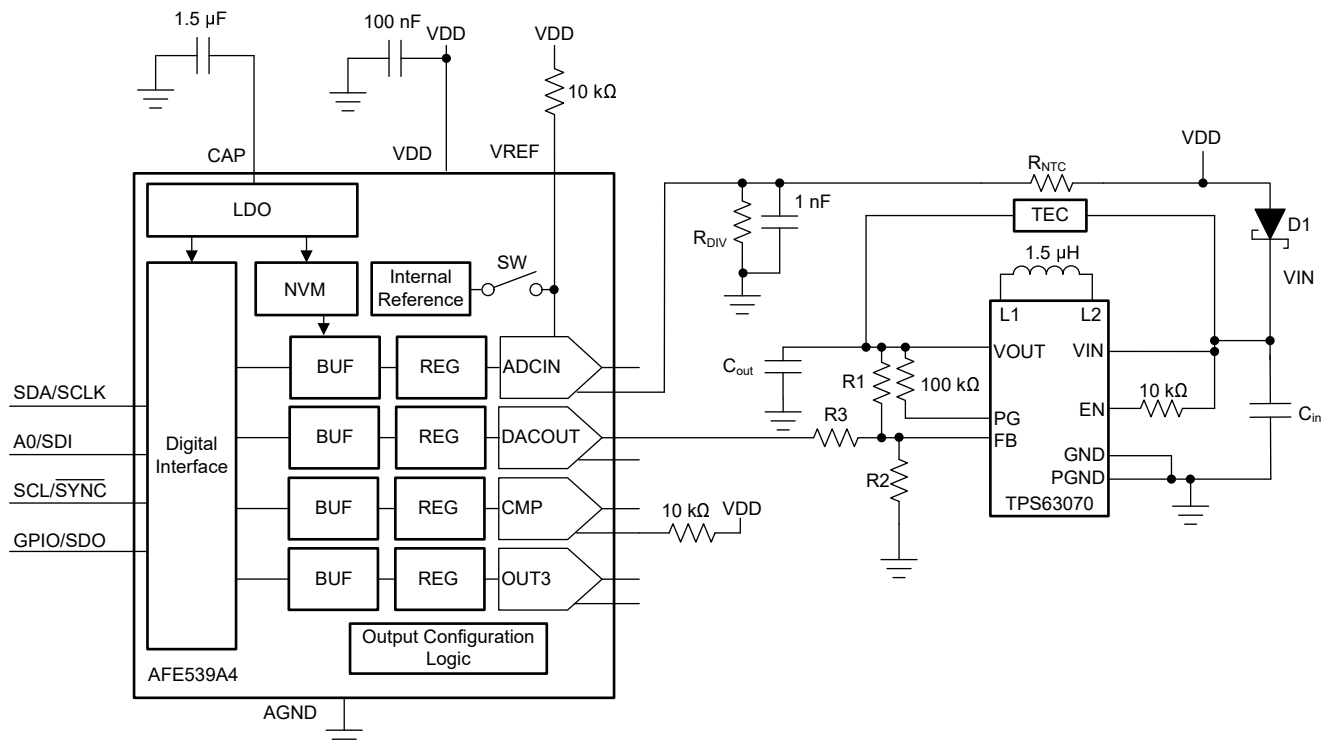
$$DAC_{MINCode} = \frac{0.8V}{1.21 \times 1.5} \times 2^{10} = 451 d$$

备注

所选共模值与 DAC 最小代码的值相同。

测试结果

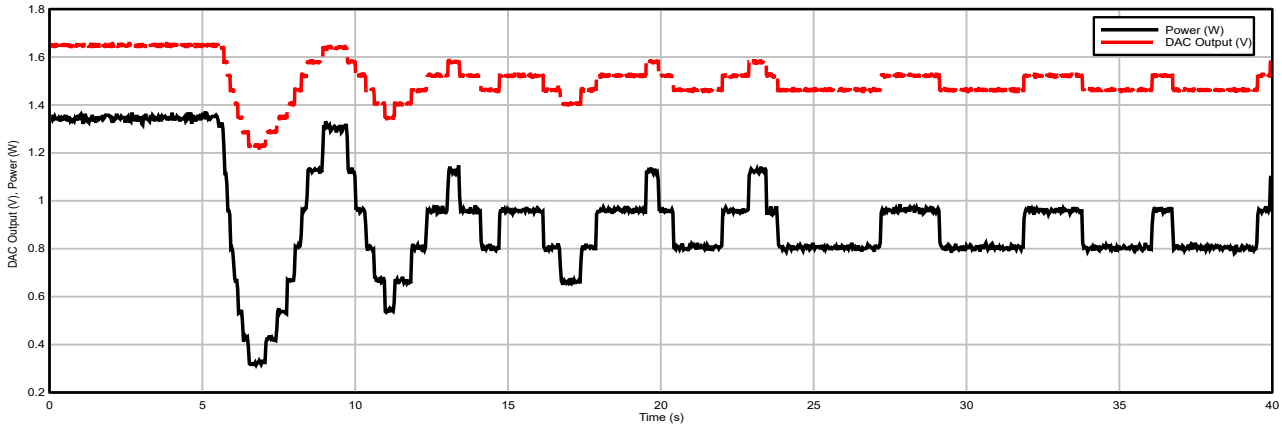
该评估板使用功率电阻器作为 TEC 元件测试 AFE539A4 的功能。因为 TEC 元件是电阻性，因此使用 5Ω 功率电阻器对 TEC 建模。



TEC 直流/直流控制图

## 测量的设计特性

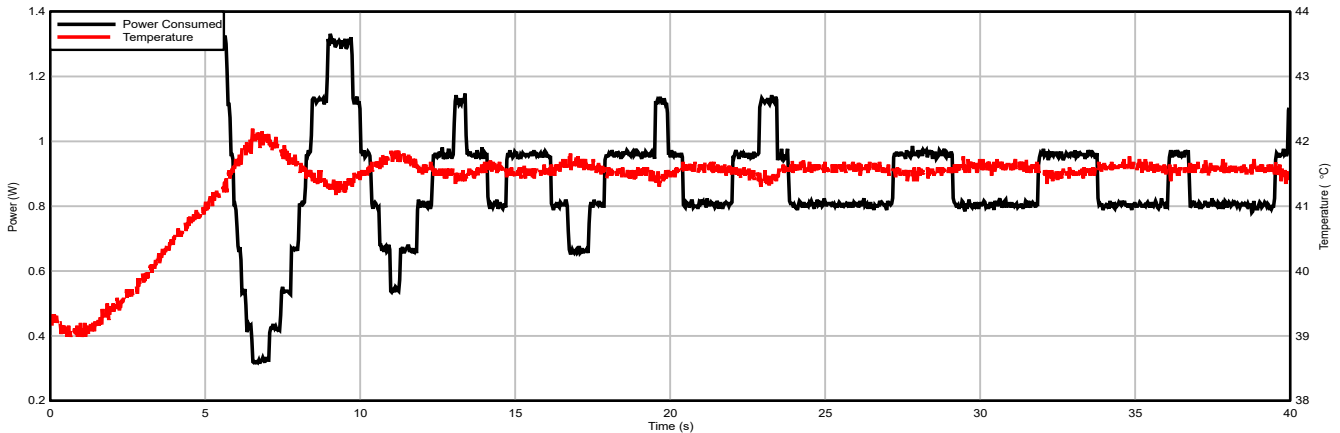
**TEC DAC 输出电压与功率间的关系**显示了测试热敏电阻检测功能时 TEC 元件的功耗。器件最初处于导通状态，然后使用外部热源对功率电阻器加热。当热敏电阻检测到 TEC 上的温度升高时，TEC 的功率降低，导致 ADC 电压发生变化。散热后，器件上的 PI 控制器会更改 DAC 的电压输出，从而修改功耗并恢复到 ADC 的设定点。



TEC DAC 输出电压与功率间的关系

上图比较了 DAC 电压与 TPS63070 的相同功率输出间的关系。由于 DAC 电压 (和电阻器网络) 对 TPS63070 的电压进行偏置，因此 DAC 电压与 TPS63070 的功率输出具有比例关系。

**TEC 的测量温度与 DAC 功率间的关系**突出了 TPS63070 上的功率与 TEC 温度间的反比关系。随着 TEC (功率电阻器) 升温，TEC 的功耗会降低。相反，功耗的增加会导致 TEC 冷却。当 PI 控制器接近设定点时，存在大约  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  的纹波。



TEC 的测量温度与 DAC 功率间的关系

## 寄存器设置

## 通用寄存器设置

寄存器地址	寄存器名称	值	说明
0x27	STATE-MACHINE-CONFIG0	0x0003	[15:3] 0x0 : 不用考虑
			[2] 0b0 : 不中止状态机
			[1] 0b1 : 启动状态机。也必须在位 0 中启用
			[0] 0b1 : 启用状态机。注意：配置寄存器时必须禁用状态机；启用状态机后再保存到 NVM。
0x1F	COMMON-CONFIG	0x1249	[15] 0b0 : 写入 0b1，将窗口比较器输出设置为锁存输出
			[14] 0b0 : 写入 0b1，锁定器件。将 0b0101 写入 COMMON-TRIGGER 寄存器的 DEVUNLOCK 字段，以便解锁
			[13] 0b0 : 写入 0b1，在地址 0x01 处设置故障转储读取使能
			[12] 0b0 : 写入 0b1，以便启用内部基准
			[11:10] 0b11 : 将 VOUT3 断电
			[9] 0b1 : 将 IOUT3 断电
			[8:7] 0b11 : 将 VOUT2 断电
			[6] 0b1 : 将 IOUT2 断电
			[5:4] 0b11 : 将 VOUT1 断电
			[3] 0b1 : 将 IOUT1 断电
			[2:1] 0b11 : 将 VOUT0 断电
			[0] 0b0 : IOUT0 上电
0x02	COMMON-TRIGGER	0x0002	[15:12] 0b000 : 写入 0b0101，解锁器件
			[11:8] 0b0000 : 写入 0b1010，触发 POR 复位
			[7] 0b0 : 如果 AFE-X-FUNC-CONFIG 寄存器中相应 SYNCCONFIG-X 位为 1，则写入 0b1，以便触发 LAFE 运行。
			[6] 0b0 : 写入 0b1，根据 AFE-XFUNC-CONFIG 寄存器中相应 CLR-SEL-X 位，将 AFE 寄存器和输出设置为零代码或中间代码
			[5] 0b0 : 不用考虑
			[4] 0b0 : 写入 0b1，触发故障转储序列
			[3] 0b0 : 写入 0b1，触发 PROTECT 功能
			[2] 0b0 : 写入 0b1，读取 NVM 的一行进行故障转储
			[1] 0b1 : 写入 0b1，将适用寄存器设置存储到 NVM
			[0] 0b0 : 写入 0b1，使用现有 NVM 设置重新加载适用寄存器



**AFE 输出配置**

寄存器地址	寄存器名称	值	说明
0x03	DAC-0-VOUT-CMP-CONFIG	0x1405	[15:13] 0x0 : 不用考虑
			[12:10] 0b101 : 将增益设置为 4 × , 使用内部基准
			[9:5] 0x0 : 不用考虑
			[4] 0b0 : 将 OUTx 引脚设置为推挽
			[3] 0b0 : 生成比较器输出, 但在内部消耗
			[2] 0b1 : FB 引脚输入具有有限阻抗
			[1] 0b0 : 不反转比较器输出
			[0] 0b1 : 启用比较器模式。电流输出必须处于断电状态
0x09	DAC-1-VOUT-CMP-CONFIG	0x800	[15:13] 0x0 : 不用考虑
			[12:10] 0b010 : 将增益设置为 1.5 × , 使用内部基准
			[9:5] 不用考虑
			[4] 0b0 : 将 OUTx 引脚设置为推挽
			[3] 0b0 : 生成比较器输出, 但在内部消耗
			[2] 0b0 : FB 引脚具有高阻抗
			[1] 0b0 : 不反转比较器输出
			[0] 0b0 : 禁用比较器模式。
0x0F	DAC-2-VOUT-CMP-CONFIG	0x0403	[15:13] 不用考虑
			[12:10] 0b001 : 将增益设置为 1 × , 使用 VDD 作为基准
			[9:5] 0x0 : 不用考虑
			[4] 0b0 : 将 OUTx 引脚设置为推挽
			[3] 0b0 : 生成比较器输出, 但在内部消耗
			[2] 0b0 : FB 引脚具有高阻抗
			[1] 反转比较器输出
			[0] 0b1 : 启用比较器模式。电流输出必须处于断电状态
0x15	DAC-3-VOUT-CMP-CONFIG	0x1405	[15:13] 0x0 : 不用考虑
			[12:10] 0b101 : 将增益设置为 4 × , 使用内部基准
			[9:5] 不用考虑
			[4] 0b0 : 将 OUTx 引脚设置为推挽
			[3] 0b0 : 生成比较器输出, 但在内部消耗
			[2] 0b1 : FB 引脚具有有限阻抗
			[1] 0b0 : 不反转比较器输出
			[0] 0b1 : 启用比较器模式。电流输出必须处于断电状态

## SRAM 配置

寄存器地址	寄存器名称	值	说明
0x20	SRAM_DATA_32	0xE1C0	[15:6] 0b1110000111 : 输入 AFE 的最大电压输出。提供的值为 1.6V
			[5:0] 0x0 : 不用考虑
0x21	SRAM_DATA_33	0x70C0	[15:6] 0b:0111000011 : 配置 AFE 的最小输出
			[5:0] 0x0 : 不用考虑
0x22	SRAM_DATA_34	0x02DA	[15:10] 0x0 : 不用考虑
			[9:0] 0b:001011011010 : 配置设定点值。设定点是 PI 控制器要将 ADC 与之进行比较的值
0x23	SRAM_DATA_35	0x007F	[15:0] 0b:0000000011111111 为 PI 控制器配置比例增益 (KP) 值
0x24	SRAM_DATA_36	0x8000	[15:6] 0b1000000000000000 : 设置比较器通道 2 的阈值
			[5:0] 0x0 : 不用考虑
0x25	SRAM_DATA_37	0x2FF	[15:12] 0x0 : 不用考虑
			[11:2] 0b0010111111 : 配置共模值。当 KP 和 KI 为零时 PI 输出端存在共模值
			[1:0] 0x0 : 不用考虑
0x26	SRAM_DATA_38	0x0007	[15:0] 0b0000000000000011 : 选择 PI 控制器的积分增益值。将此值设置为 0 可禁用 KI
0x27	SRAM_DATA_39	0x0002	[15:6] 0b0000000000 : 安全输出值
			[5:2] 0x0 : 不用考虑
			[1] 0b1 : 为 ADC0 选择有限阻抗输入
			[0] 0b0 : 配置 PI 控制器的环路极性

## 伪代码示例

### 电压输出配置的伪代码示例

```

//Stop the state machine.
WRITE STATE-MACHINE-CONFIG0(0x27), 0x00, 0x00
//Enable all AFE channels
WRITE COMMON-CONFIG(0x1F), 0x0F, 0xF9
//Select the desired voltage reference, output range, and comparator settings for each
//AFE.Channels 0, 2, and 3 are configured as comparators.
//set AFE 0...
WRITE DAC-0-VOUT-CMP-CONFIG(0x03), 0x14, 0x05
//set AFE 1...
WRITE DAC-1-VOUT-CMP-CONFIG(0x09), 0x80, 0x00
//set AFE 2...
WRITE DAC-2-VOUT-CMP-CONFIG(0x0F), 0x04, 0x03
//set AFE 3...
WRITE DAC-3-VOUT-CMP-CONFIG(0x15), 0x14, 0x05
//Calculate the voltage range for AFE1 using the equation in the data sheet, and configure the
//minimum and maximum output.
//Using a maximum of 1.6V
WRITE SRAM-DATA-32(0x20), 0xE1, 0xC0
//Using a minimum of 0.8v.
WRITE SRAM-DATA-33(0x21), 0x70, 0xC0//Set the configuration parameters LOOP-POLARITY, ADC0-MODE,
//CMP2-THRESHOLD, and SAFEOUTPUT as appropriate for the system
//Loop polarity, ADC0 mode, and Safe-output can be configured in SRAM-DATA-39
WRITE SRAM-DATA-34(0x22), 0x02, 0xDA
//CMP_2 Threshold is configured in SRAM_DATA_36
WRITE SRAM-DATA-36(0x23), 0x80, 0x00
//Program the initial values of KP and KI
//Note a higher KP is bad for systems with a fast response.
WRITE SRAM-DATA-35(0x24), 0x00, 0x01
//Note a higher KI can mean worse steady state response; KI can be disabled if set to 0
WRITE SRAM-DATA-38(0x25), 0x00, 0x00
//Calculate a desired common mode value using the
WRITE SRAM-DATA-37(0x26), 0x02, 0xFF
//Set the loop polarity, ADC impedance, and safe output value
WRITE SRAM-DATA-39(0x20), 0x00, 0x02
//Start the state machine
WRITE STATE-MACHINE-CONFIG0(0x27), 0x00, 0x03
//Tune the KI and KP values to achieve the best steady-state and transient response.
WRITE SRAM-DATA-35(0x24), 0x80, 0x00
WRITE SRAM-DATA-38(0x25), 0x00, 0x0F
//Store the register settings
WRITE COMMON-TRIGGER(0x20) 0x00, 0x02
  
```

### 设计中采用的器件

器件	关键特性	链接
AFE539A4	具有 PI 和 TEC 控制功能以及内置 ADC 和 DAC 的四通道 10 位智能 AFE	<a href="#">AFE539A4</a>
TPS63070	宽输入电压 ( 2V 至 16V ) 降压/升压转换器	<a href="#">TPS63070</a>
TPS63802	采用 QFN 封装的 2A 高效降压/升压器件	<a href="#">TPS63802</a>

## 设计参考资料

请参阅《[模拟工程师电路设计指导手册](#)》，了解 TI 的综合电路库。

### 其他资源

- 德州仪器 (TI), [AFE539A4 评估模块](#) 产品页面
- 德州仪器 (TI), [TPS63802](#) 产品页面
- 德州仪器 (TI), [AFE539A4EVM EVM 用户指南](#)
- 德州仪器 (TI), [PMP9796 5V 低功耗 TEC 驱动器参考设计](#)
- 德州仪器 (TI), [用于 TEC 控制的智能 AFE 视频](#)
- 德州仪器 (TI), [\[常见问题解答\] 在哪里可以找到关于智能 DAC 的更多信息?](#)
  - [智能 AFE 科普](#)
  - [智能 AFE 如何为热电冷却控制提供集成模拟解决方案](#)

如需 TI 工程师的直接支持，请使用 E2E™ 社区：

[e2e.ti.com](http://e2e.ti.com)

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司