

第9章 温度检测功能

1. 内容	9-2
2. 功能	9-2
3. 温度二极管电压的特性	9-2
4. 使用ADI-ADuM4138时的温度检测功能	9-3
5. 使用ADI-ADuM4138时的温度检测补偿方法	9-3

1. 内容

在此对温度二极管功能进行说明。同时对实际使用ADI-ADuM4138时温度检测功能的适用内容，以及对温度二极管电压波动补偿功能和补偿方法进行说明。

2. 功能

温度二极管功能用于检测IGBT的结温 T_{vj} 。
 温度二极管与IGBT芯片集成在同一芯片上，通过恒定电流流动输出与 T_{vj} 相应的温度检测电压。温度二极管电压对温度具有线性特性，可以容易地实现利用这种特性的 T_{vj} 监视功能。

3. 温度二极管的特性

图9-1所示为温度二极管中流经1mA恒定电流时温度二极管电压 V_F 与 T_{vj} 依存性。另外，图9-2所示为恒定电流波动为 $1\text{mA} \pm 5\%$ 状态下的依存性。此时，温度二极管电压的波动为 $\pm 11\text{mV}$ 。

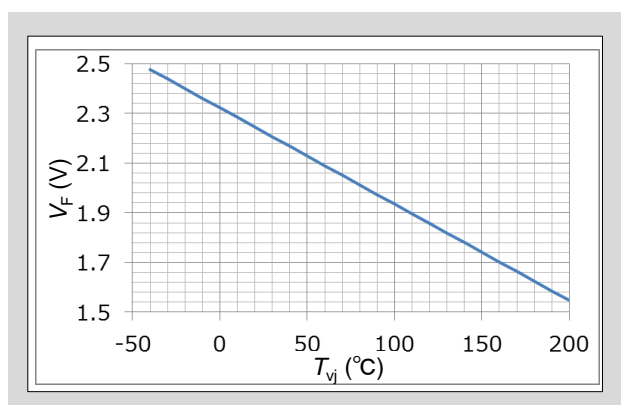


图9-1 $I_F = 1\text{mA}$ 时的 $V_F - T_{vj}$ 依存性

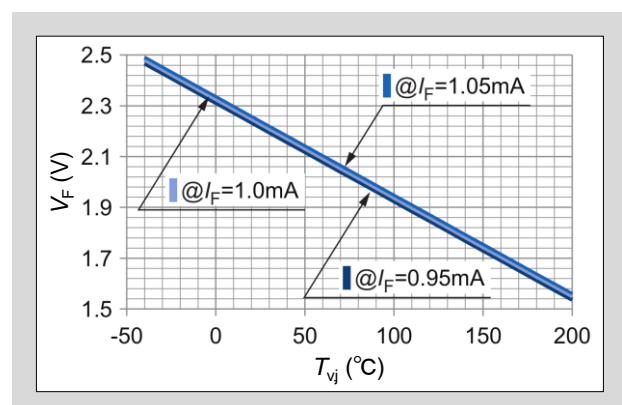


图9-2 $I_F = \pm 0.05\text{mA}$ 时的 $V_F - T_{vj}$ 依存性

* 注：

ADuM4138的 I_F 电流规格： $\pm 5\%$ ($I_F = 1\text{mA}$ 时)

→ $I_F = 1\text{mA} \pm 5\%$ 时的温度二极管 V_F 波动： $\pm 11\text{mV}$

4. 使用ADI-ADuM4138 时的温度检测功能

ADuM4138中内置有通过向IGBT模块内置的集成芯片温度传感器中输入1mA(TYP.)恒定电流，检测产生的温度二极管电压，并输出与二极管电压相应的占空比PWM脉冲的功能。

图9-3所示为ADuM4138温度二极管电压与PWM占空比输出依存性。

最后，根据IGBT模块 T_{vj} 的温度二极管电压输出、ADuM4138 PWM占空比输出这两个温度检测功能，可获得与IGBT结温相应的PWM脉冲占空比。

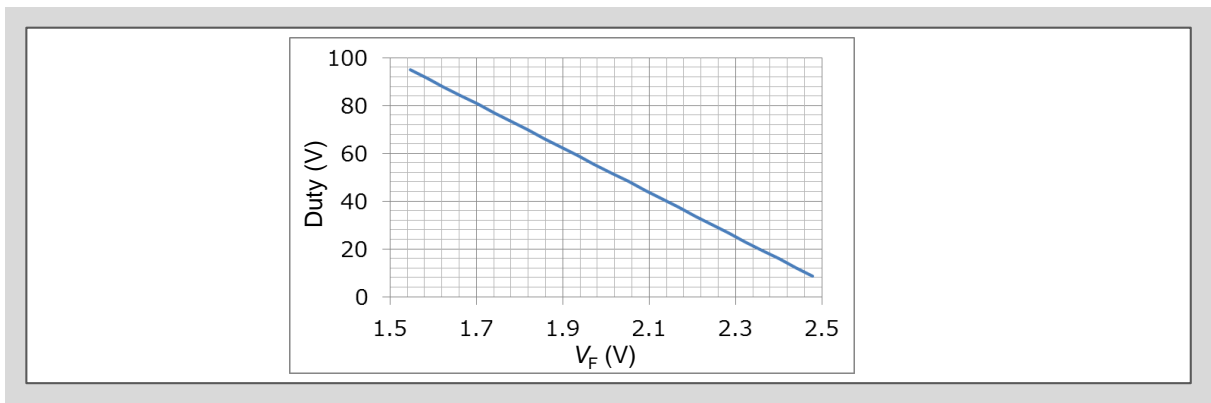


图9-3 PWM duty- V_F 依存性

5. 使用ADI-ADuM4138 时的温度检测补偿方法

如图9-2所示，由于输入温度二极管的恒定电流波动、以及温度二极管自身温度的依存性波动，导致从IGBT 模块内置温度二极管输出的电压特性出现偏差。

ADuM4138内置有用于补偿温度二极管电压输出的PWM占空比功能，以实现更加准确的温度检测。此功能通过调整IC内置的温度二极管电压检测用运算放大器的增益和偏置进行补偿。另外，可通过SPI通信功能在EEPROM中写入补偿值。下面为校正方法说明，仅供参考。（如果想校正实际产品中的脉宽调制占空比输出，请联系ADI了解详细的校正方法。）

5.1 温度二极管功能补偿概要

以下对补偿方法的概要进行说明。

1) 结温、温度二极管电压、PWM占空比的关系（规格）如表9-1所示。

表9-1 温度、温度检测电压、PWM占空比的规格值

项目	规格 *1)	
结温 T_{vj}	25°C	175°C
温度检测电压 V_F	2.23V	1.65V
PWM占空比 D_{PWM}	30%	82%

*1) 有关确切的值，请参阅IGBT模块和驱动器IC规格。

- 2) 获得当前补偿前的特性数据（结温、PWM占空比）。
- 3) 计算IC 内置的温度二极管电压检测用运算放大器的增益和偏置值，以补偿规格值与所获得特性数据相差值。图9-4所示为补偿方法的概要。
- 4) 使用IC的SPI通信功能将计算的增益、偏置的补偿值写入EEPROM。

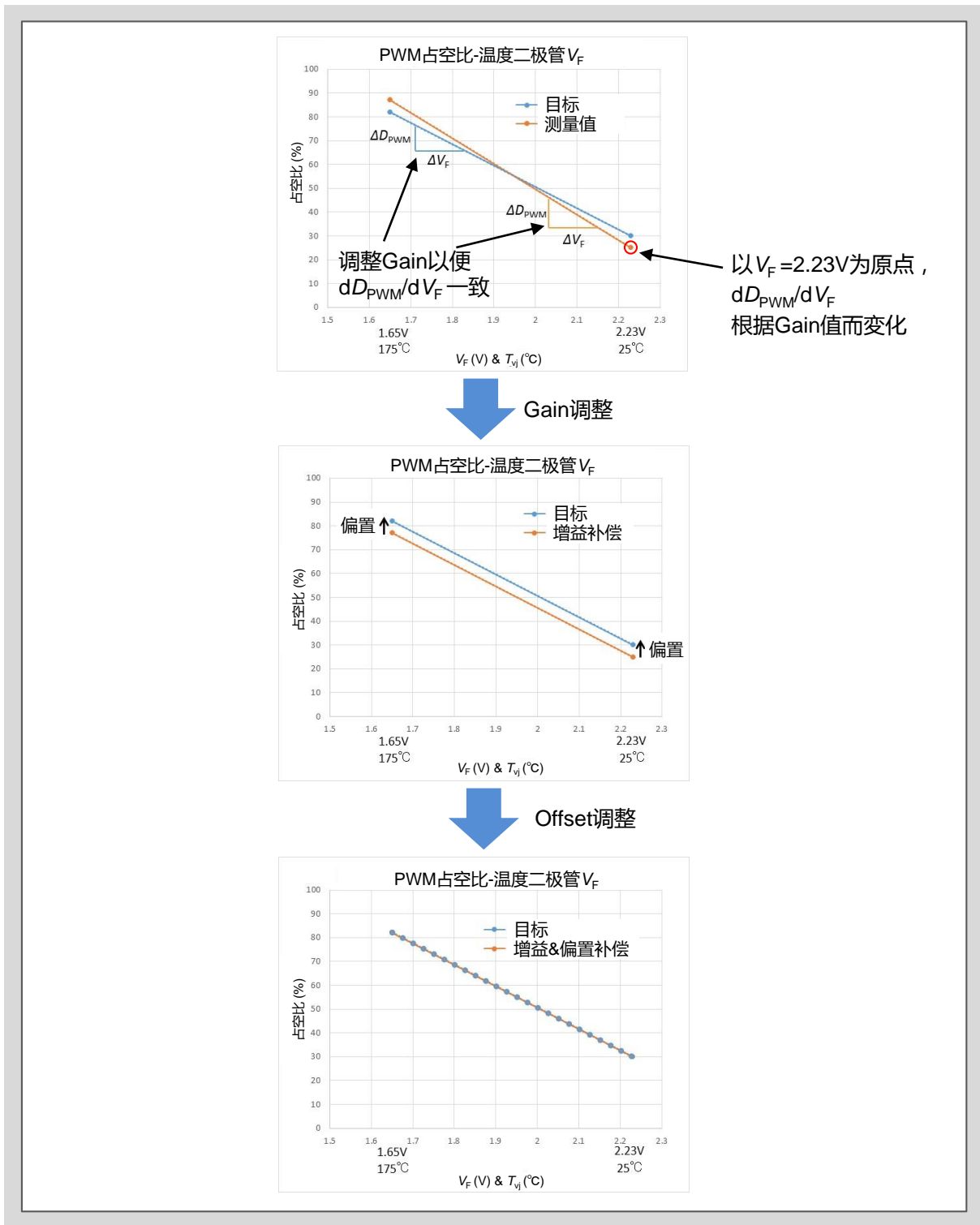


图9-4 补偿方法概要

5.2 获取特性数据

需要获得当前的特性数据以进行补偿。

1) 测量条件

水套中流动规定温度的冷却液以便IGBT模块的 T_{vj} 达到目标温度。

实际测量时，建议在水套中流动冷却液10分钟后再进行测量。

2) 测量项目

建议进行低温侧数据测量和高温侧在小于175°C的尽量高的温度下的测量。

获得的数据范围越广则补偿精度越高。

表9-2 测量项目

测量项目	测量部位	测量值	
结温 T_{vj}	冷却液和水套的温度	测量值 $T_{vj\text{ LOW}}$	测量值 $T_{vj\text{ HIGH}}$
PWM占空比 D_{PWM}	TEMP-U~W TEMP-X~Z	测量值 D_{LOW}	测量值 D_{HIGH}

5.3 计算偏置补偿值

1) 通过表9-1的温度检测相关规格值计算 T_{vj} 变化的 V_F 变化量和 V_F 变化的 D_{PWM} 变化量。

$$\cdot dV_F/dT_{vj\text{ spec}} = (1.65\text{V} - 2.23\text{V}) / (175^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) = -0.003867 [\text{V} / ^\circ\text{C}]$$

$$\cdot dD_{\text{PWM}}/dV_{F\text{ spec}} = (82\% - 30\%) / (1.65\text{V} - 2.23\text{V}) = -89.655 [\% / \text{V}]$$

2) 通过表9-2的温度-PWM占空比的测量值计算补偿前 T_{vj} 变化的 D_{PWM} 变化量。

$$\cdot dD_{\text{PWM}}/dT_{vj\text{ measured}} = (D_{\text{HIGH}} - D_{\text{LOW}}) / (T_{vj\text{ HIGH}} - T_{vj\text{ LOW}}) = -0.0 [\% / ^\circ\text{C}]$$

3) 通过温度-PWM占空比的测量值计算输入驱动IC时25°C时和175°C时的 V_F 推断值。

$$\cdot V_{F\text{ 25C}} = 1 / (dD_{\text{PWM}}/dV_{F\text{ spec}}) \times (dD_{\text{PWM}}/dT_{vj\text{ measured}} \times (25^\circ\text{C} - T_{vj\text{ HIGH}}) + D_{\text{HIGH}} - 30\%) + 2.23\text{V}$$

$$\cdot V_{F\text{ 175C}} = 1 / (dD_{\text{PWM}}/dV_{F\text{ spec}}) \times (dD_{\text{PWM}}/dT_{vj\text{ measured}} \times (175^\circ\text{C} - T_{vj\text{ HIGH}}) + D_{\text{HIGH}} - 30\%) + 2.23\text{V}$$

4) 计算偏置补偿值。计算补偿量，以补偿25°C时温度传感器电压的推断计算值 $V_{F\ 25C}$ 和基准值 2.23V的差值。

$$\pm \text{偏置补偿值} = (V_{F\ 25C} - 2.23V) / dV_{\text{OFFSET}}/\text{bit}$$

★ $dV_{\text{OFFSET}}/\text{bit}$: 偏置补偿系数= 0.0015

· 将计算的偏置补偿值整数化。

★但是，由于本驱动IC带有用于补偿偏置的6bit的补偿bit，因此，+ 偏置补偿值的范围为 0 ~ 31，- 偏置补偿值的范围为-1 ~ -32。超过此范围时不可补偿。

5) 通过补偿值计算EEPROM的写入值。

表9-3 计算EEPROM的偏置写入值

内容	转换为2进制
整数化的偏置补偿值为 + (正) 时	将+整数化偏置补偿值 (10进制) 直接转换为2进制
整数化的偏置补偿值为 - (负) 时	计算 $64 + (-\text{整数化偏置补偿值 (10进制)})$ 后，转换为2进制

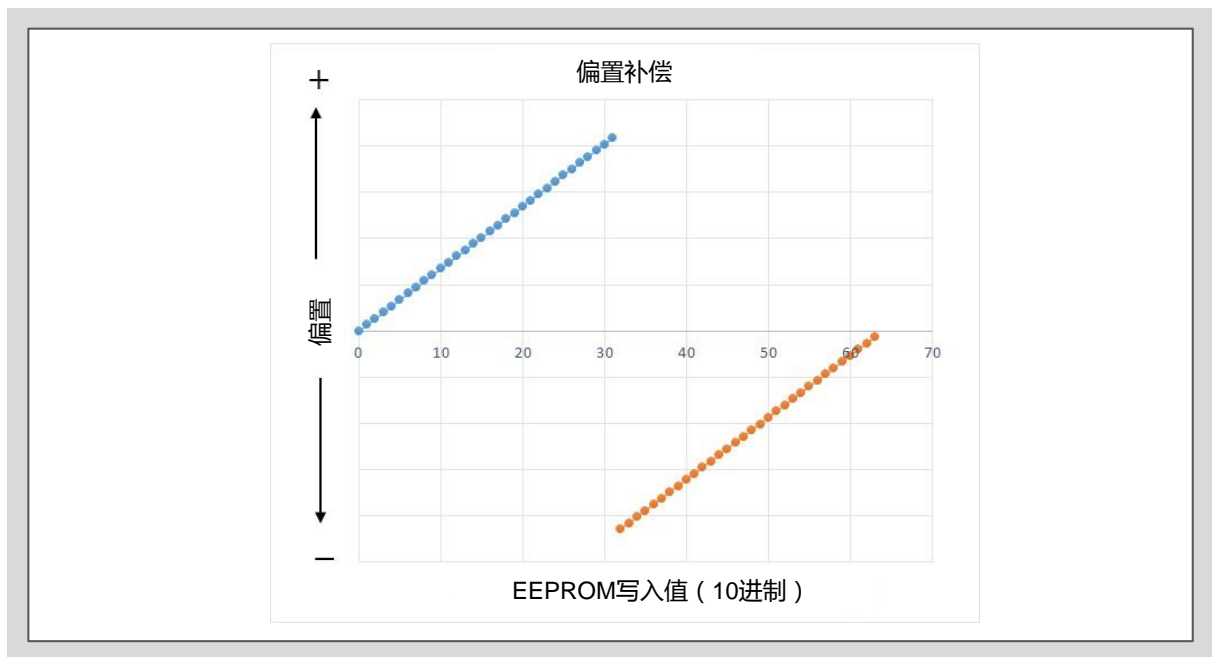


图9-5 EEPROM写入值和偏置补偿

5.4 计算增益补偿值

1) 计算增益补偿值。计算补偿值，以补偿通过温度-PWM占空比测量值计算的 T_{vj} 变化(25°C~175°C)的 V_F 变化量的推断计算值和规格值的差值。

$$\pm \text{增益补偿值} = (1 - (V_{F 175C} - V_{F 25C}) / (175^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) / dV_F/dT_{vj \text{ spec}}) / dV_{GAIN}/\text{bit}$$

★ dV_{GAIN}/bit : 增益补偿系数= 0.00618

· 将计算的增益补偿值整数化。

★但是，由于本驱动IC带有用于补偿偏置的6bit的补偿bit，因此，+增益补偿值的范围为0 ~ 31，-增益补偿值的范围为-1 ~ -32。超过此范围时不可补偿。

2) 通过增益补偿值计算EEPROM的写入值。

表9-4 计算EEPROM的增益写入值

内容	转换为2进制
整数化的增益补偿值为+(正)时	将+整数化增益补偿值(10进制)直接转换为2进制
整数化的增益补偿值为-(负)时	计算64+(-整数化增益补偿值(10进制))后,转换为2进制

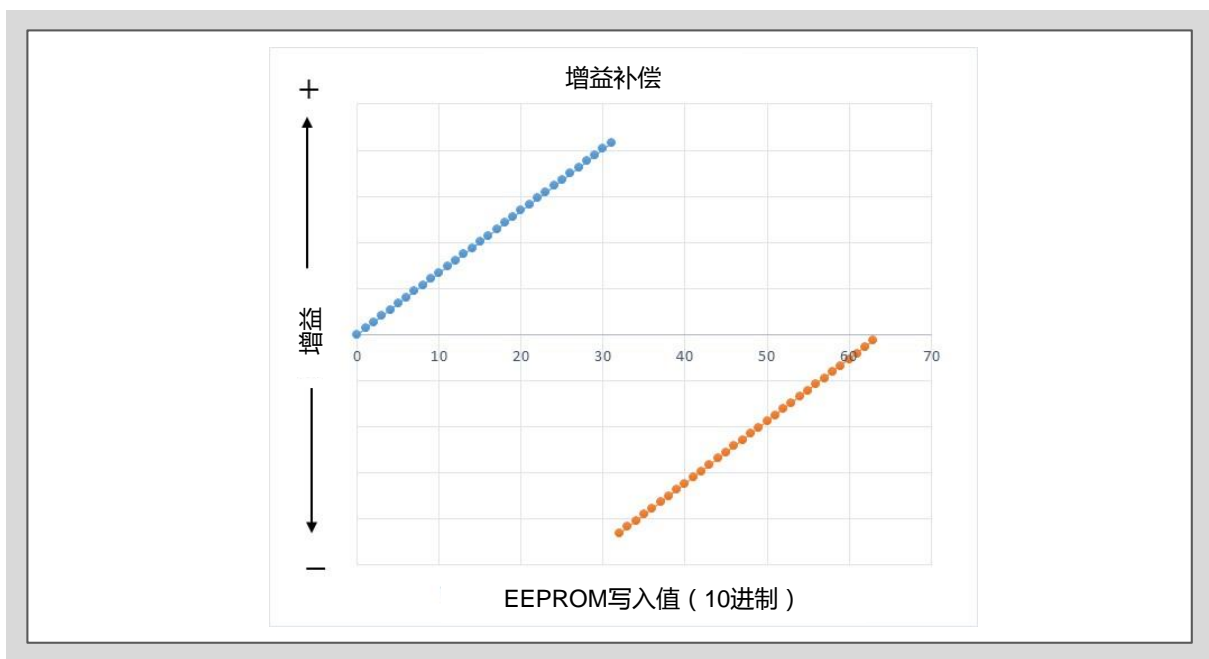


图9-6 EEPROM写入值和增益补偿

5.5 ADuM4138的EEPROM的数据写入

为了实际使用ADuM4138的SPI通信功能在IC内的EEPROM中写入数据，需要在计算机和IC端子间连接的SPI通信模块和写入软件等。

详情请咨询Analog Devices. Inc.。

5.6 计算实例

1) 通过表9-1 的温度检测相关规格值计算 T_{vj} 变化的 V_F 变化量和 V_F 变化的 D_{PWM} 变化量。

$$\cdot dV_F/dT_{vj\text{ spec}} = (1.65V - 2.23V) / (175^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) = -0.003867 [V / ^\circ\text{C}]$$

$$\cdot dD_{PWM}/dV_{F\text{ spec}} = (82\% - 30\%) / (1.65V - 2.23V) = -89.655 [\% / V]$$

2) 通过表9-5 的温度-PWM 占空比的测量值计算补偿前 T_{vj} 变化的 D_{PWM} 变化量。

表9-5 实例测量值

测量项目	测量值	
结温 T_{vj}	28°C ($T_{vj\text{ LOW}}$)	65°C ($T_{vj\text{ HIGH}}$)
PWM占空比 D_{PWM}	29.37% (D_{LOW})	43.75% (D_{HIGH})

$$\begin{aligned} \cdot dD_{PWM}/dT_{vj\text{ measured}} &= (D_{\text{HIGH}} - D_{\text{LOW}}) / (T_{vj\text{ HIGH}} - T_{vj\text{ LOW}}) \\ &= (43.75\% - 29.37\%) / (65^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}) \\ &= 0.3886 [\% / ^\circ\text{C}] \end{aligned}$$

3) 通过-PWM占空比的测量值计算输入驱动IC时25°C时和175°C时 V_F 推断值。

$$\begin{aligned} \cdot V_{F\ 25\text{C}} &= 1 / (dD_{PWM}/dV_{F\text{ spec}}) \times (dD_{PWM}/dT_{vj\text{ measured}} \times (25^\circ\text{C} - T_{vj\text{ HIGH}}) + D_{\text{HIGH}} - 30\%) + 2.23V \\ &= 1 / (-89.655 [\% / V]) \times (0.3886 [\% / ^\circ\text{C}] \times (25^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}) + 43.75\% - 30\%) + 2.23V \\ &= 2.250V \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot V_{F\ 175\text{C}} &= 1 / (dD_{PWM}/dV_{F\text{ spec}}) \times (dD_{PWM}/dT_{vj\text{ measured}} \times (175^\circ\text{C} - T_{vj\text{ HIGH}}) + D_{\text{HIGH}} - 30\%) + 2.23V \\ &= 1 / (-89.655 [\% / V]) \times (0.3886 [\% / ^\circ\text{C}] \times (175^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}) + 43.75\% - 30\%) + 2.23V \\ &= 1.600V \end{aligned}$$

4) 计算偏置补偿值。计算补偿值，以补偿25°C时温度传感器电压的推断计算值 $V_{F\ 25\text{C}}$ 和基准值 2.23V的差值。

$$\begin{aligned} \cdot \pm\text{偏置补偿值} &= (V_{F\ 25\text{C}} - 2.23V) / dV_{\text{OFFSET}}/\text{bit} \\ &= (2.250V - 2.23V) / 0.0015 \\ &= 13.33 \end{aligned}$$

$$\star dV_{\text{OFFSET}}/\text{bit} : \text{偏置补偿系数} = 0.0015$$

· 将计算的偏置补偿值整数化。

$$\text{整数化偏置补偿值} = 13$$

5) 通过偏置补偿值计算EEPROM的写入值。

$$\cdot + \text{整数化偏置补偿值 (10进制)} = +13 \Rightarrow \text{EEPROM写入值} = 13(\text{DEC}) = 001101(\text{BIN})$$

6) 计算增益补偿值。计算补偿值，以补偿通过温度-PWM占空比测量值计算的 T_{vj} 变化(25°C~175°C)的 V_F 变化量的推断计算值和规格值的差值。

$$\begin{aligned} \cdot \pm \text{增益补偿值} &= (1 - (V_{F\ 175C} - V_{F\ 25C}) / (175^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) / dV_F/dT_{vj\ \text{spec}}) / dV_{\text{GAIN}}/\text{bit} \\ &= (1 - (1.600\text{V} - 2.250\text{V}) / (175^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) / -0.003867 [\text{V} / ^\circ\text{C}]) / 0.00618 \\ &= -19.51 \end{aligned}$$

★ $dV_{\text{GAIN}}/\text{bit}$: 增益补偿系数= 0.00618

· 将计算的增益补偿值整数化。

整数化增益补偿值= -20

7) 通过增益补偿值计算EEPROM的写入值。

· - 整数化增益补偿值 (10 进制) = -20 \Rightarrow EEPROM写入值 = 64 + (-20) = 44(DEC) = 101100(BIN)