

使用 ISOTMP35-Q1 设计适用于电动汽车驾驶舱的空气加热器



Xiaohu Qin

摘要

在 EV (电动汽车) 系统中, 为了在极端低温条件下 (例如 -40°C) 为 EV 驾驶舱中的电子设备提供更好的工作环境, 可能需要空气加热器单元, 本文档提供了满足这一要求的 PWM 加热设计。此设计使加热器可以根据环境温度变化自动运行, 无需 MCU 控制。除 ISOTMP35-Q1 (例如 PWM 控制器 UCC28C43-Q1) 外, 此设计中还使用运算放大器 OPA333-Q1 来形成闭合温度控制环路

内容

1 简介.....	1
2 ISOTMP35-Q1 设计关键信息.....	2
2.1 用于检测温度的简化设计原理图.....	2
2.2 温度传输表.....	3
3 PWM 控制器 UCC28C43-Q1 设计关键信息.....	4
3.1 UCC28C43-Q1 内部方框图.....	4
3.2 UCC28C43-Q1 电压模式设置.....	4
3.3 UCC28C43-Q1 加热频率设置.....	5
4 OPA333-Q1 关键信息.....	6
5 空气加热器电路设计示例.....	7
5.1 工作机制说明.....	7
5.2 空气加热器原理图设计.....	7
6 典型加热器原理图.....	11
7 参考资料.....	12

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

ISOTMP35-Q1 是业界先进的隔离温度传感器 IC, 集成了隔离栅, 可承受高达 3000VRMS 的电压, 具有一个模拟温度传感器, 可在 -40°C 至 150°C 范围内实现 $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 的斜率。通过这种集成, 可将传感器与高压热源 (例如, 高压 FET、IGBT 或高压接触器) 置于同一位置, 而无需昂贵的隔离电路。与通过将传感器放置在较远位置来满足隔离要求的方法相比, 直接接触高压热源还可提供更高的精度和更快的热响应。由 2.3V 至 5.5V 的非隔离式电源供电, ISOTMP35-Q1 可轻松集成到高压平面没有子稳压电源的应用中。集成隔离栅满足 UL1577 的要求。表面贴装封装 (7 引脚 SOIC) 可提供从热源到嵌入式热传感器的出色热流, 更大限度地降低热质量并提供更精确的热源测量。这降低了对耗时热建模的需求, 并通过减少由于制造和组装而产生的机械变化来提高系统设计裕度。ISOTMP35-Q1 AB 类输出驱动器提供强大的 $500\mu\text{A}$ 最高输出, 可驱动高达 1000pF 的电容负载, 并可直接连接到模数转换器 (ADC) 采样保持输入端

2 ISOTMP35-Q1 设计关键信息

2.1 用于检测温度的简化设计原理图

图 2-1 展示了非常简单的设计原理图，这意味着设计工程师可以便捷地使用 ISOTMP35-Q1，TSENSE 引脚可以直接连接到目标热源，而无需复杂的组装过程。VDD 的电压范围为 2.3V 至 5.5V，LDO 通常是 ISOTMP35-Q1 的理想电源。

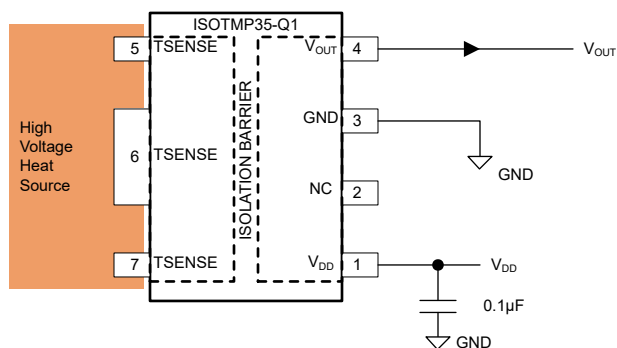


图 2-1. ISOTMP35-Q1 典型原理图

图 2-2 展示了设计人员开始实际设计时的 RC 滤波器设计注意事项。为了消除 ADC 单元或其他噪声源的噪声，通常需要在 ISOTMP35-Q1 中模拟输出端口的前端使用 RC 滤波器网络。请注意，ISOTMP35-Q1 模拟输出端的总电容 (C17+C20) 不得超过 1000pF，R15 必须处于 10K 至 100K 范围内

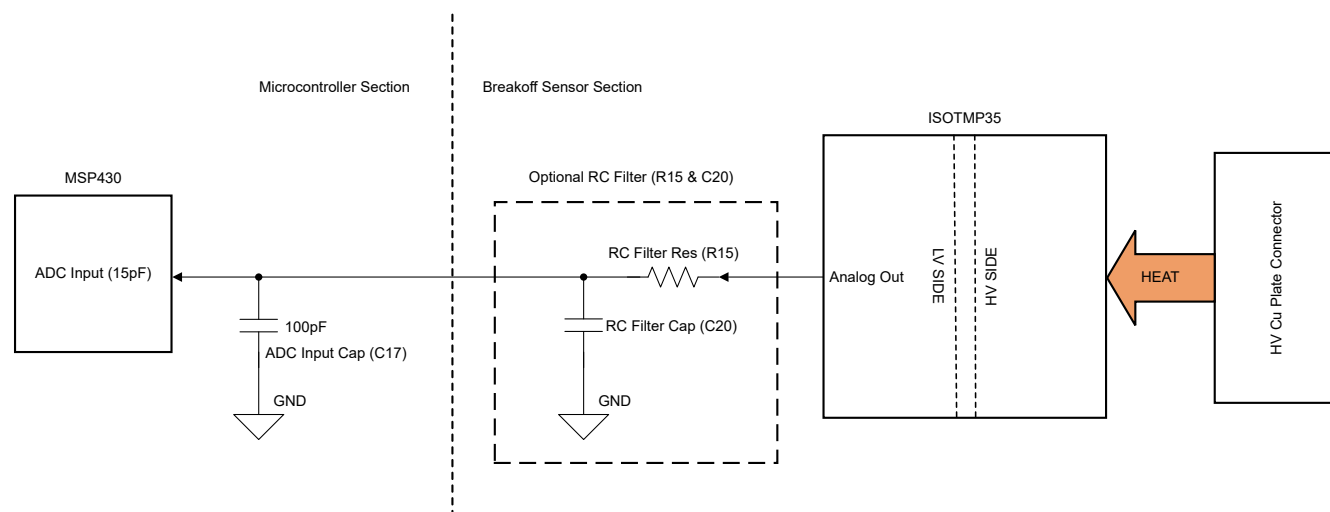


图 2-2. ISOTMP35 前端 RC 滤波器设计注意事项

2.2 温度传输表

表 2-1 表明 ISOTMP35-Q1 在检测到的温度和模拟输出之间具有出色的线性关系，此特性既可由 MCU 中的 ADC 单元读取，也可用作 UCC28C43-Q1 等 PWM 控制器的模拟反馈信号，以形成温度控制闭环。

表 2-1. ISOTMP35-Q1 温度传输表

温度 (°C)	V _{OUT} (mV) 计算线性值	V _{OUT} (mV) 分段线性值
-40	100	100
-35	150	150
-30	200	200
-25	250	250
-20	300	300
-15	350	350
-10	400	400
-5	450	450
0	500	500
5	550	550
10	600	600
15	650	650
20	700	700
25	750	750
30	800	800
35	850	850
40	900	900
45	950	950
50	1000	1000
55	1050	1050
60	1100	1100
65	1150	1150
70	1200	1200
75	1250	1250
80	1300	1300
85	1350	1350
90	1400	1400
95	1450	1450
100	1500	1500
105	1550	1550.5
110	1600	1601
115	1650	1651.5
120	1700	1702
125	1750	1752.5
130	1800	1805/5
135	1850	1858/5
140	1900	1911.5
145	1950	1964.5
150	2000	2017.5

3 PWM 控制器 UCC28C43-Q1 设计关键信息

3.1 UCC28C43-Q1 内部方框图

图 3-1 显示其中包含 PWM、误差放大器、电流检测单元，如果向 FB 提供模拟信号，UCC28C43-Q1 可以在输出端生成方波，并且占空比会随着 FB 模拟信号的变化而相应变化。

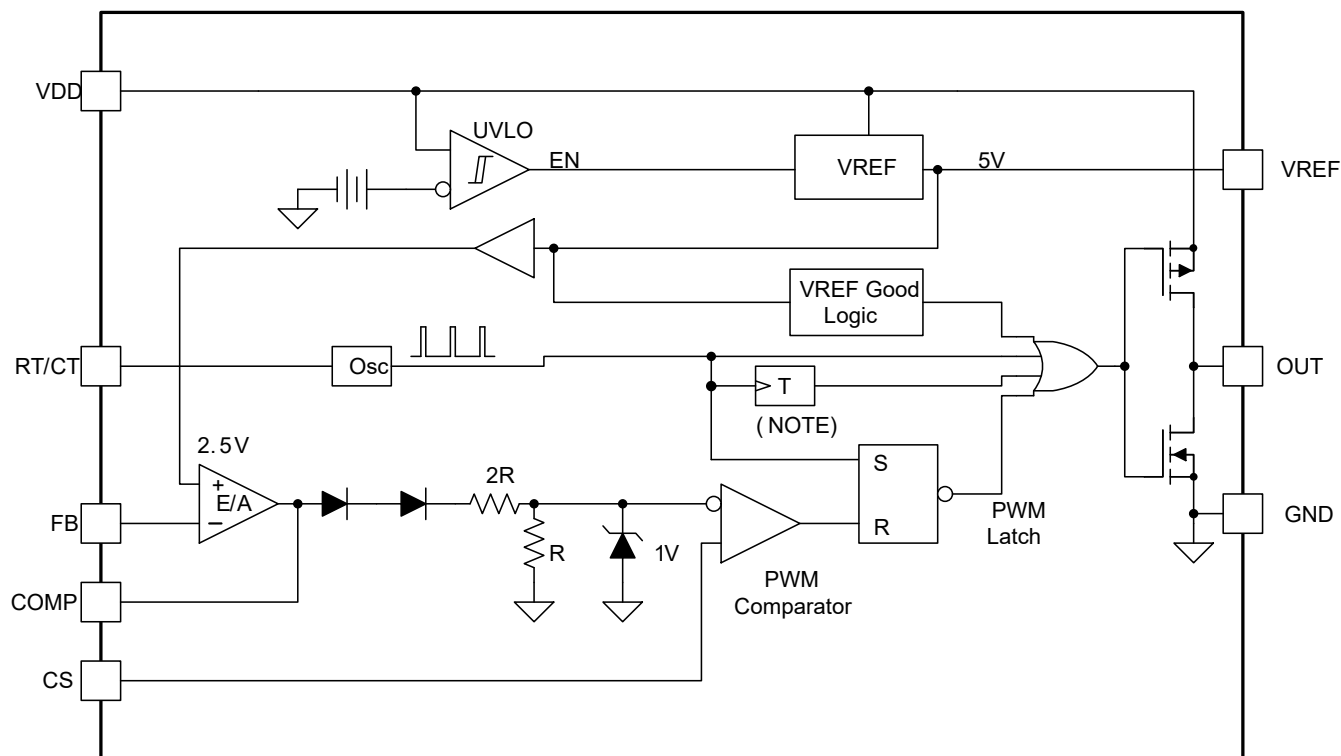


图 3-1. 内部框图

3.2 UCC28C43-Q1 电压模式设置

图 3-2 展示了一种设置电压模式的方式。在加热器应用中，可以使用电压模式，因为电路中没有电流环路，T1、R6、R2 组合形成构成电压模式控制。T1 2N2222 是 NPN 晶体管，充当电压跟随器，因此 CS 引脚上可能具有与 RT/CT 引脚上相同的锯齿波形形状，R6 和 R2 用于调整 CS 引脚上锯齿波形的振幅。简言之，CS 引脚可充当锯齿波形或三角波形输入端口，来自 UCC28C43-Q1 误差放大器的误差信号被发送到比较器的反相输入端以实现 PWM 功能。

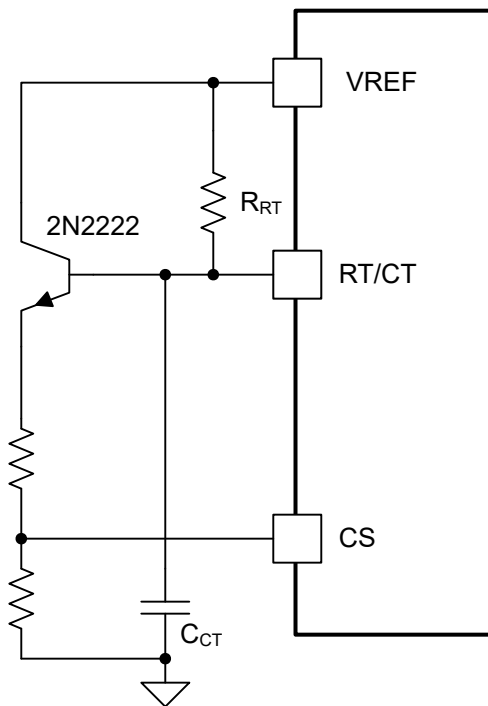


图 3-2. 电压模式设置

3.3 UCC28C43-Q1 加热频率设置

通过使用 RT 和 CT 元件，设计人员可以快速设置加热频率。

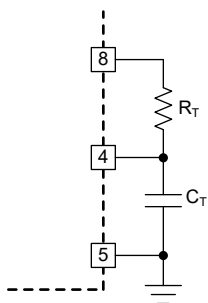


图 3-3. 加热频率设置

4 OPA333-Q1 关键信息

- 符合面向汽车应用的 AEC-Q100 标准
- 温度等级 1：-40°C 至 +125°C，T_A
- 低失调电压：10 μV (最大值)
- 0.01Hz 至 10Hz 噪声：1.1 μV_{PP}
- 静态电流：17 μA
- 单电源供电
- 电源电压：1.8V 至 5.5V
- 轨到轨输入和输出

图 4-1 展示了非反相放大器的典型连接。非反相放大器用于放大来自 ISOTMP35-Q1 模拟输出端口的电压信号，以使用弱温度信号作为 UCC28C43-Q1 器件的反馈。设计人员可以使用方程式 1 快速计算 OPA333-Q1 或 VFB_UCC28C43-Q1 的输出电压。

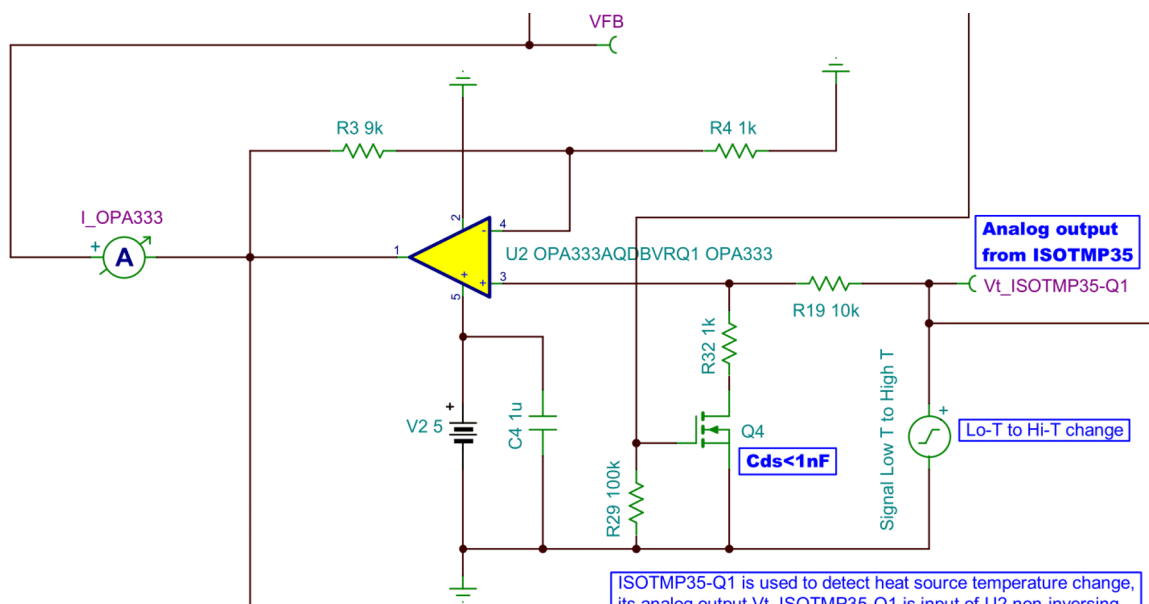


图 4-1. OPA333-Q1 典型非反相放大器电路

$$V_{FB_UC2843L} = \left(1 + \frac{R3}{R4}\right) \times V_{O_ISOTMP35} \quad (1)$$

5 空气加热器电路设计示例

5.1 工作机制说明

- ISOTMP35BEDFQRQ1 用于从热源收集温度信息。
- OPA333AQDBVRQ1 用于放大 ISOTMP35-Q1 模拟输出的电压。
- UCC28C43QDRQ1 用于驱动外部 PTC 加热器并形成闭合温度控制环路。

5.2 空气加热器原理图设计

5.2.1 工作条件

- 输入范围：12V-30V
- 加热阈值：< -15°C
- 停止加热阈值：> -10°C
- PWM 加热模式：可根据温度变化调整占空比。占空比与温度成反比。也就是说温度越高，占空比越低。
- 加热频率：1KHz
- 加热器：PTC

5.2.2 设计流程

1. 设置 UCC28C43-Q1 的加热频率：当 $R1 > 5K$ 时，若频率为 1kHz，可任取 $R1 = 20K$ 。则 $C1 = 0.1\mu F$ 。

$$F_{HEATING} \approx \frac{1.72}{R1 \times C1} \quad (2)$$

2. 配置 UCC28C43-Q1 的 EA。根据 UCC28C43-Q1 中的内部 EA 结构，它属于有 2.5V 偏置的标准反向放大器，我们可以将 UCC28C43-Q1 EA 配置为最简单的 1 倍反向放大器（ $R9$ 和 $R8$ ），因为非反相输入端口上存在 2.5V 偏置基准电压，因此最终计算公式可更改为：

$$V_{COMP_UC2843L} = V_{REF} \times \left(1 + \frac{R8}{R9}\right) - V_{FB_UC2843L} \times \frac{R8}{R9} \quad (3)$$

3. 任取 $R8 = R9 = 10K$

$$V_{COMP_UC2843L} = 2 \times V_{REF} - V_{FB_UC2843L} \quad (4)$$

4. 估算加热占空比。

$$Duty_{Heating} = \frac{V_{COMP}}{V_{CS}} = \frac{(V_{COMP_UC2843L} - 1.4)/3}{V_{SAW} \times R2/(R6 + R2)} = \frac{(2 \times V_{REF} - V_{FB} - 1.4)/3}{V_{SAW} \times R2/(R6 + R2)} \quad (5)$$

Here:

- $V_{SAW} = 1.72V$
- V_{REF} 表示 UCC28C43-Q1 中的电压基准，这个值为 2.5V
- 1.4V 表示 UCC28C43-Q1 EA 单元中 2 个二极管的正向电压
- 1/3 是 UCC28C43-Q1 EA 单元中电阻分压器 $R/(2R+R)$ 的系数

根据方程式 5，当 $V_{FB_UC2843L}$ 增加时，占空比相应降低，或者当温度升高时，占空比相应降低。

5. 设置 ISOTMP35-Q1 的加热和停止加热阈值
 - 加热阈值：< -30°C，ISOTMP35-Q1 的输出电压 = 200mV
 - 停止加热阈值：> -15°C，ISOTMP35-Q1 的模拟输出电压 = 350mV
6. 根据占空比公式设置 OPA333-Q1 或 $R3$ 、 $R4$ 的放大系数。

$$Duty_{Heating} = \frac{V_{COMP}}{V_{CS}} = \frac{(V_{COMP_UC2843L} - 1.4)/3}{V_{SAW} \times R2/(R6 + R2)} = \frac{(2 \times V_{REF} - V_{FB} - 1.4)/3}{V_{SAW} \times R2/(R6 + R2)} \quad (6)$$

Here:

- $V_{SAW} = 1.72V$
- 任取 $R6 = R2 = 1K$

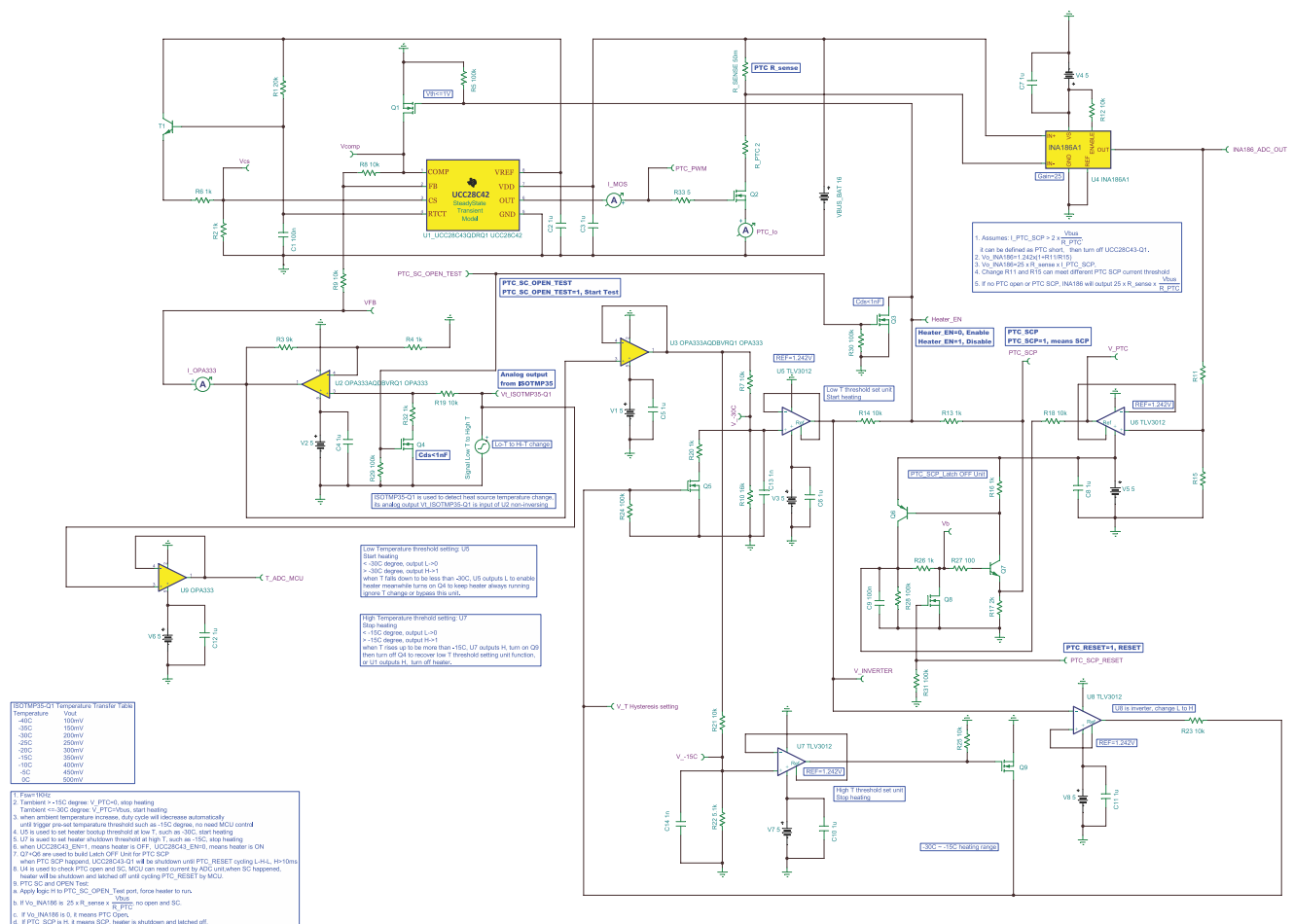
- V_{REF} 表示 UCC28C43-Q1 中的电压基准，这个值为 2.5V
- 1.4V 表示 UCC28C43-Q1 EA 单元中 2 个二极管的正向电压
- 1/3 是 UCC28C43-Q1 EA 单元中电阻分压器 $R/(2R+R)$ 的系数

$$Duty_{Heating} = \frac{V_{COMP_UC2843L}}{V_{CS}} = \frac{(V_{COMP_UC2843L} - 1.4)/3}{1.72 \times 0.5} = \frac{(2 \times V_{REF} - V_{FB} - 1.4)}{2.58} = \frac{(3.6 - V_{FB})}{2.58} \quad (7)$$

当占空比为 1、0 时， $V_{FB_UC2843L}$ 分别为 1.02V 和 3.6V

- 对于停止加热，阈值为 -15°C 或 350mV，OPA333-Q1 的放大比率为：停止加热意味着占空比为 0，因此 V_{FB} 至少需要大于 3.6V (根据方程式 2) 或 $3.6V/0.35V = 10.3$ ，这意味着如果该比率大于 10，可能触发停止加热阈值。
- 对于开始发热，阈值为 -30°C 或 200mV，OPA333-Q1 的放大比率为：开始加热意味着占空比大于 0， V_{FB} 需要小于 3.6V (根据方程式 2)， $3.6V/0.2V = 18$ ，这意味着如果该比率小于 18，可能触发开始启动加热阈值。

如果同时考虑停止和开始加热放大比率数据，可以为此设计选择 10，但根据方程式 2，停止阈值可能略高于预期，可任取 $R3 = 9K$ ，因此 $R4 = 1K$ 。



说明：

1. 对于此设计中的 R 和 C 元件，元件需要满足汽车领域的 AEQ 等级。
2. 对于 48V EV 系统，请使用降压 LMR38010FSQDDARQ1，其最大输入电压高达 80V，可为 UCC28C43-Q1 提供固定 12V 电源轨，LDO TPS71550QDCKRM3Q1 可为 OPA333-Q1 和 ISOTMP45-Q1 提供固定 5V 电源轨（来自降压的 12V 电源轨）
3. 对于 12V EV 系统，由于输入范围可以为 9V 至 16V，因此需要降压/升压转换器来生成 12V 电压，TPS55160QPWPRQ1 可满足目标应用要求，LDO TPS71550QDCKRM3Q1 可直接从 12V 总线提供固定 5V 电压。
4. 如果设计人员需要上电或断电、温度磁滞、PTC SCP 或开路检测等更多功能，请参阅仿真原理图中的注释说明。

仿真波形：-35°C - -20°C 或 150mV - 300mV，开始加热到继续加热

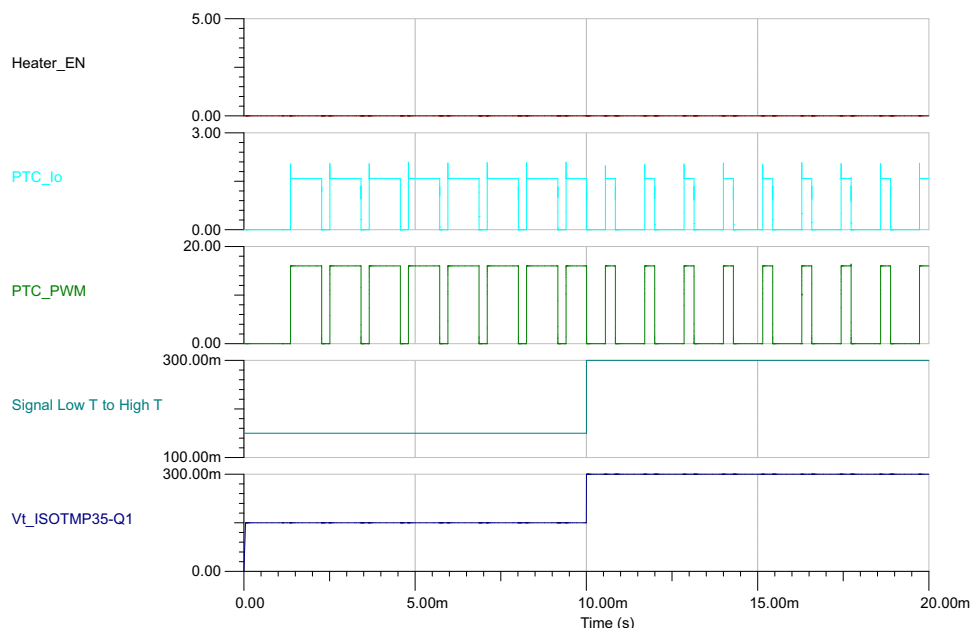


图 5-2. 加热：-35°C 至 -20°C

仿真波形：-35°C - -12°C 或 150mV - 380mV，继续加热到停止加热

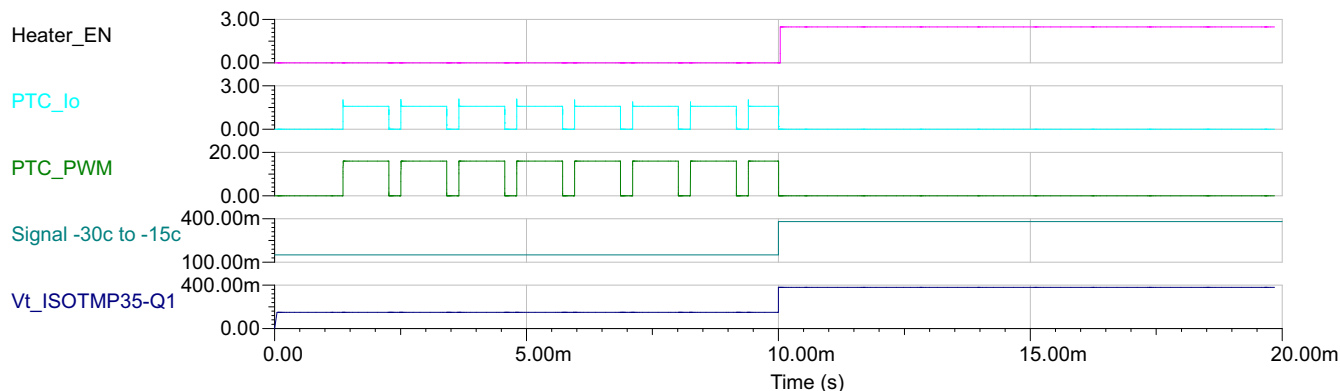


图 5-3. 停止加热：-12°C

仿真波形：-35°C - -12°C 或 150mV - 300mV，加热到 PTC SCP

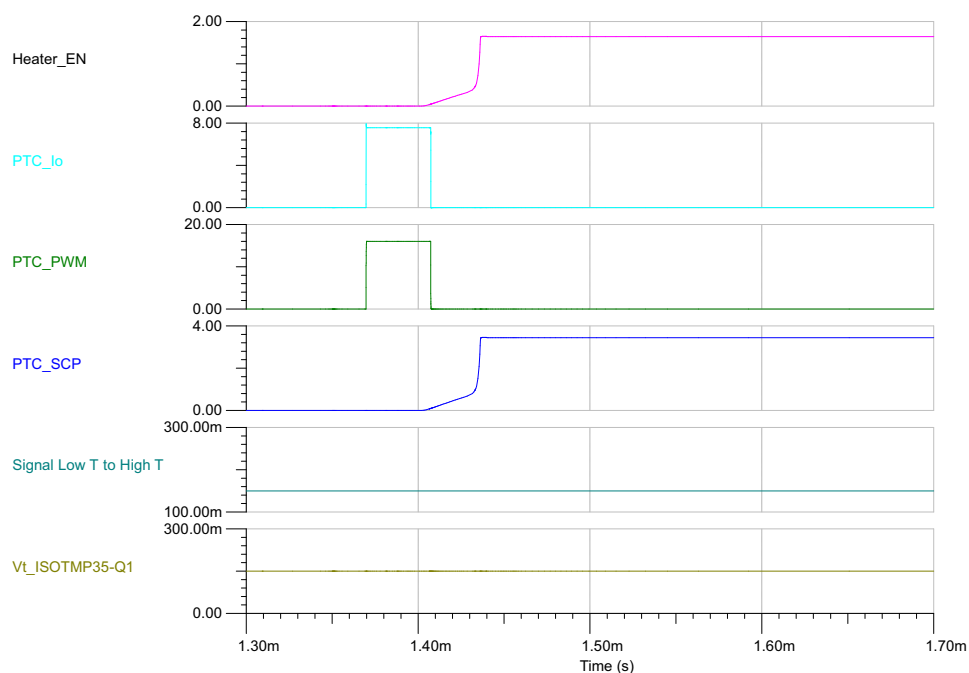


图 5-4. PTC 短路保护 2A 至 8A

6 典型加热器原理图

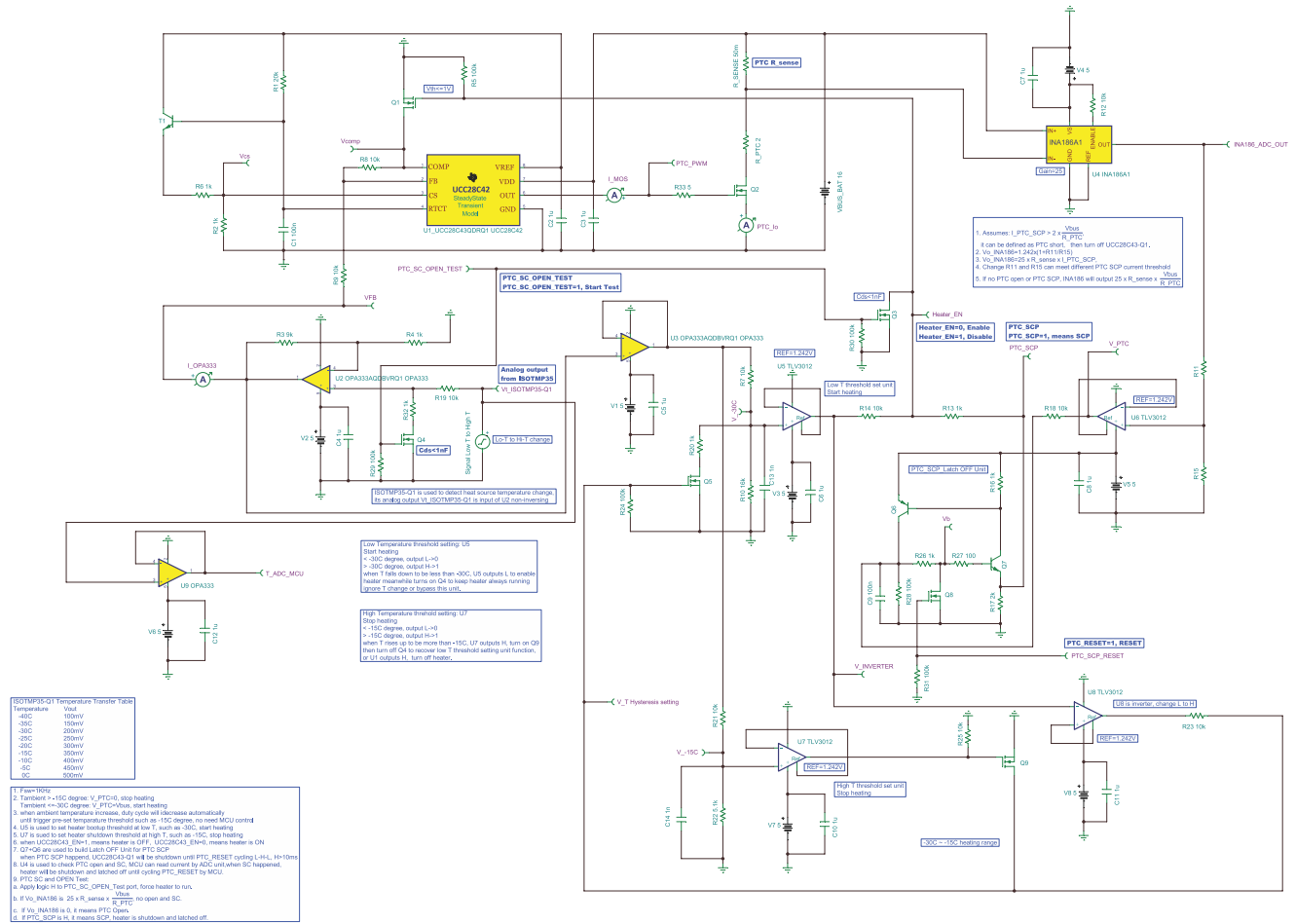


图 6-1. 典型加热器原理图

7 参考资料

- 德州仪器 (TI), [ISOTMP35-Q1 具有模拟输出、小于 2 秒响应时间和 500VRMS 工作电压的汽车级 \$\pm 1.5^{\circ}\text{C}\$ 、3kVRMS 隔离温度传感器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [ISOTMP35B 评估模块](#), EVM 用户指南。
- 德州仪器 (TI), [OPA333-Q1 1.8V、微功耗 CMOS 零漂移运算放大器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [UCC28C4x-Q1 BICMOS 低功耗电流模式 PWM 控制器](#), 数据表。

重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司