

Application Note

EV コックピット向けの ISOTMP35-Q1 を使用したエアヒーターの設計

Xiaohu Qin

概要

電気自動車(EV)システムにおいて、 -40°C のような極端な低温環境下で EV のコックピット内の電子機器の動作環境を改善するため、この目標を達成するための空気ヒーターユニットが必要となる場合があります。本書では、この要件を満たすための PWM 加熱設計を提供します。この設計により、マイクロコントローラ(MCU)の制御なしに、周囲温度の変化に応じてヒーターを自動的に動作させることが可能です。ISOTMP35-Q1 に加え、PWM コントローラ UCC28C43-Q1 やオペアンプ OPA333-Q1 も使用され、この設計において閉ループ温度制御回路を構成しています

目次

1 はじめに.....	1
2 ISOTMP35 -Q1 設計の主要情報.....	2
2.1 温度を検出するための簡略化された設計図.....	2
2.2 温度伝達表.....	3
3 PWM コントローラ UCC28C43-Q1 設計の主要情報.....	4
3.1 UCC28C43-Q1 の内部ブロック図.....	4
3.2 UCC28C43-Q1 の電圧モード設定.....	4
3.3 UCC28C43-Q1 の加熱周波数設定.....	5
4 OPA333-Q1 の主要情報.....	6
5 エアヒーター回路設計サンプル.....	7
5.1 作業メカニズムの説明.....	7
5.2 エアヒーターの回路図設計.....	7
6 代表的なヒーターの回路図.....	11
7 参考資料.....	12

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 はじめに

ISOTMP35-Q1 は、業界初の絶縁型温度センサ IC であり、最大 3000VRMS の耐電圧の内蔵絶縁バリアと、 -40°C ～ 150°C で $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ の勾配を特長とするアナログ温度センサを組み合わせています。この統合により、高価な絶縁回路を必要とせず、センサを高電圧熱源 (たとえば HV FET、IGBT、HV コンタクト) と同じ場所に設置することができます。また、高電圧熱源に直接接触することで、絶縁要件を満たすためにセンサを遠くに配置するアプローチに比べ、より高い精度と高速な熱応答が得られます。ISOTMP35-Q1 は非絶縁型の 2.3V ～ 5.5V 電源で動作するため、高電圧プレーンでサブレギュレートされた電源を利用できないアプリケーションに簡単に統合できます。内蔵絶縁バリアは UL1577 の要件を満たしています。表面実装パッケージ (7 ピン SOIC) は、熱源から組み込み熱センサへの優れた熱流を提供し、熱質を最小限に抑え、より正確な熱源測定を実現します。これにより、時間のかかる熱モデリングの必要性が減り、製造や組み立てによる機械的なばらつきが減少するため、システム設計のマージンが向上します。ISOTMP35-Q1 の Class-AB 出力ドライバは、最大出力が $500\mu\text{A}$ と強力で、最大 1000pF の容量性負荷を駆動でき、A/D コンバータ (ADC) のサンプル ホールド入力と直接インターフェイスするように設計されています

2 ISOTMP35-Q1 設計の主要情報

2.1 温度を検出するための簡略化された設計図

図 2-1 に、非常にシンプルな設計回路図を示します。これは、設計エンジニアが ISOTMP35-Q1 を簡単かつ迅速に使用できることを意味します。複雑な組み立て手順なしで TSENSE ピンをターゲットの熱源に直接接続できます。VDD は 2.3V~5.5V の範囲で、通常は LDO が ISOTMP35-Q1 の電源として適しています。

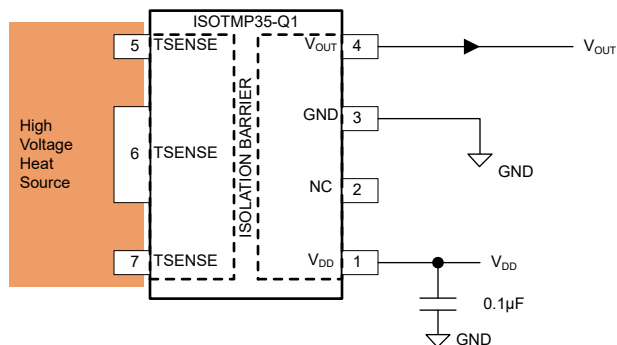


図 2-1. ISOTMP35-Q1 の代表的な回路

図 2-2 は、設計者が実際の設計を開始する際、ADC ユニットやその他のノイズ源からのノイズを除去するために RC フィルタの設計を考慮します。通常、ISOTMP35-Q1 のアナログ出力ポートの前段に RC フィルタ回路を配置する必要があります。ISOTMP35-Q1 のアナログ出力における総容量(C17+C20)は 1000pF を超えてはなりません。R15 は 10KΩ から 100KΩ の範囲内に設定する必要があります。

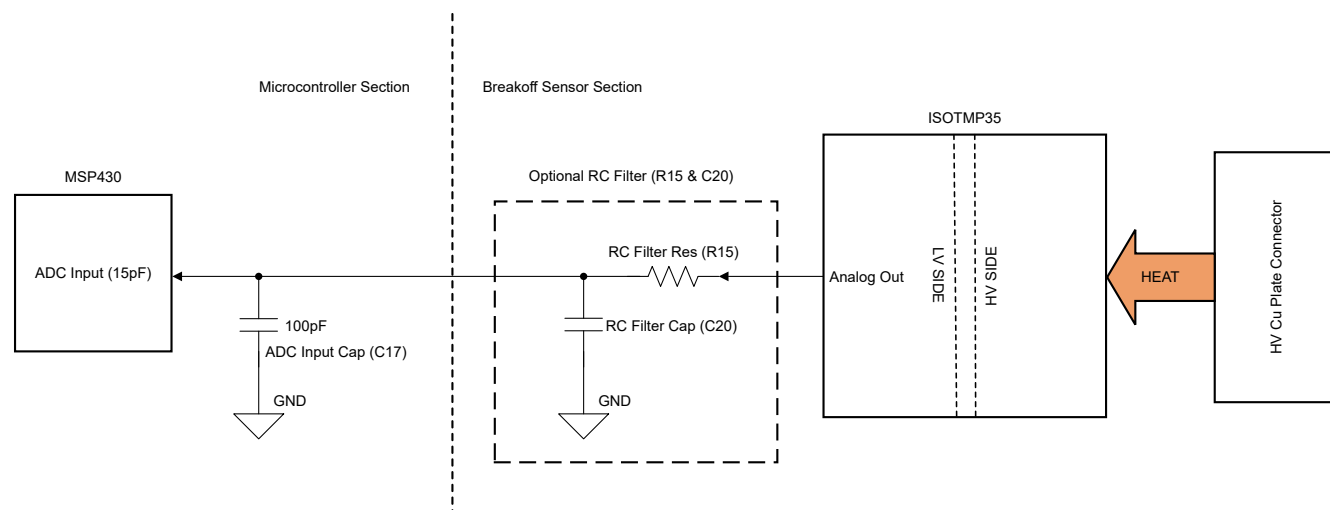


図 2-2. ISOTMP35 フロント RC フィルタ設計上の検討事項

2.2 温度伝達表

表 2-1 は、ISOTMP35-Q1 の測定温度とアナログ出力の間に優れ 直線性を示します。こ 直線性は、MCU 内の ADC ユニツで読み取ることができ、または UCC28C43-Q1 のような PWM コントローラのアナログフィードバック信号として使用され、温度制御の閉ループを形成することができます。

表 2-1. ISOTMP35-Q1 温度伝達表

温度 (°C)	V _{OUT} (mV)計算された線形値	V _{OUT} (mV)区間ごとの線形値
-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 コントローラ UCC28C43-Q1 設計の主要情報

3.1 UCC28C43-Q1 の内部ブロック図

図 3-1 は、PWM、エラーアンプ、電流センスユニットが存在することを示しています。FB にアナログ信号を供給する場合、UCC28C43-Q1 は出力に方形波を生成でき、FB のアナログ信号が変化するとそれに応じてデューティサイクルが変更されます。

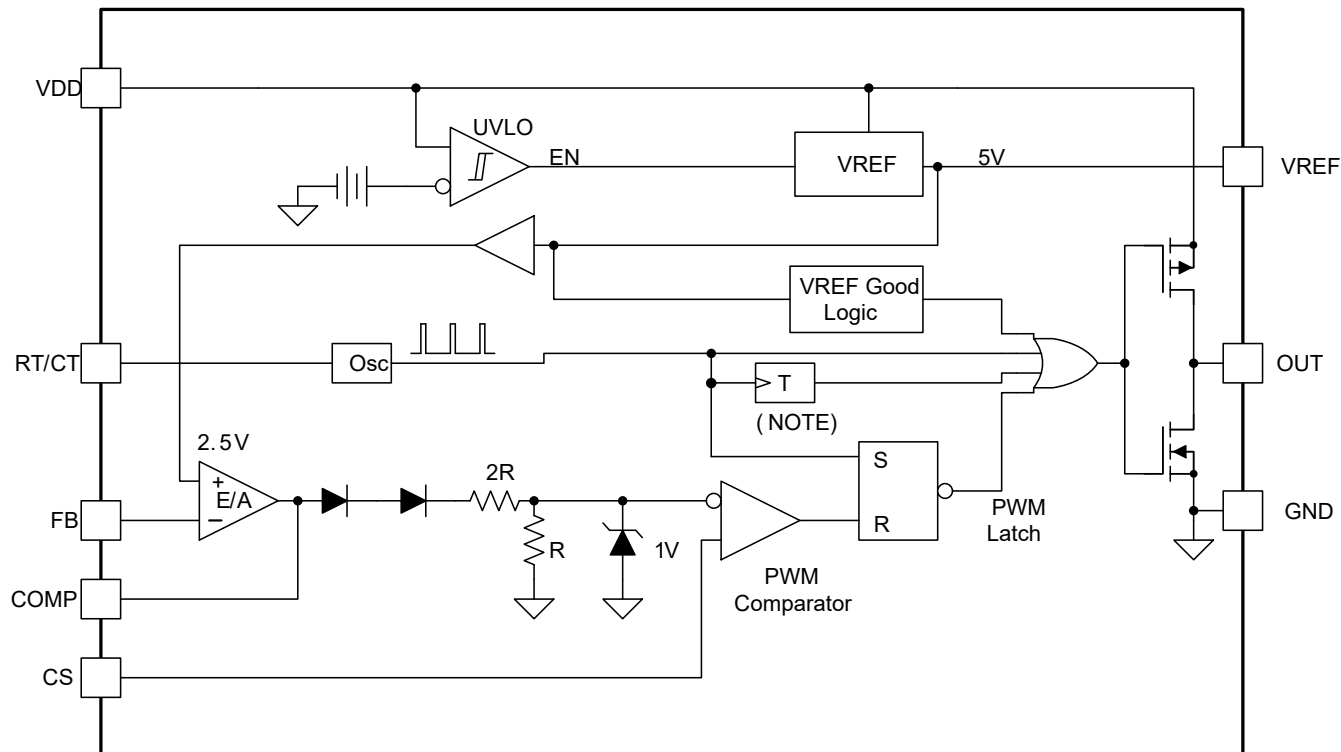


図 3-1. 内部ブロック図

3.2 UCC28C43-Q1 の電圧モード設定

図 3-2 は電圧モードを設定する方法を示しています。ヒーターアプリケーションでは、回路には電流ループがないため、電圧モードを使用できます。T1、R6、R2 の組み合わせが電圧モード制御を形成します。T1 2N2222 は NPN トランジスタであり、電圧フォロワとして機能するため、CS ピンと RT/CT ピンに同じ形状のノコギリ波形が生成されます。R6 と R2 は CS ピンのノコギリ波形の振幅を調整するために使用されます。簡単に言うと、CS ピンは、ノコギリ波形または三角波形の入力ポートとして機能します。UCC28C43-Q1 のエラーアンプから出力されるエラー信号は、コンパレーターの逆入力に送られ、PWM 機能を実装します。

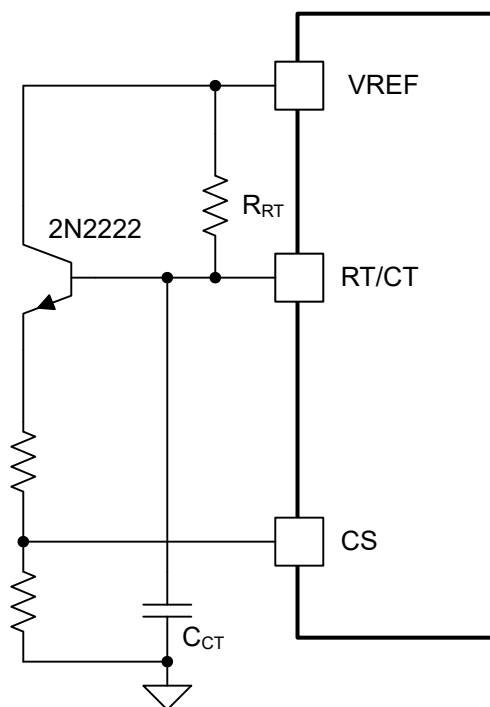


図 3-2. 電圧モード設定

3.3 UCC28C43-Q1 の加熱周波数設定

RT および CT コンポーネントを使用することで、設計者は加熱周波数を迅速に設定できます。

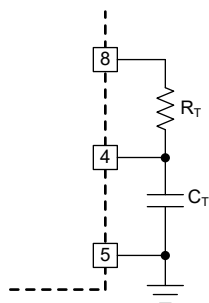


図 3-3. 加熱周波数の設定

4 OPA333-Q1 の主要情報

- 車載アプリケーション向けに AEC-Q100 認証済み
- 温度グレード 1: -40°C ~ +125°C、T_A
- 低いオフセット電圧: 10μV (最大値)
- 0.01Hz ~ 10Hz のノイズ: 1.1μVPP
- 静止電流: 17μA
- 単一電源動作
- 電源電圧: 1.8V ~ 5.5V
- レール ツー レール入出力

図 4-1 に、非反転アンプの代表的な接続を示します。非反転アンプは、ISOTMP35-Q1 のアナログ出力ポートからの電圧信号を増幅し、その弱い温度信号を UCC28C43-Q1 デバイスのフィードバックとして使用するために用いられます。設計者は、式 1 を使用して OPA333-Q1 の出力電圧を計算したり、VFB_UCC28C43-Q1 を迅速に算出したりできます。

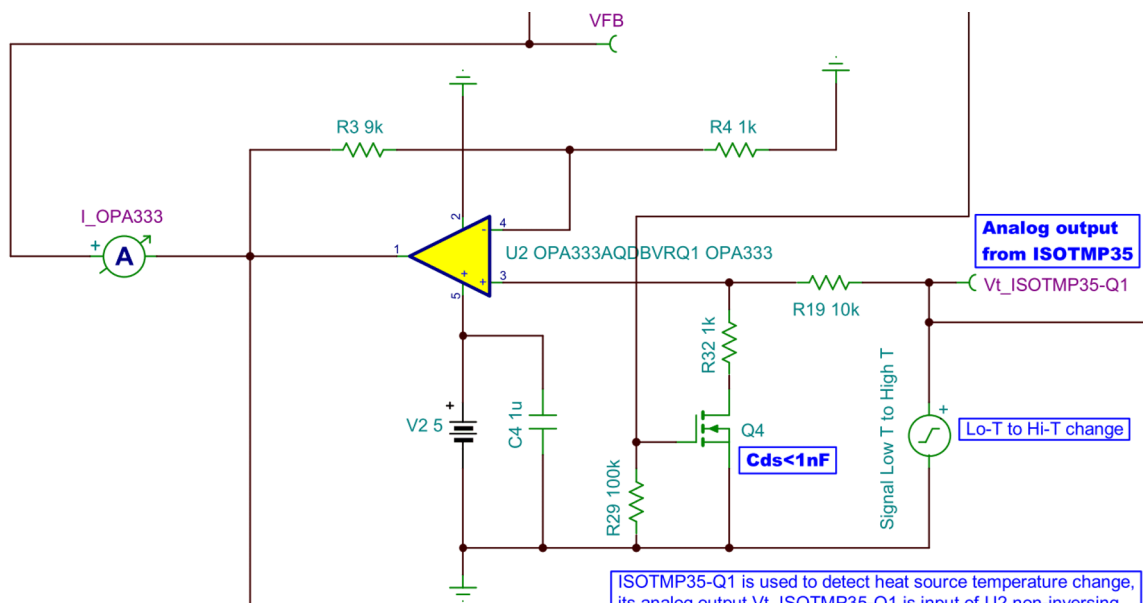


図 4-1. OPA333-Q1 の代表的な非反転アンプ回路

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

5 エアヒーター回路設計サンプル

5.1 作業メカニズムの説明

- ISOTMP35BEDFQRQ1 は、熱源から温度情報を収集するために使用されます。
- OPA333AQDBVRQ1 は、ISOTMP35-Q1 アナログ出力の電圧を増幅するために使用されます。
- UCC28C43QDRQ1 を使用して、外部 PTC ヒーターを駆動し、閉温度制御ループを形成します。

5.2 エアヒーターの回路図設計

5.2.1 作業条件

- 入力範囲: 12V-30V
- 加熱スレッシュホールド: < -15°C
- 加熱停止 スレッシュホールド: -10°C 超過
- PWM 加熱モード: デューティ サイクルは、温度の変化に応じて調整できます。デューティ サイクルは温度に反比例します。これは、温度が高くなるほど デューティ サイクルが低くなることを意味します。
- 加熱周波数: 1KHz
- ヒーター: PTC

5.2.2 設計手順

- UCC28C43-Q1 を使用して加熱周波数を設定します。R1>5K の場合、周波数が 1kHz であれば R1 を 20K に任意に設定できます。その後、C1 = 0.1μF となります。

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

- UCC28C43-Q1 の EA を構成します。UCC28C43-Q1 の内部 EA 構造に従い、これは 2.5V バイアスされた標準的逆数アンプです。非反転入力端子に 2.5V のバイアス参照電圧が供給されているため、UCC28C43-Q1 の EA を最もシンプルな 1 倍逆相アンプ(R9 と R8)として設定できます。これにより、最終的な計算式を次のように変更できます。

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

- R8=R9=10K と任意に設定します

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

- 加熱用のデューティサイクルを推定します。

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

ここでは、

- V_{SAW} = 1.72V
- V_{REF} は UCC28C43-Q1 電圧リファレンス(2.5V)を意味します
- 1.4V は、UCC28C43-Q1 EA ユニットの 2 個のダイオードの順方向電圧を意味します
- 1/3 は、UCC28C43-Q1 EA ユニットにおける抵抗デバイダ R/(2R+R)の係数です

式 5 から、V_{FB}_UC2843L が増加すると、それに応じてデューティサイクルが減少します。温度が上昇すると、それに応じてデューティサイクルが減少します。

- ISOTMP35-Q1 を使用して加熱と停止のスレッシュホールドを設定します
 - 加熱スレッシュホールド: < -30°C、ISOTMP35-Q1 からの出力電圧=200mV
 - 加熱停止 スレッシュホールド: > -15°C、ISOTMP35-Q1 からのアナログ出力電圧=350mV
- OPA333-Q1 増幅係数を設定するか、またはデューティサイクル方程式に従って R3、R4 を設定してください。

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

ここでは、

- $V_{SAW} = 1.72V$
- $R6=R2=1K$ と任意に設定します。
- V_{REF} は UCC28C43-Q1 電圧リファレンス(2.5V)を意味します
- 1.4V は、UCC28C43-Q1 EA ユニットの 2 個のダイオードの順方向電圧を意味します
- 1/3 は、UCC28C43-Q1 EA ユニットにおける抵抗デバイダ $R/(2R+R)$ の係数です

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

デューティサイクルが 1、0 の場合、 $V_{FB, UC2843}$ はそれぞれ 1.02V および 3.6V です

- 停止加熱の場合、スレッシュホールドは-15℃または 350mV であり、OPA333-Q1 の増幅率は次のようになります。停止加熱はデューティサイクルが 0 であることを意味するため、式 2 によると、VFB は少なくとも 3.6V 以上である必要があります(または $3.6V/0.35V = 10.3$)。これは、比率が 10 を超える場合、加熱停止スレッシュホールドがトリガされる可能性があることを意味します。
- 停止加熱の場合、スレッシュホールドは-30℃または 200mV であり、OPA333-Q1 の増幅率は次のようになります。加熱開始はデューティサイクルが 0 より大きいことを意味します。VFB は 3.6V 未満である必要があります。式 2 によると、 $3.6V/0.2V = 18$ となり、比率が 18 未満の場合、加熱開始スレッシュホールドがトリガされる可能性があります。

停止と開始の両方の増幅比データを考慮すると、10はこの設計のオプションですが、式2によると、停止スレッショルドは予測よりわずかに高くなる可能性があります。そのため R3 = 9K となるので、R4 = 1K となります。

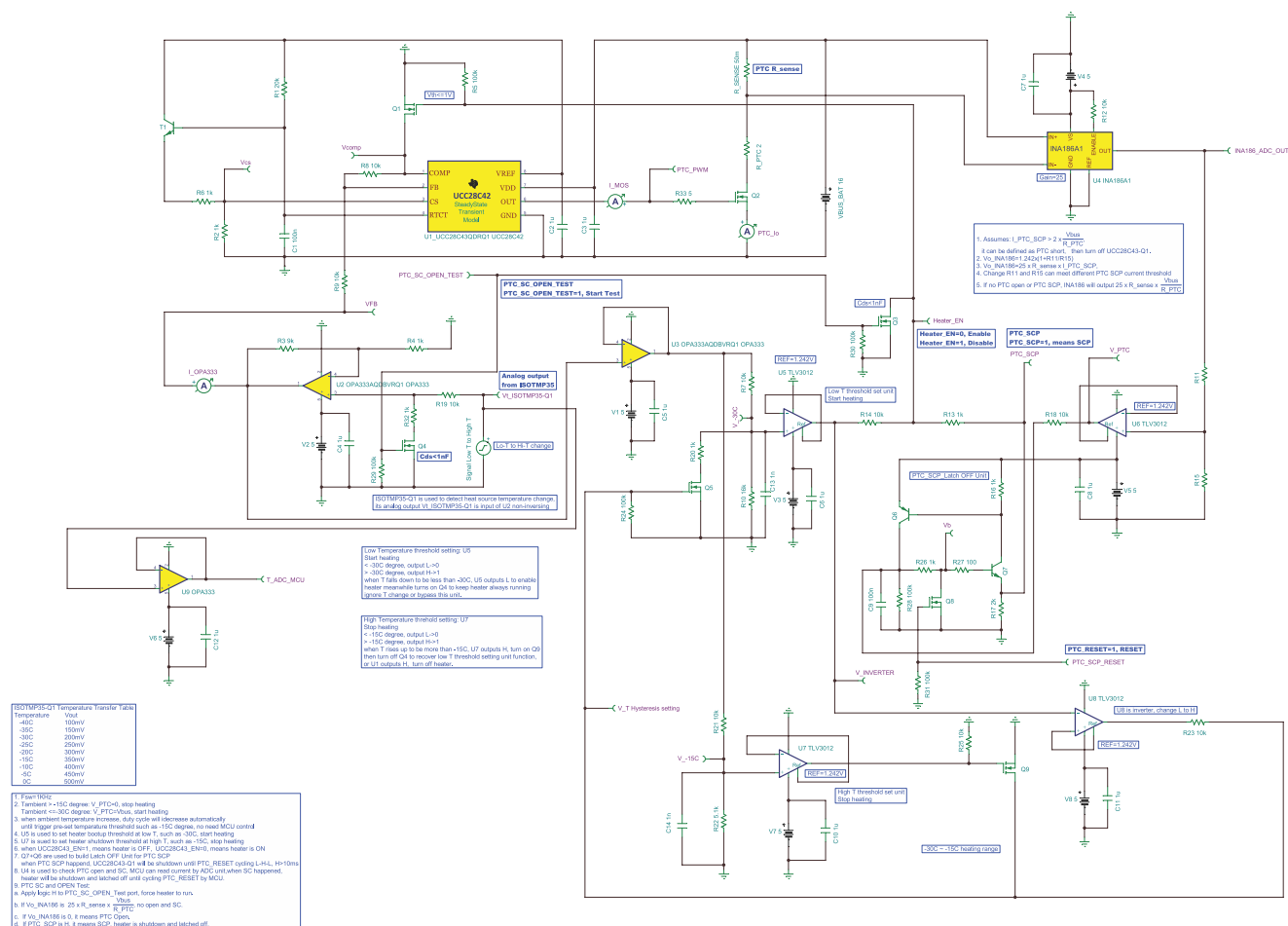


図 5-1. 代表的なヒーターの回路図

ここでは、

1. Lo-T から Hi-T ソースへの信号を使用して、ISOTMP35-Q1 のアナログ出力をシミュレートします。
2. IO_PTC は、PTC に流れる電流(熱電流)を意味します。
3. PTC_PWM は、PTC_MOSFET、つまり Q2 への PWM 駆動信号を意味します。

注:

1. この設計で R および C の部品の場合、部品は、車載分野の AEQ グレードを満たす必要があります。
2. 48V EV システムの場合、降圧 LMR38010FSQDDARQ1 を使用します。最大入力電圧は 80V までで、UCC28C43-Q1 に固定 12V 電源レールを供給します。OPA333-Q1 および ISOTMP45-Q1 用の固定 5V 電源レール(降圧の 12V 電源レールから供給)には、LDO TPS71550QDCKRM3Q1 を使用してください
3. 12V EV システムの場合、入力範囲が 9V~16V になるため、この場合は 12V を生成するための昇降圧が必要です。TPS55160QPWPRQ1 はターゲットアプリケーションを満たすことができ、LDO TPS71550QDCKRM3Q1 は 12V バスから直接固定 5V を生成します。
4. 設計者が、電源オン/オフ、温度ヒステリシス、PTC SCP、オープン検出などの追加の機能を必要とする場合は、シミュレーション回路図の注記の説明を参照してください。

シミュレーション波形: -35°C ~ -20°C または 150mV ~ 300mV で加熱を開始し加熱を継続します

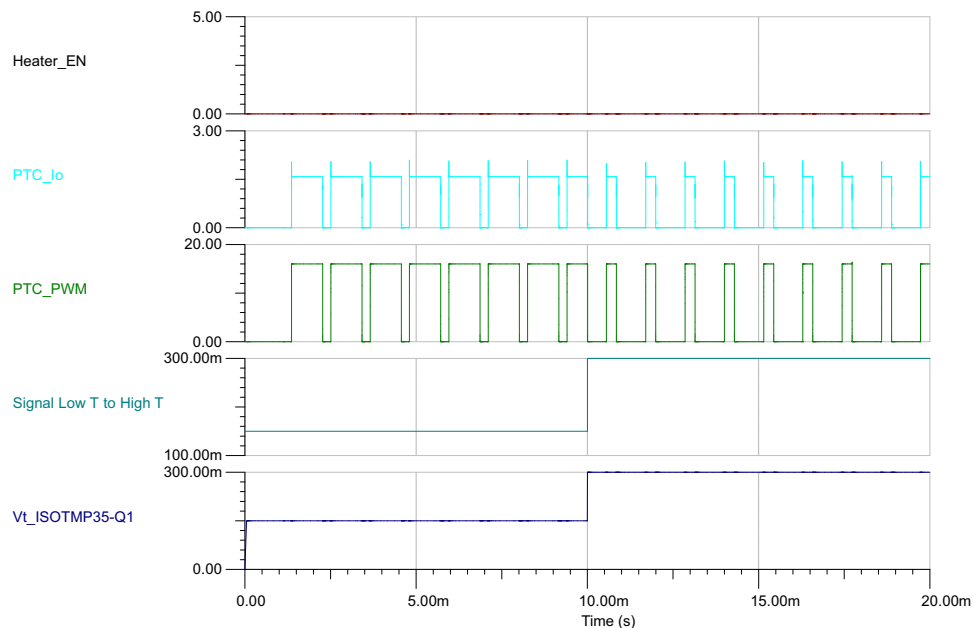


図 5-2. 加熱: -35°C ~ -20°C

シミュレーション波形: -35°C ~ -12°C または 150mV ~ 380mV で加熱を継続し加熱を停止します

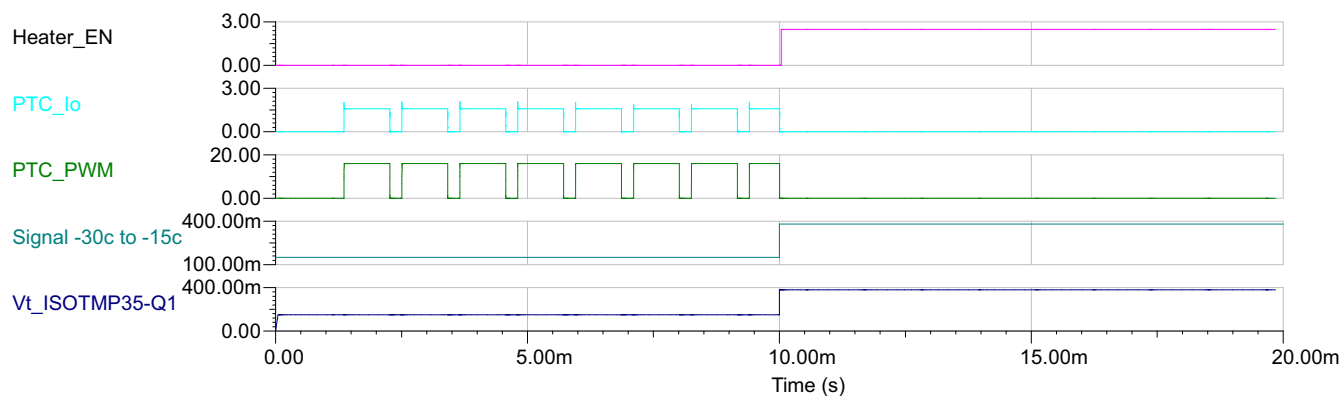


図 5-3. 加熱停止:-12°C

シミュレーション波形:-35°C~-12°C または 150mV~300mV、PTC SCP まで加熱

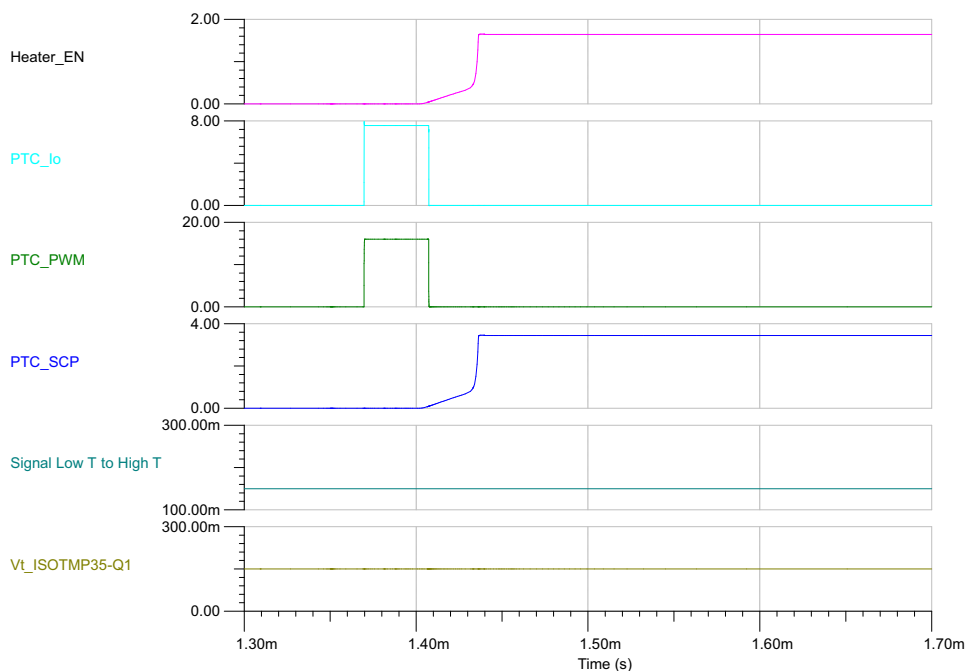


図 5-4. PTC 短絡保護 2A~8A

6 代表的なヒーターの回路図

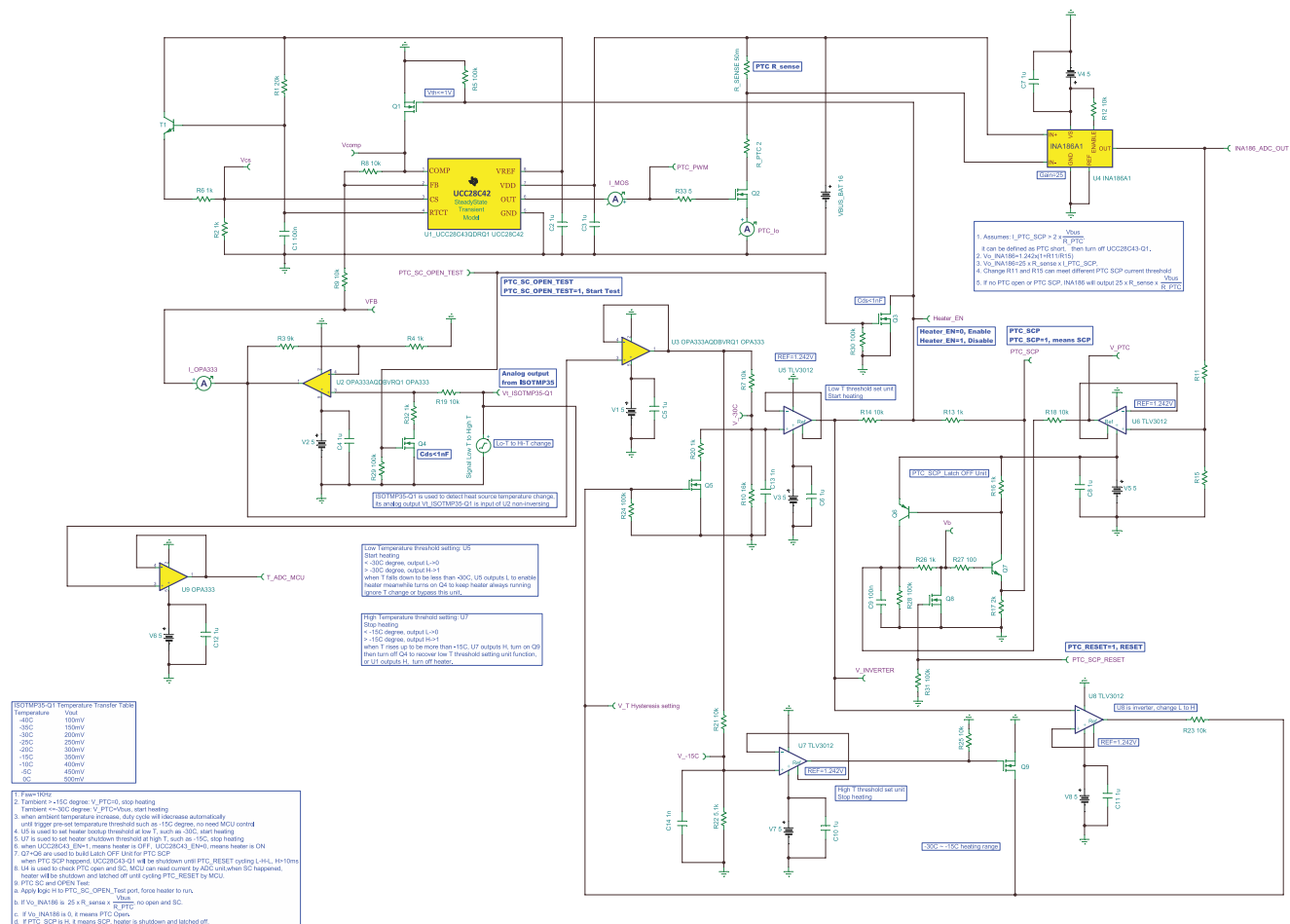


図 6-1. 代表的なヒーターの回路図

7 参考資料

- テキサス インスツルメンツ、[ISOTMP35-Q1 車載用 \$\pm 1.5^{\circ}\text{C}\$ 、3-kVRMS 絶縁型温度センサ、アナログ出力付き、応答時間 2 秒未満、動作電圧 500VRMS](#)、データシート。
- テキサス インスツルメンツ、[ISOTMP35B 評価基板 EVM ユーザー ガイド](#)。
- テキサス インスツルメンツ、[OPA333-Q1 車載、1.8V、マイクロパワー、CMOS、ゼロドリフトのオペアンプ](#)、データシート。
- テキサス インスツルメンツ [UCC28C4x-Q1 BICMOS ローパワー電流モード PWM コントローラ](#)、データシート。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用される テキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated