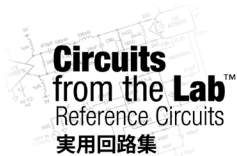


回路ノート
CN-0508

テスト済み回路設計集“Circuits from the Lab™”は共通の設計課題を対象とし、迅速で容易なシステム統合のために製作されました。さらに詳しい情報又は支援は <https://www.analog.com/jp/CN0508> をご覧ください。

接続または参考にしたデバイス

LT3081	モニタ機能を備えた単一抵抗型の堅牢な 1.5A リニア・レギュレータ
LT8612	静止電流が 3μA の 42V、6A 同期整流式降圧レギュレータ
LT8609	静止電流が 2.5μA の 42V、3A 同期整流式降圧レギュレータ
LTC1983-5	ThinSOT の 100mA 安定化チャージ・ポンプ・インバータ
AD5683R	± 2LSB INL、2ppm/°C リファレンス内蔵、16 ビット SPI nanoDAC+
LT6015	3.2MHz、0.8V/μs 低消費電力の Over-the-Top 高精度オペアンプ
ADCMP392	パワーアップ状態が既知のデュアル・コンパレータ
AD7124-4	4 チャンネル、低ノイズ、低消費電力、24 ビット、シグマ・デルタ型 A/D コンバータ、PGA およびリファレンス内蔵

75 ワット単一出力ベンチトップ電源

評価と設計支援

回路評価用ボード

CN-0508 回路評価用ボード (EVAL-CN0508-RPIZ)

設計および統合ファイル

回路図、PCB レイアウト・データ、部品表、ソフトウェア、
機械的エンクロージャ

回路の機能とその利点

高品質のベンチトップ電源は、どんな電子工学や科学の実験室でも不可欠な機器となっています。なぜなら、電力の完全性が損なわれると、敏感な回路に予期せぬ故障が発生するおそれがあるためです。しかしながら、現在市販されている電源のほとんどは競争力のある仕様になっていますが、代償としてコストが高く、サイズや放熱が犠牲になっています。

図 1 に示す回路は、シングルチャンネルの 75W ベンチトップ電源で、0V~27.5V という広い範囲にわたって出力電圧を調整でき、電流制限/定電流動作（最大 3A）が可能です。

Raspberry Pi®互換拡張ヘッダーを用いると、ローカルのタッチスクリーンや、無線または有線のネットワーク接続を介した電子制御が可能です。出力電圧は手動またはソフトウェアで制御することができ、手動の電流制限制御により、定電圧動作から定電流動作への遷移が設定できます。

このベンチトップ電源は、ハイブリッド降圧/リニア・アーキテクチャを備えており、低出力リップル、低出力容量、優れた過渡応答、0V および 0A へのレギュレーション、およびヒート・シンクを必要としない低消費電力を実現します。このフル機能のソリューションは、低価格、小型で、スタンドアロン動作をさせる場合や他の装置に組み込む場合に容易に構成できます。

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、それぞれの所有者の財産です。※日本語版資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。

Rev. 0

©2013-2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

アナログ・デバイセズ株式会社

本 社／〒105-6891 東京都港区海岸 1-16-1 ニューピア竹芝サウスタワービル 10F
電話 03 (5402) 8200
大 阪営業所／〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原 3-5-36 新大阪トラストタワー 10F
電話 06 (6350) 6868
名古屋営業所／〒451-6038 愛知県名古屋市中区牛島町 6-1 名古屋ルーセントタワー 38F
電話 052 (569) 6300

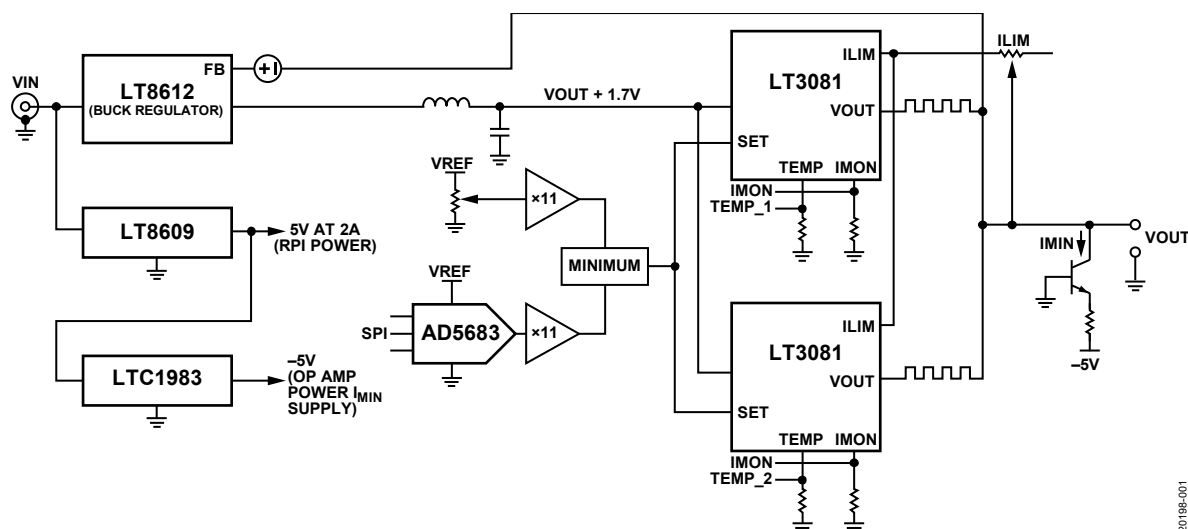


図 1. CN-0508 のブロック図

回路の説明

CN-0508 は、市販の高性能電源に匹敵する性能を備えながら、低価格で調整可能なパワー・ソリューションを提供します。

この設計では、1 個の降圧コンバータ・プリレギュレータと、2 個の並列リニア電圧レギュレータで構成されるハイブリッド回路を使用しています。この回路構成は、降圧コンバータが持つ高い電力効率と、リニア電圧レギュレータが持つ低出力ノイズ、低リップル、調整可能な電流制限を組み合わせたものです。

回路基板本体を除いてヒート・シンクは必要ありません。これは、十分な放熱を行うために、パス・デバイス（ディスクリート・トランジスタまたは集積回路レギュレータ）に外部ヒート・シンクを必要とするリニア・ベンチ電源と対照的です。

電源コア

LT8612 降圧コンバータ

CN-0508 の設計図の初段には、LT8612 同期整流式降圧コンバータが配置されています。降圧コンバータ、つまり降圧スイッチ・モード電源は、高い DC 電圧を低い DC 電圧に効率よく降圧します。また、降圧コンバータは、電流能力が同等のリニア電圧レギュレータと比較して、小型パッケージで低消費電力と高電力密度を実現できます。

システムへの DC 入力、合計 32μF でフィルタリングとバイパスが行われてから降圧コンバータに入力されます。LT8612 は、30V の公称入力を LT3081 の最大ドロップアウト電圧 1.5V よりわずかに高く、電源出力より約 1.7V 高い電圧に効率よく降圧します。LT3081 レギュレータの両端の電圧降下をドロップアウトより少し高く維持すると、消費電力が最小限に抑えられ、ヒート・シンクを付加する必要がなくなります。

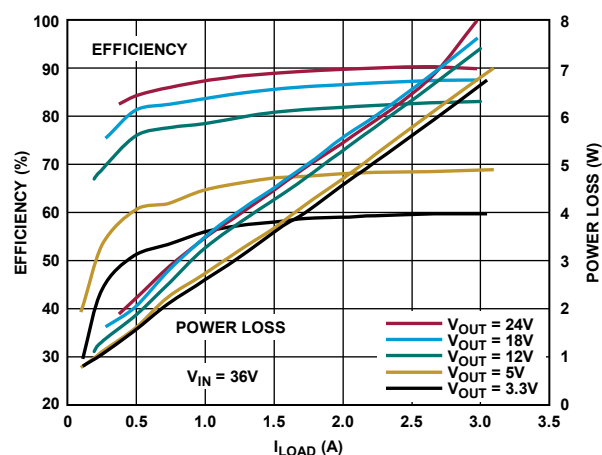


図 2. 入力電圧が 36V で出力条件が様々な場合の DC ベンチ電源の効率と電力損失

図 2 に、この複数の要素を内蔵したレギュレータの効率と電力損失を示します。最も厳しい条件では、全体の電力損失が 7W になっています。基板が露出している場合は自由対流冷却が可能です。基板が密閉されている場合でも小さなファンしか必要としません。

一般に降圧コンバータは、次式のように帰還分圧器に基づいて出力電圧を調整します。

$$V_{OUT} = V_{FB} \times \left(1 + \frac{R_{HIGH}}{R_{LOW}} \right)$$

ここで、LT8612 の場合、 V_{FB} は 970mV です。図 3 に示すように、降圧段の出力が次段の出力より 1.7V 高い固定電圧に調整されるように、CN-0508 には改良された帰還経路が設けられています。

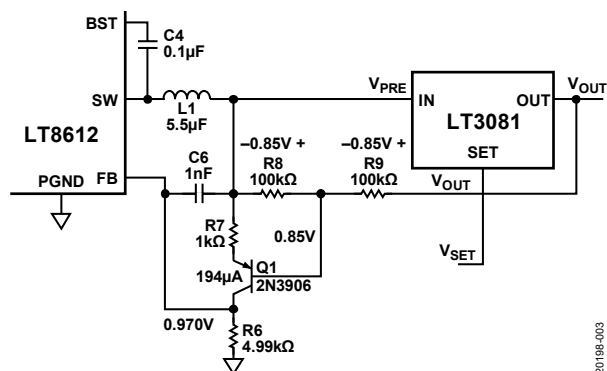


図 3. プリレギュレータへの帰還

レギュレーション時には、FB ピンが 970mV になるように、194μA の電流が R6 を通って流れる必要があります。更に、0.85V ($194\mu\text{A} \times 1\text{k}\Omega + V_{\text{BE}}$) の電圧が、V_{PRE} から Q1 のベースに加えられており、0.85V が R8 と R9 の両端にかかるように、V_{PRE} は V_{OUT} より $2 \times 0.85\text{V}$ 高くなる必要があります。

LT3081 リニア電圧レギュレータ

降圧段の後段には、2 個の LT3081 リニア電圧レギュレータがあります。リニア電圧レギュレータは、パス・トランジスタの両端で超過電圧を降下させることによって、負荷電流や入力電圧の変化に関係なく、DC 出力電圧を一定に保ちます。リニア電圧レギュレータは、効率の低下を最小限に抑えながらスイッチング電源のリップルを抑圧するために、降圧コンバータの出力でよく使用されます。出力電圧が入力電圧に近い場合、これらのデバイスの効率を非常に高くすることができますが、レギュレーションを維持するための規定電圧（ドロップアウト電圧）未満では効率を高くすることはできません。

LT3081 は、短絡保護機能、逆入力保護機能に加えて、ヒステリシス機能と安全動作領域（SOA）保護機能付きのサーマル・シャットダウン機能も備えています。LT3081 の SOA 範囲が拡張されたことで、入力電圧中の予測できない大きなスパイクが消費電力増加の原因となるような過酷な産業環境やオートモーティブ環境での使用が可能です。

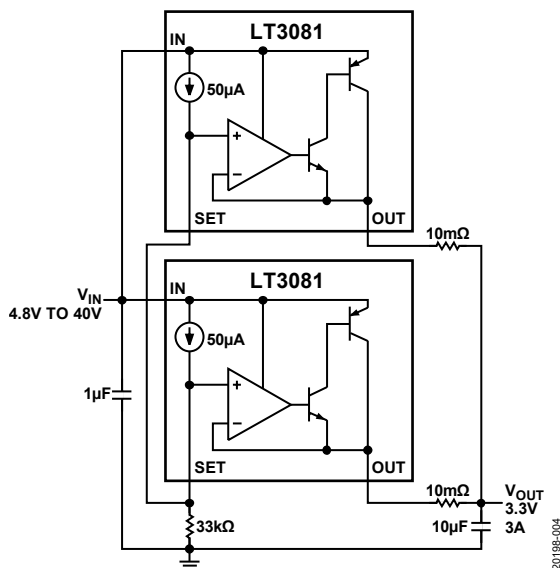


図 4. LT3081 デバイスの並列構成

LT3081 は調整可能な電流制限／定電流機能も備えており、図 1 の回路を定電圧モードまたは定電流モードで動作させることができます。内部の電流検出アンプは出力電流を測定し、図 5 に示すように、 $I_{\text{LOAD}}/5000$ の電流を IMON ピンから出力します。この電流は更に $1\text{k}\Omega$ の抵抗によって 200mV/A の信号に変換されます。同様に、内部の温度センサーはダイの温度を測定し、 $1\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ の電流を出力します。この電流は更に $1\text{k}\Omega$ の抵抗によって $1\text{mV}/^\circ\text{C}$ の電圧出力に変換されます。

また、LT3081 は図 4 に示すように、出力電流を増やすために、容易に並列接続できる独自の機能を備えています。2 個の LT3081 間は、OUT ピンを除いて、一致するピン同士がすべて接続されています。OUT ピンには、出力電圧精度に及ぼす影響を最小限に抑えながら電流を正確に分担するために、 $10\text{m}\Omega$ のバラスタ抵抗を接続する必要があります。

Raspberry Pi プラットフォームへの給電

LT8609 同期整流式降圧レギュレータには、入力ジャックから直接給電されます。このデバイスは、最大 3A の電流で 5V の電圧を Raspberry Pi プラットフォーム基板、LTC1983-5 チャージ・ポンプ・インバータ、およびファン制御回路に給電します。出力電流は、ほとんどの Raspberry Pi 互換タッチスクリーンやその他のペリフェラルも十分に駆動できるため、別の電源を追加する必要はありません。

制御と診断

出力電流制限制御

EVAL-CN0508-RPIZ における 0A～3A の電流制限は、出力と LT3081 ILIM ピンの間に接続されたポテンショメータによって設定されます。LT3081 の電流制限機能は、0A～3A の公称範囲にわたって調整できるように設定されています。電流制限は電子的にプログラムすることはできませんが、デュアルギャング・ポテンショメータを使用しているため、電流制限設定値をソフトウェアでリード・バックすることができます。

出力電圧制御

電源の出力電圧は、LT3081 の SET ピンを介して調整されます。図 5 において、SET ピンはエラー・アンプの非反転入力であり、デバイスの動作バイアス・ポイントを設定するために用いられます。SET ピンに接続される電圧は、LT3081 のエラー・アンプと出力電圧のためのリファレンス・ポイントになります。

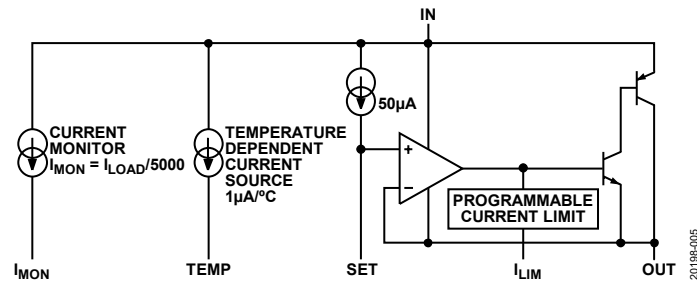


図 5. LT3081 の機能ブロック図

LT3081 には、SET ピンから 50µA の正確なリファレンス電流が供給されます。この SET ピンとグラウンドの間に固定抵抗または可変抵抗を接続することにより、出力電圧を設定することができます。一方、LT3081 が高精度のユニティ・ゲイン電力段として機能するように、SET ピンを電圧源から直接駆動することもできます。

EVAL-CN0508-RP1Z の調整可能な出力電圧 0V~27.5V は、図 6 に示す高精度のアナログ AND 回路を経由して、5kΩ のポテンショメータを使用した手動方式、または AD5683R D/A コンバータ (DAC) を介したデジタル方式で設定できます。

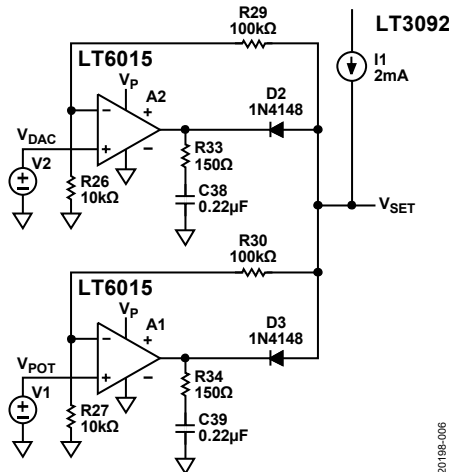


図 6. アナログ AND 機能

DAC からとポテンショメータのワイパーからの 2.5V のフルスケール出力電圧は、それぞれ非反転ゲインを 11 とした 2 個の LT6015 オペアンプの入力に接続されています。V_{DAC} > V_{POT} の場合、出力 A2 のダイオードは逆バイアスされますが、出力 A1 のダイオードは導通し、V_{SET} は V_{POT} × 11 になります。

V_{POT} > V_{DAC} の場合、動作は逆になります。このアナログ AND 回路により、出力電圧は DAC とポテンショメータの出力電圧のうち低い方で決まります。このような構成とすることで、電子制御モード時に、手動制御によって過電圧フェイルセーフを機能させることができます。同様に、手動制御モード時に、アナログ・デバイセズが提供するソフトウェアにより、電圧出力をディスプレイしたり、シーケンスしたりすることもできます。

多くのオペアンプは、入力間の大きな電圧差を許容できないことに注意してください。この回路は LT6015 独自の能力を利用して、損傷することも、入力電流をあまり引き込むこともなく、入力間の大きな電圧差を許容することができます。

2mA に設定された LT3092 電流源がアナログ AND 回路の出力を駆動するため、確実に D1 または D2 が順方向にバイアスされて帰還が維持されます。

LT6015 は最大 200pF を直接駆動できます。0.22µF のコンデンサと 150Ω の抵抗が直列に接続されたスナバ回路を付加することにより、このオペアンプは LT3081 の SET ピンに接続された 0.02µF のフィルタ・コンデンサを駆動することができます。

0V のレギュレーションと 0A の制限

出力が 5mA の最小負荷電流をソースしている限り、LT3081 は 0V の最小出力電圧を確保します。コンプライアンス電圧がわずかに負である 8mA の電流シンクが、NPN トランジスタおよび LTC1983-5 チャージ・ポンプ・レギュレータを用いて実装されています。更に、この負電源は、LT6015 で構成されるオペアンプ回路用の電源としても使用されており、グラウンドで動作可能です。

ILIM 抵抗が 200Ω より低ければ、LT3081 は、この電源における 0A の最小電流制限を確保します。100Ω の小抵抗を ILIM ポテンショメータと直列に接続すると、回転範囲が最大限に拡大され、2 個のレギュレータを並列に使用した場合でもゼロ電流が確保されます。

システム診断

AD7124-4 24 ビット Σ-Δ A/D コンバータ (ADC) は、出力電圧、出力電流、および複数の診断パラメータを測定することができます。測定されるパラメータの概要を表 1 に示します。

表 1. 測定されるパラメータ

AD7124-4 Input	Parameter	Scale Factor
AIN0	LT3081 (U2) temperature monitor	1 mV/°C
AIN1	LT3081 (U3) temperature monitor	1 mV/°C
AIN2	Output current monitor	200 mV/A
AIN3	Input voltage	14.33 V/V attenuator
AIN4	Output voltage	10.52 V/V attenuator
AIN5	Current-limit potentiometer position	(0 V to 2.5 V = 0% to 100%)
AIN6	Voltage potentiometer position	(0 V to 2.5 V = 0% to 100%)
AIN7	Buck preregulator output/ LDO input voltage	14.33 V/V attenuator

通常動作で使用される主な測定値は出力電圧と出力電流で、どちらも ADC が測定します。

電流制限設定値は電流制限ポテンシオメータの位置から求められ、デュアルギャング・デバイス内の 2 番目のポテンシオメータで測定されます。この構成により、電流制限設定値をソフトウェアで表示し、測定された出力電流が電流制限設定値に近づいた場合に警告のフラグを立てることができます。

電流制限設定値と同様に、電圧設定値もデュアルギャング・デバイス内の 2 番目のポテンシオメータの位置から求められます。アナログ・デバイセズのソフトウェアはこの情報を使用して、出力電圧が低すぎて過負荷を示した場合、または出力電圧が高すぎて負荷が電源に逆電流を駆動していることを示した場合に警告のフラグを立てることができます。

両方の LT3081 デバイスの温度モニタ・ピンも測定に使用されています。LT3081 デバイスでは消費電力は低く抑えられますが、空気の流れが制限された状態で、大電流で動作させると過熱状態になる場合があります。

診断を目的とした測定は他にも行われており、ソフトウェアを使用して故障状態を表示することができます。例えば、入力電圧が 28V より低下した場合、または LDO のプリレギュレーション電圧が出力より高くはあるが、出力に対して 1.6V 未満に低下した場合、ソフトウェアは警告を発することができます。上記のどちらの状態も入力電源または CN-0508 自体が故障している可能性があります。

ファン制御回路

CN-0508 は、5V、1A 未満のファンをスイッチングする自動ファン制御回路を搭載しています。ADCMP392 は、2 個の LT3081 の温度信号と 60mV のリファレンス電圧を比較します。2 個の LT3081 のいずれかが 60°C に達した場合に 5V の出力がイネーブルされるように、コンパレータの出力が互いにワイヤード AND 接続されています。

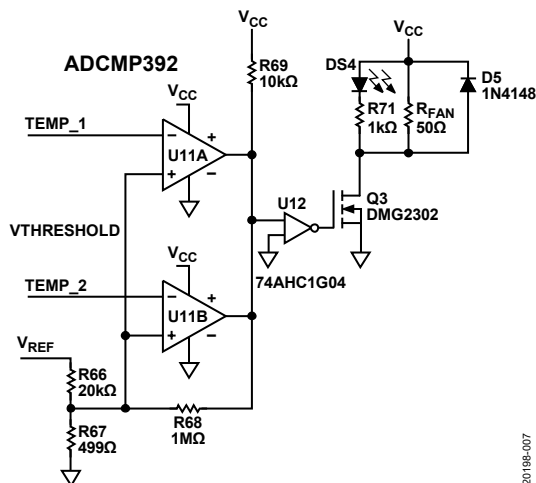


図 7. ファン制御回路

システム性能

負荷レギュレーション

電源の出力電圧は、理想的には負荷に関係なく一定に保たれなければなりません。図 8 は、負荷電流がゼロから 2.5A に増加する間、CN-0508 の負荷レギュレーションは 20mV 以内にあり、出力インピーダンスは約 8.8mΩ に相当することを示しています。

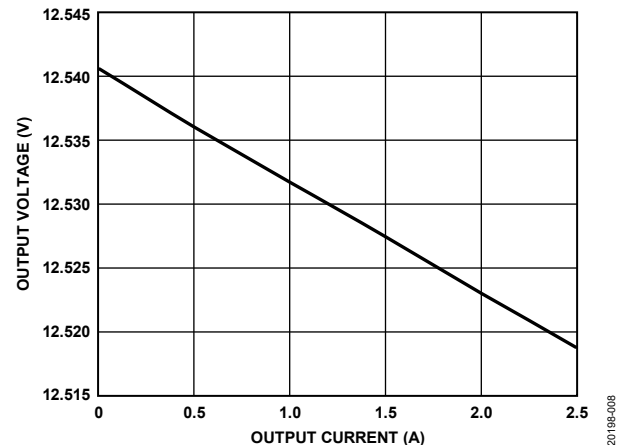


図 8. V_{OUT} と I_{OUT} の関係 (負荷レギュレーション)

定電圧から定電流への遷移

図 9 は、出力が短絡されたとき、CN-0508 が定電圧モードから定電流モードに遷移している様子を示しています。最初の出力電圧は 25V で、負荷抵抗は 25Ω です。その後、出力が短絡され、60μF の非常に小さな出力容量が放電するのに伴い、電流が 200μs 未満で急激にゼロに低下しています。この出力容量は、ほとんどの市販電源の出力容量よりも桁違いに小さいため、短絡故障時に逃がす必要のある蓄積エネルギーがその分だけ小さくなります。その後、LT3081 の電流レギュレーション・ループが 2.5ms 後にレギュレーション状態になると、出力電流が 2.75A の電流制限設定値まで上昇します。

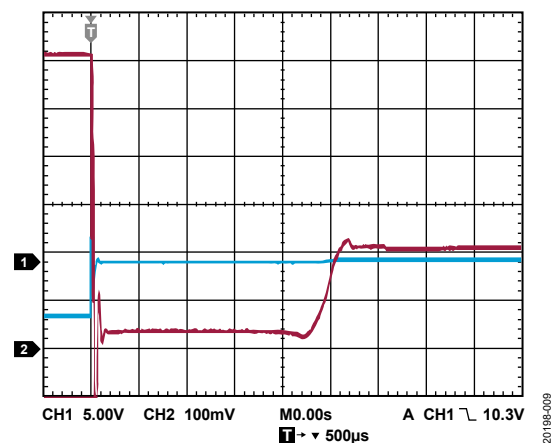


図 9. 出力電流が 1A を超え 2.75A の電流制限設定値まで上昇する様子

負荷ステップ・トランジェント

図 10 に、1A から 2A までの負荷ステップに対する CN-0508 の過渡応答を示します。

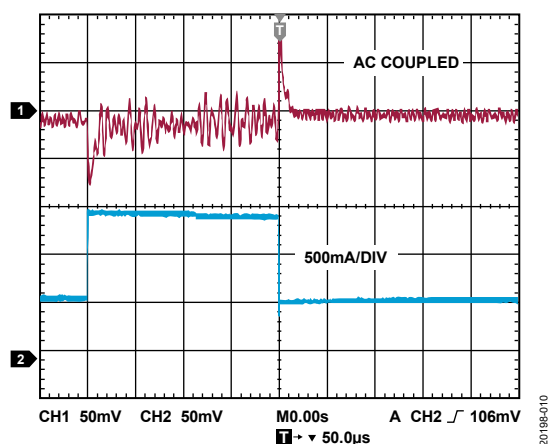


図 10. 1A から 2A までの過渡応答、30V_{IN}、24V_{OUT}
(CH2 の GND レベルは誤記で、グラフ最下位点が正しいです)

出力では、最初に 25Ω の負荷に 25V の電圧が加えられ、一時的に 2 つ目の 25Ω の抵抗のスイッチが入れられています。

熱性能

図 11 は、周辺温度が 30℃ で自然空冷のとき、作業台から 2.5cm の高さに基板が水平に置かれ、定電流モードで 4Ω の負荷に 2.75A の電流が供給されているときの CN-0508 の温度上昇を示しています。このように故意に熱状態を悪くしても、LT3081 の最高温度は 92℃ となり、最高動作温度の 125℃ よりもはるかに低くなっています。(密閉されている) 基板に対して、40mm のファンで、毎分 0.2 立方メートル (m³/min) の気流を当てると、最高温度を 70℃ に下げることができます。

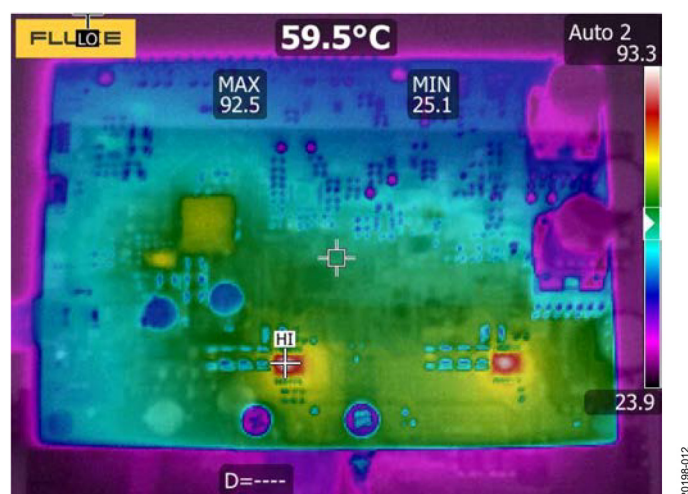


図 11. 入力電圧が 30V で、2.75A の電流制限出力を 4Ω の負荷に供給しているときの EVAL-CN0508-RPIZ の熱画像

バリエーション回路

LT3081 は並列動作が可能のため、アプリケーションが必要であれば、出力電流能力を 3A よりも拡大することができます。

電圧出力および電流出力の増大は、並列接続された複数の LT3081 をグループ化し、グループごとに単独の LT8612 とプリレギュレーション帰還回路を設けることによって実現できます。

回路の評価とテスト

EVAL-CN0508-RPIZ は、Raspberry Pi Zero を使用してテストしました。セットアップの全容やその他の重要な情報については、CN0508 User Guide をご覧ください。

必要な装置

- EVAL-CN0508-RPIZ 評価用ボード
- Globtek TR9CR3000T00-IM (R6B) パワー・アダプタ
- Raspberry Pi zero W
- HDMI®ディスプレイ
- HDMI ケーブル
- アナログ・デバイセズの Kuiper Linux イメージを搭載した 8GB 以上の SD カード
- 消費電力が既知の様々な電力抵抗、電子負荷、またはテスト回路
- マルチメータ
- 4Ω、50W の抵抗

設計の開始にあたって

CN-0508 User Guide の指示に従って、SD カードにある CN-0508 用の Raspberry Pi のイメージをロードします。

機能ブロック図

テスト・セットアップの機能ブロック図を図 12 に示します。

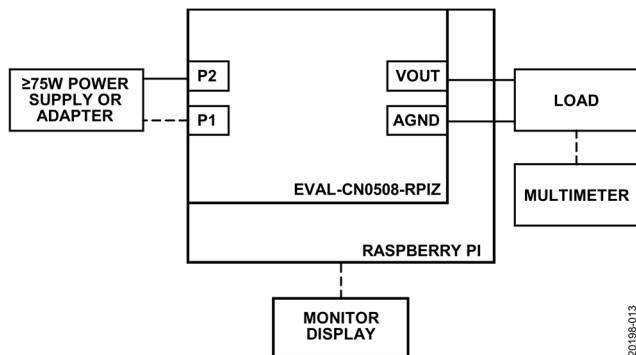


図 12. テスト・セットアップの機能ブロック図

セットアップとテスト

1. Raspberry Pi Zero W を CN-0508 の 40 ピン・コネクタの裏側に取り付けます。
2. CN-0508 のデバイス・ツリー・オーバーレイを使用するために、アナログ・デバイセズの Kuiper Linux SD カードの設定を必ず行ってください。
3. SD カードを Raspberry Pi Zero W に挿入します。
 - a. キーボードとモニタを接続します。
 - b. 入力電源をオンにします。

4. 起動するとすぐに、IIO オシロスコープが自動的に動作し、図 13 に示すように、CN-0508 プラグイン・コントロール・パネルが表示されます。
5. マルチメータを CN-0508 の出力端子に接続します。
6. 定電流制御ポテンシオメータを最大に設定し（時計回りに回し切り）、電圧制御ポテンシオメータをゼロに設定し（反時計回りに回し切り）します。
7. DAC を目的の出力電圧に設定し、出力がゼロにとどまっていることを確認します。
 - a. 電圧制御ポテンシオメータを時計回りに回し、DAC の設定値に達するまで出力が増加することを確認します。
8. 4Ω、50W の抵抗を出力の両端に接続します。
9. 出力電圧を 8V に設定します（出力電流の読みを 2A にする必要があります）。
10. 出力電流の読みが 1A になるまで電流制限制御を減少させます。これは、回路が定電流モードに入ったことを示しています。負荷抵抗を更に減少させたり、出力を完全に短絡させたりしても出力電流は影響を受けません。

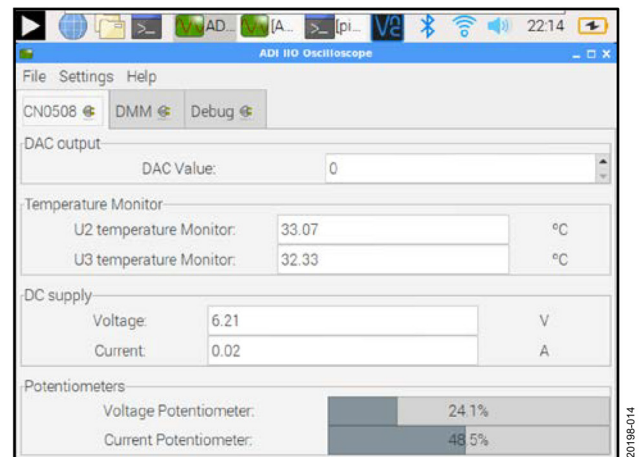


図 13. IIO オシロスコープ・プラグイン・インターフェース

EVAL-CN0508-RPIZ の詳細なユーザ・ガイドは Analog Devices Wiki で入手できます。ハードウェアおよびソフトウェア動作のあらゆる側面に関しては、このユーザ・ガイドを参照してください。

更に詳しい資料

CN-0508 設計サポートファイル:

<http://www.analog.com/jp/CN0508-DesignSupport>

CN0508 User Guide

データシートと評価用ボード

LT3081 データシート

LT3081 評価用ボード

LTC1983 データシート

LTC1983 評価用ボード

LT6015 データシート

LT6015 評価用ボード

AD5683R データシート

AD5683R 評価用ボード

AD7124-4 データシート

AD7124-4 評価用ボード

ADCMP392 データシート

ADCMP392 評価用ボード

DC2132A デモ回路

改訂履歴

5/2020—Revision 0: Initial Version

「Circuits from the Lab／実用回路集」はアナログ・デバイsez社製品専用に作られており、アナログ・デバイsez社またはそのライセンスの供与者の知的所有物です。お客さまは製品設計で「Circuits from the Lab／実用回路集」を使用することはできますが、その回路例を利用もしくは適用したことにより、特許権またはその他の知的所有権のもとでの暗示的許可、またはその他の方法でのライセンスを許諾するものではありません。アナログ・デバイsez社の提供する情報は正確でかつ信頼できるものであることを期しています。しかし、「Circuits from the Lab／実用回路集」は現状のまま、かつ商品性、非侵害性、特定目的との適合性の暗示的保証を含むがこれに限定されないいかなる種類の明示的、暗示的、法的な保証なしで供給されるものであり、アナログ・デバイsez社はその利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許権もしくはその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。アナログ・デバイsez社はいつでも予告なく「Circuits from the Lab／実用回路集」を変更する権利を留保しますが、それを行う義務はありません。商標および登録商標は各社の所有に属します。

©2013-2014 Analog Devices, Inc. All rights reserved. 商標および登録商標は各社の所有に属します。