

**Circuits
from the Lab®**
Reference Designs

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。更に詳しい情報又は支援は www.analog.com/jp/CN0550 をご覧ください。

接続または参考にしたデバイス

ADuM3165	絶縁型 USB 2.0 のハイ・スピード、フル・スピード、ロー・スピード向け実効値 3.75kV のデジタル・アイソレータ
LT8301	65V/1.2A のスイッチを内蔵したオプトカプラ不要の 42V 入力マイクロパワー絶縁型フライバック・コンバータ

絶縁型電源使用のロー／フル／ハイ・スピード USB 2.0 アイソレータ

評価と設計支援

- ▶ 回路評価用ボード
 - ▶ CN0550 回路評価用ボード (EVAL-CN0550-EBZ)
- ▶ 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

回路の機能とその利点

1996 年の登場以降、USB は標準的なポイント to ポイント・シリアル通信インターフェースとなり、ハンドヘルド・デバイス、試験装置および計測装置、組込み開発プラットフォームをはじめ、無数のアプリケーションに使われてきました。現在では、RS-232 (シリアル) ポートとパラレル・ポートの大部分が USB に置き換えられています。

USB インターフェースでは、ホストとそのペリフェラル・デバイス間のシンプルかつ信頼性の高い接続が強調されており、複雑な部分のほとんどは USB コントローラと物理層が抽出しています。USB デバイスは自動設定式で、一般的なオペレーティング・システムがサポートしており、プラグ・アンド・プレイで使用できます。また、電源供給やホット・スワップも可能な他、標準化された低コストで挿入寿命の長いコネクタとケーブルを使用しています。

しかし、以下のような環境で USB デバイスを使用する場合は、ホストとペリフェラルの間に電気的な絶縁を追加しなければならないことがあります。絶縁条件はアプリケーションによって異なります。例えば医療用機器には、患者の安全を確保するために、5kV のサージ電圧に耐え得るデバイスが必要です。また、産業環境での絶縁に関する考慮事項には、静電放電、落雷、電源サージなどに対する感度や、電磁干渉やグラウンド・ループによる電氣的ノイズへの感度も含まれます。

図 1 に示すリファレンス設計は、1.5kV_{AC} に 1 分間耐え、差動電圧 50V rms のシステムに基本的絶縁機能を提供することのできる USB 2.0 ガルバニック・アイソレータです。この USB アイソレータは 480Mbps の最大データ転送速度をサポートし、接続されたデバイスの能力に基づいて自動的に転送速度をネゴシエートします。

この回路は、フライバック・コンバータを介して絶縁型電源から USB ペリフェラルに電力を供給することもできます。一般的なアプリケーションでは USB ホストの 5V バスを入力電源として使用することができ、その場合は絶縁型電源から最大 440mA の負荷電流をペリフェラルに供給できます。

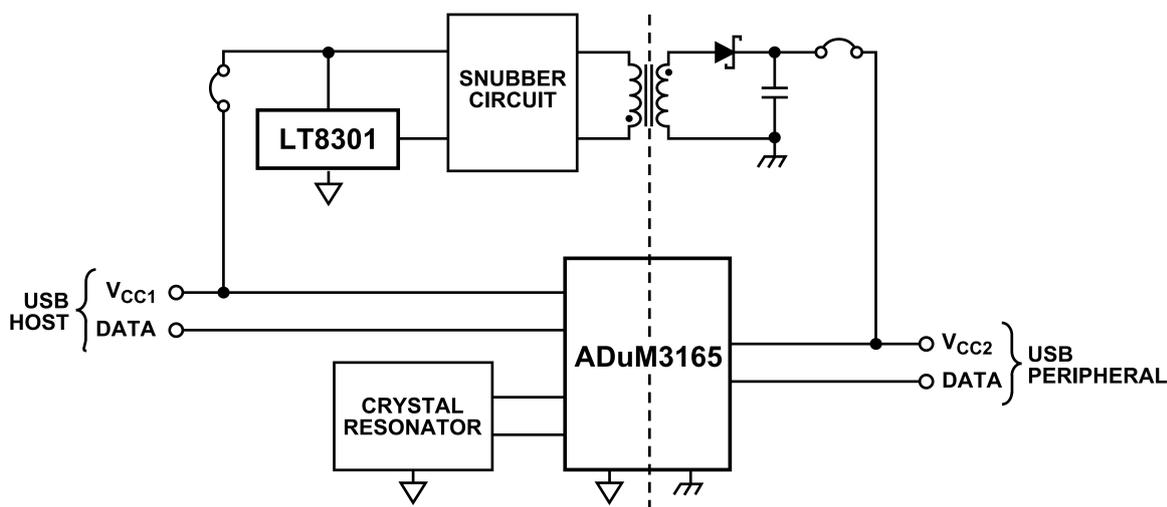


図 1. CN0550 の簡略化したブロック図

回路の説明

USB デジタル・アイソレーション

CN0550 は、ADuM3165 デジタル・アイソレータを使って、ホストとペリフェラル・デバイス間にある USB データ・ラインのガルバニック絶縁を行います。ADuM3165 はロー・スピード (1.5Mbps)、フル・スピード (12Mbps)、およびハイ・スピード (480Mbps) の USB 2.0 をサポートし、3.75kV rms の絶縁電圧定格を備えています。

ADuM3165 はアナログ・デバイセズの *iCoupler*® 技術を利用してデジタル・ラインの絶縁を行っており、ユーザが介入することなく適切なデータ転送速度を自動的にネゴシエートすることができ、外部回路も不要です。

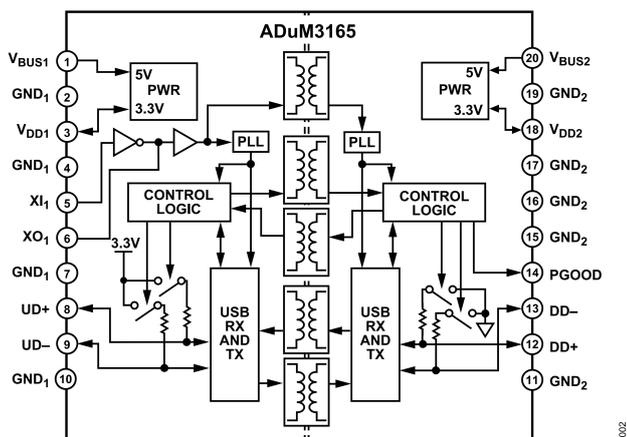


図 2. ADuM3165 の機能ブロック図

ADuM3165 の回路を図 2 に示します。このデバイスは高集積なので、図では絶縁構造計が大幅に簡略化されています。USB コネクタからの信号を除いて、デバイスの動作に必要な唯一の外部回路は、内部フェーズ・ロック・ループ (PLL) 用の 24MHz リファレンス・クロック源です。このクロック源は、XI ピンと XO ピンの間に水晶発振器を接続するか、ホスト・コントローラからの 24MHz クロック源を XI ピンに接続して XO 状態をフロート状態のままにすることによって実現できます。CN0550 では、XI ピンと XO ピンの間に、24MHz の水晶発振器と必要な負荷容量が接続されています。

ADuM3165 への電力は、VBUS1 ピンと VBUS2 ピンに +5V で供給されます。VBUS1 は USB ホスト・コネクタに直接接続し、VBUS2 は絶縁型 5V 電源に接続します。内部低ドロップアウト (LDO) レギュレータは、内部回路に必要な +3.3V の VDD1 および VDD2 電源を生成します。LDO の消費電力により動作時の最大周囲温度はわずかに低下します。詳細については ADuM3165 のデータシートを参照してください。

ハイ・スピード USB が電氣的条件を満たしていることを検証するために、CN0550 を使用して 2 つの信号品質テストを行いました。遠端のアイ・ダイアグラムを図 3 に、近端のアイ・ダイアグラムを図 4 に示します。

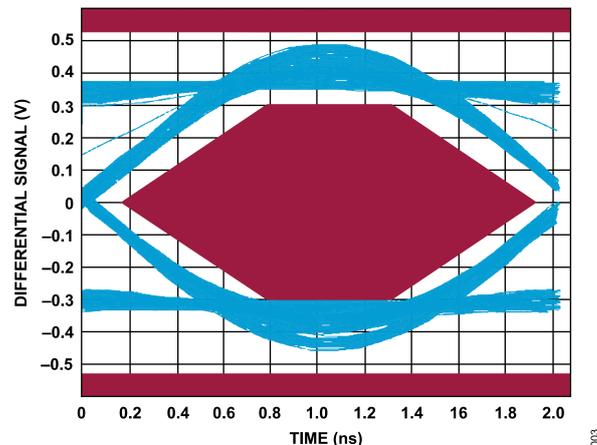


図 3. ハイ・スピード時の遠端デバイスのアイ・ダイアグラム

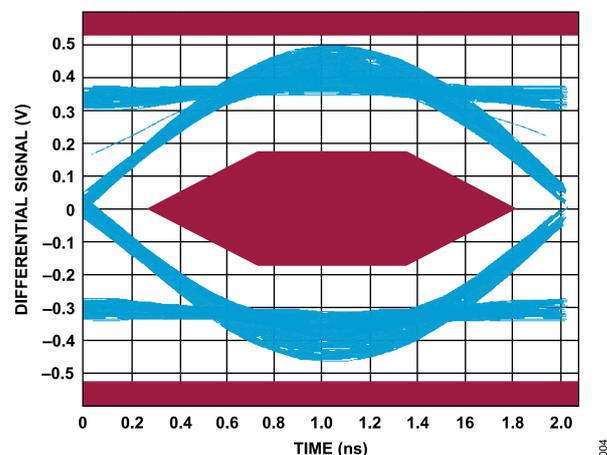


図 4. ハイ・スピード時の近端デバイスのアイ・ダイアグラム

絶縁型 USB 電源

フォトカプラ不要の LT8301 マイクロパワー絶縁型フライバック・コンバータは、ペリフェラル側の 5V バス電源を絶縁します。このデバイスは、入力電圧に応じて最大 6W の絶縁出力電力を供給できるので、ロー・パワーとハイ・パワー両方の USB 2.0 デバイスに使用できます。図 5 に、CN0550 に使用する絶縁型フライバック回路構成の簡略図を示します。

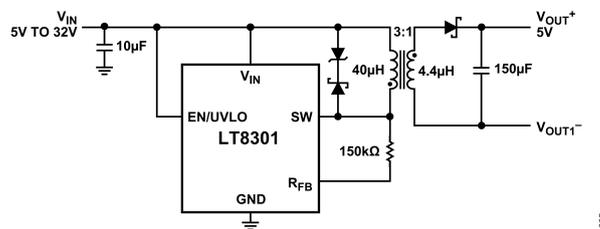


図 5. LT8301 フライバック・コンバータ回路の簡略図

CN0550 では、LT8301 が、巻数比 3:1 のフライバック・トランスと 40µH の 1 次側インダクタンスを使って絶縁型電源を構成しています。1 次巻線には、漏れインダクタンスによって生じる高電圧スパイクからデバイスを保護するために、ダイオード・ツェナー・スナバが接続されています。2 次側ではダイオードが整流を行い、5A の順方向電流と 30V の逆電圧に対して定格が定められています。また、出力電圧のリプルを減らすために、

150 μ F のコンデンサが使われています。ホスト側の 5V バス電力を使用するロー・パワー USB 2.0 デバイスには標準的な 100mA の最大負荷電流が流れますが、このコンポーネントの組み合わせが、この要求を満たす設計を可能にしています。

更にこの回路は、8V 以上の外部電源にハイ・パワー USB 2.0 デバイスを接続した場合に流れる、500mA の最大負荷電流に対応できます。入力電圧を上げればこれ以上の負荷電流への対応も可能で、最大入力電圧 32V では 1.3A まで供給できます。これらのコンポーネントを選択する際の一般的な設計手順については、LT8301 のデータシートを参照してください。

ADuM3165 の絶縁電圧定格は 3.75kV rms で、LT8301 の最大入力電圧は 42V ですが、これらのパラメータは、このアプリケーションに使用するトランスの仕様によって制限されます。CN0550 に使用するフライバック・トランスは 1.5kV rms の絶縁でテストされますが、設計は IEC61558-2-16 に定める動作電圧 50V rms における 1 次回路の基本絶縁のみに準拠しています。このトランスは、ほとんどの実験室用試験および計測アプリケーションの絶縁に適しています。

LT8301 の出力電圧は、SW ピンと R_{FB} ピンの間に接続された外付けの帰還抵抗によって設定され、その値は式 1 を使って計算します。

$$R_{FB} = \frac{N_{PS} \times (V_{OUT} + V_F)}{100 \times 10^{-6}} \quad (1)$$

ここで、

R_{FB} は必要な帰還抵抗 (単位: Ω)、
N_{PS} はトランスの 1 次巻線と 2 次巻線の実効巻数比、
V_{OUT} は出力電圧、
V_F は出力ダイオードの順方向電圧です。

必要出力電圧が 5V、巻線比が 3:1、出力ダイオードの順方向電圧が 0.3V の場合は、式 1 から R_{FB} の値が 159k Ω となるので、これに最も近い標準 1% 抵抗値である 158k Ω のものを使用できます。しかし実際には、LT8301 固有のサンプリング方式によって出力電圧に誤差が生じる可能性があります。この場合は式 2 を使い、実際の出力電圧に基づいて帰還抵抗を調整することができます。

$$R_{FB(FINAL)} = \frac{V_{OUT}}{V_{OUT(MEAS)}} \times R_{FB} \quad (2)$$

ここで、

R_{FB(FINAL)} は調整後の帰還抵抗 (単位: Ω)、
V_{OUT(MEAS)} は実測出力電圧 (単位: V) です。

目標 V_{OUT} が 5.0V、実測 V_{OUT} が 5.26V、R_{FB} の初期値が 158k Ω の場合は、式 2 から抵抗値は 150.19k Ω となります。CN0550 には 150k Ω \pm 1% の帰還抵抗が使われています。

これらの値を使用して得られる負荷レギュレーションを図 6 に示します。

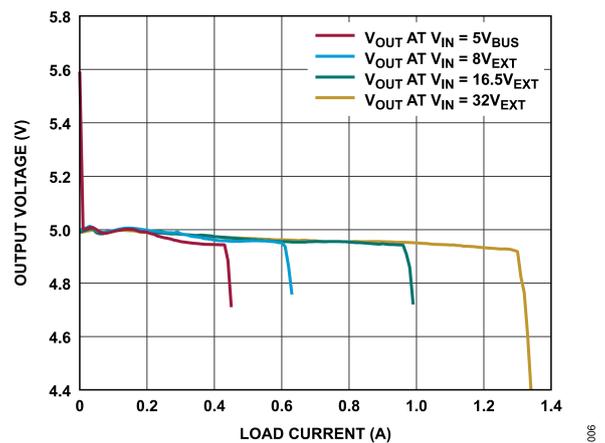


図 6. 出力負荷レギュレーションのプロット

バリエーション回路

アプリケーションによっては、複数のデバイスを単一のタイミング・ソースに同期させなければならないことがあります。このような場合は、外部水晶発振器を使用するのではなく、システム・マイクロプロセッサから高精度の 24MHz クロック信号を ADuM3165 の外部クロック入力へ直接供給します。システム・マイクロプロセッサとクロック信号がホスト側ではなくペリフェラル側にある場合は、代わりに ADuM3166 を使用することができます。このデバイスの仕様とピン配列は ADuM3165 と同じで、XI ピンと XO ピンの配置だけが異なっています。

ADuM3165 の V_{BUS1} および V_{BUS2} の動作電圧範囲は 3.0V~5.5V で、V_{DD1} と V_{DD2} の動作範囲である 3.0V~3.6V とオーバーラップしています。どちらかの側で 3.0V~3.6V の電源を使用できる場合は、V_{DDx} ピンに対応する V_{BUSx} に接続して直接電力を供給できます。これは、デバイスの全体的な消費電力を減らして動作温度範囲を広げることにもなります。詳細については ADuM3165 のデータシートを参照してください。

CN0550 の絶縁電圧定格はフライバック・コンバータ回路に使用するトランスによって制限されますが、ADuM3165 の絶縁定格電圧である 3.75kV rms をフルに使用する必要のあるアプリケーションには、別の絶縁型電源を使用することができます。

より高い絶縁定格が必要なアプリケーションの場合は、ADuM4165 または ADuM4166 を代替の USB デジタル・アイソレータとして使用できます。ADuM3165 と ADuM3166 の場合と同様、これらのデバイスの仕様は共通しており、ピン配列も XI ピンと XO ピンを除いて同じです。ADuM4165 と ADuM4166 はサージ絶縁電圧定格が 8kV_{PK}、誘電体絶縁電圧定格が 5kV rms に強化されていますが、サイズは ADuM3165 と ADuM3166 より大きくなっています。

代替電源ソリューションとしては、5kV rms の絶縁定格を備えた ADuM6020 絶縁型 DC/DC コンバータなどが候補として挙げられますが、供給できる電流が最大 100mA に止まります。

CN0419 回路ノートは、ハイ・スピード USB 2.0 を必要としないアプリケーション向けの、より小型で低消費電力のリファレンス設計です。

回路の評価とテスト

このセクションでは、CN0550 回路評価用ボードのセットアップと評価手順について説明します。詳細については、EVAL-CN0550-EBZ のユーザ・ガイドを参照してください。

必要な装置

- ▶ EVAL-CN0550-EBZ
- ▶ ホスト PC (Windows/Linux/Mac)
- ▶ ハイ・スピード USB ペリフェラル・デバイス (例えば USB フラッシュ・ドライブ)

セットアップとテスト

EVAL-CN0550-EBZ の USB 2.0 機能をテストするには、以下の手順に従ってください。

1. 図 7 に示すように、EVAL-CN0550-EBZ の USB ポートにペリフェラル・デバイスを接続します。



図 7. テスト・セットアップの例

2. ホスト PC の空いている USB ポートに EVAL-CN0550-EBZ を接続します。評価用ボードの LED が点灯して、ホスト側とペリフェラル側の両方に 5V バスが存在することを示します。
3. EVAL-CN0550-EBZ をホスト PC に接続すると、接続したペリフェラルが正常に動作するはずですが。
4. USB デバイス・ツリー・ビューア (Windows)、lsusb コマンド (Linux)、またはシステム・プロファイラ (macOS) を使い、接続したペリフェラルの速度を確認します。図 8 は、ハイ・スピード USB デバイスのデバイス・ツリーの例です。

```

===== Summary =====
Vendor ID       : 0x0930 (Toshiba Corporation)
Product ID      : 0x6544
USB Version     : 2.0
Port maximum Speed : High-Speed (Companion Port 1-14 supports SuperSpeed)
Device maximum Speed : High-Speed
Device Connection Speed : High-Speed
Self powered    : no
Demanded Current : 200 mA
Used Endpoints  : 3
  
```

図 8. ハイ・スピード USB デバイスの USB デバイス・ツリー・ビューア画面の例

更に詳しい資料

CN0550 設計サポート・パッケージ

LTspice® SPICE シミュレーション・ソフトウェア

LTpowerCAD®設計ツール

技術記事、容易なガルバニック絶縁、アナログ・デバイセズ

技術記事、フォトカプラを使用しないフライバック・コンバータ：既存オプション、アナログ・デバイセズ

技術記事、No-Opto Flyback DC/DC Converters & Snubber Protection Circuits、アナログ・デバイセズ

技術記事、フォトカプラを使用しないフライバック・コンバータ：既存オプション、アナログ・デバイセズ

技術記事、フォトカプラを使用しないフライバック・コンバータ：既存オプション、アナログ・デバイセズ

ウェブキャスト、スマート・ファクトリ向け産業用コネクティブティ・ソリューションの設計、アナログ・デバイセズ

ウェブキャスト、USB 2.0 High Speed Isolated Robustly with 2nd Generation USB Isolators、アナログ・デバイセズ

ビデオ、ADuM4165/6: Market's First High Speed 480 Mbps Digital Isolator Dynamically Supports All USB 2.0 Rates、アナログ・デバイセズ

データシートと評価用ボード

ADuM3165 データシート

ADuM3165 評価用ボード

LT8301 データシート

LT8301 評価用ボード (DC2138B)

LT8301 評価用ボード (DC2737A)

改訂履歴

06/2023—Revision 0: Initial Version



ESDに関する注意

ESD（静電放電）の影響を受けやすいデバイスです。電荷を帯びたデバイスや回路ボードは、検知されないまま放電することがあります。本製品は当社独自の特許技術である ESD 保護回路を内蔵してはいますが、デバイスが高エネルギーの静電放電を被った場合、損傷を生じる可能性があります。したがって、性能劣化や機能低下を防止するため、ESD に対する適切な予防措置を講じることをお勧めします。

(最初のページから続く) 「Circuits from the Lab/実用回路集」はアナログ・デバイセズ製品専用に作られており、アナログ・デバイセズ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せんが、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・デバイセズ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・デバイセズ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・デバイセズ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。



©2023-2023 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。

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

Rev. 0 | 5 of 5