

Analog Engineer's Circuit

高電圧データコンバータ向け +5V から生成する精密 $\pm 15V$ 電源回路

Precision DAC: Factory Automation and Control

Joseph Wu

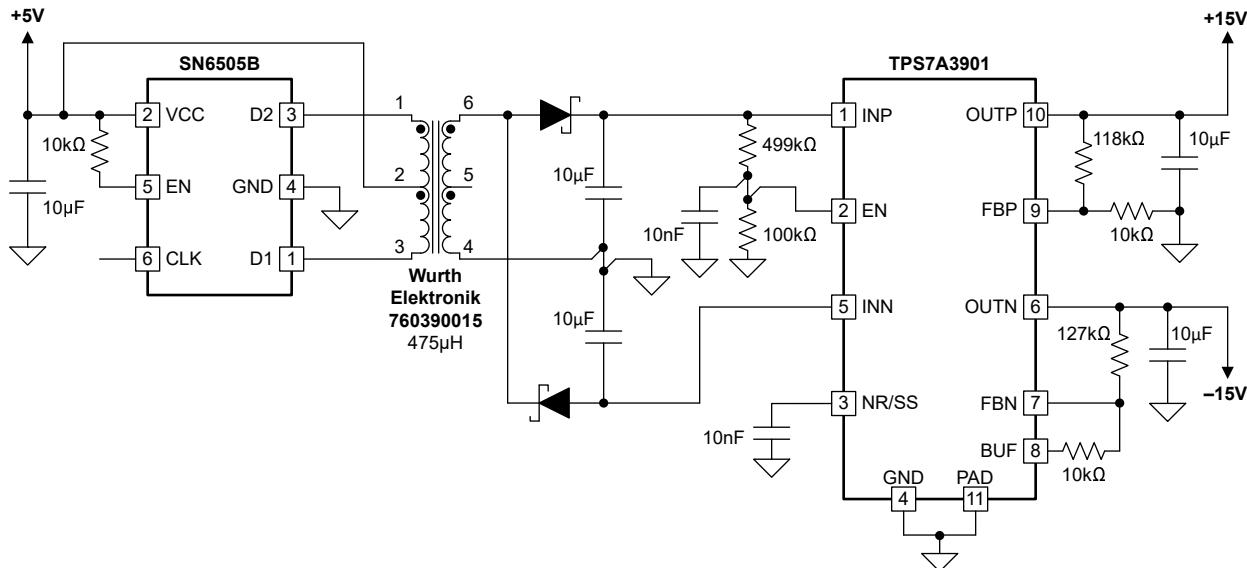
設計目標

入力電圧	出力電圧	推奨デバイス
+5V	$\pm 15V$	SN6505B, TPS7A3901

目標:+5V の電源から $\pm 15V$ の精密電源を生成します。

設計の説明

一部の高精度 A/D コンバータ (ADC) および D/A コンバータ (DAC) には、動作用の高電圧電源が必要です。このアナログ技術者向け回路は、高電圧の精密データコンバータに使用できる、精密かつ高電圧の電源回路について説明しています。この設計では、市販のセンタタップ付きトランジスタを使い、プッシュプルドライバが +5V 入力をまず約 $\pm 20V$ まで昇圧します。その後、デュアル出力の低ドロップアウト (LDO) レギュレータによって、 $\pm 15V$ の出力電源が生成されます。プログラマブル ロジック コントローラ (PLC)、アナログ入力、アナログ出力といった多くのアプリケーションでは、入力測定や出力駆動のために高電圧が必要になります。

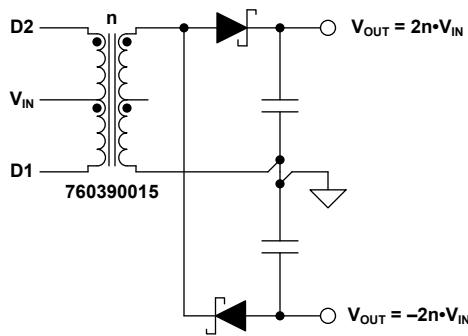


仕様

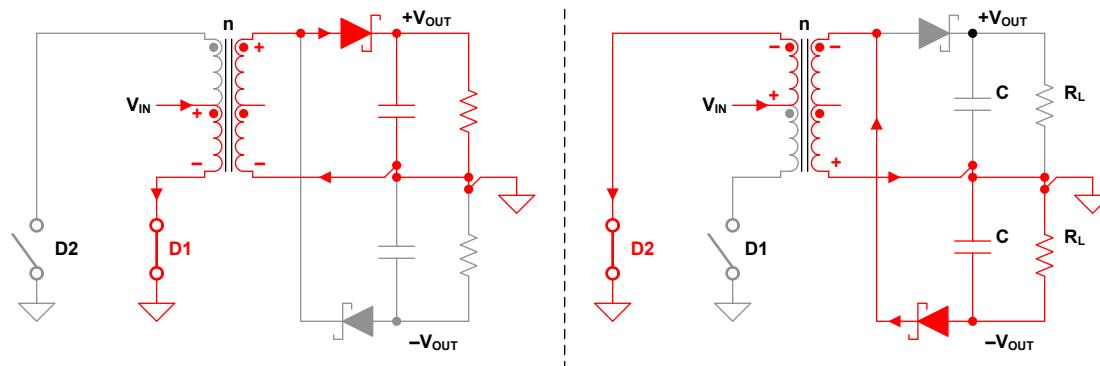
電源			
入力	出力 VCC	出力 VSS	出力電流負荷
+5V	+15V	-15V	50mA

デザイン ノート

- この回路は、USB ホスト ポートから供給される公称 5V 電源で駆動されています。USB 電圧が十分に高いこと、そして USB ポートの電流制限を超えないよう注意が必要です。
 - USB 1.0、1.1、2.0 の電圧出力は最低 4.75V です。USB-C に大電流が流れる場合、この電圧は最小 4.5V にすることができます。
 - USB 1.0、1.1、2.0 は 500mA の電流出力能力を備えています。USB 向けの一部の充電ポートは、より大電流の出力を提供することができます。USB-C ポートは最大 3A を出力できます。
 - 供給元の出力電圧が想定より低い場合、適切に動作させるために入力側へ昇降圧回路を追加できます。
- 高電圧出力は、SN6505B で駆動するトランジストから供給される 5V 電源から生成されます。SN6505B 低ノイズトランジストドライバは、小型の絶縁電源を対象としており、2.25V～5.5V の直流電源から低プロファイルのセンタータップ付きトランジストを駆動します。このトランジストドライバはプッシュプルコンバータで動作し、入力電圧を乗算します。
- 次の回路図にプッシュプルコンバータの基本構造を示します。トランジストの巻線は約 $n = 2$ です。これにより、5V 入力が約 $\pm 20V$ に昇圧されます。



SN6505B は、D1 と D2 をスイッチングすることでサイクルを生成します。このサイクルは、センタータップトランジストを通して電流をプッシュしたりプルしたりします。スイッチング サイクルは交互に切り替わり、整流ダイオードの先で正電圧と負電圧の出力を生成します。下の図は、スイッチング サイクル中の出力側の電流経路を示しています。



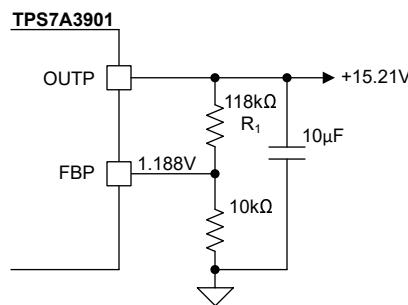
- SN6505B の高精度な内部発振器は公称 420kHz で動作しますが、この周波数が基板上の他の回路と干渉する場合は、外部オシレータを使用できます。もう 1 つのオプションでは、160kHz の内部発振器を搭載した類似の SN6505A を使用します。

5. SN6505B トランスドライバを設定する際は、次の点を考慮してください：
- トランスドライバの入力には、 $4.7\mu\text{F}$ 以上の低 ESR (等価直列抵抗) バイパスコンデンサを使用します。
 - 整流回路の出力には、 $1\mu\text{F} \sim 10\mu\text{F}$ のパルクコンデンサを使用します。
 - トランスが飽和状態で動作するのを防ぐために、SN6505B の動作パラメータを使ってトランスの V-t 積を確認します。トランスの最小 V-t 積は、デバイスが出力する最大電圧と、各スイッチングサイクルの最大時間から算出されます。最大電圧は、公称コンバータ入力の 5V を使用して 10% を加算することで計算します。この電圧が 1 次側に印加される最大時間は、最小周波数周期の半分です。SN6505B の場合、内部発振器の最小周波数は 363kHz です。SN6505B の V-t 製品は、 $7.6\text{V}\cdot\mu\text{s}$ と計算します。

$$V_{t\min} \geq V_{IN\max} \times \frac{t_{\max}}{2} = \frac{V_{IN\max}}{2 \times f_{\min}}$$

$$V_{t\min} \geq \frac{5.5\text{V}}{2 \times 363\text{kHz}} = 7.6\text{V}\cdot\mu\text{s}$$

- 推奨されるトランスは、インダクタンス $475\mu\text{H}$ の Würth Elektronik® 製 760390015 トランスです。このトランスの V-t 積は $11\text{V}\cdot\mu\text{s}$ で、先に計算した $7.6\text{V}\cdot\mu\text{s}$ の V-t 積よりも大きくなっています。N1+N2 と N3+N4 の巻数比は 1:2 です。このトランスは、SN6505x 低ノイズ 1A トランスドライバ (絶縁電源用 データシートのデバイス向けに最適化された推奨絶縁トランス表に記載されています)。
 - 低い順方向電圧で、かつ高い逆方向破壊電圧を持つショットキー ダイオードを使用します。この回路では、MBR0580-TP (逆方向ブレーカダウン 80V) が選択されています。
 - SN6505B の最小電流クランプ制限は 1.42A です。このクランプは、トランスに流れ込む電流を制限します。ただし、トランスのデータシートの出力電流プロットは、最大電流 0.7A を示しています。この回路のテストは 500mA に限定されています。
6. $\pm 20\text{V}$ の昇圧回路を構成した後、TPS7A3901 の正負デュアル LDO を使って $\pm 15\text{V}$ の電源出力を生成します。この LDO の詳細については、TPS7A39 デュアル、 150mA 、広い V_{IN} 、正 / 負 LDO 電圧レギュレータ データシートを参照してください。
- LDO の最大出力電流は 150mA に制限されており、正側出力では供給電流、負側出力では吸い込み電流として動作します。ただし、この回路は最大 50mA 出力でテストされています。
 - EN ピンはパワー グッドとして機能し、LDO を有効化します。イネーブルの最小電圧は 2.2V です。EN ピンの電圧は、トランスの正側 20V 出力から $499\text{k}\Omega$ と $100\text{k}\Omega$ の抵抗による分圧で得られます。
 - LDO の出力は、抵抗デバイダを使用してフィードバック入力ピンに接続する方法で調整できます。正の LDO の帰還入力を FBP ピンに設定します。出力は、 V_{FBP} が 1.188V となるように、出力電圧から分圧抵抗を決定することで設定されます。次の図は、正側 LDO 出力を示しています。



出力を 15V、FBP からグランドへの抵抗を $10\text{k}\Omega$ とした場合、上側の抵抗値は次の式で求められます：

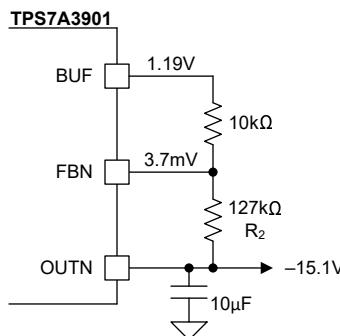
$$\left(\frac{R_1 + 10\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega}\right) \times 1.188\text{V} = 15\text{V}$$

$$R_1 = (12.62 \times 10\text{k}\Omega) - 10\text{k}\Omega$$

$$R_1 = 116.2\text{k}\Omega$$

1% の標準抵抗値を使用して、R1 には $118\text{k}\Omega$ を選択します。これにより、正の LDO 出力値として 15.21V が得られます。

- d. 同様に、負側 LDO の出力は、内部リファレンス電圧の出力バッファ (BUF ピン) からの分圧によって得られます。負の LDO への帰還入力を FBN ピンに設定します。この V_{FBN} 電圧は標準値 3.7mV です。



出力を -15V 、BUF から FBN への抵抗を $10\text{k}\Omega$ とした場合、下側の抵抗値は次の式で求められます：

$$\frac{R_2}{10\text{k}\Omega} (1.19\text{V} - 3.7\text{mV}) + 3.7\text{mV} = -15\text{V}$$

$$R_2 = \frac{(15\text{V} - 3.7\text{mV}) \times 10\text{k}\Omega}{1.1863\text{V}}$$

$$R_2 = 126.4\text{k}\Omega$$

別の 1% 標準抵抗値を使用して、R2 に $127\text{k}\Omega$ を選択します。これにより、負の LDO の値は約 -15V となります。この設定による公称値は -15.07V と計算されます。

- e. TPS7A3901 の正側ドロップアウト電圧は、典型値で 175mV 、最大で 300mV です。負のドロップアウト電圧は標準で -145mV で、最小値は -250mV です。これらのドロップアウト電圧は、それぞれ 50mA のソースと 50mA のシンクが規定されています。
- f. 低周波ノイズを低減するために CNR/SS ピンを使用します。このピンには 10nF のコンデンサが選択されます。CFFP と CFFN の容量を使用して、中周波数ノイズを低減できます。
- g. このアプリケーションは非絶縁電源として描かれていますが、トランジスの両側でグランドを分離すれば、産業用途向けの絶縁電源としても使用できます。

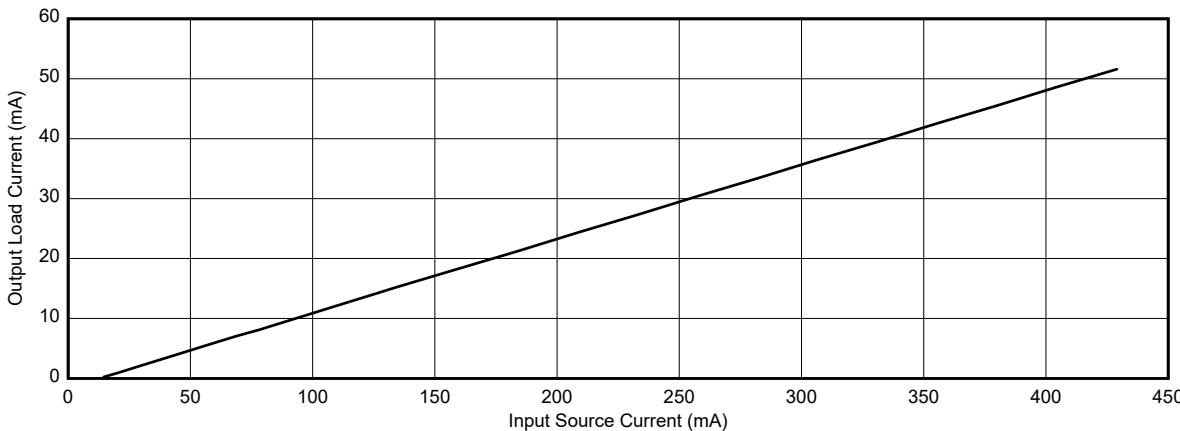
測定結果

この回路は、[ADS125H02EVM](#) のデュアル電源からテストを実施しました。この評価基板は高精度 ADC をターゲットとしていますが、[DAC81404](#) または [DAC8760](#) などの高精度 DAC 向けにこの電源を実装することもできます。

5V 電源電圧から入力が供給されます。プッシュプルコンバータの出力電圧は、LDO の入力で測定します。LDO の出力も測定します。これらの測定結果は、次の表に示されています。

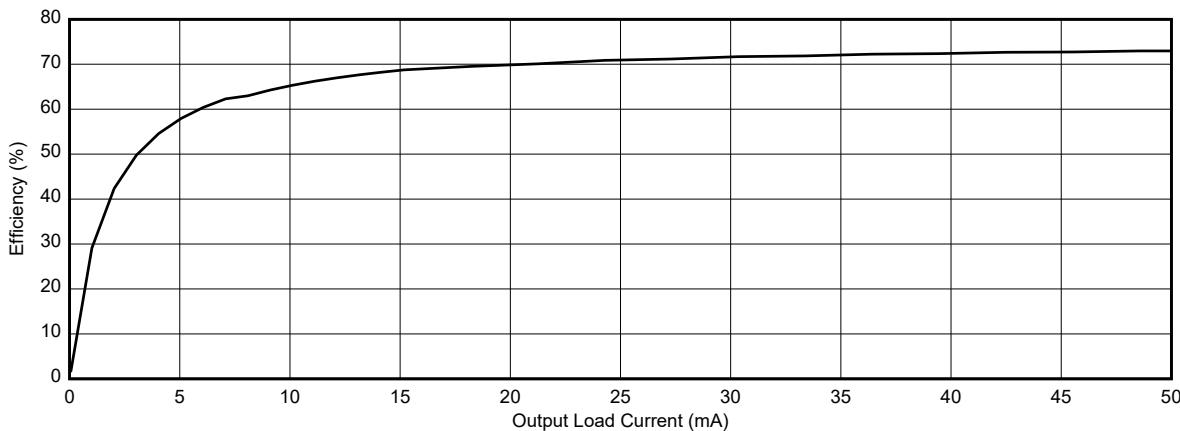
測定	正出力 (V)	負出力 (V)
プッシュプルコンバータの整流ダイオード後の出力電圧	19.874	-19.929
LDO の出力電圧	15.202	-15.124

出力電圧が入力電圧を大きく上回るため、出力負荷電流は入力電流よりもずっと小さくなります。[TPS7A3901](#) のデュアル LDO は、抵抗負荷を用いてテストされており、正側 LDO 出力からは電流を供給し、負側 LDO 出力では電流を吸い込みます。以下のプロットは、5V 電源からの入力電流と $\pm 15V$ 電源の出力電流負荷との関係を示しています。



構築した回路の測定結果によると、入力電流は出力負荷電流の 8 倍以上になります。標準的な USB 2.0 ポートが 500mA を供給する場合、 $\pm 15V$ 電源の最大出力電流は約 60mA になります。

さらに、回路の出力効率が測定されます。入力電力は 5V 電源から算出され、供給電流が記録されます。次に、 $\pm 15V$ 電源から出力電力を算出し、出力負荷電流も記録します。これらの値は、電力効率を向上させるため、さまざまな出力負荷でプロットしています。この回路では、負荷電流 50mA のとき、効率は 73% と測定されました。効率の結果は、次のプロットに示されています。



使用デバイス

パラメトリック検索ツールを使って他の DAC デバイスを探すか、これらの高精度 ADC を搭載した他の ADC デバイスを検索することもできます。

デバイス	主な特長	リンク
SN6505B	絶縁電源用低ノイズ 1A トランジストドライバ	SN6505B
TPS7A3901	デュアル 150mA、広い VIN 対応の正負 LDO 電圧レギュレータ	TPS7A39
ADS125H02EVM	ADS125H02 評価基板 ユーザー ガイド	ADS125H02EVM
ADS125H02	±20V 入力対応、PGA、複数の IDAC、複数の GPIO、VREF 搭載の 24 ビット、40kSPS、2 チャネル デルタシグマ ADC	ADS125H02
DAC81404	内部リファレンス搭載の 4 チャネル 16 ビット/12 ビット高電圧出力 DAC	DAC81404
DAC8760	4 ~ 20mA の電流ループ アプリケーション向け、16 ビット、シングルチャネル、プログラマブルな電流出力または電圧出力 DAC	DAC8760

設計の参照資料

テキサス インスツルメンツの総合的な回路ライブラリについては、『[アナログ エンジニア向け回路クックブック](#)』を参照してください。

その他資料

- テキサス インスツルメンツ、『[ADS125H02 評価基板ユーザー ガイド](#)』
- テキサス インスツルメンツ、[PLC I/O モジュールおよび他の低消費電力アプリケーション用の絶縁電源トポロジ製品概要](#)
- テキサス インスツルメンツ、1 個の LDO を使用したデュアル電源オペアンプへの電力供給
- テキサス インスツルメンツ、[プレシジョンラボ シリーズ:D/A コンバータ \(DAC\)](#)
- テキサス インスツルメンツ、[プレシジョンラボ シリーズ:A/D コンバータ \(ADC\)](#)

TI エンジニアから直接サポートを受けるには、[E2E コミュニティ](#)をご利用ください：

e2e.ti.com

商標

Würth Elektronik® is a registered trademark of Würth Elektronik GmbH & Co. KG.
すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

重要なお知らせと免責事項

TI 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默示保証、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、明示的または默示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 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、(1) お客様のアプリケーションに適した TI 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、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 TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI 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。TI 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、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI 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。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月