

Application Note 556 Introduction to Power Supplies



Literature Number: JAJA243

電源入門

National Semiconductor
Application Note 556
2002年9月



はじめに

コンピュータ、周辺機器、電卓、テレビ、オーディオ機器、計測機器をはじめとする電子機器のほとんどすべては、バッテリやDC電源などの直流電力源から電力を得て動作します。しかも多くの機器は、適切なフィルタとレギュレーションを経た安定したDC電圧を必要とします。このように電源回路は電子機器で広く使用されていることを背景として、電源デバイスは世界的な電子部品市場の一角落を占めており、その市場規模は年間で50億ドルを超えるまでになっています。

現在使用されている電源変換方式には3種類があり、入力電圧と出力電圧の関係から次のように分類されます。(1) DC/DCコンバータ、(2) AC/DC電源、(3) DC/ACインバータ。それぞれ最適な分野が異なますが、本アプリケーション・ノートでは広く使用されている前者2つを取り上げます。

ACライン電圧をDC電圧に変換する電源には、次の機能を高効率かつ低コストで実現することが求められます。

1. 整流：入力ACライン電圧をDC電圧に変換
2. 電圧変換：適切なDC電圧レベルを供給（複数出力の場合もある）
3. フィルタ：整流した電圧のリップルを平滑化
4. レギュレーション：ライン変動、負荷変動、温度変化に関わらず出力電圧レベルを一定値に制御
5. 絶縁：出力を入力電圧源から電気的に分離
6. 保護：有害な電圧サージを出力に伝えない、また、電圧低下時にバックアップ電源を供給またはシャットダウン動作へ移行

電源の特性を理想的に言い表すと「電圧、負荷電流、温度の変化に対して平滑で一定の電圧を100%の効率で供給する」となります。Figure 1は理想的な電源の特性（破線）に対して実際の電源の特性を示したグラフです。合わせて、後述する一部の用語も示しています。

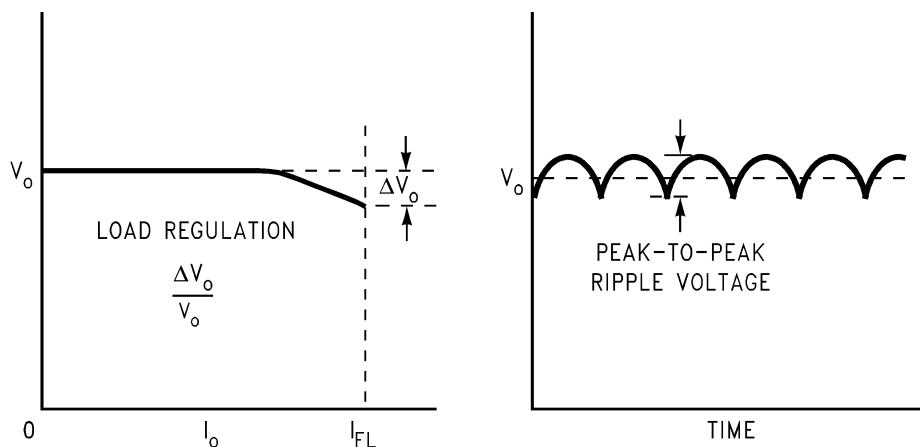


FIGURE 1. Real Power Supply has error compared to Ideal Power Supply

リニア電源

現在広く使用されている2種類のリニア電源をFigure 2に示します。どちらの回路もコンデンサC1に与えるリップル電圧を低減するために全波整流を採用しています。ブリッジ整流回路（右）はタップのない単純なトランジストを使用していますが電流は必ず2個のダイオードを流れます。センター・タップ整流回路（左）はダイオード1個分の電圧降下しか生じないため低出力電圧に適しています。5V出力と12V出力のアプリケーションでは、同等の定格を持つ超高速タイプに比べて電圧降下が小さく電源の変換効率の向上につながるショットキ・バリア・ダイオードが一般に使用されています。なお、全波整流回路ではダイオードに入力電圧と同じ電圧が逆バイアスとして印加されるため、各ダイオードは入力電圧の2倍の耐圧を備えていなければなりません。

リニア電圧レギュレータは入力と出力との間で可変抵抗として振る舞い正確な出力電圧を供給します。回路が持つ欠点の1つが効率の低さにあり、その理由は、入力電圧と出力電圧の電圧差をリニア・デバイス自身が電圧降下として消費しなければならないためです。つまり、リニア・デバイスの消費電力は $(V_i - V_o) \times I_o$ となります。リニア電圧レギュレータを使用した電源は、回路が単純である、出力リップルが小さい、ライン・レギュレーションと負荷レギュレーションに優れる、負荷変動とライン変動に対して応答が高速、EMIが小さいなど、特性的には多くの特長を備えていますが、変換効率が低く、回路の体積が大きいという問題があります。そのため最近では、このような欠点を持たないスイッチング電源の普及が進んでいます。

リニア電源(つづき)

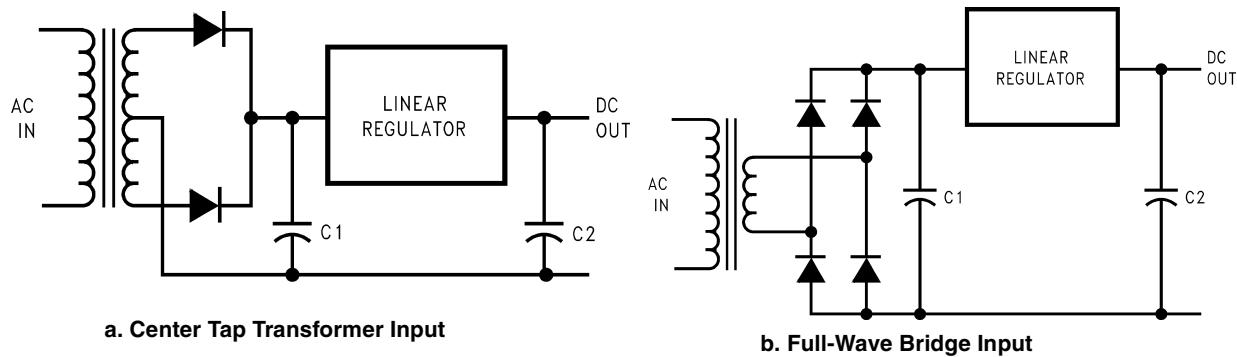


FIGURE 2. Linear Voltage Regulator

スイッチング電源 vs ライン電源

効率が高いこと、また回路体積あたりの電力密度が高いことから、スイッチング電源が広く使われるようになっています。Table 1 はリニア電源とスイッチング電源の代表的な特性を比較した表です。ライン変動と負荷変動は、通常はリニア電源のほうが場合によっては一桁違うほど優れています。スイッチング電源の出力レギュレーションを改善するために、リニア・レギュレータをポスト(後段)レギュレータとして使用するときもあります。

DC/DC コンバータ

DC/DC コンバータは DC 電源を変換し分配する目的でシステムや機器内部に広く用いられています。通常、システム電源またはバッテリの形態でシステムの DC 電源が供給されています。電圧は 5V、28V、48V などです。このような用途では電圧が低く一般に絶縁の必要がないため、後述するすべての回路を DC 電源の生成に適用可能です。

TABLE 1. Linear vs Switching Power Supplies (typical)

Specification	Linear	Switcher
Line Regulation	0.02%-0.05%	0.05%-0.1%
Load Regulation	0.02%-0.1%	0.1%-1.0%
Output Ripple	0.5 mV-2 mV RMS	10 mV-100 mV _{P-P}
Input Voltage Range	± 10%	± 20%
Efficiency	40%-55%	60%-95%
Power Density	0.5 W/cu. in.	2W-10W/cu. in.
Transient Recovery	50 μs	300 μs
Hold-Up Time	2 ms	34 ms

スイッチング電源

パルス幅変調

1960 年代前半、軽量化と高効率に対するコストアップをいたわる軍事用途からスイッチング・レギュレータの導入が始まりました。負荷に供給する平均電力を制御する 1 つの方法は、負荷に供給する平均電圧を制御することです。スイッチング・レギュレータは、Figure 3 に示すようにスイッチを高速に開閉して出力電圧を制御します。

負荷抵抗 R から見た平均電圧は次の式に等しくなります。

$$V_o(\text{avg}) = (t_{\text{(on)}}/T) \times V_i \quad (1)$$

$t_{\text{(on)}}$ を短くすると $V_o(\text{avg})$ は低くなります。このような制御方法をパルス幅変調(PWM)と呼びます。

降圧レギュレータ

スイッチング電圧レギュレータ回路にはさまざまな方式が存在します。まず最初に、構成が単純な降圧(バッケ)レギュレータを取り上げます (Figure 4)。式 (1) で与えられるように入力電圧より出力電圧が低いため、別名ステップダウン・レギュレータとも呼ばれます。軍用標準電源バスである 28V を TTL ロジック回路用の 5V に変換する電源回路などがアプリケーション例となります。

Figure 4 の時刻 $t_{(0)}$ で出力電圧 V_o が低下したことを検出したコントローラは、バス・トランジスタをオンにして L に電流を流すとともにコンデンサ C を再充電します。 V_o が規定電圧に上昇するとコントローラはバス・トランジスタ Q をオフにし、L、C、超高速ダイオード D で構成される信号経路に電流を還流(フリー・ホイール)させます。このとき、インダクタ L に蓄えられていたエネルギーは効率的にコンデンサに伝達されます。必要なインダクタとコンデンサの大きさは、スイッチング電源の電力密度を決めるスイッチング周波数に反比例します。高周波動作の場合は周波数特性に優れたパワー MOSFET をバス・トランジスタとして、バイポーラ・トランジスタの代わりに使用します。バス・トランジスタには負荷電流だけではなくダイオード D の逆回復電流も印加されるため、超高速リカバリ・ダイオードまたはショットキ・ダイオードを採用しなければなりません。

スイッチング電源(つづき)

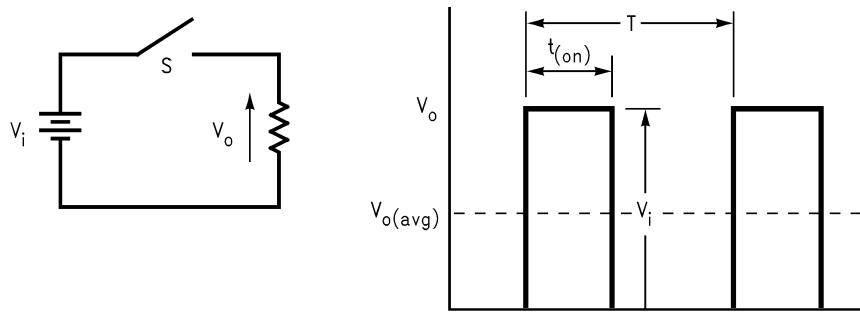


FIGURE 3. Example of Pulse Width Modulation

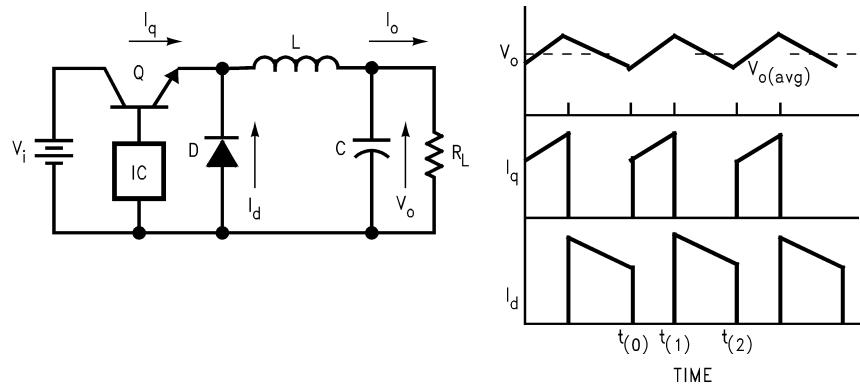


FIGURE 4. Buck Regulator Circuit with Voltage and Current Waveforms

昇圧レギュレータ

Figure 5 は入力電圧を昇圧する能力を備えたレギュレータです。5V のバッテリー源からインタフェース用 12V を生成する電源、さらにはELディスプレイ用に150Vを生成する電源などがアプリケーション例となります。

回路の考え方は降圧コンバータと同じで、インダクタに蓄積されているエネルギーをコンデンサへと伝達します。時刻 $t_{(0)}$ でトランジスタ・スイッチがオンになると、インダクタには入力電圧がそのまま

印加され、インダクタ電流は急激に上昇します。時刻 $t_{(1)}$ でトランジスタはオフとなり、インダクタ電流は超高速ダイオード D を通ってコンデンサを充電します。インダクタに蓄積されたエネルギーは $L \times I \times 1/2$ に等しいため、PWC IC がオン時間を長くしてピーク・インダクタ電流を大きくすれば、高い V_o が得られます。伝達関数は次のようにになります。

$$V_o = V_{IN} (T/(T - t_{(\text{on})})) \quad (2)$$

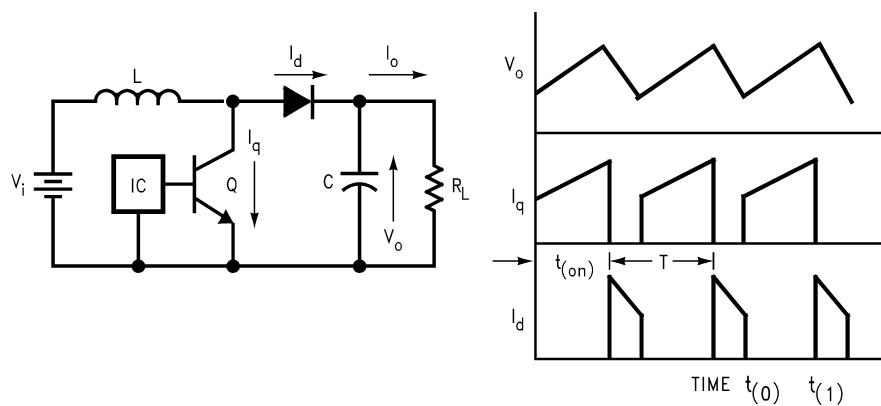


FIGURE 5. Boost Regulator and Associated I/V Waveforms

スイッチング電源(つづき)

反転レギュレータ

Figure 6 は入力電圧と逆極性の電圧を出力するスイッチング回路です。この回路は昇圧コンバータと同様の仕組みで動作しますが、トランジスタとインダクタの位置を入れ替えて極性反転を実現しています。パス・トランジスタのオン時間とオフ時間の比を制御すれば、出力電圧の絶対値を入力電圧より高くすることも低くすることもできるので、昇降圧(バック・ブースト)レギュレータとも呼ばれています。

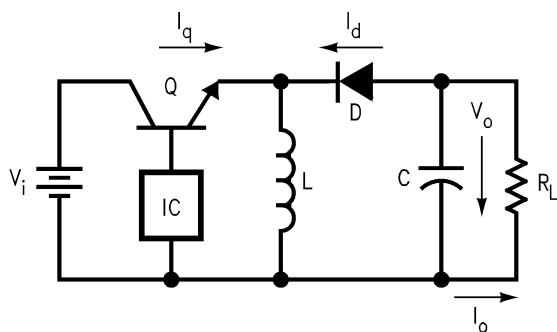


FIGURE 6. Inverting Regulator

フライバック・コンバータ

これまで説明した 3 種類のレギュレータは電気的な絶縁を必要としない低電圧アプリケーションに適しています。しかし、110V/220V の商用電源から直接 DC 電源を得るオフライン・スイッチ電源では電気的な絶縁は不可欠です。絶縁を実現するためにインダクタの代わりにトランスを使用します。150W 程度の電源容量で充分な多くのパソコン、テスト用機器、ビデオ端末などに、Figure 7 に示すフライバック・コンバータが広く使用されています。

トランスを高い周波数で動作させるために、Figure 2 に示した 50Hz/60Hz 用のトランスに比べてはるかに小さいトランスが使用できます。ある周波数までは、要求されるトランスの大きさは周波数に反比例する性質があります。

Figure 7 のスイッチング波形を見ると、回路は昇圧レギュレータときわめてよく似た挙動を示しているのがわかります。トランスは 2 組の巻き線を持つインダクタとして働き、一方がトランス・コア内にエネルギーを蓄え、他方が出力コンデンサにコア・エネルギーを伝達します。トランジスタのオン中($t_{(on)}$)にトランスの一次側電流は増加しますが、二次側電圧はダイオード D で逆バイアスされているため二次側に電流は流れません。トランジスタがオフになると磁場が電流を維持しようとするため、トランス電圧の極性が反転します。この段階で二次側にも電流が流れ、ダイオードを介して出力コンデンサが充電されます。出力電圧は、基本的な PWM 式にトランスの巻き線比 (N_2/N_1) を乗じて求めます。

$$V_o = V_{IN} \times (t_{(on)}) / (T - t_{(on)}) \times (N_2/N_1) \quad (3)$$

出力電圧はトランジスタのオン時間からピーク一次電流を調節して制御します。

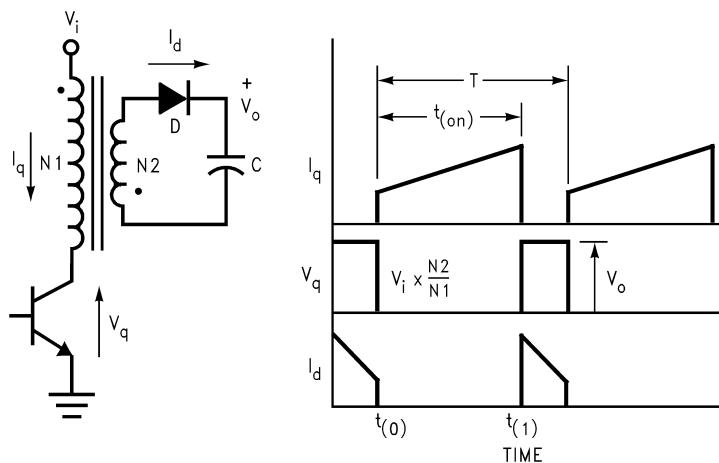


FIGURE 7. Flyback Converter

フライバック・コンバータは、トランスのインダクタンスがフィルタのインダクタを置き換えるため、多出力で高電圧の電源に適しています。一方で、次のような欠点によって低電力電源への適用に制約があります。

1. 出力コンデンサを半波で充電しているため出力リップル電圧が高い。
2. トランジスタは、オフ時間中、 $2 \times V_{IN}$ の電圧を遮断できないければならない。
3. トランスは一方向のみ駆動されるため大型のコアを必要とし、同等の順方向回路またはプッシュプル回路に比べてフライバック回路は高価となる。

オフライン・スイッチング電源

フライバック・レギュレータ回路をもとにしたオフライン・スイッチング電源全体を Figure 8 に示します。なお、スイッチに与える DC 電圧を AC ラインから直接生成するこのような電源を「オフライン電源」と呼びます。

図には、出力後段から発してスイッチング・トランジスタで完結する帰還ループが示されています。DC 出力を AC ラインから絶縁するために、この帰還ループも絶縁が必要です。通常はフォトカーブラを使用します。

スイッチング電源(つづき)

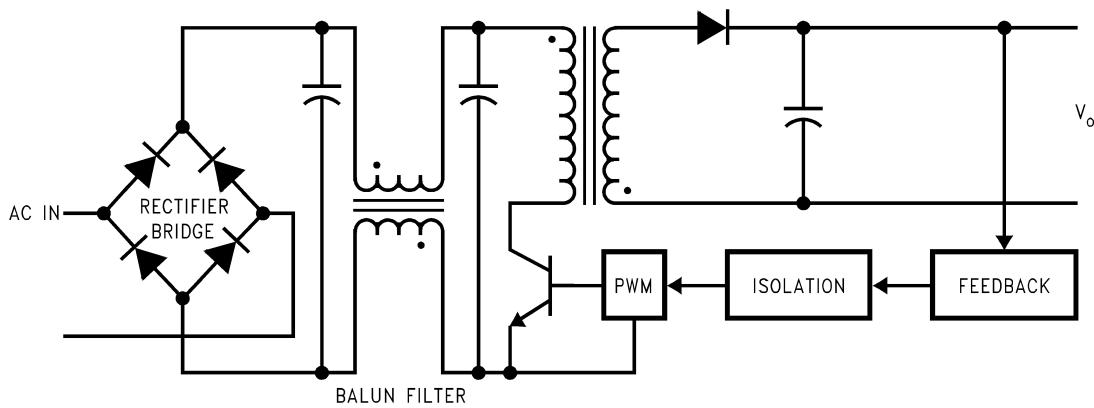


FIGURE 8. Complete Isolated Flyback Switching Supply

多国対応として設計するスイッチング電源では、AC 入力電圧を 115V と 230V とで選択できなければなりません。Figure 9 にスイッチング電源用の汎用的な電圧切り替え手段を示します。

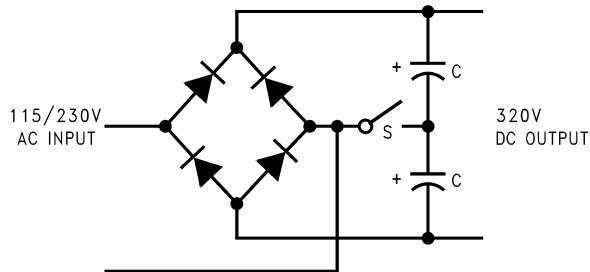


FIGURE 9. Selector Switch for 115V/230V Inputs

フォワード・コンバータ

フォワード・コンバータはフライバック・コンバータほどには知られていませんが、100W ~ 500W の範囲の電源回路として普及しつつあります。フォワード・コンバータの基本回路を Figure 10 に示します。トランジスタがオンになると一次側電流がリニアに上昇し、これに伴なって二次側電流は、ダイオード D1 を介してインダクタとコンデンサに流れます。トランジスタがオフになるとインダクタ電流はコンデンサとダイオード D2 を通して還流します。このコンバータ方式はコンデンサが連続的に充電されるためリップルが小さく、特に大電流用電源として関心が寄せられています。

この回路の入力と出力の関係は次のとおりです。

$$V_o = V_{IN} \times (N2/N1) \times (t_{on}/T) \quad (4)$$

Figure 10 に示したトランジスタは 3 番目の巻き線を備え直列ダイオード D3 が接続されています。3 番目の巻き線の目的はコア中の磁化エネルギーを DC 電源に戻すことで、そのため、余剰エネルギーをトランジスタ・スイッチや他の電圧サブレッサで消費する必要がありません。巻き線比 N3/N1 によってトランジスタから見えるピーク電圧が制限され、通常はフォワード・コンバータが 50% のデューティ・サイクルで動作できるように 1 に設定します。この条件下では、トランジスタはターンオフ時に $2 \times V_{IN}$ の電圧を遮断できません。

スイッチング電源(つづき)

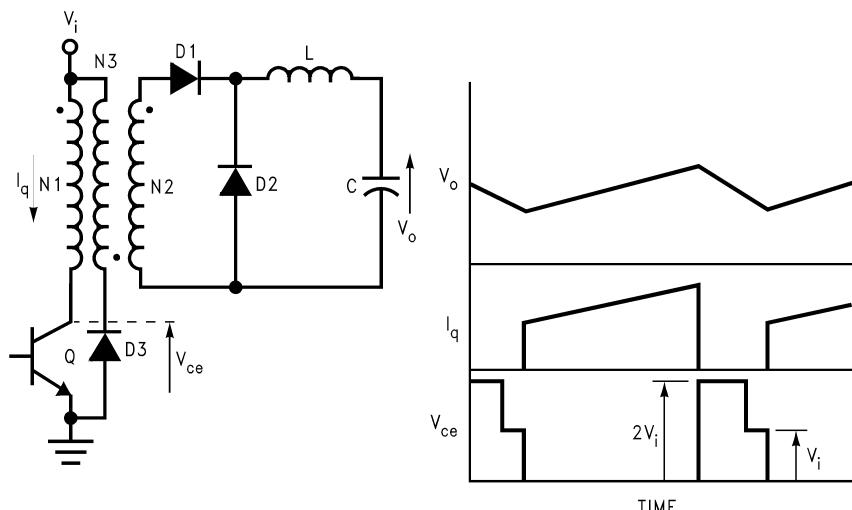


FIGURE 10. Forward Converter

対称型コンバータ

プッシュプル・コンバータ

広く使われているプッシュプル・コンバタ回路を Figure 11 に示します。

トランジスタ Q1 と Q2 は、それぞれオン時間 ($t_{(on)}$) にわたって交互にスイッチオンします。トランジスタのコアには極性の異なる電圧が交互に印加され、効率よく動作します。伝達関数は基本 PWM 式に従いますが、スイッチング・サイクルで両方のトランジスタが交互に導通するため係数 2 が加わります。

$$V_o = 2 \times V_{IN} \times (N2/N1) \times (t_{(on)}/T) \quad (5)$$

両方のトランジスタが同時にオンして短絡回路の形成を避けるために、デッド時間 ($t_{(d)}$) が必要となります。出力リップルの周波数は動作周波数の 2 倍となるため LC フィルタ部品の小型化が可能です。各トランジスタ・スイッチにアンチパラレル・ダイオードが接続されている点に着目してください。このダイオードはフォワード・コンバータのダイオード D3 と同じ働きをし、つまりトランジスタがオフのときに磁化工エネルギーを入力電圧に戻します。

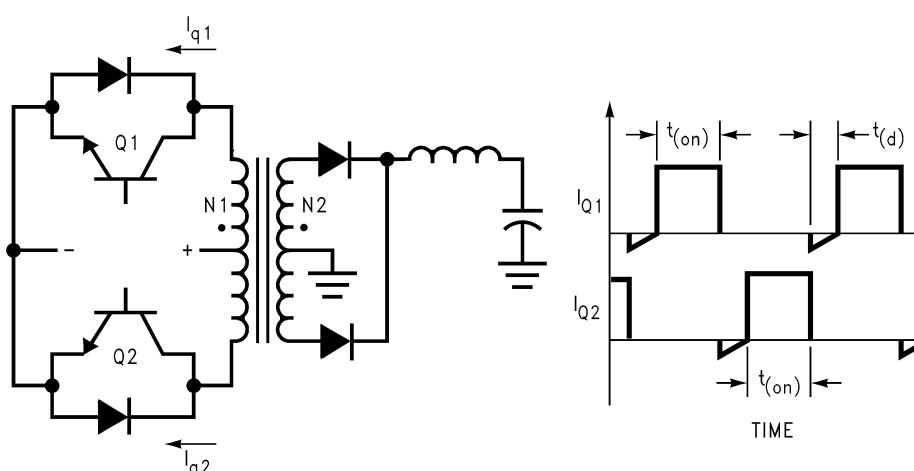


FIGURE 11. Push-Pull Converter

後述する対称型コンバータと比べて、2 個のトランジスタ・スイッチが信号リターンを共有している点がこの回路の特長です。最大の欠点はトランジスタのセンター・タップ接続によってトランジスタの設計が複雑化することで、また両方のトランジスタがオフのときに電圧スパイクの発生を防ぐため一次巻き線は密に結合していなければなりません。

ハーフブリッジ・コンバータ

このコンバータ (Figure 12) は前に述べたプッシュプル回路と同じ仕組みで動作します。

対称型コンバータ(つづき)

入力コンデンサ C1 と C2 が入力電圧を 1/2 に分割し、どちらかトランジスタがオンのときにトランスの一次側には $V_{in}/2$ が与えられます。結果として次に示す伝達関数式に係数 2 はありません。

$$V_o = V_{IN} \times (N2/N1) \times (t_{(on)}/T) \quad (6)$$

2 個のトランジスタは直列に接続されているため、必ず発生するスイッチング遷移電圧を入力電圧 V_{IN} に加えた電圧以上は、トランジスタに印加されることはありません。両方のトランジスタが同時に導通すると、入力電源からみて致命的な短絡経路が構成されるため、デッド時間の必要性は明らかです。アンチパラレル超高速ダイオードはプッシュプル回路と同様に磁化工エネルギーを戻しますが、コンデンサ C1 と C2 は交互に動作します。この回路は、トランジスタ Q1 を絶縁されたベース駆動回路で駆動しなければならない点がわずかに不便ですが、実際のベース駆動回路の多くはトランスを使った絶縁を行っているため、特に問題とはなりません。

フルブリッジ・コンバータ

Figure 13 に示すフルブリッジ・コンバータは複雑かつ高価なため主に大容量電源用として使われています。理想的には 2 個のトランジスタ間すべての電圧は等しく共有されるため、デバイスの最大電圧定格はほぼ V_{IN} になります。

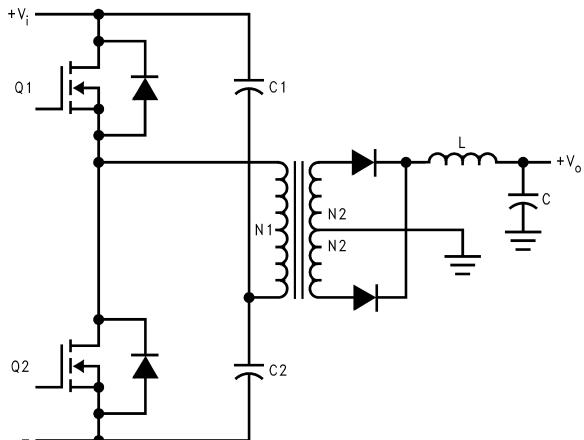


FIGURE 12. Half-Bridge Converter Circuit

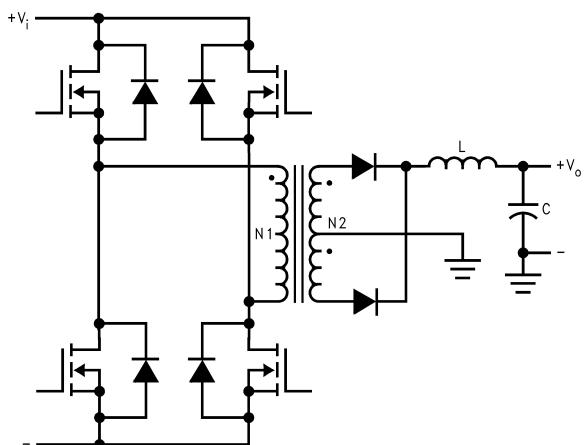


FIGURE 13. Full-Bridge Converter Circuit

生命維持装置への使用について

弊社の製品はナショナルセミコンダクター社の書面による許可なくしては、生命維持用の装置またはシステム内の重要な部品として使用することはできません。

1. 生命維持用の装置またはシステムとは (a) 体内に外科的に使用されることを意図されたもの、または (b) 生命を維持あるいは支持するものをいい、ラベルにより表示される使用法に従って適切に使用された場合に、これの不具合が使用者に身体的障害を与えると予想されるものをいいます。
2. 重要な部品とは、生命維持にかかる装置またはシステム内のすべての部品をいい、これの不具合が生命維持用の装置またはシステムの不具合の原因となりそれらの安全性や機能に影響を及ぼすことが予想されるものをいいます。

ナショナルセミコンダクター ジャパン株式会社

本社 / 〒 135-0042 東京都江東区木場 2-17-16 TEL.(03)5639-7300

技術資料（日本語／英語）はホームページより入手可能です。

www.national.com/jpn/

その他のお問い合わせはフリーダイヤルをご利用下さい。

フリーダイヤル
0120-666-116

ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社（以下TIJといいます）及びTexas Instruments Incorporated（TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといいます）は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間に取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準販売契約款に従って販売されます。

TIは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIJとの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定される危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合せ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明しておりません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証もしくは是認するということを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならぬ場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、かつその情報と結び付られた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不公正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの默示的保証を無効にし、かつ不公正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような説明については何の義務も責任も負いません。

TIは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション（例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの）に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されておりません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスティック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要件及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計もされていませんし、また使用されることを意図されておりません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2011, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位（外装から取り出された内装及び個装）又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で（導電性マットにアースをとったもの等）、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 溫・湿度環境

- 温度：0～40°C、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。（但し、結露しないこと。）

- 直射日光があたる状態で保管・輸送しないこと。

3. 防湿梱包

- 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。

4. 機械的衝撃

- 梱包品（外装、内装、個装）及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。

5. 熱衝撃

- はんだ付け時は、最低限260°C以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。（個別推奨条件がある時はそれに従うこと。）

6. 汚染

- はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質（硫黄、塩素等ハロゲン）のある環境で保管・輸送しないこと。
- はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。（不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。）

以上