



# 産業用ドライブにおけるIGBTゲート・ドライバ用 電源トポロジの分析

Sanjay Pithadia, N. Navaneeth Kumar

## 要約

このアプリケーション・レポートでは、産業用モーター・ドライブのIGBT（絶縁ゲート・バイポーラ・トランジスタ）ゲート・ドライバに電源を供給するための適切なトポロジの選択に使用される各種のパラメータについて説明します。

## 目次

1	概要 .....	2
2	ゲート駆動電源電圧 .....	2
3	ゲート駆動電源用トポロジの選択 .....	6
4	結論 .....	8
5	参考資料 .....	9

## 図目次

1	三相インバータ .....	2
2	絶縁型ゲート駆動による三相インバータ .....	3
3	絶縁型ゲート駆動による三相インバータ .....	3
4	単一の+15V電源を必要とするIPM .....	4
5	個別の電源を必要とするIPM .....	4
6	標準産業用ドライブでの複数レールの生成 .....	5
7	+24Vレールから生成されるIGBTゲート駆動電源 (+16Vおよび-8V) .....	5
8	主電源から生成されるIGBTゲート・ドライバレール .....	5
9	外部+24V入力から生成されるIGBTゲート・ドライバレール .....	6
10	1個のトランスを使用した基本絶縁型基板 (サイズ: 62mm × 55mm) .....	7
11	1個のトランスを使用した強化絶縁型基板 (サイズ: 110mm × 90mm) .....	7
12	6個のIGBTドライバによって1個の電源モジュールを駆動 .....	8

この資料は、Texas Instruments Incorporated (TI) が英文で記述した資料を、皆様のご理解の一助として頂くために日本テキサス・インスツルメンツ (日本TI) が英文から和文へ翻訳して作成したものです。

資料によっては正規英語版資料の更新に対応していないものがあります。日本TIによる和文資料は、あくまでもTI正規英語版をご理解頂くための補助的参考資料としてご使用下さい。

製品のご検討およびご採用にあたりましては必ず正規英語版の最新資料をご確認下さい。

TIおよび日本TIは、正規英語版にて更新の情報を提供しているにもかかわらず、更新以前の情報に基づいて発生した問題や障害等につきましては如何なる責任も負いません。

SLAA672 翻訳版

最新の英語版資料  
<http://www.ti.com/lit/slaa672>

# 1 概要

IGBTは、多くの三相インバータの構成要素として、ACモーターの速度を制御する可変周波数ドライブや、無停電電源、ソーラーインバータ、他の同様なインバータ・アプリケーションなど、さまざまなアプリケーションで使用されています。

これらのアプリケーションでは、電源デバイスのオン/オフ用に高度なPWM制御信号が必要となります。システム・レベルでは、それによってモーターの速度、位置、トルク、インバータの出力電圧、周波数、位相などが決まります。通常、これらの制御信号はマイコンからの出力として、3.3Vや5.0Vなどの低い電圧レベルで供給されます。IGBTで必要とされるゲート制御は15V~20Vの範囲内であり、これらのパワー・トランジスタによる大きな容量性負荷を駆動するために、高い電流容量を必要とします。ゲート駆動はIGBTのエミッタを基準に適用する必要があるだけでなく、インバータの構造により、上側IGBTのエミッタ・ノードはゼロからDCバス電圧までの間でスイングします。このDCバス電圧の大きさは数百Vに達します。IGBTは電源段のグラウンドを基準にフローティング状態になる可能性があるため、電源とゲート回路はいずれもインバータのグラウンドから絶縁されている必要があります。これにより、使用できるゲート・ドライブ構成が制限されます。

- 電位分離ありのゲート・ドライバ
- 電位分離なしのゲート・ドライバ

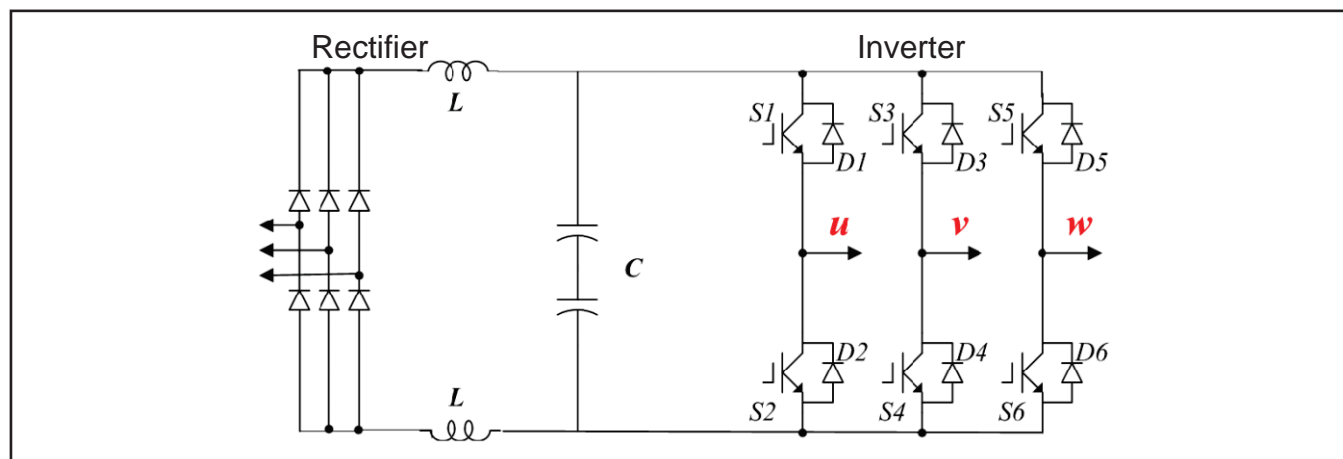


図 1. 三相インバータ

## 2 ゲート駆動電源電圧

### 2.1 ブラシレス永久磁石モーター

三相高電力ブリッジ・インバータは、通常、IGBTの機能を制御するために、各IGBT用に専用の絶縁型ゲート・ドライバを備えています。その場合、各ドライバは図2に示すように、それぞれ独自の電源を持っています。導通時間中は、IGBTのゲート-エミッタ間電圧が13.5V~16.5Vの範囲に保持されるため、 $V_{CE(sat)}$ をできる限り低く保つことで、導通損失を最小限に抑えます。オフ状態中は、通常、IGBTのゲート-エミッタ間電圧が-5Vの最小値に保持され、デバイスが誤ってオンになるのを防ぎます。

中電力アプリケーションでは、下側の各IGBTゲート駆動回路に対して共通の電源を使用できますが、各パワー・スイッチに対して別個のコンデンサを使用し、スイッチのエミッタをそれぞれ対応するコンデンサのグラウンドに接続します。このアーキテクチャについては、図3を参照してください。ミラー・クランプ機能を持つゲート・ドライバの使用時など、特定の状況下では、負のゲート電圧を避けることができます。

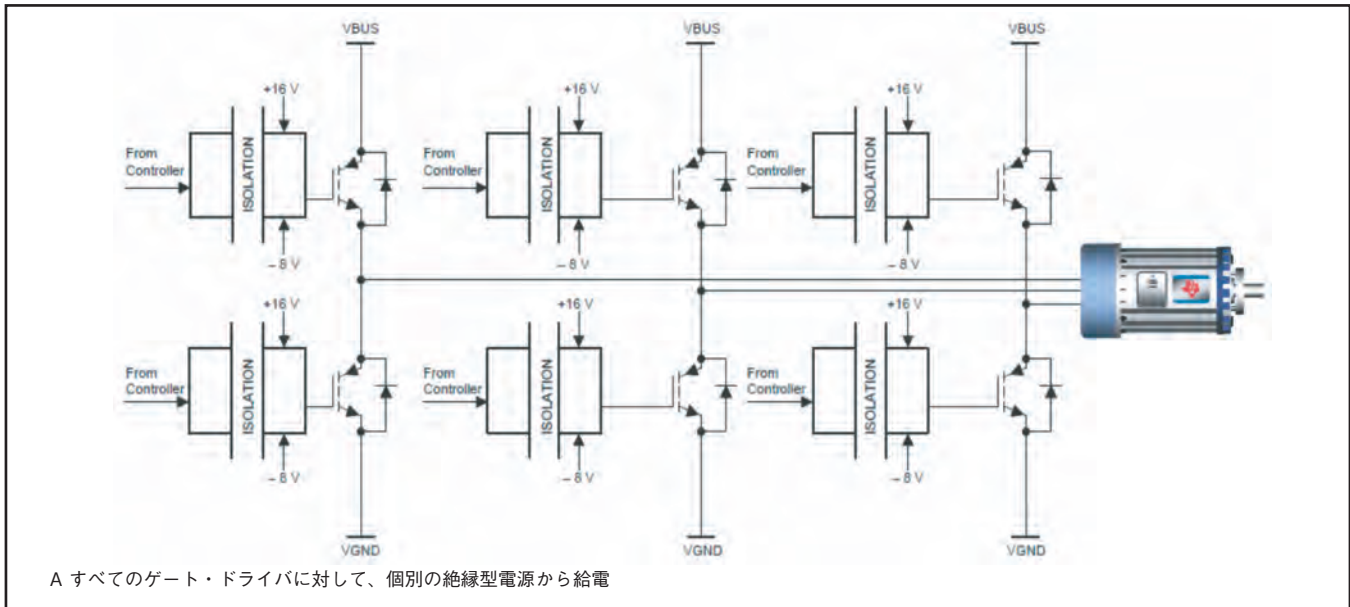


図 2. 絶縁型ゲート駆動による三相インバータ

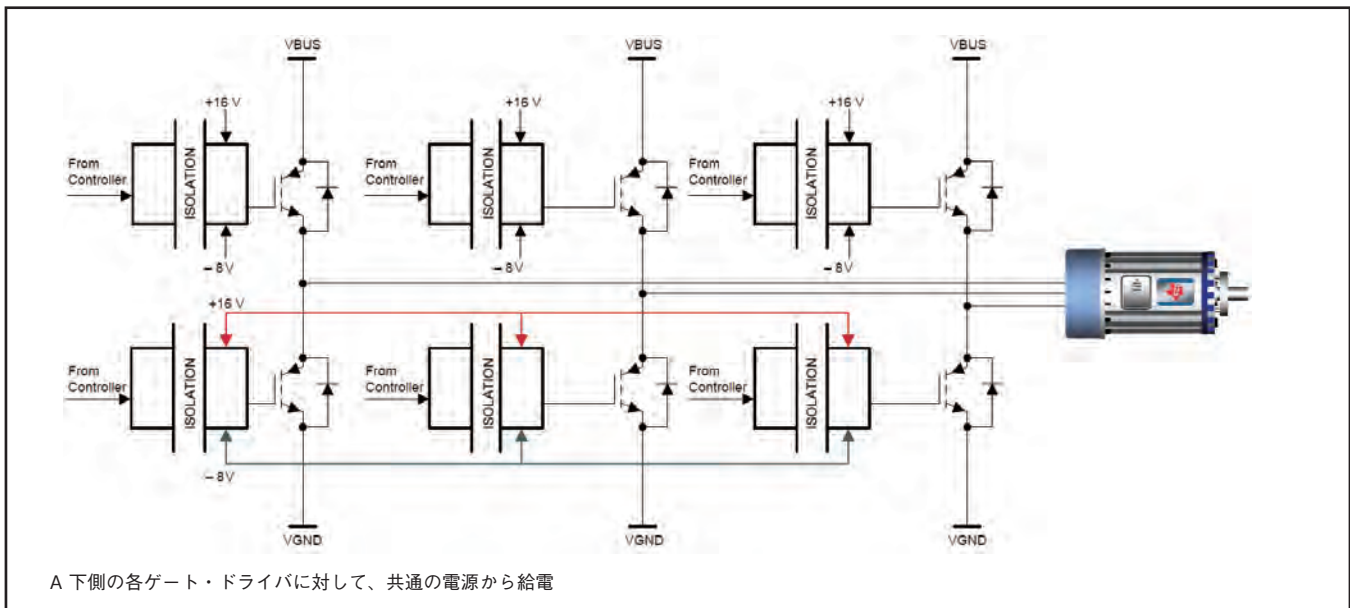


図 3. 絶縁型ゲート駆動による三相インバータ

## 2.2 IPMへの電源供給

モジュール化されたデバイスの1つであるIPM (インテリジェント・パワー・モジュール)は、IGBTに加えて、信号処理機能、自己保護機能、および診断機能を持つ回路を搭載しています。IPMには、小型、軽量、シンプルな設計、高信頼性といった利点があります。IPMでは、ゲート・ドライバとIGBTの間の配線が短く、電力レベルが小さいため、逆バイアスの生じない駆動が可能です。

多くの低電力IPMは、単一の+15V電源で動作し、ブートストラップに基づくゲート・ドライバを使用します。その場合、6個すべてのゲート・ドライバを駆動する電力容量を持った単一の+15Vを生成すれば十分です。図4に、そのようなIPMの例を示します。

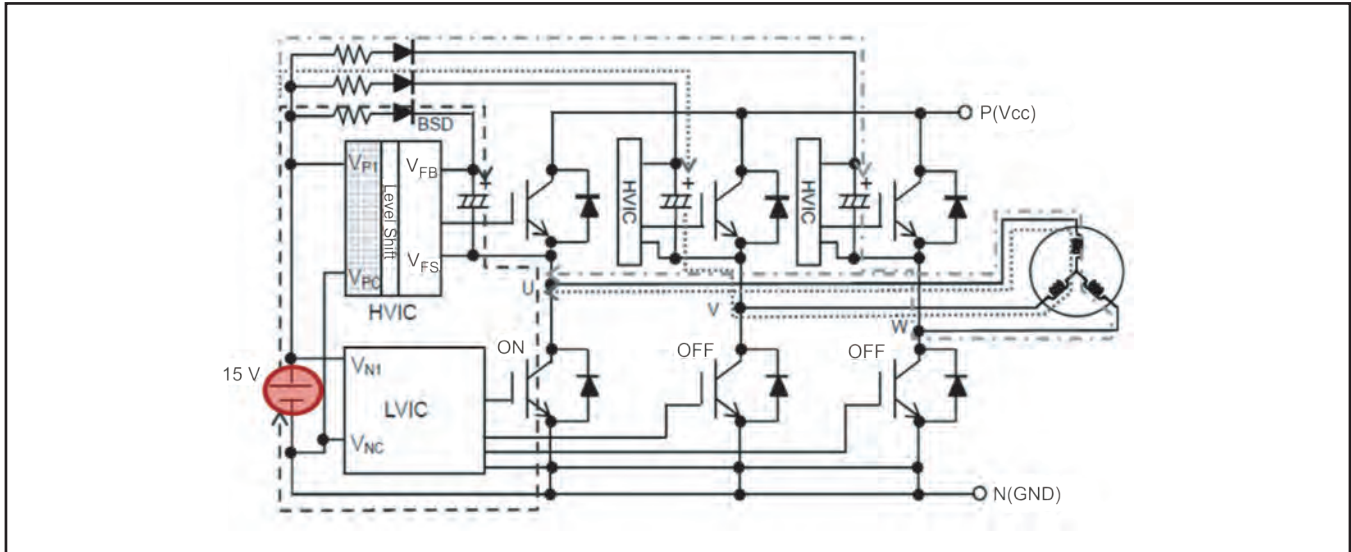


図 4. 単一の+15V電源を必要とするIPM

図5には、個別のプリドライバを備えたIPMを示します。この構成では、4個の制御電源が必要です。すべての下側IGBT用に1個の電源と、上側IGBT用には適切な絶縁回路とともに3個の個別の電源を使用します。通常、各プリドライバの電源電圧は13.5V~16.5Vの範囲内であり、標準値は15Vです。

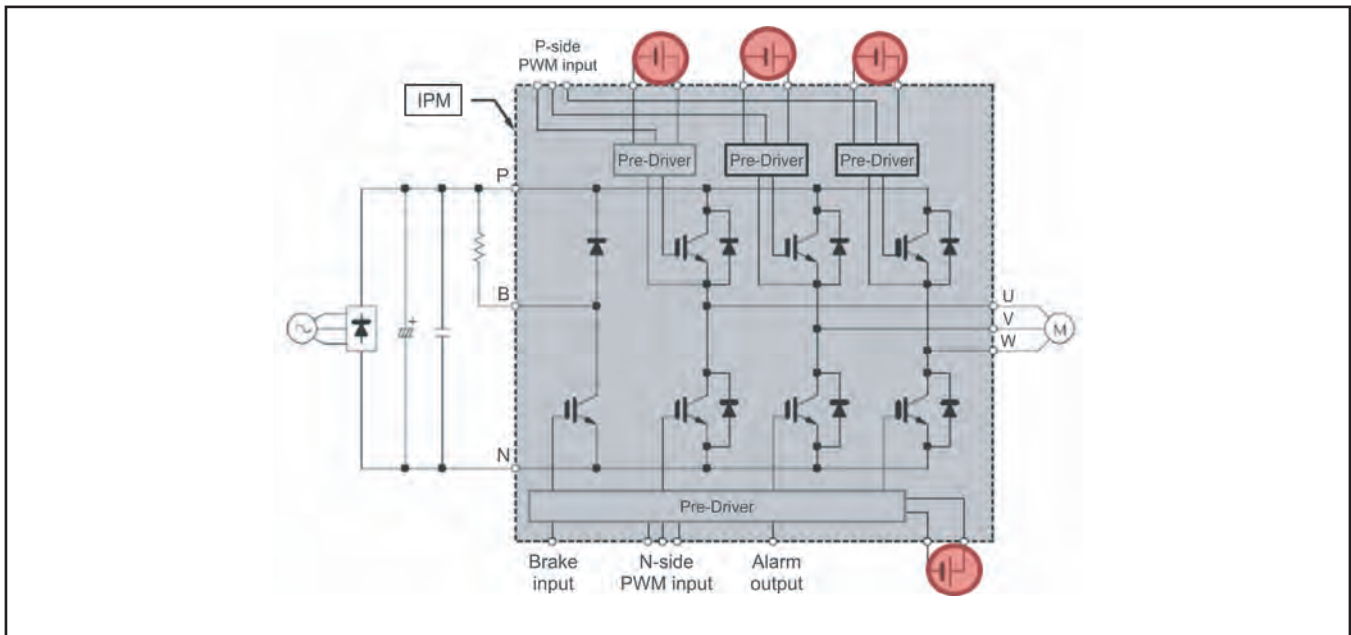


図 5. 個別の電源を必要とするIPM

### 2.3 産業用ドライブでの標準的な電源構成

可変速ドライブ(VSD)は、電源部、コントローラ、ユーザーI/O、ディスプレイ、および通信ブロックから構成されます。電源部には、整流器、DCリンク、突入電流制限、およびIGBTベースのインバータが含まれます。主電源(図6を参照)は、AC商用電源から直接供給されるか、またはDCリンクから供給されます。この主電源から、IGBTゲート駆動を含むすべての制御回路の動作に必要な複数の電圧レールを生成します。2.1節および2.2節では、いくつかの異なる状況において、IGBTゲート・ドライバへの電源供給に必要な電圧レールの“個数”と“電圧の大きさ”について検討しました。

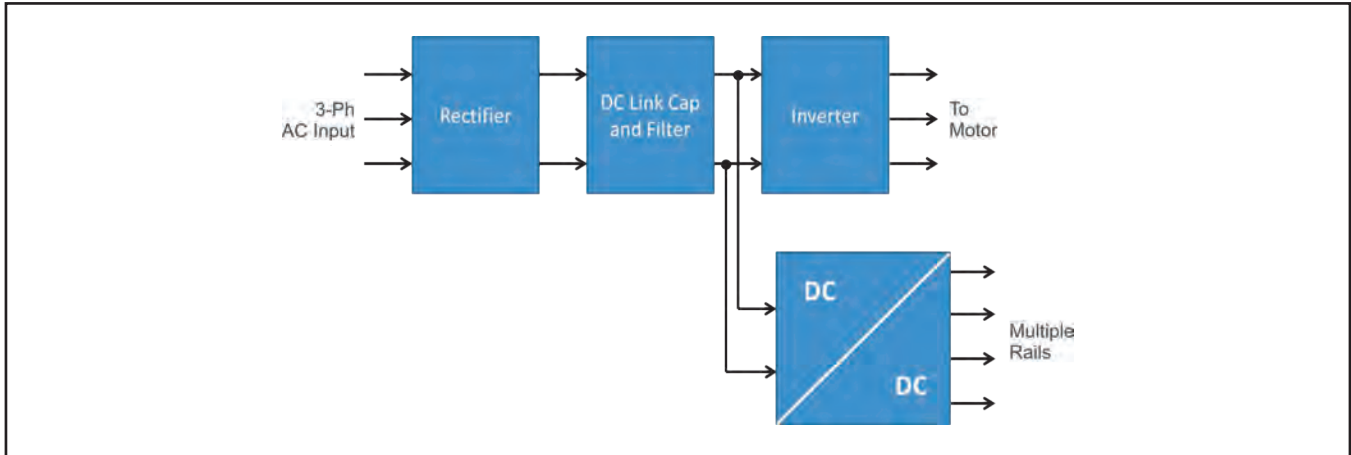


図 6. 標準産業用ドライブでの複数レールの生成

図5には、個別のプリドライバを備えたIPMを示します。この構成では、4個の制御電源が必要です。すべての下側IGBT用に1個の電源と、上側IGBT用には適切な絶縁回路とともに3個の個別の電源を使用します。通常、各プリドライバの電源電圧は13.5V~16.5Vの範囲内であり、標準値は15Vです。

### 2.3.1 構成1

この構成では、図7に示すように、IGBTゲート駆動電源を、主電源から得られる+24Vレールから生成します。ゲート駆動電源には、フライバックまたはFlybuck™トポロジ、あるいはプッシュプルまたはハーフブリッジを使用できます。ゲート駆動電源の絶縁出力は、+15Vまたは+15V/-8Vレールによってゲート・ドライバに電源を供給できます。

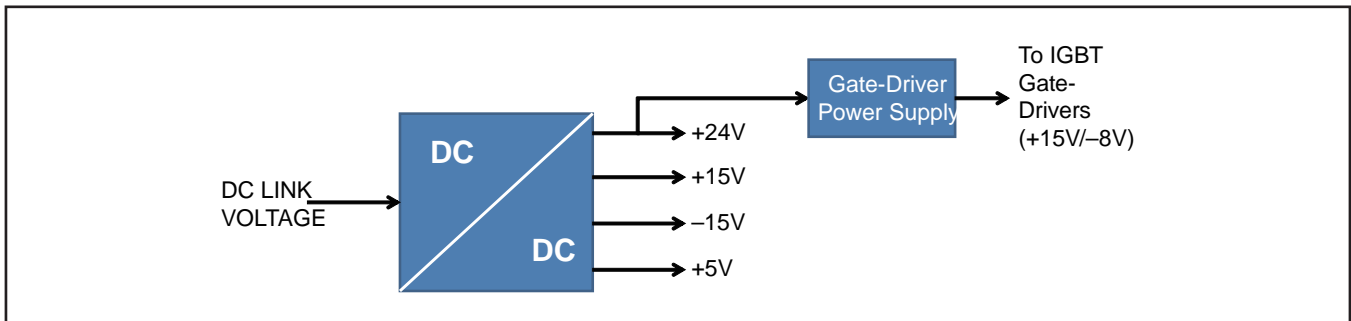


図 7. +24Vレールから生成されるIGBTゲート駆動電源 (+16Vおよび-8V)

### 2.3.2 構成2

図8に、レール(IGBTゲート・ドライバ用のレールを含む)を主電源自体から生成する別の構成を示します。これは、構成1と比較してこの構成がコスト的に有利であることを意味します。この場合、電源トポロジにはフライバックを使用できます。

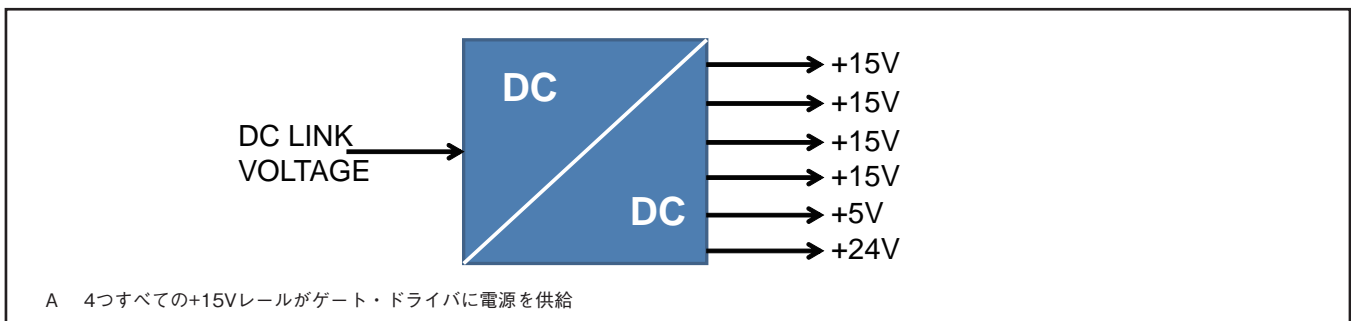


図 8. 電源から生成されるIGBTゲート・ドライバ・レール

### 2.3.3 構成3

主電源は、DCリンク電圧の代わりに外部の+24V電源 (図9を参照) から供給される可能性もあります。この構成では、構成2と同様に単一のトランスを使用して、すべてのレール (IGBTゲート・ドライバ用のレールを含む) を生成します。電源トポロジには、フライバックまたはFlybuckを使用できます。

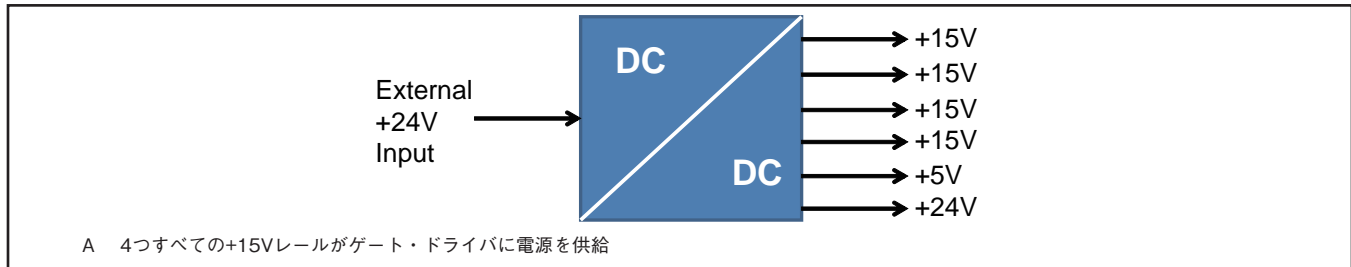


図9. 外部+24V入力から生成されるIGBTゲート・ドライバ・レール

## 3 ゲート駆動電源用トポロジの選択

以降の節では、IGBTゲート駆動電源のトポロジを選択する際に考慮するいくつかの重要な設計条件について説明します。

### 3.1 供給される入力電源のレギュレーション

IGBTゲート駆動電源には、適切なレギュレーションが必要となります。ゲート駆動電源に対する入力電源電圧のレギュレーションによって、フィードバックの必要性 (開ループまたは閉ループ・トポロジ) が決まります。レギュレーション済み入力電源の場合は、フィードバックなしのゲート駆動電源を使用しても、十分に適切なレギュレーション出力が得られます。可能なトポロジとしては、プッシュプルおよびハーフブリッジがあります。入力電源がレギュレーション済みでない場合 (またはレギュレーション状況が不明な外部電源を使用している場合は、フィードバック付きのトポロジを使用した方が適切です。

### 3.2 PWMコントローラの種類

強化絶縁の要件により、一般に光学フィードバックは推奨されません。1次側にレギュレーション付きのフライバック・コントローラを使用すると、コスト効果が高く、フォトカップラや他のフィードバック回路が不要になります。

### 3.3 絶縁とスペーシング

すべての産業用モーター・ドライブでは、入力回路 (低電圧) と出力回路 (高電圧) の電位分離を保証する必要があります。絶縁レベルは、汚染度、過電圧カテゴリ、および電源接地システムに基づいて選択されます。

アプリケーションに応じて、テスト電圧とともに、クリアランスおよび沿面距離の対応する規格に準拠する必要があります。モーター・ドライブに関する一般的な標準の1つがIEC61800-5です。絶縁レベルが 'Reinforced' (強化) であるか 'Functional' (機能) であるかによって、トランスの設計が決まります。沿面距離、クリアランス、およびトランスのピン数は、いずれもトランスの設計で重要な役割を担います。強化絶縁では、より大きなトランスが求められ、機能絶縁と比較して基板上に確保するスペースも大きくなります。

#### 3.3.1 機能絶縁 - 1個のトランス

機能絶縁は、回路内の導電部品間の絶縁であり、回路が適切に機能するために必要なものですが、感電に対する保護は提供しません。機能絶縁要件では、クリアランスと沿面距離が以下のように定義されています。

- 1次側-2次側間クリアランス = 3.2mm
- 2次側1-2次側2間クリアランス = 2.2mm
- 沿面距離 = 4mm

これらのパラメータを考慮して、基板サイズを非常に小さくすることができます。基本的な絶縁による設計例の1つが、TIDA-00199です。図10に、TIDA-00199のレイアウトを示します。

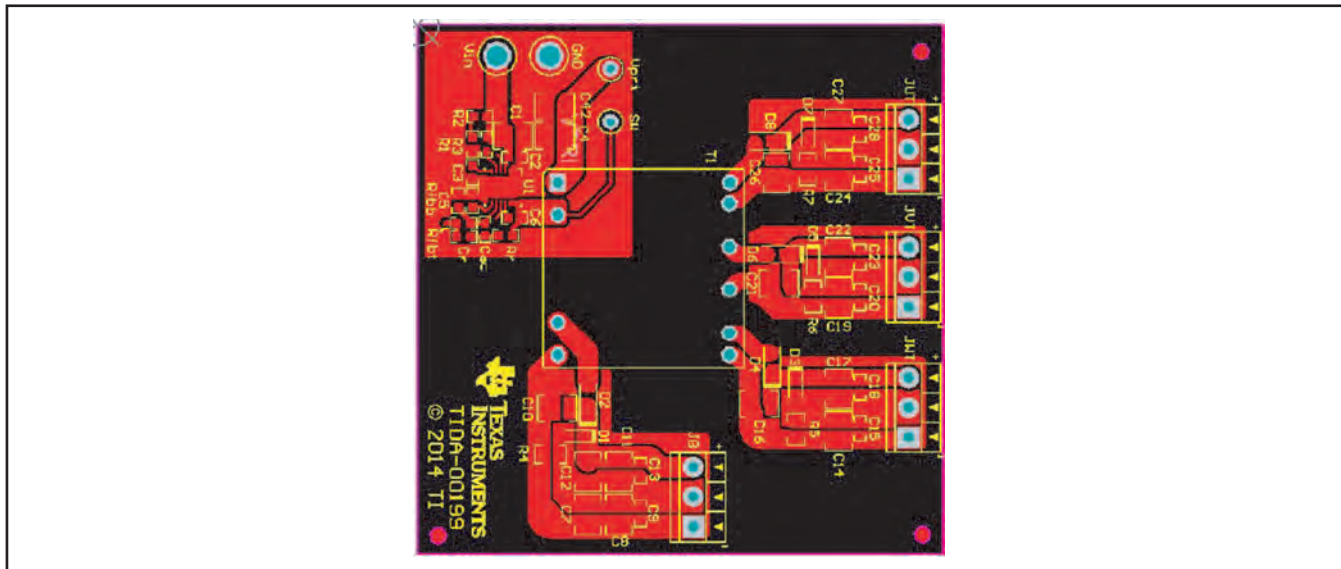


図 10. 1個のトランスを使用した基本絶縁型基板 (サイズ : 62mm × 55mm)

### 3.3.2 強化絶縁 - 1個のトランス

強化絶縁要件では、クリアランスと沿面距離が以下のように定義されています。

- 1次側-2次側間の絶縁 = 7.4kV (1.2/50 $\mu$ sのインパルス電圧に対して)
- タイプ・テスト電圧 : 1次側-2次側間 = 3.6kVrms、2次側1-2次側2間 = 1.8kVrms
- 1次側-2次側間クリアランス = 8mm
- 2次側1-2次側2間クリアランス = 5.5mm
- 沿面距離 = 9.2mm

これらのパラメータを考慮すると、基板サイズは最大110mm × 90mmになります。TIのTIDA-00182デザインは、フライバック・トポロジを使用し、強化絶縁に基づいて設計されています。図11に、TIDA-00182デザインのレイアウトを示します。

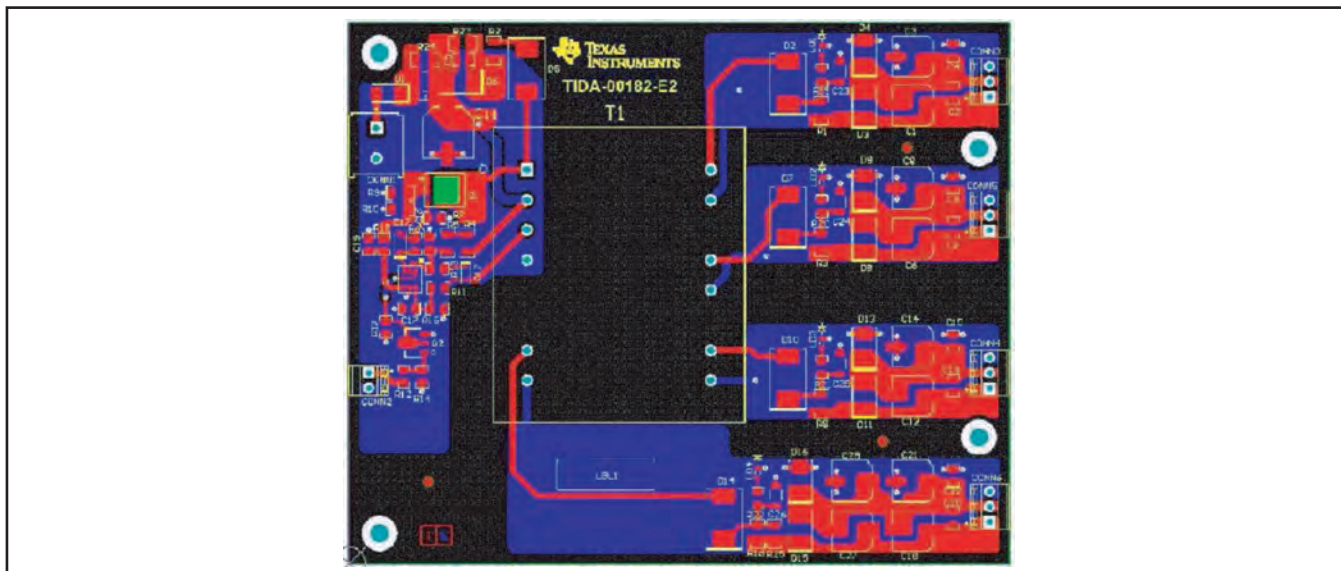


図 11. 1個のトランスを使用した強化絶縁型基板 (サイズ : 110mm × 90mm)

### 3.4 動作周波数

電源の動作周波数によって、電源の効率とサイズが決まります。プッシュプルなど一部のトポロジは、トランスの設計に関して、高周波動作には適していません。400kHzを超える高い周波数では、Flybackまたはハーフブリッジ・トポロジが推奨されます。機能絶縁のみが必要である場合は、より高い周波数を選択した方が有利です。

### 3.5 モジュール構造

ドライブにおけるIGBTモジュールの配置とIGBTモジュールのピン割り当ても重要な要素です。図12に示すミッドエンド・ドライブのレイアウト例では、6個の絶縁型IGBTゲート・ドライバを使用して1個の電源モジュールを駆動しています。図に示されるように、IGBT電源モジュールのピン割り当ては、2個の強化絶縁型IGBTゲート・ドライバに1個のトランスで電源を供給できるようにになっています。

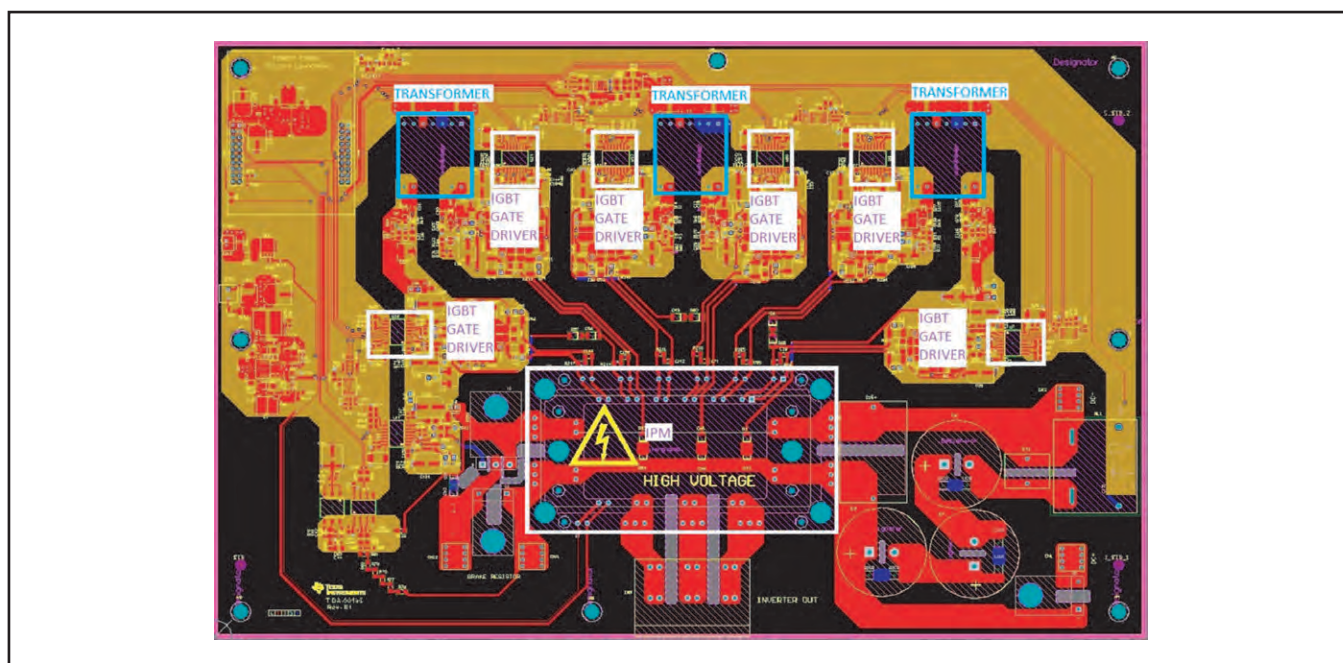


図 12. 6個のIGBTドライバによって1個の電源モジュールを駆動

#### 3.5.1 1個のトランスと複数のトランス

1個のトランスを使用するかまたは複数のトランスを使用するかは、ドライブ構造で必要とされる絶縁によって決まります。各IGBTゲート・ドライバを駆動するために複数のトランスを使用する場合は、選択したトポロジに応じて、1個または複数のPWMコントローラが必要になります。プッシュプルおよびハーフブリッジ・トポロジでは、インバータ電源段に存在する複数のIGBTドライバに電源を供給するために、複数のトランスを並列に接続して電圧レールを生成できます。フライバックおよびFlybackトポロジの場合は、トランスの2次側での動作の関係で、そのような接続はできません。

## 4 結論

ゲート・ドライブ用電源トポロジは、複数のパラメータに依存しています。ドライブ・アプリケーションのアーキテクチャに基づいて、選択肢は異なります。また、トポロジの決定には部品の個数も大きく関わってきます。Flybackトポロジは、部品数が少なく、1次側フィードバックを使用します。一方、開ループ構成のプッシュプル・トポロジでは、フィードバック部品が不要ですが、1次側で2個のスイッチを使用します。ゲート・ドライバに対する電源トポロジを最終的に決定する際には、トランスの数（構造に基づく）、使用可能な電源、IGBTモジュールの種類、絶縁要件など、すべてのパラメータを考慮する必要があります。



## 5 References

- TIDA-00181: *Isolated IGBT Gate-Drive Push-Pull Power Supply with 4 Outputs* ([TIDU355](#))
- TIDA-00182: *Reinforced Isolated IGBT Gate-Drive Flyback Power Supply With Eight Outputs* ([TIDU411](#))
- TIDA-00174: *Isolated IGBT Gate-Drive Fly-Buck™ Power Supply with 4 Outputs* ([TIDU478](#))
- TIDA-00199: *Wide-Input Isolated IGBT Gate-Drive Fly-Buck™ Power Supply for Three-Phase Inverters* ([TIDU670](#))
- [FUJI IGBT-IPM Application Manual](#)
- [DIPIPM Application Note - Mitsubishi Electric](#)

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as "components") are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its components to the specifications applicable at the time of sale, in accordance with the warranty in TI's terms and conditions of sale of semiconductor products. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by applicable law, testing of all parameters of each component is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or the design of Buyers' products. Buyers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with Buyers' products and applications, Buyers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI components or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI components or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that component or service voids all express and any implied warranties for the associated TI component or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products, and any use of TI components in its applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Buyer represents and agrees that it has all the necessary expertise to create and implement safeguards which anticipate dangerous consequences of failures, monitor failures and their consequences, lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate remedial actions. Buyer will fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of any TI components in safety-critical applications.

In some cases, TI components may be promoted specifically to facilitate safety-related applications. With such components, TI's goal is to help enable customers to design and create their own end-product solutions that meet applicable functional safety standards and requirements. Nonetheless, such components are subject to these terms.

No TI components are authorized for use in FDA Class III (or similar life-critical medical equipment) unless authorized officers of the parties have executed a special agreement specifically governing such use.

Only those TI components which TI has specifically designated as military grade or "enhanced plastic" are designed and intended for use in military/aerospace applications or environments. Buyer acknowledges and agrees that any military or aerospace use of TI components which have **not** been so designated is solely at the Buyer's risk, and that Buyer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI has specifically designated certain components as meeting ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. In any case of use of non-designated products, TI will not be responsible for any failure to meet ISO/TS16949.

### Products

Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>
DLP® Products	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>
Clocks and Timers	<a href="http://www.ti.com/clocks">www.ti.com/clocks</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>
RFID	<a href="http://www.ti-rfid.com">www.ti-rfid.com</a>
OMAP Applications Processors	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>
Wireless Connectivity	<a href="http://www.ti.com/wirelessconnectivity">www.ti.com/wirelessconnectivity</a>

### Applications

Automotive and Transportation	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
Communications and Telecom	<a href="http://www.ti.com/communications">www.ti.com/communications</a>
Computers and Peripherals	<a href="http://www.ti.com/computers">www.ti.com/computers</a>
Consumer Electronics	<a href="http://www.ti.com/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
Energy and Lighting	<a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/energy</a>
Industrial	<a href="http://www.ti.com/industrial">www.ti.com/industrial</a>
Medical	<a href="http://www.ti.com/medical">www.ti.com/medical</a>
Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
Space, Avionics and Defense	<a href="http://www.ti.com/space-avionics-defense">www.ti.com/space-avionics-defense</a>
Video and Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>

### TI E2E Community

[e2e.ti.com](http://e2e.ti.com)