

IXYSのPチャンネル・パワーMOSFETとアプリケーション Abdus Sattar, Kyoung-Wook Seok, IXAN0064

はじめに

IXYSのPチャンネル・パワーMOSFETは、非常に高速のスイッチング、電圧制御、容易な並列動作、優れた温度安定性など、同等のNチャンネル・パワーMOSFETの特徴すべてを維持しています。これらのPチャンネル・パワーMOSFETは、逆極性動作の利便性が求められるアプリケーションのために設計されています。これらは、ボディ領域内の低い比抵抗と、寄生PNPトランジスタがオンになりにくい優れたアバランシェ(雪崩)特性を実現するn型ボディ領域を持っています [1]。同様の設計上の特徴を持つNチャンネル・パワーMOSFETと比較して、Pチャンネル・パワーMOSFETは、順方向バイアス安全動作領域(FBSOA)に優れ、単一事象バーンアウト現象がほとんど起こりません [2]。Pチャンネル・パワーMOSFETの**主要な利点**は、ハイ側(HS)スイッチ位置におけるゲート駆動テクニックがシンプルなことです [3]。

Pチャンネル・デバイスのソース電圧は、デバイスがHSスイッチとして動作するときには一定です。一方、HSスイッチとして使用されるNチャンネル・デバイスのソース電圧は、直流バス電圧のロー側(LS)とハイ側(HS)との間で変化します。したがって、Nチャンネル・デバイスを駆動するには、絶縁ゲート・ドライバまたはパルス・トランスを使用しなければなりません。ドライバには、別個の電源が必要なものに対して、トランスは不適切な動作を起こすことがあります。しかし、多くの場合、LSゲート・ドライバは、非常にシンプルなレベル・シフト回路によって、PチャンネルHSスイッチを駆動することができます。これによって回路は簡略化され、多くの場合、全体のコストが抑えられます。Pチャンネル・デバイスの**主要な欠点**は、Nチャンネル・デバイスと比べて $R_{ds(on)}$ が比較的高いことです。そのため、Pチャンネル・パワーMOSFETによる低コストのソリューションでは、 $R_{ds(on)}$ を下げる方向にデバイスを最適化する必要があります [4]。

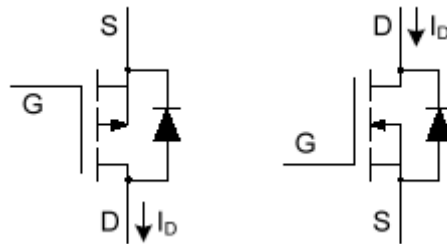


図1:Pチャンネル(左)とNチャンネル(右)のMOSFET

IXYS社は、-50V ~ -600Vの V_{DS} と-10A ~ -170Aの I_{D25} をカバーする2つのPチャンネル・パワーMOSFETファミリを開発しました。各製品詳細を付録Aに示します。-50V ~ -150VのPチャンネルTrenchP™パワーMOSFETは、非常に低いオン抵抗、小さなゲート電荷、非常に速いスイッチング、高速ボディ・ダイオードなどの特徴を持っています。プレーナPolar™ Pチャンネル・パワーMOSFETは、-100V ~ -600Vの電圧範囲ですばらしい電力性能を発揮します。いずれのファミリも、業界標準パワー・パッケージおよびIXYS独自のISOPLUSファミリ・パッケージの中で「クラス最高」の性能を持っています。

IXYSのPチャンネル・パワーMOSFETとアプリケーション
Abdus Sattar, Kyoung-Wook Seok, IXAN0064

ハイ側(HS)スイッチのためのゲート駆動

この項では、ハーフブリッジ回路のさまざまなゲート駆動テクニックを紹介します。HSスイッチとしてのPチャンネルMOSFETの駆動は、NチャンネルMOSFETの駆動と比較して、はるかにシンプルかつ低コストです [5]。

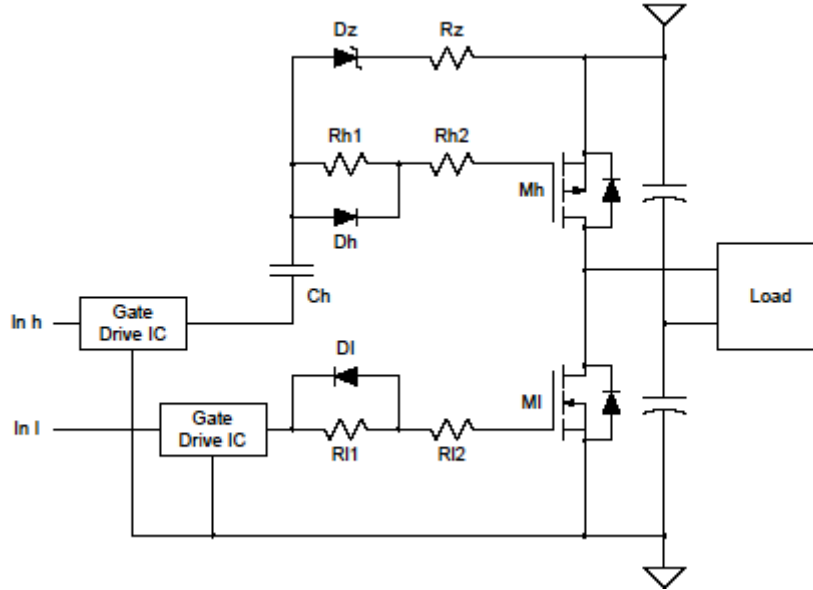


図2: PWMアプリケーションのためのPチャンネル・ゲート駆動の例

図2は、HS Pチャンネル・パワーMOSFET用のゲート駆動回路の例を示しています。これは、図5および7に示すNチャンネルMOSFET用の駆動回路よりはるかにシンプルかつ低コストです。この回路では、Nチャンネル・パワーMOSFETの典型的なゲート駆動回路に、Dz、Rz、Chが追加されています。ハイ側ゲート駆動回路とロー側ゲート駆動回路との間で直流電圧を保持するキャパシタ「Ch」は、PチャンネルMOSFETの入力キャパシタンスよりはるかに大きくなければなりません。Dzは、ゲートソース間電圧を、ツェナー電圧から0までの範囲に保ちます。

ChとRzの積によって、Ch両端の直流電圧調整の速さが決まります。積が小さすぎると、大きな電流が生じ、ゲート駆動ICまたはDzが壊れることがあります。積が大きすぎると、PチャンネルMOSFETのスイッチングが遅くなりすぎてしまいます。これは、ゲートパルス振幅の立ち上がり時間が長くなるため、MOSFETを破壊することがあります。Rh2とRI2は、MOSFETのターンオフ速度を制御するための抵抗です。(Rh1 + Rh2)と(RI1 + RI2)は、MOSFETのターンオン速度を制御するための抵抗です。ほとんどの場合、ターンオン速度はターンオフ速度より遅い方が好ましいといえます [4]。

IXYSのPチャンネル・パワー-MOSFETとアプリケーション
Abdus Sattar, Kyoung-Wook Seok, IXAN0064

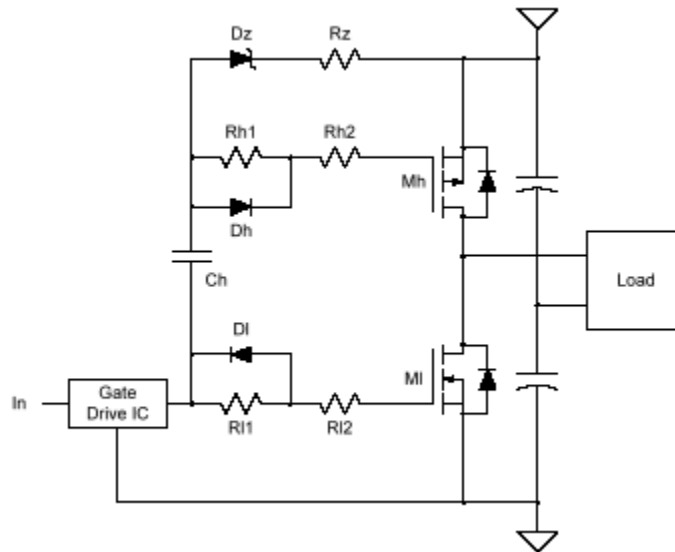


図3: 単一のゲート駆動ICによるPチャンネルとNチャンネルの両方のMOSFETの駆動

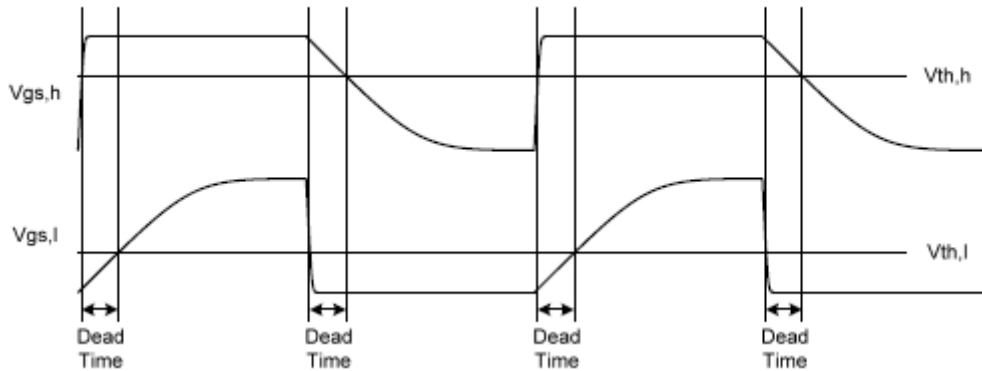


図4: 単一ゲート駆動ICの場合のデッド・タイム

多くの場合、図3に示すように、PチャンネルとNチャンネルの両方のMOSFETを単一のゲート駆動ICで駆動することができます。これは、最も低コストかつシンプルなハーフブリッジのゲート駆動方法です。クロス導通を避けるため、ターンオン速度とターンオフ速度の違いによるデッド・タイムが設けられています。デッド・タイムが短すぎると、過剰発熱し、MOSFETが故障する危険性があります。デッド・タイムが長すぎると、ブリッジ回路の出力電圧が低下します。この回路では、各MOSFETのターンオン時間の初めに、ゲートソース電圧がMOSFETを完全にオンにするのに不十分で、さらなる電力損失が発生します。したがって、この回路は過酷なスイッチング・アプリケーションには適していません。しかし、MOSFETがオンになり、反対側のMOSFETがダイオード・モードで動作するような一部のゼロ電圧スイッチング(ZVS)アプリケーションの場合、この回路は経済的です [4]。

IXYSのPチャンネル・パワー-MOSFETとアプリケーション
Abdus Sattar, Kyoung-Wook Seok, IXAN0064

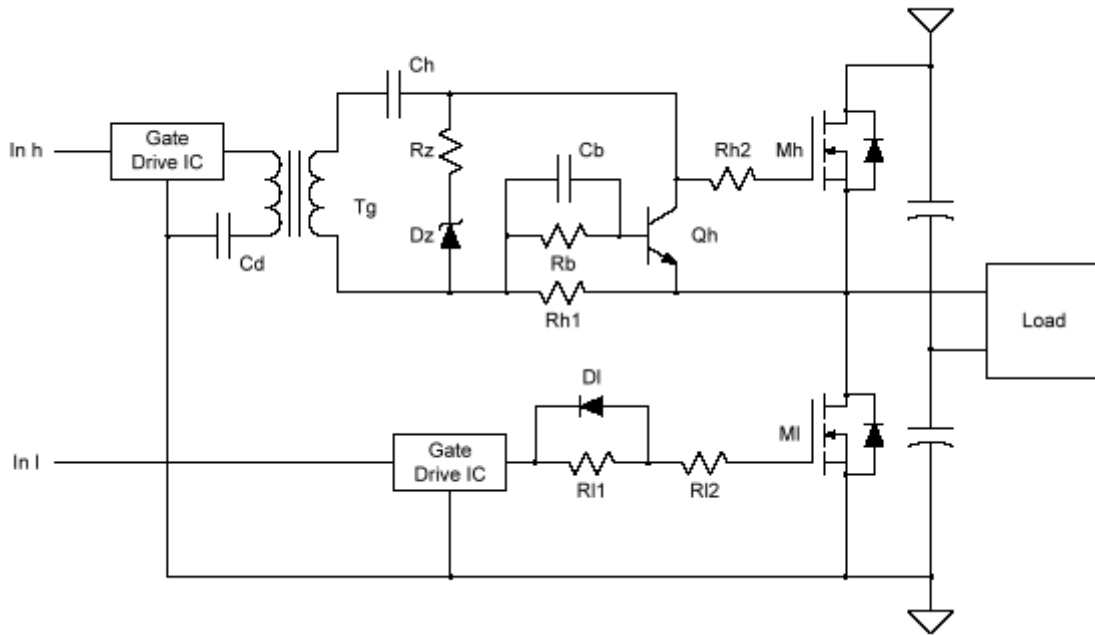


図5: パルス・トランスによるNチャンネルMOSFETの駆動

図5は、パルス・トランスを使用したNチャンネルMOSFET駆動の例を示しています。この回路のゲート・パルス高さは、通常のパルス・トランス駆動回路とは異なり、デューティ比の変化による影響をあまり受けません。理論的には、デューティ比に制限はありません。しかし、実際の回路では、複数の寄生コンポーネントにより、利用可能なデューティ範囲が限られます。ゲート・ターンオフの際、トランジスタQhがゲート電荷を放電します。Rbは、Qhのベース抵抗です。小さなキャパシタCbは、Qhを高速化するのに使用されています。(Rh1 + Rh2)はターンオン・ゲート抵抗、(Rh2)はターンオフ・ゲート抵抗です。Dzは、ゲートソース電圧を、0からツェナー電圧までの範囲に保持します。

図6は、NチャンネルとPチャンネルの両方のMOSFETを単一のパルス・トランスで駆動する絶縁ゲート・ドライバを示しています。NチャンネルMOSFETはハイ側スイッチ、PチャンネルMOSFETはロー側スイッチとして使用されています。これらは、ソース-ソース構成で接続されています。この回路は、ゲート入力キャパシタンスの充電と放電の時定数の違いによってデッド・タイムを設けています。

IXYSのPチャンネル・パワー-MOSFETとアプリケーション
Abdus Sattar, Kyoung-Wook Seok, IXAN0064

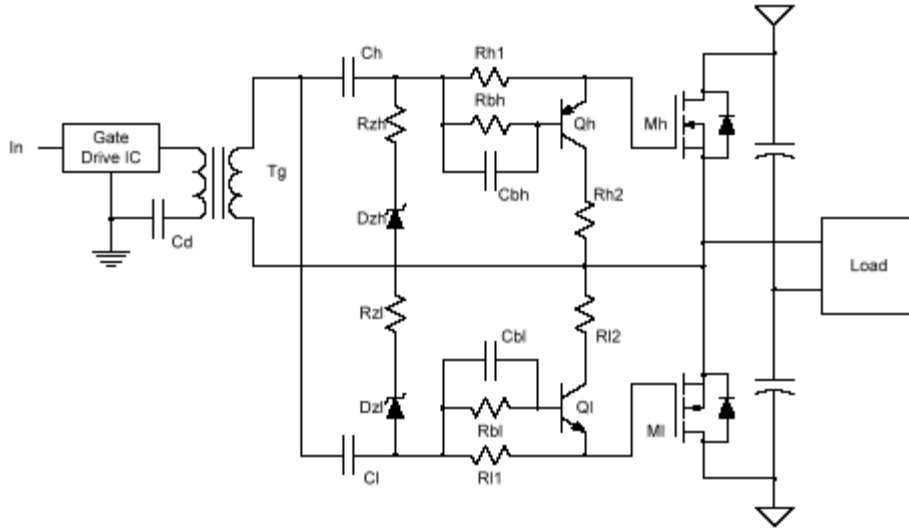


図6: 単一のパルス・トランスによるNチャンネルとPチャンネルの両方のMOSFETの駆動

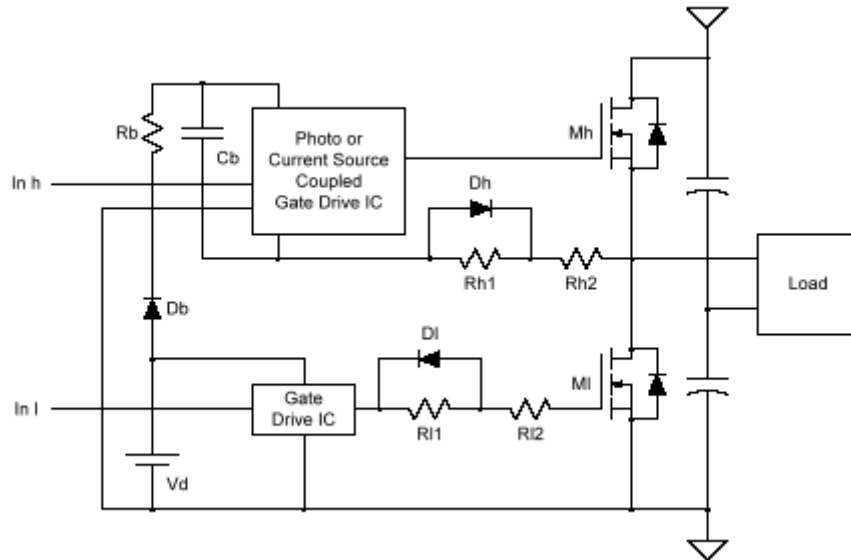


図7: ドライバICによるNチャンネルMOSFETの駆動

パルス・トランスは、かさばり、信頼性もあまり高くないので、多くのアプリケーション回路では、高価な光または電流ソース結合ゲート駆動ICを使用しています。ICに電力を供給する最も簡単な方法は、図7に示すようなブートストラップ・テクニックです。Miがオンで、Mhのソース電圧がゼロに近い間、直流リンク・キャパシタCbがDbとRbによって充電されます。上部のゲート駆動

動ICのグランド電圧が基準グランドを下回ると、ICが故障することがあります。これをできるだけ避けるため、Mhのソース側にゲート抵抗が配置されています。

IXYSのPチャンネル・パワー-MOSFETとアプリケーション
Abdus Sattar, Kyoung-Wook Seok, IXAN0064

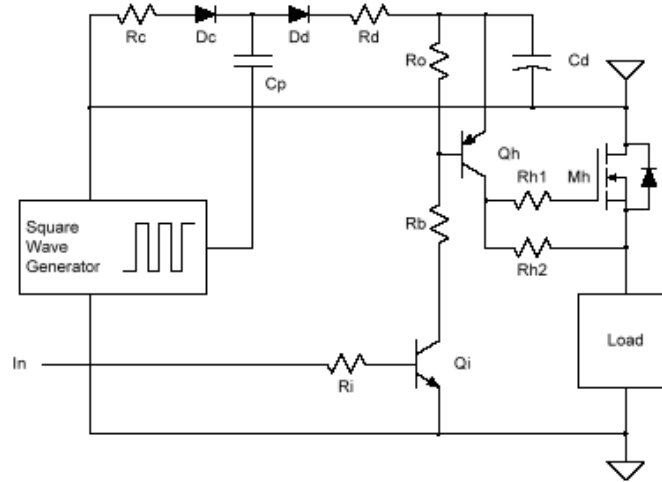


図8: チャージ・ポンプによる低周波NチャンネルMOSFETの駆動

自動車アプリケーションでよく使用される構成では、ほとんどすべての負荷がスイッチと車体グランドの間に接続されています。自動車アプリケーションでは、すべてのスイッチが正(ポジティブ)側に設置されています。Nチャンネル・パワー-MOSFETの正側を非常に低い周波数で駆動するには、パルス・トランスやブートストラップのテクニックは使用できません。図8は、直流リンク電圧より高いゲート電圧を供給するための回路を示しています。矩形波ジェネレータ(発生器)の出力がグランドの場合、ダイオードDcにより、チャージ・ポンプ・キャパシタCpが充電されます。矩形波ジェネレータの出力が正の直流リンク電圧の場合、ダイオードDdにより、Cpが放電されます。この電荷はCdに送られ、ハイ側ゲート駆動回路の電源となります。

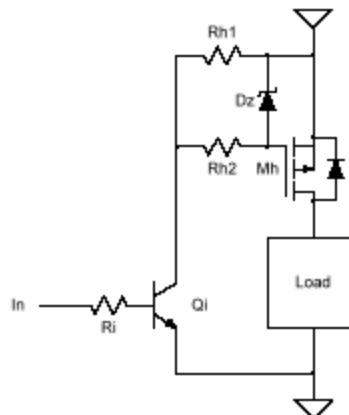


図9: 低周波PチャンネルMOSFETの駆動回路

図9に示すように、PチャンネルMOSFETを使用すると、図8の回路全体が大幅に簡略化されます。一般に回路は単純なほど、信頼性が高くなります。PチャンネルMOSFETはNチャンネル

MOSFETより $A \cdot R_{ds(on)}$ が高くなりますが、多くの場合、このシンプルな回路により、より大型で高価なPチャンネルが最も低コストのソリューションになります [4]。

IXYSのPチャンネル・パワーMOSFETとアプリケーション

Abdus Sattar, Kyoung-Wook Seok, IXAN0064

PチャンネルMOSFETとNチャンネルMOSFETのマッチング

Nチャンネル・パワーMOSFETと同じ電気的特性を持つPチャンネル・パワーMOSFETを製造することは不可能です。Nチャンネル・パワーMOSFETにおけるキャリアの移動は、同じ $R_{ds(on)}$ 値の場合、2.5～3倍高くなるため、Pチャンネル・パワーMOSFETのサイズをNチャンネル・パワーMOSFETの2.5～3倍の大きさにしなければなりません。面積が大きくなることにより、Pチャンネル・デバイスは、熱抵抗が低く、電流定格が高くなります。そのダイナミック性能(キャパシタンス、ゲート電荷など)は、チップ面積に比例した影響を受けるでしょう。

導電損失が支配的な低周波スイッチング・アプリケーションの場合、PチャンネルMOSFETは、NチャンネルMOSFETと同様の電流定格を持っている必要があります。2つのMOSFETの電流定格が同じ場合、両者の接合部温度は、ケース温度と電流が等しい場合、ほとんど同じと考えることができます。この場合、PチャンネルMOSFETのチップ面積は、NチャンネルMOSFETのチップ面積の1.5～1.8倍になります。

スイッチング損失が支配的な高周波スイッチング・アプリケーションの場合、PチャンネルMOSFETは、NチャンネルMOSFETと同様の総ゲート電荷を持っている必要があります。2つのMOSFETのゲート電荷が等しく、同じような方法で駆動されている場合、スイッチング損失はほぼ同じになります。この場合、PチャンネルMOSFETは、NチャンネルMOSFETと比較して、チップ面積は同様、電流定格は低くなります。

リニア・モードにおける動作の場合、実際の動作範囲の中でFBSOAがほぼ等しいPチャンネルとNチャンネルのデバイスを揃える必要があります。これは、しばしば P_d 定格が同じことを意味しますが、このモードでデバイスを動作させる能力について注意を払う必要があります [8]。

実際のアプリケーションでは、同じ電流定格と同じゲート電荷の間で、適切なPチャンネルを慎重に選びます。同じ $R_{ds(on)}$ を必要とするアプリケーションは、非常に稀です。

アプリケーション例

PチャンネルMOSFETの最も重要なアプリケーションは、おそらくオーディオ・アンプです。図11 (a)では、NチャンネルMOSFETがハイ側(HS)、PチャンネルMOSFETがロー側(LS)です。このオーディオ・アンプの出力段は、一種のソース・フォロア回路になっています。ソース・フォロア回路の電圧利得は1に近いので、この回路は安定しています。図11 (b)では、PチャンネルMOSFETの代わりに、PNPトランジスタとNチャンネルのダーリントン構成を使用しています。このMOSFETは、高い電圧利得を持つ共通ソース回路内にあり、フィードバックは高利得のPNPトランジスタによって制御されています。したがって、この回路は不安定になることがあります。この不安定さを補償すると、周波数範囲がハイファイ・オーディオにとっては不十分になる可能性があります。

IXYSのPチャンネル・パワー-MOSFETとアプリケーション
Abdus Sattar, Kyoung-Wook Seok, IXAN0064

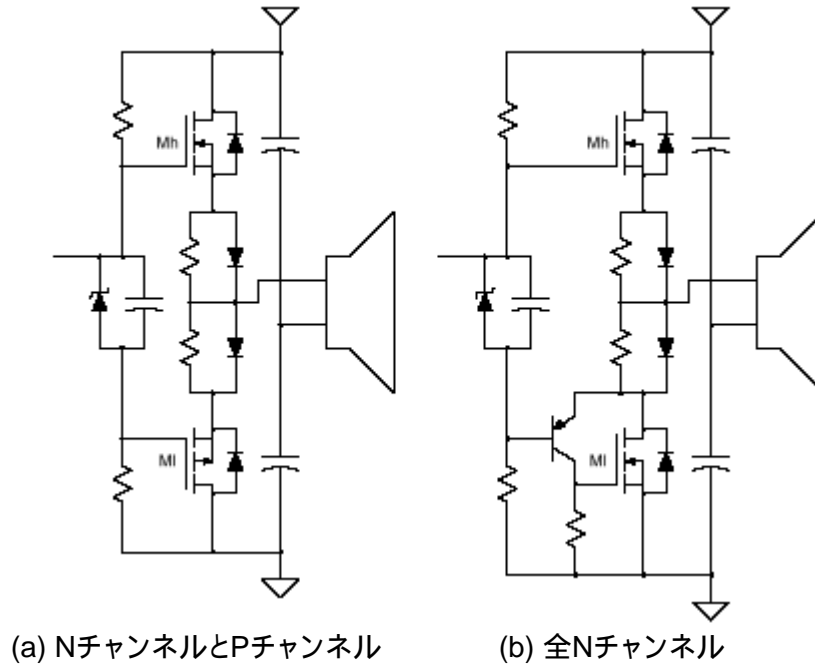


図11: MOSFETオーディオ・アンプの出力段

クラスABオーディオ・アンプ

図12は、クラスABオーディオ・アンプ回路を示しています。これは、コンプリメンタリ・パワー MOSFET出力段、差動入力段、出力段用バイアス回路を含んでいます。この回路は、同等のバイポーラ出力段より性能が優れ、ドライバ回路をより単純にすることができます。

入力段には、PNP差分コンパレータがあり、R1とC1を通じて入力信号を、抵抗R6を通じてQ2のベースに出力段からのネガティブ・フィードバック(負帰還)を受け取ります。コンパレータは、トランジスタQ4を駆動します。そして、このトランジスタが出力段を駆動します。コンポーネントR6およびR5は、フィードバック・ループ利得を $\beta = R5/(R5 + R6)$ として決定します。R2は、入力段におけるバイアス電流を決め、その値は標準で2mAです。R4とC3は、電源リップルをより一層抑制するためのフィルタを形成しています。

R7、R8、R9、C5、Q3から構成されるVBE乗算器は、トランジスタQ5とQ6のゲートの間にバイアス電圧Vbを提供します。キャパシタC5は電圧を保持します。Q3のVbeが $\sim 0.6V$ 、R9 $\sim 10K$ 、R7 $\sim 100K$ の場合、バイアス電圧の値は $Vb \sim 10 \times Vbe \sim 6V$ 前後になります。この電圧の目的は、Q5とQ6のゲートにバイアスを与え、それらを若干のオン状態に保つことにより、出力段に静止電流が流れるようにすることです。この静止電流(quiescent current)は、出力段で発

生するゼロクロス歪みを軽減します。小さなキャパシタC2およびC4は、回路全体を安定にします [6]。

IXYSのPチャンネル・パワー-MOSFETとアプリケーション Abdus Sattar, Kyoung-Wook Seok, IXAN0064

出力段は、ハイ電圧(+VDD)端子とロー電圧(-VDD)端子との間で直列接続されたNおよびPチャンネルのパワー-MOSFET(Q5およびQ6)からできています。Q5とQ6のソースは、OUTPUT(出力)端子に接続されており、出力信号はLOAD(スピーカ)に送られます。出力段は、利得が1に非常に近い(しかし <1.0)ソース・フォロア回路で、これはほぼ理想的な電圧源です。出力電圧は、出力電流の影響をほとんど受けません [6]。

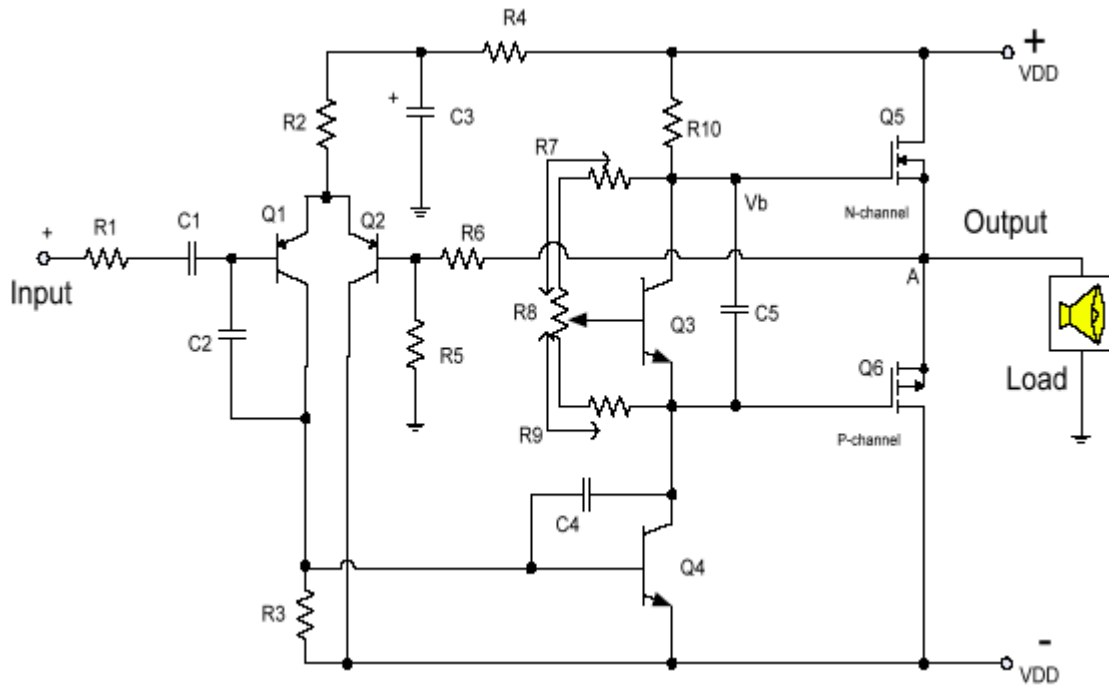


図12: クラスABオーディオ・アンプ回路[6]

クラスABアンプの両方のMOSFETは、リニア・モードで動作するため、広いFBSOAを必要とします。また、リニア動作に伴い、ワット損も大きくなります。

IXYSのPチャンネル・パワーMOSFETとアプリケーション
Abdus Sattar, Kyoung-Wook Seok, IXAN0064

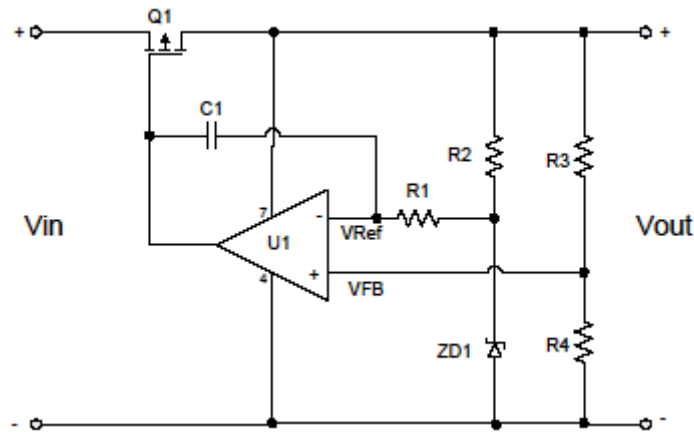


図13:リニア電圧レギュレータ

リニア電圧レギュレータは、電子デバイスに電源を供給するために幅広く使用されています。リニア電圧レギュレータには、さまざまなアプリケーションに合わせて、各種の構成があります。1つのアプリケーション例を図13に示します。抵抗分割器(R3およびR4)は、出力電圧を監視し、オペアンプ(U1)の正(+)端子に電圧フィードバック(VFB)を提供します。オペアンプの負(-)端子は、ツェナー・ダイオード(ZD1)からの基準電圧(VRef)を受け取ります。オペアンプは、Pチャンネル・パワーMOSFETの調整トランジスタ(Q1)に制御電圧を提供します。PチャンネルMOSFETの両端の電圧降下はゼロ近くまで下げることができるため、この回路は、幅広い電圧範囲に対応します。

リニア電圧レギュレータに使用されるデバイス(Q1)のワット損は、入出力電圧差および出力電流の関数なので、大きくなります。Pチャンネル・パワーMOSFETは、リニア・モードで動作し、両方のIXYS Pチャンネル・パワーMOSFETファミリによって提供される広いFBSOA特性が必要です。

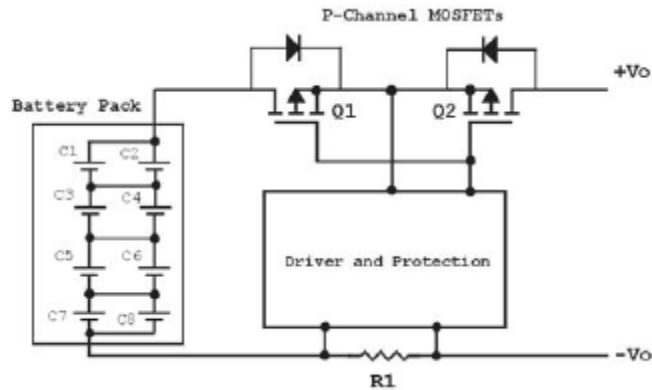


図14: PチャンネルMOSFETを使用したバッテリー充電および保護回路[7]
IXYSのPチャンネル・パワーMOSFETとアプリケーション
Abdus Sattar, Kyoung-Wook Seok, IXAN0064

図14は、リチウムイオン(Li+)セルのバッテリー充電および放電システムを示しています。一方のMOSFETがバッテリー・パックの充電、他方のMOSFETが放電を担当します。両方のMOSFETがオフのときは、バッテリーを保護するために、セルは外部環境から絶縁されています。充電サイクルの最初では、定電流充電が可能で、MOSFETはリニア領域で動作します。バッテリーがあらかじめ決められた電圧レベルに達すると、システム電圧ループが始まって充電電流が減少し、要求された電圧レベルが維持され、定電圧モード動作になります [7]。

図15は、PチャンネルMOSFETをハイ側スイッチとして使用しているフルブリッジ・コンバータの基本回路図を示しています。各レッグ(脚)は、1つのPチャンネルMOSFETをハイ側、1つのNチャンネルMOSFETをロー側のスイッチに使用しています。ハイ側のスイッチングでは、ハイ側直流バス電圧より低い電圧でPチャンネルMOSFETをオンにすることができます。これは、デバイスを完全にオンにするには、そのしきい値電圧($-V_{GS(th)}$)より若干低い負のゲートソース電圧($-V_{GS}$)が必要だからです。これにより、余分なブートストラップ回路(またはチャージ・ポンプ)が不要になり、DC-DCコンバータの設計が簡略化されます [5]。

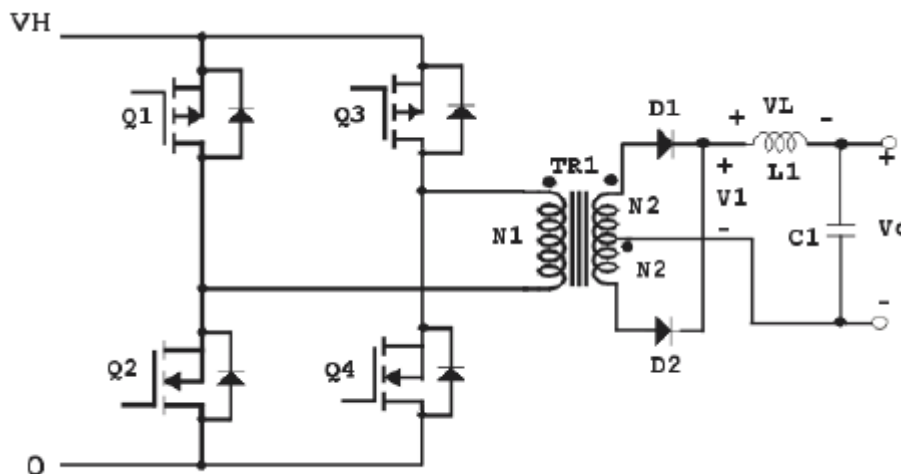


図15: PチャンネルMOSFETをハイ側スイッチとして使用したフルブリッジ・コンバータ [3]

図14と図15のバッテリー充電回路とフルブリッジ回路は、両方とも、低いオン抵抗、低いゲート電荷、低い入力および出力キャパシタンスなどの高度なスイッチング性能が求められるスイッチング・アプリケーションの例です。

IXYSのPチャンネル・パワーMOSFETとアプリケーション Abdus Sattar, Kyoung-Wook Seok, IXAN0064

資料

- [1] Fundamental of Power Electronics by Robert W. Erickson, Dragan Maksimovic, University of Colorado, Boulder, Colorado, Second Edition, 2001.
- [2] “Reduced Circuit Zapping from Cosmic Radiation” Jonathan Dodge, Applications Engineering Manager, Power Products Group, Microsemi, September, 2007, http://powerelectronics.com/power_semiconductors/power_mosfets/circuit-zapping-cosmic-radiation-0907/
- [3] “How P-Channel MOSFETs Can Simplify Your Circuit” AN-940, International Rectifier, http://www.eetasia.com/ARTICLES/2000MAY/2000MAY04_ICD_WLP_AN.PDF?SOURCEES=DOWNLOAD
- [4] Power Electronics- Converters, Applications and Design by Ned Mohan, Tore M. Undeland and William P. Robbins, John Wiley & Sons, Second Edition.
- [5] “P-Channel MOSFETs, the Best Choice for High-Side Switching” AN804, Vishay Siliconix, March 10, 1997, <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/vishay/70611.pdf>
- [6] “Linear Power Amplifier using Complementary HEXFETs” AN-948, International Rectifier, <http://home.eunet.cz/rysanek/pdf/irf-fet-amp.pdf>
- [7] “A Discrete Approach to Battery Charging for Cellular Phones” AN817, Vishay, January, 2001, <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/83706/VISAY/AN817.html>
- [8] “Linear Power MOSFETs Basics and Applications” IXAN0068, Abdus Sattar, Vladimir, Tsukanov, IXYS Corporation, www.ixyspower.com

IXYSのPチャンネル・パワーMOSFETとアプリケーション
Abdus Sattar, Kyoung-Wook Seok, IXAN0064

付録A

表1: IXYS Polar™ Pチャンネル・パワーMOSFETファミリ

Part Number	V _{dss} (max) V	I _d @ T _c =25°C (A)	R _{ds(on)} @ I _d =25°C (Ω)	C _{iss} (pF) typ	Q _g (nC) typ	t _{rr} @ T _j = 25°C (ns)	R _{(th)JC} (°C/W)	P _d (W)	Package
IXTA52P10P	-100	-52	0.05	2845	60	120	0.42	300	TO-263
IXTH52P10P	-100	-52	0.05	2845	60	120	0.42	300	TO-247
IXTP52P10P	-100	-52	0.05	2845	60	120	0.42	300	TO-220
IXTQ52P10P	-100	-52	0.05	2845	60	120	0.42	300	TO-3P
IXTR90P10P	-100	-57	0.27	5800	120	144	0.66	190	ISOPLUS247
IXTH90P10P	-100	-90	0.25	5800	120	144	0.27	462	TO-247
IXTT90P10P	-100	-90	0.25	5800	120	144	0.27	462	TO-268
IXTR170P10P	-100	-108	0.013	12600	240	176	0.4	312	ISOPLUS247
IXTK170P10P	-100	-170	0.012	12600	240	176	0.14	890	TO-264
IXTX170P10P	-100	-170	0.012	12600	240	176	0.14	890	PLUS247
IXTN170P10P	-100	-170	0.012	12600	240	176	0.14	890	SOT-227
IXTC36P15P	-150	-22	0.12	2950	55	150	1	150	ISOPLUS220
IXTR36P15P	-150	-22	0.12	2950	55	150	1	150	ISOPLUS247
IXTA36P15P	-150	-36	0.11	3100	55	228	0.42	300	TO-263
IXTP36P15P	-150	-36	0.11	3100	55	228	0.42	300	TO-220
IXTQ36P15P	-150	-36	0.11	3100	55	228	0.42	300	TO-3P
IXTA26P20P	-200	-26	0.17	2740	56	240	0.42	300	TO-263
IXTH26P20P	-200	-26	0.17	2740	56	240	0.42	300	TO-247
IXTP26P20P	-200	-26	0.17	2740	56	240	0.42	300	TO-220
IXTQ26P20P	-200	-26	0.17	2740	56	240	0.42	300	TO-3P
IXTR48P20P	-200	-30	0.093	5400	103	260	0.66	190	ISOPLUS247
IXTH48P20P	-200	-48	0.085	5400	103	260	0.27	462	TO-247
IXTT48P20P	-200	-48	0.085	5400	103	260	0.27	462	TO-268
IXTR90P20P	-200	-90	0.048	12000	205	315	0.4	312	ISOPLUS247
IXTK90P20P	-200	-90	0.044	12000	205	315	0.14	890	TO-264
IXTX90P20P	-200	-90	0.044	12000	205	315	0.14	890	PLUS247
IXTN90P20P	-200	-90	0.044	12000	205	315	0.14	890	SOT-227
IXTA10P50P	-500	-10	1	2840	50	414	0.5	250	TO-263
IXTH10P50P	-500	-10	1	2840	50	414	0.5	250	TO-247
IXTP10P50P	-500	-10	1	2840	50	414	0.5	250	TO-220
IXTQ10P50P	-500	-10	1	2840	50	414	0.5	250	TO-3P
IXTR20P50P	-500	-13	0.49	5120	103	406	0.66	190	ISOPLUS247
IXTH20P50P	-500	-20	0.45	5120	103	406	0.27	462	TO-247
IXTT20P50P	-500	-20	0.45	5120	103	406	0.27	462	TO-268
IXTK40P50P	-500	-40	0.23	11500	205	477	0.14	890	TO-264
IXTX40P50P	-500	-40	0.23	11500	205	477	0.14	890	PLUS247
IXTN40P50P	-500	-40	0.23	11500	205	477	0.14	890	SOT-227
IXTR16P60P	-600	-10	0.79	5120	92	440	0.66	190	ISOPLUS247
IXTH16P60P	-600	-16	0.72	5120	92	440	0.27	460	TO-247
IXTT16P60P	-600	-16	0.72	5120	92	440	0.27	460	TO-268
IXTR32P60P	-600	-18	0.385	11100	196	480	0.4	310	ISOPLUS247
IXTK32P60P	-600	-32	0.35	11100	196	480	0.14	890	TO-264
IXTX32P60P	-600	-32	0.35	11100	196	480	0.14	890	PLUS247
IXTN32P60P	-600	-32	0.35	11100	196	480	0.14	890	SOT-227

IXYSのPチャンネル・パワー-MOSFETとアプリケーション
Abdus Sattar, Kyoung-Wook Seok, IXAN0064

表2: IXYS TrenchP™ Pチャンネル・パワー-MOSFETファミリ

Part Number	V _{dss} (max) V	I _d @ T _c =25°C (A)	R _{ds(on)} @ T _j =25°C (Ω)	C _{iss} (pF) typ	Q _g (nC) typ	t _{rr} @ T _j = 25°C (ns)	R _{(th)JC} (°C/W)	P _d (W)	Package
IXTA32P05T	-50	-32	0.036	1975	46	26	1.5	83	TO-263
IXTP32P05T	-50	-32	0.036	1975	46	26	1.5	83	TO-220
IXTA140P05T	-50	-140	0.008	13500	200	53	0.42	298	TO-263
IXTP140P05T	-50	-140	0.008	13500	200	53	0.42	298	TO-220
IXTH140P05T	-50	-140	0.008	13500	200	53	0.42	298	TO-247
IXTA28P065T	-65	-28	0.045	2030	46	31	1.5	83	TO-263
IXTP28P065T	-65	-28	0.045	2030	46	31	1.5	83	TO-220
IXTA120P065T	-65	-120	0.01	13200	185	53	0.42	298	TO-263
IXTP120P065T	-65	-120	0.01	13200	185	53	0.42	298	TO-220
IXTH120P065T	-65	-120	0.01	13200	185	53	0.42	298	TO-247
IXTA24P085T	-85	-24	0.065	2090	41	40	1.5	83	TO-263
IXTP24P085T	-85	-24	0.065	2090	41	40	1.5	83	TO-220
IXTA96P085T	-85	-96	0.013	13100	180	55	0.42	298	TO-263
IXTP96P085T	-85	-96	0.013	13100	180	55	0.42	298	TO-220
IXTH96P085T	-85	-96	0.013	13100	180	55	0.42	298	TO-247
IXTA18P10T	-100	-18	0.12	2100	39	62	1.5	83	TO-263
IXTP18P10T	-100	-18	0.12	2100	39	62	1.5	83	TO-220
IXTA76P10T	-100	-76	0.024	13700	197	70	0.42	298	TO-263
IXTP76P10T	-100	-76	0.024	13700	197	70	0.42	298	TO-220
IXTH76P10T	-100	-76	0.024	13700	197	70	0.42	298	TO-247
IXTA44P15T	-150	-44	0.065	13400	175	140	0.42	298	TO-263
IXTP44P15T	-150	-44	0.065	13400	175	140	0.42	298	TO-220
IXTH44P15T	-150	-44	0.065	13400	175	140	0.42	298	TO-247
IXTQ44P15T	-150	-44	0.065	13400	175	140	0.42	298	TO-3P