

MOSFETとプリドライバのマッチング

Bob Fugere*

車載用アプリケーションにおいて電氣的負荷を制御するためには、標準MOSFETと必要な保護・診断機能を備えたプリドライバを使用することが有効である。この際に、MOSFETとプリドライバが互いにマッチングしていることが必要となる。MOSFETとプリドライバの主要パラメータを理解すれば、マッチさせる製品を選別する作業は容易であり、MOSFET/プリドライバ・ソリューションの利点を生かすことができる。

車載用アプリケーションにおける電氣的負荷の数と種類を考慮すると、これらの負荷を駆動、制御するのに「万能な」解決策は存在しない。高電力負荷の場合もあれば、低電力負荷の場合もある。しかも抵抗性、誘導性、容量性の可能性も考えられる。負荷には正確な制御が必要な場合や単純なパルス幅変調 (PWM) やオン/オフ制御で対応できる場合もある。すべてのケースで、負荷とドライバを保護し、マイクロコントローラに診断情報を提供する必要がある。

負荷範囲をカバーするための一つの方法は、標準MOSFETと必要な保護・診断機能を備えたプリドライバを使用することである。

この手法は非常に柔軟性が高く、認定済みのMOSFETを使用することもでき、ドライバのニーズに対してコスト効果の高い解決策を提供する。この解決策を最大限に利用するには、MOSFETとプリドライバが互いにマッチングしていることが必要である。

■ プリドライバの基礎

制御、保護、および診断機能を提供するプリドライバの基本要素の例を図1に示す。ターンオン時には、ブランキングタイマが始動し、ドライバ電源 (V_{GG}) からドライバ出力抵抗 (R_G) を通して、MOSFETにゲート電荷が供給される。この時間にコンパレータ (CMP) がMOSFETのドレインソース電圧 (V_{DS}) を検知して、それを基準電圧 (V_{REF}) と比較する。ターンオンブランキング時間の終わりで、MOSFETの V_{DS} が V_{REF} より大

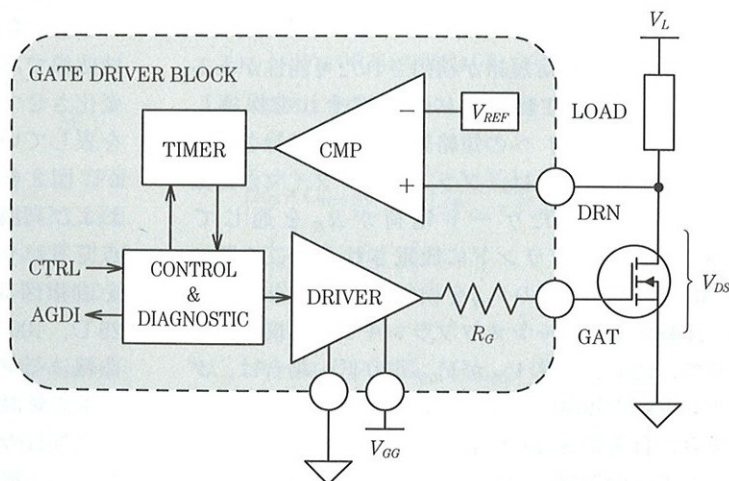


図1 プリドライバの簡易ブロック図

*Bob Fugere
ON Semiconductor Corp.
Principal Applications Engineer for ON
Semiconductor's Automotive Power Group

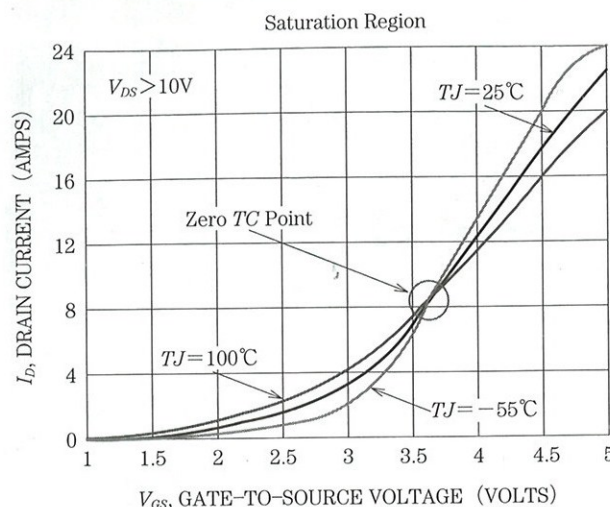


図2 NTD3055L104伝達特性

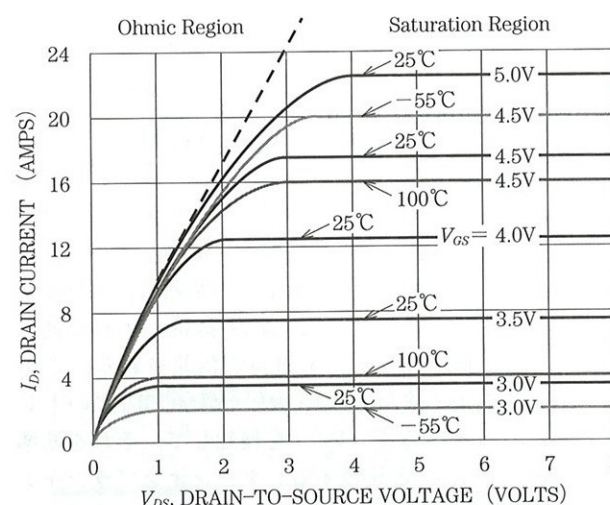


図3 NTD3055L104オン領域特性

きい場合は、負荷短絡が検出された可能性がある。次に、MOSFETはオフになってそれを保護し、負荷電圧源 (V_L) への短絡診断状態が記録される。

ターンオフ時には、ブランキングタイマが起動し、蓄電されたゲート電荷が R_G を通じてMOSFETからグランドに放電される。この間に、CMPがMOSFETの V_{DS} を検知して、異なる V_{REF} と比較する。ターンオフブランキング時間の終わりで、MOSFETの V_{DS} が V_{REF} より低い場合は、グランドへの短絡が検出された可能性がある。この場合、負荷電流は流れ続けることができるが、グランドへの短絡の診断状態が記録される。

MOSFETの基礎

MOSFETは長年使用されてきており、特性に関する資料は多数ある。それでも、いくつかの基本属性やデータシート情報のレビューは、主要性能パラメータの指針を与える。当社のNTD3055LロジックレベルMOSFETデータシートを一例として使用する。

図2に示す通り、MOSFETデータシートにある標準曲線の1つは伝達特性曲線である。この曲線は、 V_{DS} が10Vより高い一定電圧で維持されている飽和領域において、 V_{GS} の変化に対するドレイン電流を表している。この曲線は通常、3つの温度に対して描画され、この図では-55°C、25°C、100°Cで示されている。

大部分のMOSFETはゼロ温度係数 (TC) 点挙動を示すが、NTD3055Lの場合はこの点が $V_{GS} \approx 3.6V$ で発生する。ある V_{GS} で、ドレイン電流は温度がこの点より高いところでは減少し、低いところでは増加する。大部分のアプリケーションでは、MOSFETはスイッチとして使用され、 $V_{GS} = 5V$ ではオーム領域においてゼロTC点より上で動作する。また、ゲートスレッショルド電圧 (V_{GSTH}) に対するデータシートのパラメータ表では通常、温度係数は負になるが、別の性能特性に対する曲線を調べるのが重要である。

もう1つの標準曲線は図3に示すオン領域曲線である。この曲線は、 V_{GS} の値をいくつか変化させて V_{DS} をスイープした時のドレイン電流を表している。この曲線は通常25°Cでのものだが、図2を使用して別の曲線を生成できる。低温および高温で図2から3Vおよび4.5Vの V_{GS} 動作点でドレイン電流を設定することにより、これらを直接図3に転換することができる。-55°C、25°C、100°Cで新しい曲線を図に示す。これらの曲線はゼロTC点の上下の動作点に対するドレイン電流対温度の変動を示す。

3番目の非常に役立つ標準曲線は、図4に示す全ゲート電荷曲線である。この曲線はゲート電荷が移動する時の V_{GS} での理想的な電荷を表す。こ

の曲線は通常、ゲートに1mAの定電流を流すことにより、25°Cでの特定の動作点 (図中の「A」点) で生成される。曲線は、ゲート・ソース間 ($Q1$)、ゲート・ドレイン間 ($Q2$)、および全電荷 (QT) の移動間隔を示している。スイッチング電荷 (QSW) は、スレッショルド電圧 V_{GSTH} とプラトー電圧 V_{GSP} の間で伝達される。この点は、ドレイン電圧が初期値の10%まで低下した点だが、 $Q1 + Q2$ の合算電荷はスイッチング時間インターバルの間に伝達される必要がある。

電荷移動曲線は一般に、特定の V_{DS} および I_D での動作点で示されるが、図3のオン領域曲線を使用して、近似プラトー電圧 V_{GSP} が曲線の飽和領域で I_D を生成する印加電圧 V_{GS} であることを観測することによって、追加動作点電荷曲線を生成できる。これらの曲線を図に示す。次に、電荷移動量が $Q1$ と $Q2$ の間隔に沿って調整される。興味深いことに、全電荷移動は、ある V_{DS} に対して比較的一定であり、 V_{DS} が低下すると減少する。これは図に青い線で示されており、有効ゲート・ドレイン間 (「ミラー」) 容量が電圧ゲイン dV_{DS}/dV_{GS} とともに変化するために発生する。

スイッチング時間の評価

スイッチング時間の1次評価は、全ゲート電荷 QT およびゲート・ドライブ電流の平均値 ($I_{G(AV)}$) を使用して、次式により行うことができる。

$$t_{SW} \approx \frac{QT}{I_{G(AV)}} \approx \frac{1}{2} \times \frac{QT \times R_G}{V_{GG}} \quad \text{式1}$$

さらに正確な評価は、MOSFETの入力容量 (C_{iss}) と $Q2$ 電荷移動間隔の曲線を使用して行うことができる。図5の曲線は、入力容量がMOSFETがオフの時に約300pF、オンの時に約850pFであることを示している。

ここで、ターンオンスイッチング時間 ($t_{SW(ON)}$) は、ターンオン遅延 ($t_{D(ON)}$) 要素と立ち上がり時間 (t_R) 要素を組み合わせる評価できる。

$$t_{SW(OFF)} \approx t_{D(OFF)} + t_R \approx$$

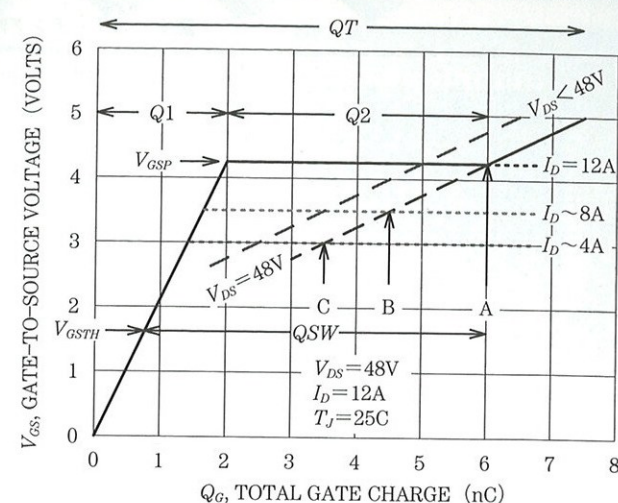


図4 NTD3055L104のVGS対ゲート電荷

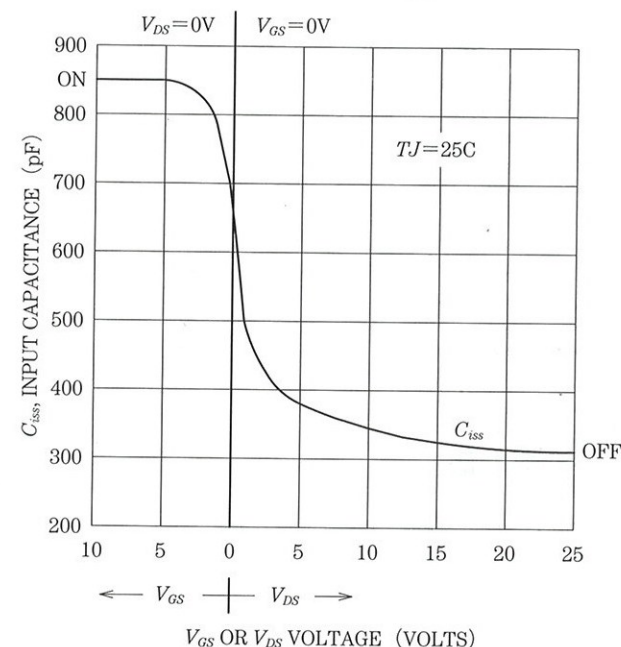


図5 NTD3055L104入力容量の変動

$$\left[R_G \times C_{iss(OFF)} \times \ln \left(\frac{V_{GG}}{V_{GG} - V_{GSP}} \right) \right] + \left[\frac{Q2 \times R_G}{(V_{GG} - V_{GSP})} \right] \quad \text{式2}$$

同様に、ターンオフスイッチング時間 ($t_{SW(OFF)}$) は、ターンオフ遅延 ($t_{D(OFF)}$) 要素と立ち下がり時間 (t_F) 要素を組み合わせる評価できる。


$$t_{SW(OFF)} \approx t_{D(OFF)} + t_F \approx \left[R_G \times C_{iss(ON)} \times \ln \left(\frac{V_{GG}}{V_{GSP}} \right) \right] + \left[\frac{Q2 \times R_G}{V_{GSP}} \right] \quad \text{式3}$$

表1 スイッチング時間の評価

$V_{GG}=5V, C_{iss(OFF)}=300pF, C_{iss(ON)}=850pF, R_G=350\Omega$									
	I_D (A)	V_{GSP} (V)	Q2 (nC)	$t_{D(ON)}$ (ns)	t_R (ns)	$t_{SW(ON)}$ (ns)	$t_{D(OFF)}$ (ns)	t_F (ns)	$t_{SW(OFF)}$ (ns)
A	12	4.25	4	199	1,867	2,066	48	329	378
B	8	3.5	2.9	126	677	803	106	290	396
C	4	3.0	2.1	96	368	464	152	245	397

$V_{GG}=5V, C_{iss(OFF)}=300pF, C_{iss(ON)}=850pF, R_G=1,800\Omega$									
A	12	4.25	4	1,024	9,600	10,624	249	1,964	1,943
B	8	3.5	2.9	650	3,480	4,130	546	1,491	2,037
C	4	3.0	2.1	495	1,890	2,385	782	1,260	2,042

表2 NCV7513およびNCV7517の主要パラメータ

	ターンオンタイム (μs)	ターンオフタイム (μs)	出力抵抗 (Ω)	平均全ゲート電荷 (nC)
製品	$t_{BL(ON)}$	$t_{BL(OFF)}$	R_G	QT_{AV}
NCV7513	45	120	1,800	62.5
NCV7517	21	120	350	150

標準特性- $V_{CC2}=V_{GG}=5V$

これらの式およびいくつかの主要プリドライバ特性とMOSFET特性があれば、適切なマッチを決定できる。動作点A, BおよびCについて、式2および式3から得られる結果を2つの R_G 値に対して表1に示す。



組み合わせ？

正式に組み合わせの相手を紹介したので、マッチするかどうか確認する。プリドライバとMOSFETの組み合わせの例を見る必要がある。当社のNCV7513およびNCV7517ヘックスプリドライバが、プリドライバの基礎のトピックスで説明した要件を満たす。これらの製品は、一般にゲート・スレッシュイールドが低く、動作点によってはプラトー電圧が低いNチャンネルロジックレベルMOSFETをドライブするように設計されている。これらの製品の主要パラメータを表2にまとめる。

$$QT_{AV} = \frac{t_{BL(ON)} \times \frac{1}{2} V_{GG}}{R_G} \quad \text{式4}$$

ターンオン時に適切に動作するために、 $t_{BL(ON)}$ の終わりより前にMOSFETの V_{DS} が V_{REF} より低く

なければならない。そうしないと、ターンオン診断が「偽」フォールト条件を検出してMOSFETをオフにすることがある。式4から得られる QT_{AV} の値を使用し、その値をMOSFETのデータシートのQT値と比較することによって、MOSFETのターンオンが十分速いかどうかを簡単にチェックできる。これを行えば、式2と式3を使用してマッチングを検証できる。

両方のプリドライバ製品はNTD3055Lに対して良好にマッチングするが、PWM動作の最終的な検討が必要である。車載用PWMアプリケーションにおけるスイッチング周波数は、一般に2kHz(周期500 μs)以下である。適切なターンオフ診断動作を行うために、ターンオフタイムが最大デューティサイクルを制限する。2kHzの場合、これが1~120/500または76%になる。同様に、適切なターンオン診断動作のために、ターンオンタイムが最小デューティサイクルを、NCV7513では45/200つまり22.5%に、NCV7512では21/500つまり4.2%にそれぞれ制限する。

MOSFETとプリドライバの主要パラメータを理解すれば、マッチさせる製品を選別する作業は簡単で、MOSFET/プリドライバソリューションの利点を生かすことができる。