

小型・低損失のロードスイッチ回路を実現する MOSFET ゲートドライバー IC

MOSFET Gate Driver ICs to Realize Compact Load Switching Circuits with Low Switching Loss

林 庸行 HAYASHI Tsuneyuki 戸田 修二 TODA Shuji 和田 浩 WADA Hiroshi 高橋 祐一 TAKAHASHI Yuichi

カーボンニュートラルの達成に向け、電子機器には、省電力化や、電力密度の向上、電源の高効率化などが求められる。東芝グループは、パワーマネジメントブロックのロードスイッチ回路に着目し、小型で低損失のスイッチングを実現する Nチャネル MOSFET（金属酸化膜半導体型電界効果トランジスター）ゲートドライバー IC TCK42xG シリーズを開発した。消費電力を抑えながら MOSFET を効率的に動作させる制御機構の採用で、100 W クラスの電力供給に対しても低損失でのスイッチングを可能にした。また、超小型パッケージの採用で、電子機器の小型化にも貢献できる。

It is necessary for electronic equipment to provide reduced power consumption, increased power density, and improved power source efficiency toward the achievement of carbon neutrality.

The Toshiba Group has developed the TCK42xG series N-channel metal-oxide-semiconductor field-effect transistor (MOSFET) gate driver integrated circuits (ICs), which realize both compactness and low switching loss, focusing on load switching circuits for power management blocks. The TCK42xG series ensures low switching loss even in 100 W-class power supplies by incorporating our proprietary control mechanism for efficient MOSFET operation while reducing power consumption. In addition, with its ultracompact package, the TCK42xG series makes it possible for electronic equipment to be downsized.

1. まえがき

カーボンニュートラルの実現が世界中で社会的な課題となる中、省電力、電力密度の向上、及び電源の高効率化が、強く求められている。例えば近年、スマートフォンやウェアラブル端末などのモバイル機器、各種 IoT（Internet of Things）端末機器、及び一般的なコンシューマー製品の消費電力は、アプリケーションやシステムの多様化、高機能化に伴い、増大傾向にある。このような機器のパワーマネジメントブロックには、ロードスイッチ回路が使われている。ロードスイッチ回路を用いた電源供給の用途は、バッテリーの充放電や、各電源への分配スイッチ（POL：Point of Load）、異なる入力電源ソースからの出力を切り替えるパワーマルチプレクサー（PMUX）など多岐にわたり、幅広いアプリケーションで採用されている（図1）。これらの電力損失を低減し、安全に動作させることが、必要である。

この課題を解決するために、東芝グループは、小型・低損失のロードスイッチ回路を実現し、100 W クラスの電力のスイッチングが可能な MOSFET ゲートドライバー IC（以下、ドライバー IC と略記）TCK42xG シリーズを開発した。低オン抵抗特性を持つメインスイッチである Nチャネル MOSFET のゲートに、ドライバー IC から最適な電圧を印加して動作制御することで、モノリシック IC よりも省電力で小

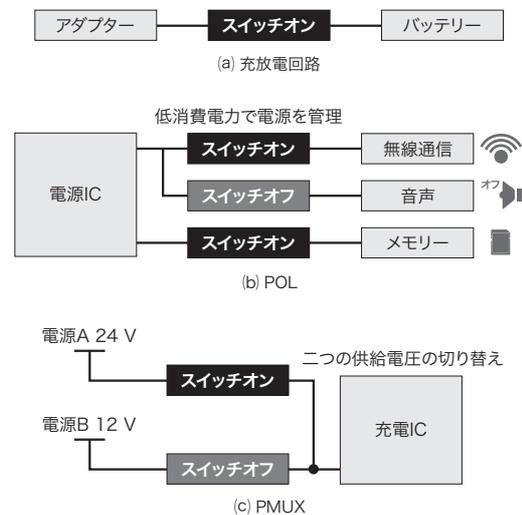


図1. ロードスイッチ回路の用途例

パワーマネジメントブロックの充放電回路や、POL、PMUXなどとして、幅広く使われている。

Examples of application of load switching circuits

型のロードスイッチ回路を実現できる。また、異常電圧を検出して保護する機能（OVLO：Over Voltage Lock Out、UVLO：Under Voltage Lock Out）を備えており、Nチャネル MOSFET をコモンドレイン接続したバックトゥバック回路で逆流防止機能も提供できる。更に、最大スタンバイ電

流0.9 μA (注1)、及び業界最小パッケージ(注2)を実現しており、システムの省電力化と、小型化・電力密度向上に貢献する。ここでは、TCK42xGシリーズの基本的な特性や動作のほか、機能を活用した応用回路例について述べる。

2. TCK42xGシリーズの主な特長

図2は、TCK42xGシリーズでMOSFETを駆動するアプリケーション回路の一例である。MOSFETは、ゲート端子、ソース端子を二つずつ備える、4端子構成のNチャネルコモンドレインMOSFETである。一つのソース端子は電源用入力端子VINに接続され、もう一つのソース端子は負荷に接続される。TCK42xGシリーズは、コモンドレインMOSFETの二つのゲートを駆動するためのVGATE1端子・VGATE2端子、オン/オフを制御するVCT端子、VIN端子、GND(接地)端子、及びコモンドレインMOSFETの負荷側のソースに接続するVOOUT端子の合計6端子を持つ。

2.1 ゲート-ソース間電圧保護

TCK42xGシリーズは、NチャネルMOSFETを駆動するために、電圧を昇圧するチャージポンプ回路を搭載している。チャージポンプ回路は、MOSFETのゲートへ印加する電圧(V_{GATE})を出力する。このとき、MOSFETのゲート-ソース間電圧(V_{GS})は、入力電圧(V_{IN})を基準として、式(1)で表すことができる。

$$V_{\text{GS}} = V_{\text{GATE}} - V_{\text{IN}} \quad (1)$$

MOSFETのオン抵抗は V_{GS} に影響されるので、チャージポンプ回路は、 V_{GS} がMOSFETのオン抵抗を十分に小さくする値になるように、 V_{GATE} を生成する。図3に、VCT端子の電圧(V_{CT})オンにおける V_{IN} と V_{GATE} 、及び式(1)で求まる V_{GS} の関係を、従来とTCK42xGシリーズのそれぞれの制御方式で、比較して示す。 V_{IN} が上昇していく状況を仮定している。

図3の②の範囲では、MOSFETをオンに制御する状態であり、従来、TCK42xGのいずれの制御方式も V_{IN} に依存しない一定の V_{GS} になるような V_{GATE} が生成される。

一般にMOSFETの V_{GS} には、プラス側とマイナス側それぞれに定格電圧が設定されている。この定格を超える電圧が印加されると、MOSFETの特性劣化や素子破壊を起こすことがあるので、ドライバーICは、 V_{IN} に対する保護機能を設けている。 V_{IN} が低い電圧になった場合にMOSFETをオフするUVLO機能と、高い電圧が印加された場合にオフするOVLO機能である。

従来の制御方式では、MOSFETをオフする場合、 V_{GATE} をドライバーIC内部のGND端子に短絡する。この方式は、GND端子に短絡するためのシャント回路だけで実現できるので、回路を簡略化できるメリットがある。しかし、MOSFETオン時の V_{GS} 制御と異なり、式(1)が $V_{\text{GS}} = -V_{\text{IN}}$ ($V_{\text{GATE}} = 0\text{V}$)となるため(図3(a)の①と③)、 V_{GS} は V_{IN} 依

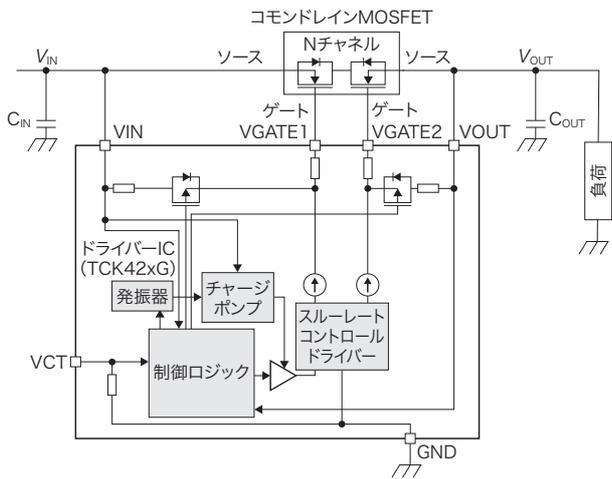
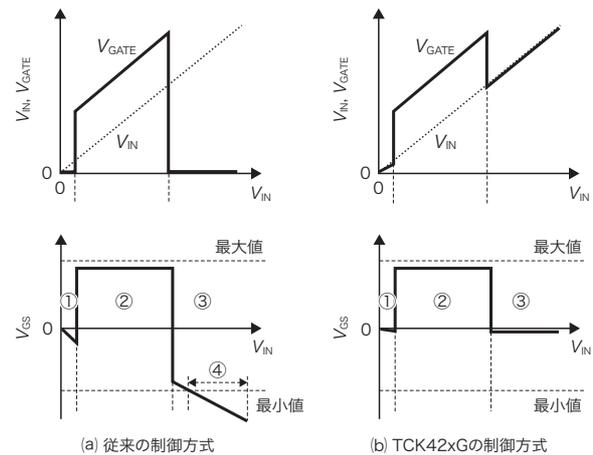


図2. ドライバー ICとMOSFETの組み合わせ例

低オン抵抗のNチャネルMOSFETのゲートに、ドライバーICから最適な電圧を印加して動作制御することで、モノリシックICよりも省電力で小型のロードスイッチ回路を実現できる。

Example of combination of driver IC and MOSFET



- ①: UVLOによるMOSFETオフ範囲
- ②: MOSFETオン範囲
- ③: OVLOによるMOSFETオフ範囲
- ④: V_{GS} が最小値を下回る範囲

*a)(b)ともに、 V_{CT} はオン状態

図3. 従来とTCK42xGシリーズの制御方式での V_{GS} 特性比較

TCK42xGシリーズは、MOSFETの V_{GS} が定格値を超えないように制御する機能を備えている。

Comparison of characteristics of voltage between gate and source (V_{GS}) of conventional and TCK42xG series MOSFET gate driver ICs

存を持つことになる。 V_{IN} の値によっては V_{GS} が定格値を超えることがある(図3(a)の④)ので、使用できるMOSFETが制限される。

TCK42xGシリーズは、この問題を解決する制御方式を採用した。MOSFETのオフ時に、 V_{GATE} をGND端子に短絡するのではなく、 V_{IN} とほぼ同じ電圧にすることで、 V_{GS} が V_{IN} に依存しないように制御する。これにより、 V_{GS} が定格値を外れることがなくなり(図3(b))、MOSFET選択の幅が広がった。

2.2 消費電力削減

V_{GATE} を生成するチャージポンプ回路は、ドライバーIC内蔵の発振器からのクロック信号で制御される。発振器がクロック信号を出力する期間は、クロック信号に同期した電力が消費される。

TCK42xGシリーズでは、電力消費削減の取り組みとして、パルススキップ制御(図4)を導入した。 V_{GATE} を監視する電圧モニター回路を設け、所望の V_{GATE} を超えると発振器からのクロック出力を止めて、電力消費を抑える。 V_{GATE} が所望の電圧を下回ると、クロック信号を出力して、昇圧動作を再開する。

また、ドライバーICがオフのときの待機電流を、 V_{IN} が20Vのときに標準値の800nAに抑えて、16μWの低消費電力を実現した。

2.3 パッケージの超小型・低背化

携帯電子機器のバッテリー容量の増加や筐体(きょうたい)の薄型化に伴い、限られたサイズの基板に電子部品を高密度実装するため、電子部品の小型化と低背化が求められる。携帯電子機器向けのTCK42xGシリーズは、パッケージとして、1.2(幅)×0.8(長さ)×0.35(高さ)mmの6ピンWCSP(Wafer-Level Chip Scale Package)を採用しており、モールドでチップを樹脂封印するパッケージに比べて超小型・低背で、基板実装の省スペース化に貢献する(図5)。

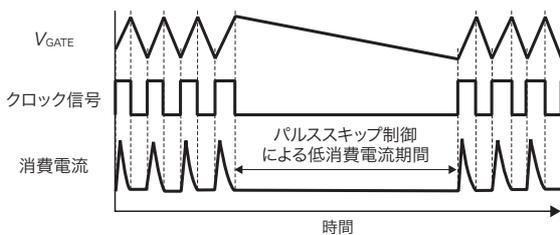


図4. パルススキップ制御の動作タイミング

V_{GATE} をモニターして、昇圧が必要なときだけクロック信号を発生させることで、消費電流を抑えて電力消費を低減する。

Timing diagram of pulse-skipping control to reduce current consumption

パッケージ名	TSOP6F	UDFN6	ES6	MP6D	WCSP6G
幅 (mm)	2.90	2.00	1.60	1.45	1.20
長さ (mm)	2.80	2.00	1.60	1.00	0.80
面積 (mm ²)	8.12	4.00	2.56	1.45	0.96
高さ (mm)	0.80	0.75	0.55	0.48	0.35
体積 (mm ³)	6.50	3.00	1.41	0.70	0.34
パッケージ外観					

UDFN6は実装密着性向上用電極付き

図5. 6ピンパッケージのサイズ比較

WCSPパッケージを採用することで、超小型・低背化を図った。

Comparison of size of six-pin packages

2.4 突入電流制御

電力供給に際して、MOSFETを介して大電流を急激に供給すると、出力側に接続されるほかのICを破壊するおそれがある。安全に電力を供給するには、このような突入電流を回避することが重要である。TCK42xGシリーズは、スルーレートコントロール機能を備えており、コモンドレインMOSFETのそれぞれのゲート端子(VGATE1, VGATE2)の電圧上昇を制御して緩やかにする。この制御により、コモンドレインMOSFETが急速にオンになることがなくなり、突入電流の発生を防ぐ。

図6はTCK42xGシリーズでMOSFETを駆動した、実

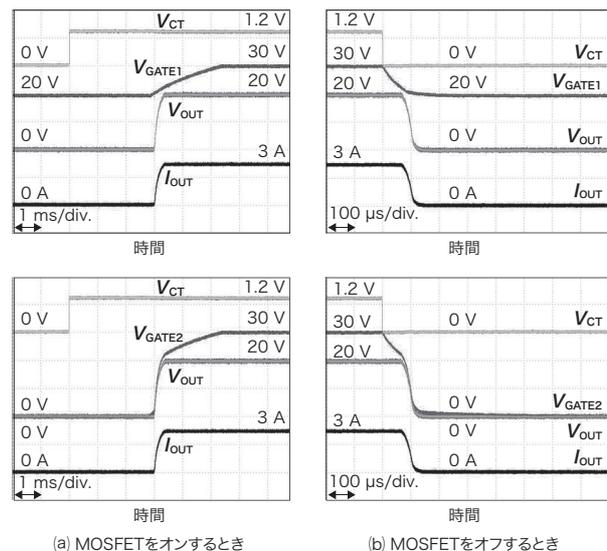


図6. 評価基板の動作波形

TCK421GでMOSFET TPHR6503PL1をオン/オフ駆動する評価で、負荷電流が目標値の3Aを超えないように制御し、突入電流を抑えられることを確認した。

Waveform data of TCK42xG series mounted on evaluation board

機評価の波形である。MOSFETはシングルNチャネルMOSFETをドレインコモン接続となるように、シリーズに2個接続している。電流をオンするとき、負荷に流れる出力電流(I_{OUT})はスムーズに増加されるため、目標の電流値(3A)を超える大電流は発生しない(図6(a))。電流を遮断する際は、 V_{GS} がすぐにMOSFETのしきい値電圧より小さくなるように制御して、MOSFETがオンからオフに切り替わるときに過渡的に発生する電力を抑える(図6(b))。

3. PMUXへの応用

TCK42xGシリーズの特性や機能を活用した応用回路例として、二つの電源ソース(V_{INA} , V_{INB})を切り替えて、 V_{OUT} として出力するPMUXを挙げる(図7)。この回路例で

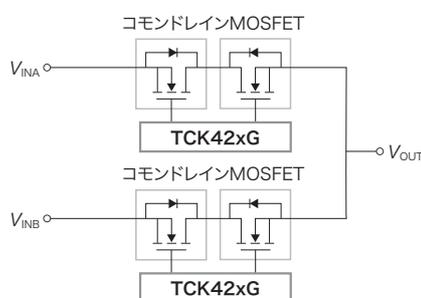


図7. PMUXへの応用回路

TCK42xGシリーズとコモンドレインMOSFETからなるスイッチを、各入力電源ソースに用いて、PMUXを構成した。

Example of circuit applying TCK42xG series to power multiplexer

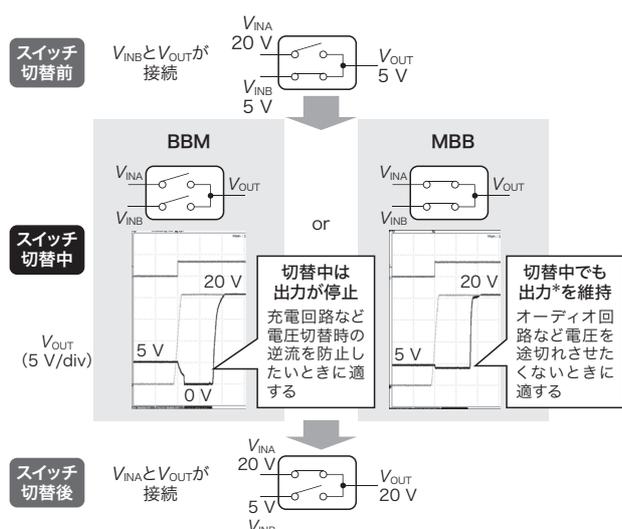


図8. PMUXの出力切り替え方式

使用目的に合わせて、BBM又はMBBによる出力切り替えが可能である。

Output switching scheme of power multiplexer

は、TCK42xGシリーズ及びコモンドレインMOSFETからなるスイッチを、 V_{INA} , V_{INB} に接続した。

ここで、出力切り替え方式は、BBM (Break before Make)とMBB (Make before Break)の2種類に大別される(図8)。BBMとは、出力を一旦GND電位(0V)に落としてから切り替える方式で、バッテリーの充電回路など出力切り替え時に入力側への逆流を防ぎたいアプリケーションに適している。一方、MBBは0Vに落とすことなくシームレスに切り替える方式で、オーディオ回路など出力段モジュールへの電力供給を維持したいアプリケーションに適している。なお、MBBの出力切り替え動作中は二つの入力電源ソースが同時に接続された状態となるが、高電圧側から低電圧側への逆流は、コモンドレインMOSFETのボディダイオードで防止される。

4. あとがき

今回、低オン抵抗のNチャネルコモンドレインMOSFETを効率的に動作制御する超小型ドライバーIC TCK42xGシリーズを開発したことで、100Wクラスの電力供給に対しても低損失のスイッチングを実現した。これにより、コンシューマー製品の省電力、小型化、電力密度向上に寄与し、消費電力の増大を抑制して、カーボンニュートラルの実現に貢献できる。

また、今後は、OVLO及びUVLOの保護機能に加え、過電流保護機能も備えた製品を開発し、更に充実した保護機能を提供していく。



林 庸行 HAYASHI Tsuneyuki
東芝デバイス&ストレージ(株)
半導体事業部 IC開発センター
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



戸田 修二 TODA Shuji
東芝デバイスソリューション(株)
設計開発部
Toshiba Electronic Device Solutions Corp.



和田 浩 WADA Hiroshi
東芝デバイス&ストレージ(株)
半導体事業部 半導体応用技術センター
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



高橋 祐一 TAKAHASHI Yuichi
東芝デバイス&ストレージ(株)
半導体事業部 先端集積デバイス開発部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.