

車載用フライバックコンバータコントロール IC YH2102/YH2103 の開発

Development of Automotive Flyback Converter Control IC YH2102/YH2103

鈴木 建*
Takeru Suzuki

概要 内燃機関の車両の電気系統は鉛蓄電池 12V を利用した低電圧電源が利用されている一方で、近年増加している xEV 車両においてはモータ駆動用に数百 V の高電圧バッテリーも搭載している。モータ駆動用制御回路は、低電圧電源から絶縁トランスを介して電力供給されるのが一般的であるが、一部車両では高電圧バッテリーから制御回路に電力供給する補助電源としての需要がある。高電圧バッテリーはさらなる高電圧化へと進んでおり、補助電源の高耐圧化は必須となる。

今回、こうした市場要求に応えるため高電圧入力に対応した車載用フライバックコンバータコントロール IC 『YH2102/YH2103』を開発した。

1. まえがき

近年、カーボンニュートラル実現のため車両の xEV が加速している。一方で、現在の xEV の性能 (走行距離、充電時間、重量、価格など) はモータ駆動用の高電圧バッテリーに依存しているところが多い。

現在、高電圧バッテリーは 400V が主流であるが、800V の製品も登場しており、バッテリー電圧は高電圧化へと進んでいる。電力を同等とした場合、電圧を上昇すると電流は減少するので配線による電力損失が減少し、走行距離の増加に貢献できる。一方で、バッテリー電圧には外来サージも重畳するため、高電圧ラインの素子耐圧はバッテリー電圧に対して十分なマージンを確保する必要がある。

高電圧バッテリーは損傷すると火災の恐れがあることや、保管時に高電圧が接続された状態では危険なため、バッテリーとシステムをコンタクタと呼ばれる電磁接触器で物理的に遮断している。なお、システム側にはフィルムコンデンサが搭載されており、バッテリー遮断後にコンデンサの残存電圧は安全領域まで放電される。システムが安全停止するまで検出をおこなうためには、残存電圧でも動作できるように、補助電源の入力電圧範囲は広い必要がある。

こうした要求に応えるため、車載用フライバックコンバータコントロール IC 『YH2102/YH2103』を開発した。

2. 製品概要

本製品は当社独自の第 7 世代微細 BCD プロセスを採用し、起動回路と制御回路を 1 チップに集約したフライバックコンバータコントロール IC となる。本製品を使用した絶縁電源構成例を図 1 に示し、代表特性を以下に記載する。

・最低動作保証電圧	60V
・起動回路最大定格電圧	900V (YH2102), 1200V (YH2103)
・定常動作周波数	66~200kHz (外付け抵抗で設定)
・ゲートドライブ出力電圧	15V
・ソース電流	110mA ピーク
・シンク電流	350mA ピーク

フライバック電源の主スイッチ素子にはシリコン型 (Si) が主流であるが、新たにシリコンカーバイド型 (SiC) の普及も進んでいる。SiC は Si と比較して高耐圧の素子を小面積で実現しやすい利点があるが、ON 抵抗を小さくするためには Si よりも高いゲート電圧が必要になる。本製品は高電圧バッテリー入力の補助電源としての利用を想

*技術開発本部 パワーデバイス開発統括部
車載 IC 開発部 開発 2 課

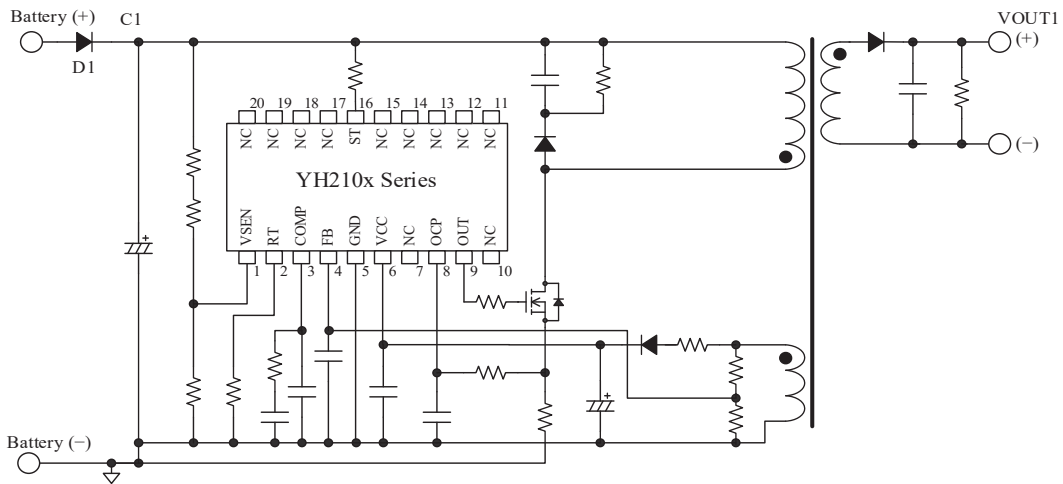


図1 YH210x 絶縁電源構成例

定しており、MOSFETも高耐压のSiC利用を想定してゲートドライブ出力電圧は最大15Vとした。

さらには、パルス・バイ・パルスの過電流保護、過負荷保護、入力電圧検知、電源電圧過電圧保護、フィードバック信号外れ保護及び過電圧保護、過熱保護など豊富な保護機能を搭載することで、安全かつ信頼性の高い補助電源を構成することができる。

3. 製品の特長

本製品の特長を以下に示す。

3.1 チップ設計

本製品のブロック構成図を図2に示す。

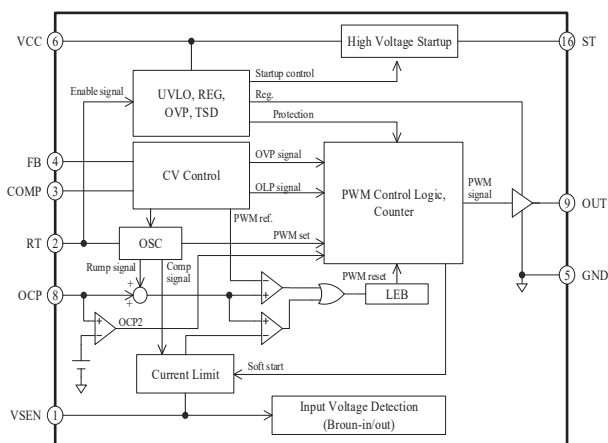


図2 YH210xのブロック構成図

3.1.1 起動素子の高耐压化対応

本製品のMIC設計には当社独自の第7世代微細BCDプロセスを採用した。当プロセスは最小デザインルール0.25μmルールを採用しており、Logic回路部の高集積化を実現している。ゲート酸化膜は2種類の膜厚を用いる

デュアルゲート構成となっており、5Vから30VまでのCMOSが搭載可能であり、ゲート駆動電圧が高いSiC MOSFETなどの次世代デバイスのドライブにも対応可能である。また、本製品の開発にあたり1200V保証の高耐压起動素子を新規開発した。

3.1.2 起動動作

図1において、本製品の電源端子であるVCC端子はトランスの補助巻き線に接続されている。この状態で高電圧バッテリーから電圧印加された直後の動作を考える。MOSFETはゲート駆動しておらず、トランスに逆起電力が発生しないため、補助巻き線からVCC端子へは電力を供給できない。このときST端子に内蔵された起動回路が起動電流を供給し、VCC端子に接続された外部コンデンサに電荷が充電される。VCC端子が製品動作開始電圧まで上昇するとICが起動し、MOSFETがスイッチング動作をおこなう。このとき起動回路は起動電流の供給を停止するが、スイッチング動作によりVCC端子へ補助巻き線から電力を供給される。図3に上記動作のタイムチャートを示す。

起動回路の電流供給はVCC端子電圧によって決まり、しきい値より高い電圧になると電流供給を停止する。し

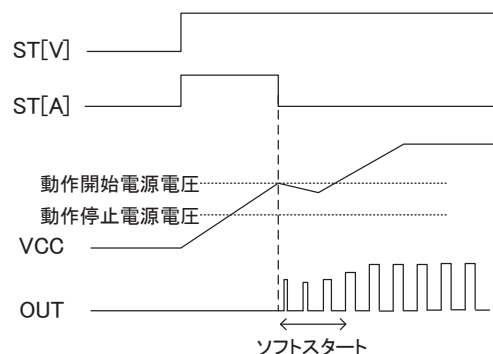


図3 起動動作

きい値は動作状態によって2つの値を切り替えている。動作開始前のしきい値は電流供給で製品起動できるように、動作開始電源電圧 $V_{CC(ON)}$ と同じ電圧に設定され、動作時は保護動作による製品停止を防ぐため、動作停止電源電圧 $V_{CC(OFF)}$ よりも高い電圧に設定される。

3.1.3 動作周波数の設定

本製品はPWM (Pulse Width Modulation) 制御を採用しており、スイッチングのON時間を変化させることで出力電力を制御している。定常動作時にRT端子が一定電圧を出力し、外付け抵抗で動作周波数が設定される。動作周波数はRT端子電流に比例するため、RT端子抵抗に反比例する。(図4)

また、RT端子電流が高くなり、動作周波数の設定範囲外まで上昇すると、RT端子の過電流保護機能により本製品はスイッチング動作を停止する。

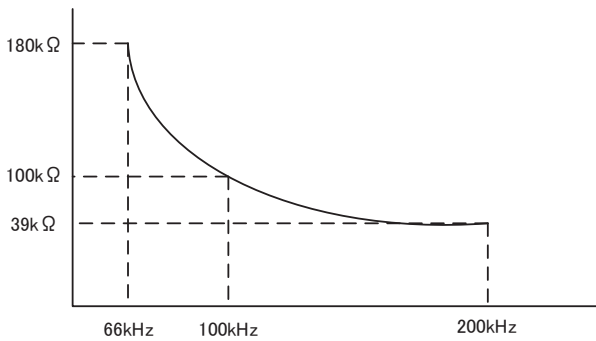


図4 RT端子抵抗値と発振周波数

3.1.4 イネーブル (EN) 機能

RT端子は3.1.3項に記載の動作周波数設定機能に加えてイネーブル機能を搭載している。RT端子を開放としたときイネーブルオフとなり、本製品はスタンバイ状態となる。このとき、スイッチング出力は停止し本製品は消費電力を抑えた状態となる。

一方で、スイッチング停止するためスタンバイ状態の消費電力は、補助巻き線ではなく起動回路によって賄われる。このときの起動電流供給しきい値は $V_{CC(ON)}$ よりも高い電圧に設定されており、イネーブル信号がオフからオンへ切り替わると同時にスイッチング開始することができる。(図5)

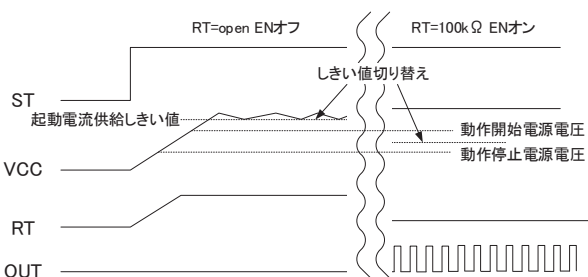


図5 EN機能

3.1.5 フィードバック制御

本製品は1次側検出制御による定電圧制御をおこなっている。1次側検出制御ではフィードバック信号にフォトカプラを使用しないため、実装面積の削減と電源の信頼性向上が可能となる。本製品のフィードバック制御図を図6に示す。VCC端子に電源を供給する補助巻き線電圧が抵抗分圧されてフィードバック端子 (FB端子) に入力される。ただし、VCC端子とは違いFB端子への入力はダイオードによって平滑される前の電圧である。これにより本製品は補助巻き線のダイオードと2次側出力のダイオードの順方向電圧特性 ΔV_f の差を抑えたフィードバック制御ができる。

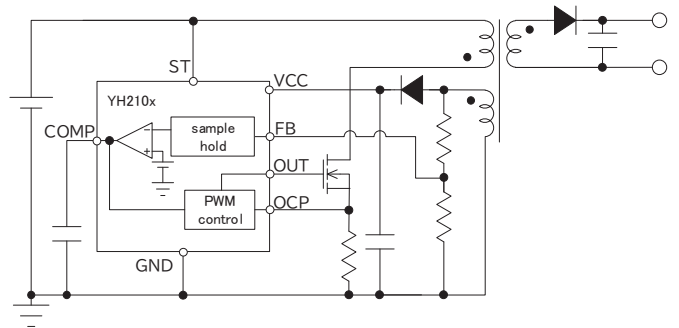


図6 YH210xのフィードバック制御図

一方で、図6のFB端子波形は図7のように直流ではない。外付けMOSFETがオフのとき、トランスは2次巻き線と補助巻き線にエネルギーを放出し、放出後のFB端子電圧は発振する。FB端子電圧が発振する直前の電圧をサンプリングし、後段の誤差増幅器に出力することで ΔV_f の影響を抑えている。

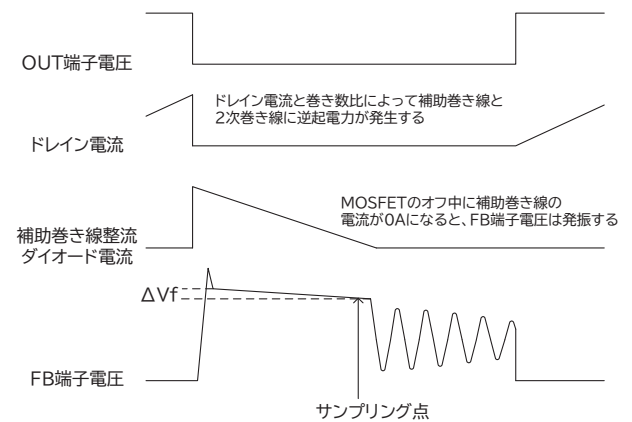


図7 フィードバック制御波形

図6において、誤差増幅器は本製品内部の基準電圧とフィードバック信号の差分を検出してCOMP端子に出力する。非反転入力に基準電圧、反転入力にフィードバック信号がそれぞれ接続される。出力電圧の変動に正

の係数で比例してフィードバック信号が増減すると、COMP端子電圧はフィードバック信号と逆方向に増減する。COMP端子電圧は、ドレイン電流（外付けMOSFET）のしきい値となるため、ON時間が変化しONデューティを制御することで定電圧制御が可能となる。

3.2 パッケージ設計

本製品は高電圧入力用のST端子を含むため、端子配列には感電阻止を目的とした絶縁設計を考慮する必要がある。絶縁にはその程度により機能絶縁、基礎絶縁といった分類があり、トランスを用いたフライバック電源には最上位の強化絶縁が求められる。

パッケージの絶縁設計にはST端子とその他の端子との沿面距離を確保する必要がある、これを満たせない絶縁が確保できない。絶縁に必要な沿面距離は沿面の材質CTI(Comparative Tracking Index)、装置の動作環境による汚染度、印加電圧の実効値 $V(rms)$ で算出できる。参考にCTI=600、汚染度2、 $V(rms)=850V$ とした場合、必要な沿面距離は4.2mmとなる。(図8)

4. 製品仕様

本開発品の概略代表特性製品仕様を下記表1に記載する。

表1 電気的特性抜粋 ($T_A=25^\circ C$)

項目	記号	規格値			単位	項目	記号	規格値			単位
		Min.	Typ.	Max.				Min.	Typ.	Max.	
最低起動電圧	V_{ST}	—	—	28	V	OUT端子ソース抵抗	$R_{OUT(S)}$	—	34	—	Ω
動作開始電源電圧	$V_{CC(ON)}$	10.8	12.0	13.2	V	OUT端子シンク抵抗	$R_{OUT(S)}$	—	21	—	Ω
動作停止電源電圧	$V_{CC(OFF)}$	7.3	8.1	8.9	V	OUT端子非動作時出力	$V_{OUT(OFF)}$	—	—	1.5	V
RT端子オンしきい電圧	$V_{RT(ON)}$	2.6	3.2	4.0	V	動作周波数(RT=180k Ω)	f_{OSC1}	59	66	73	kHz
RT端子オフしきい電圧	$V_{RT(OFF)}$	3.2	3.8	4.4	V	動作周波数(RT=100k Ω)	f_{OSC2}	90	100	110	kHz
FB端子基準電圧	$V_{FB(REF)}$	—	1.300	—	V	動作周波数(RT=39k Ω)	f_{OSC3}	180	200	220	kHz
COMP端子シンク電流	$I_{CO(S)}$	10.0	20.0	30.0	μA	最大オンデューティ	D_{max}	82	86	90	%
COMP端子ソース電流	$I_{CO(SO)}$	-30.0	-20.0	-10.0	μA	リーディングエッジブランキング時間	t_{LEB}	—	300	—	ns
OUT端子出力電圧	V_{OUT}	14	15	17	V	過熱保護動作温度	T_{TSD}	—	165	—	$^\circ C$

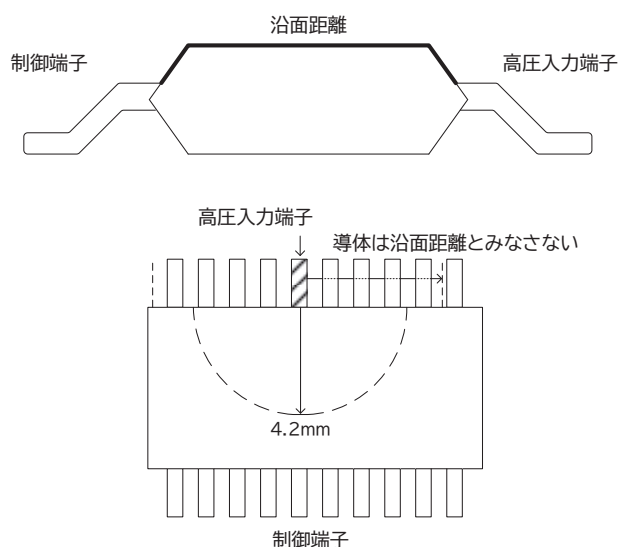


図8 パッケージの沿面距離

5. むすび

今回、高電圧バッテリー入力のニーズに沿ったフライバックコンバータコントロールICを開発した。今後は、新たな車載ニーズに合わせた車載用電源ICを開発し、製品拡充を図る予定である。