

xEV 高圧バッテリー用コンタクタドライバ LS1908 の開発

Development of Contactor Driver LS1908 for xEV High Voltage Battery

大園 雄太*
Yuta Ozono

佐藤 清勝*
Kiyokatsu Satoh

概要 近年のCO₂規制強化に伴い、xEVの普及と多様化がさらに進んでいる。xEVに搭載される高圧バッテリーは高電圧、大容量化が進み、高圧バッテリーの安全性確保に必要なバッテリーディスコネクトスイッチに使用されるコンタクタには高電圧、大電流、高信頼性が求められている。今回、高電圧、大電流用途のコンタクタの制御回路に最適なドライバとしてLS1908を開発した。LS1908は汎用性を考慮し、外部抵抗のみで変更可能な定電流制御機能を有しており、コンタクタの発熱低減、電費改善や、電圧変動時のロバスト性向上に対応した。また、駆動電流の急速遮断機能を有しており、コンタクタ遮断時の接点溶着リスクの低減に対応した。パッケージはHQFN32を採用し実装面積の削減を実現した。

1. まえがき

日本政府は2050年までのカーボンニュートラルの達成を政策として掲げており、2017年36.7%となっていた国内のxEV普及率を、2030年には50%~70%にすることを目標としている。EU、英国、中国、米国では日本よりもさらに厳しいCO₂規制が掲げられており、今後、世界的に内燃車両の販売が抑制、禁止されていき、xEVの普及はさらに加速すると考えられる。xEVには高圧バッテリーを安全かつ効率的に使用するためのBMS(バッテリーマネジメントシステム)が搭載されている。BMSはバッテリーの電圧、電流、温度等の様々なパラメータをモニタし、バッテリーの制御をおこなう。BMSにはディスコネクトスイッチとしてコンタクタが用いられている。近年xEVに搭載されるバッテリーの高電圧、大容量化により、使用されるコンタクタもそれに耐えうる性能が求められている。大電流対応のコンタクタの制御に求められる機能として、定電流制御による発熱低減や電費改善、バッテリー電圧変動へのロバスト性向上、急速遮断機能によるコンタクタ接点の溶着リスク低減に対応したコンタクタドライバの開発をおこなった。本稿ではその詳細について報告する。

2. コンタクタについて

xEVにおけるコンタクタの使用例としてxEVのシステム構成図を図1に示す。

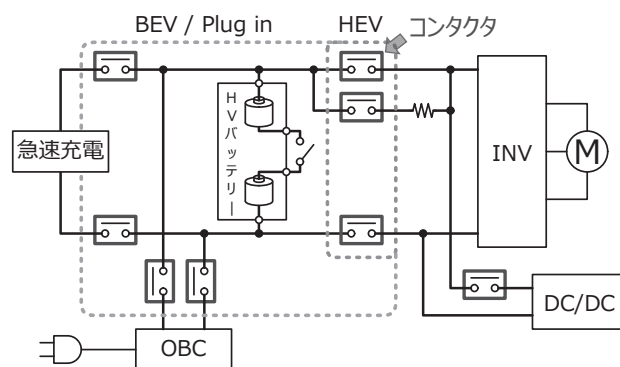


図1 xEVシステム構成図

xEVでは事故や故障などアブノーマルな状態となった際に速やかに高圧バッテリーを切り離し、感電や火災などの二次被害を防止する機構を搭載している。システムから高圧バッテリーを物理的に切り離すデバイスがコンタクタである。同じ接点動作をおこなうデバイスとしてはリレーが一般的に知られているが、コンタクタはリレーに対して高電圧、大電流用途に分類されるデバイスであり、大きな接点、大きな電磁石を使用するためコイ

*マーケティング本部 パワーデバイス開発統括部
車載IC開発部 開発1課

ル駆動電流が大きくなっているほか、アーク抑制機構を装備しているなどの特徴がある。

xEVの高出力化にともない使用されるコンタクタも大電流化しており、コイル駆動電流の増加、発熱の増加、接点溶着リスクの増加などの課題に対応したコンタクトドライバのIC化について新たな需要が生じている。

3. 製品の概要

本製品は当社BCDプロセスのメリットを活かした回路設計、レイアウト設計により、ワンチップ上にローサイド出力MOS、ハイサイド出力MOS、チャージポンプ回路、電流検出回路、ロジック制御回路、および各種保護回路を集積化している。パッケージには小型面実装のHQFN 32ピンパッケージを採用し、1チップ上に3チャンネルを搭載した製品とした。3チャンネルとした理由は前項、図1に示すようにxEVの主用途となる高圧バッテリーとインバータ間の三つの配線への適用を意図したものである。

本製品は大電流用途のコンタクタ制御回路に向けて一般的なローサイドスイッチには無い二つの機能を有することを特徴としている。外部抵抗の接続で動作し、接続する抵抗値によってコイル駆動電流を変化させる電流制御機能と、コイル駆動電流の急速停止を可能とする回生電流遮断機能である。各機能の詳細と使用例については5章にて詳しく説明する。また本製品は過電流保護機能、過電圧保護機能、低電圧保護機能、過熱保護機能など、車載用として使用するための十分なインテリジェント保護機能と、負荷の開放や短絡を判定するための診断出力機能を有している。

4. 設計

4.1 回路構成および動作

図2にコンタクトドライバLS1908の内部ブロックと外部配線図を示す。LS1908はコンタクタ駆動回路を3チャンネル内蔵しているが、ロバスト性を考慮し3チャンネル独立した回路構成とした。各チャンネル出力は「ローサイド出力MOS1」と「ハイサイド出力MOS2」の2石構成である。「ローサイド出力MOS1」はLSEN端子の入力信号でON/OFFしコンタクタを導通する。「ハイサイド出力MOS2」はFWEN端子の入力信号でON/OFFしコンタクタ回生電流を急速遮断する。コンタクタを駆動するローサイド出力MOS1にはSense MOSタイプの電流検知回路(Current Sense)を搭載した。電流検知出力は過電流保護(OCP)と電流制御(Current Limit)に使用している。電流制御時の制御電流値はS端子に接続する抵抗値によって調整が可能となっている。S端子

接続抵抗値と制御電流値の関係を図3に示す。

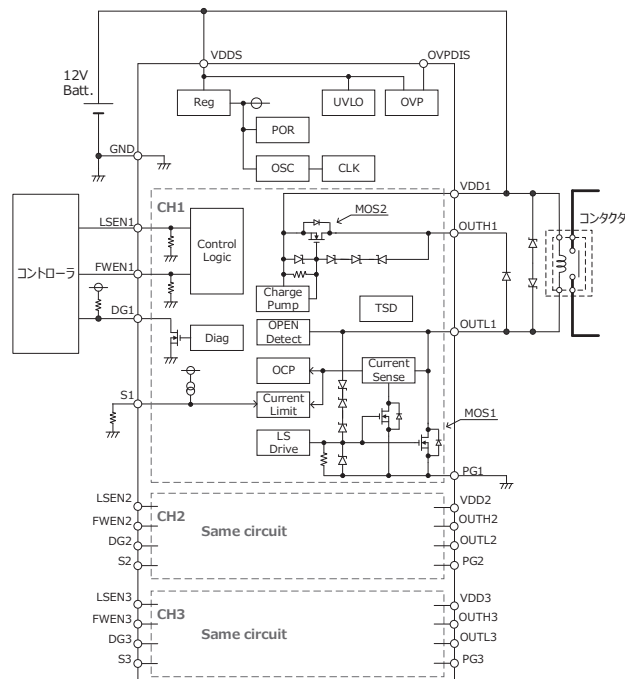


図2 LS1908 内部ブロックと配線図 (1 回路分)

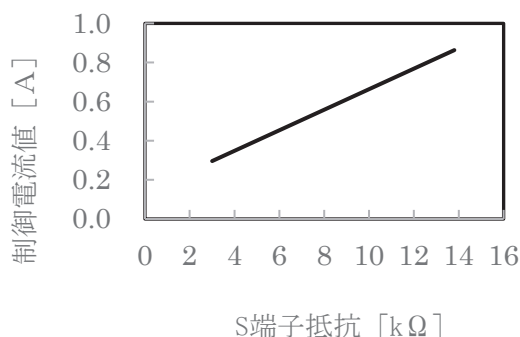


図3 S 端子抵抗と制御電流値

LS1908はLSEN端子、FWEN端子、S端子の入力によって、DC通電モード、外部PWM制御モード、内部電流制御モードの3つの動作モードが選択可能である。動作モードと各端子の入力設定を表1に示す。

表1 動作モードと端子設定

動作モード	LSEN	FWEN	S
DC 通電モード	停止時	L 入力	Open
	通電時	H 入力	
外部 PWM モード	停止時	L 入力	Open
	PWM 動作時	PWM 入力	
内部電流制御モード	停止時	L 入力	抵抗接続
	電流制御時	H 入力	

LS1908は負荷(コンタクタ駆動コイル)との接続状態を出力するDG端子を有している。オープンドレイン出力となっており、外部5V電源から51kΩのプルアップ抵抗を接続して使用する。DG端子の真理値表を表2に示す。

表2 DG端子真理値表

	通常時		負荷断線時		負荷短絡時	
LSEN	L	H	L	H	L	H
OUTL	H	L	L	L	H	H
DG	H	L	L	L	H	L

4.2 チップレイアウトと適用プロセス

LS1908のチップレイアウトを図4に示す。LS1908は複数の出力DMOSとアナログ電流検知回路、CMOSロジック制御回路を有しているため、当社第6.5世代となる0.22μm設計ルールBCDプロセスを採用し1チップICの構成とした。

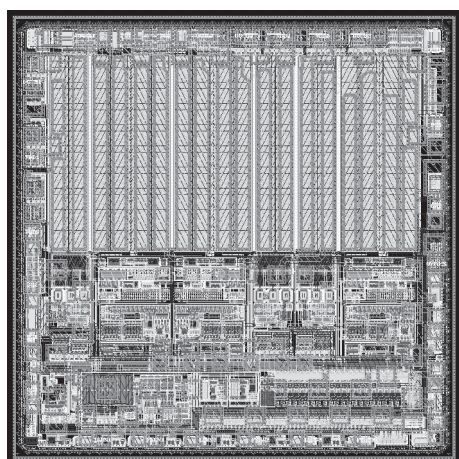


図4 LS1908チップレイアウト

4.3 外形

LS1908の外観写真を図5に示す。LS1908では省スペース化のためHQFN32パッケージを採用した。また、車載用途での使用が前提となるため、はんだ付け形状の視認性向上と信頼性の向上を考慮し、リード構造はウェットダブルフラックとした。ウェットダブルフラックのはんだ

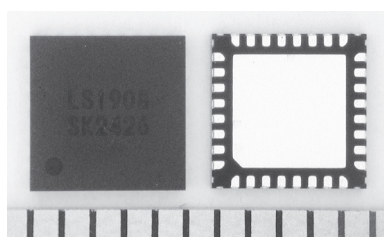


図5 LS1908外観写真

付け形状を図6に示す。

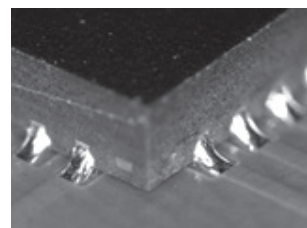


図6 ウェットダブルフラックリードのはんだ付け形状

5. 目標仕様と製品特性

表3にLS1908の目標仕様と製品特性を示す。

表3 目標仕様と製品特性

項目	記号	規格値			製品実測値			単位
		min	typ	max	-40℃	25℃	150℃	
電源電圧	V_{DDoprd}	7		27	3.91 ~ 29.09			V
静止時回路電流	I_{qVDD}		3.5	(7)	3.02	3.35	3.97	mA
ローサイドMOSFET出力ON抵抗	$R_{DSON_{ls}}$		0.35		0.23	0.34	0.56	Ω
ハイサイドMOSFET出力ON抵抗	$R_{DSON_{hs}}$		0.7		0.38	0.54	1.02	Ω
制限電流値	I_{limit}	0.2	0.3	0.4	0.29	0.30	0.29	A
		0.3	0.4	0.5	0.39	0.41	0.42	
		0.4	0.5	0.6	0.47	0.49	0.50	
出力リーク電流	I_{olk}			1	0.06	0.07	0.08	mA
低電圧ロックアウト電圧	V_{UVLO}		4	5	3.56	3.92	3.91	V
低電圧ロックアウト解除電圧	V_{UVLOR}		5	6	5.01	5.01	5.01	V
過電圧保護開始電圧	V_{DDovp}	27	29.5	32	29.53	29.41	29.09	V
過電圧保護解除電圧	V_{DDovpr}	20	23.5	27	23.38	23.29	23.27	V
過電流保護開始電流	I_{OCP}	1.01			1.19	1.14	1.04	A
過熱保護開始チャンネル温度	T_{tsd}	151			168			℃
負荷オープン検知電圧	V_{od}	(2.3)	(3.3)	(4.3)	3.56	3.53	3.52	V
出力伝達時間	t_{on}	(0.1)	(1)	(10)	1.83	1.60	1.33	us
	t_{off}	(0.1)	(1)	(10)	0.76	0.73	0.64	
出力立ち上がり時間	t_r	(0.1)	(1.0)	(10)	3.91	3.57	3.14	us
出力立下り時間	t_f	(0.1)	(1.0)	(10)	0.40	0.42	0.50	us

図7~11にコンタクタを用いた実使用例を示す。使用したコンタクタの定格は、電流40A、コイル抵抗≒22Ω、感動電圧9V以下、開放電圧1V以上である。感動電圧とはコンタクタの接点が接続するコイル両端電圧を示し、開放電圧とはコンタクタの接点が開放するコイル両端電圧を示す。上記定格のコンタクタをバッテリー電圧12Vで直接駆動した場合、接点ONの維持のためにコンタクタは常時6.5W損失している。接点動作としてはコイル

電圧が開放電圧を下回らなければONを維持することができるため、この損失は低減可能であり、大電流タイプのコンタクトではこの損失を低減するため、感動時の電流をPull-In Current、接点保持時の電流をHold Currentとして定義している。LS1908の特徴の一つである電流制御機能はこのPull-In Current、Hold Currentの設定を容易にする機能である。

電流制御機能の代表的な使用例を以下に示す。

図7は起動時にDC通電動作モードでPull-In Current以上の電流を通電し、その後S端子に抵抗を接続し定電流制御に移行しHold Currentを通電する動作波形である。本使用例ではコンタクトのON維持のための損失が70%低減している。

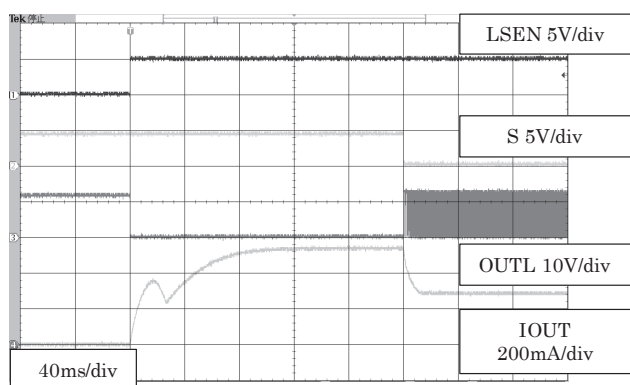


図7 S端子による起動時電流制御動作

定電流制御動作中はバッテリー電圧変動に対するロバスト性も向上する。定電流制御中のバッテリー電圧変動時動作波形を図8に示す。また、定電流制御無しの場合の波形を図9に示す。定電流制御無しの場合にはバッテリー電圧の変動に伴い、電流が変化している。

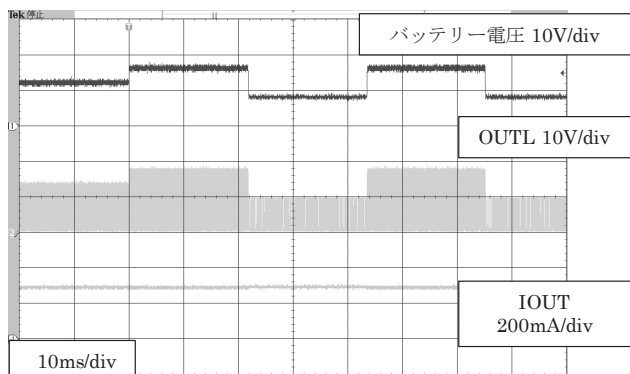


図8 定電流制御中のバッテリー電圧変動波形

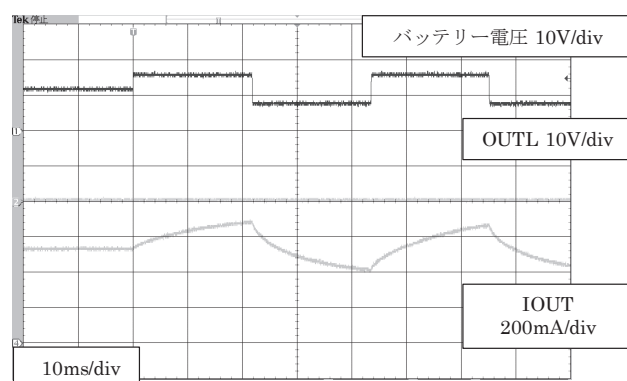


図9 定電流制御無し時バッテリー電圧変動波形

LS1908のもう一つの特徴であるコイル駆動電流の急速停止を可能とする回生電流遮断機能について代表的な使用例を以下に示す。

図10に急速遮断機能動作時の電流波形を示す。また、図11に急速遮断機能無し時の電流波形を示す。急速遮断機能を使用した場合、電流が0.3Aから0Aまで減少するまでの時間は約8msである。一方、急速遮断機能無しの場合、電流が0.3Aから0Aまで減少するまでの時間は約60msとなっている。急速遮断機能によりコイル駆動電流が停止するまでの時間が大幅に減少しており、チャタリングによる接点溶着のリスクが低減する。

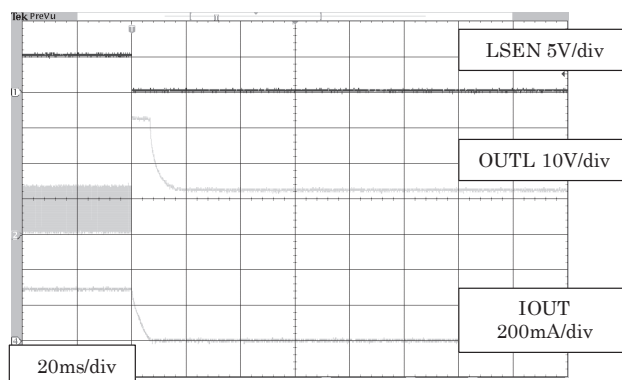


図10 OFF時動作波形(急速遮断機能あり)

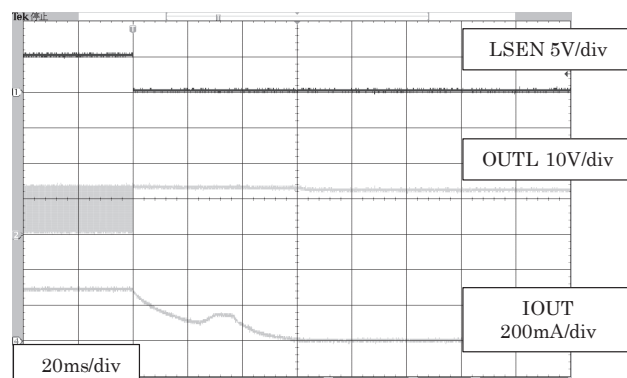


図11 OFF時動作波形(急速遮断機能なし)

6. むすび

今回、xEV 高圧バッテリー用コンタクタの駆動に最適なドライバICとしてLS1908の開発をおこない以下のような特徴を有する製品を開発した。

- ・ユーザーのシステムに合わせて、DC 通電動作、PWM 電流制御動作の選択可能
- ・電流制御動作は外部制御信号と内部自動制御の選択可能
- ・内部自動制御の制限電流値設定は外付け抵抗の定数により設定値の変更可能
- ・ユーザーのシステム要件に合わせて過電圧保護動作の有無を選択可能
- ・HQFN ウェットダブルバンクパッケージにより省スペース化が可能

急速に進むEVシフトにおいて高圧バッテリーシステムの断続に必要なコンタクタとその制御システムは、xEVにおいて無くてはならない存在であるが、そのシステム要件は各社各様である。LS1908は汎用性を考慮した設

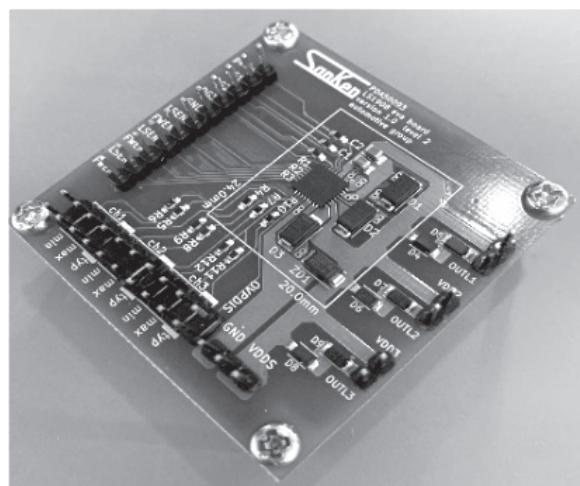


図 12 LS1908 評価用ボード

計をおこない、各社システム要件が異なる中でも、それぞれに適応した動作を容易に選択可能とした。図12に示す評価ボードでは基板上のピン接続設定で動作選択が可能であり、ユーザーの評価をサポートしている。

今後は電流定格、出力オン抵抗のシリーズ化をおこない、車載用途の他、一般産業用途のコンタクタ、メカリレーの用途へも製品の展開を図っていく予定である。