

自動車用ワンチップイグナイタ

特集

細川 英治 (ほそかわ えいじ)

石井 憲一 (いしい けんいち)

中村 浩 (なかむら ひろし)

1 まえがき

富士電機では、自動車分野向けの半導体デバイスとして、バイポーラトランジスタ、パワー IC、ハイブリッド車用モジュール、ディスクリートデバイス、圧力センサなど多くの車載用半導体製品を開発している。車載用の半導体デバイスは、一般の半導体製品に比べて厳しい環境（例えば、使用温度範囲は一般的に-40～+150℃、高湿、電氣的サージや機械的振動の発生）で使用されるため、耐環境性や高信頼性が求められている。

今回、車載用の半導体デバイスとして、エンジンの点火装置に用いられ、高効率・高エネルギー点火方式に対応した、自動車用ワンチップイグナイタを開発したので紹介する。

2 背景

近年の自動車には、法規制による排出ガスの抑制、低燃費化など環境への配慮や性能の向上などが求められている。また、さらなる安全性・快適性・省エネルギー化も求められており、その対応として多くの部品で電子化が進んでいる。

このような背景の中、自動車機能の中核となる点火装置においても、図1に示す機械式接点のディストリビュータ

イグニションシステム (DIS) から、図2に示すような個別電子制御化によるディストリビュータレスイグニッションシステム (DLIS) へと移行してきた。この利点として、次に示すものなどがあり、トータルの車載性能の向上となる。

- (1) 点火タイミングの最適かつ高精度な制御を行うことができ、燃焼の効率化とそれに伴う低燃費化が可能である。
- (2) ディストリビュータやハイテンションコードを使用しないため、ディストリビュータとハイテンションコードの接点部にて発生するスパークによる焼損や、配線中でのエネルギー損失を減少できる。
- (3) 部品点数の減少により、信頼性向上やエンジンルーム内の省スペース化が図れる。

DLIS 適用のパワースイッチは、エンジン付近に設置されるため、高温、サージや振動などの厳しい環境となり、高耐熱性、高信頼性に加え、大電流を流せること、ECU (Electric Control Unit) からの駆動が容易であることなどが要求される。これらの要求に対し富士電機では、半導体メーカーのノウハウを生かし、パッケージ技術、信頼性技術に加えパワー半導体技術を用い、DLIS に対応するハイブリッド IC 型のイグナイタやワンチップイグナイタを製品化し、表1に示すように高機能化も図ってきた。また、エンジンルーム内の省スペース化に対応できるよう、図3の写真のようにイグナイタ自身の小型化も進めてきた。

図1 ディストリビュータイグニションシステム (DIS)

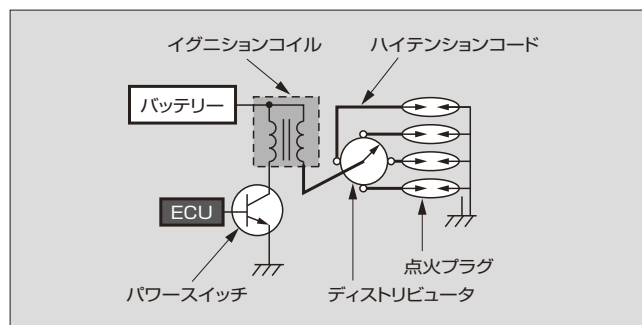
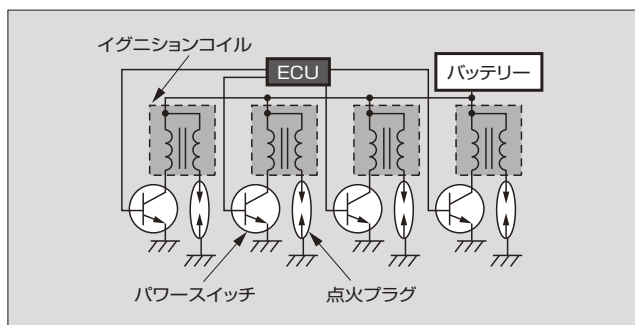


図2 ディストリビュータレスイグニションシステム (DLIS)



細川 英治

スマートパワーデバイスの開発・設計に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体事業本部自動車電装事業部電装技術部。



石井 憲一

パワー半導体チップの設計・開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体事業本部自動車電装事業部電装技術部。



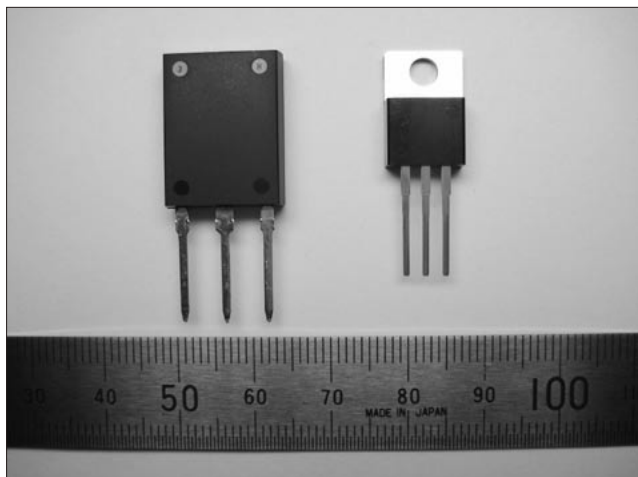
中村 浩

スマートパワーデバイスの開発・設計に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体事業本部自動車電装事業部電装技術部。

表1 イグナイタの高機能化

分類 項目	ハイブリッドIC型 のイグナイタ	ワンチップ イグナイタ
高電流	× (約7A)	○ (10A以上)
電圧制限	○	○
電流制限	○	○
過熱保護	×	○

図3 ハイブリッドIC型のイグナイタ (左) とワンチップイグナイタ (右) の外観



今後、自動車にはますます多くの電子部品が搭載されていくと予想されているが、電子部品は機械部品と比べて放射ノイズを発生する電磁妨害 (EMI: Electro Magnetic Interference), またはノイズの影響を受けやすい電磁感受性 (EMS: Electro Magnetic Susceptibility) という問題がある。そのため点火装置としては、従来の要求を満たし、さらに今まで以上の電磁妨害、電磁感受性を考慮した製品開発が必要となってきた。そこで今回、DLISに適用し、電磁妨害の改善として、放射ノイズを低減した自動車用ワンチップイグナイタを開発した。

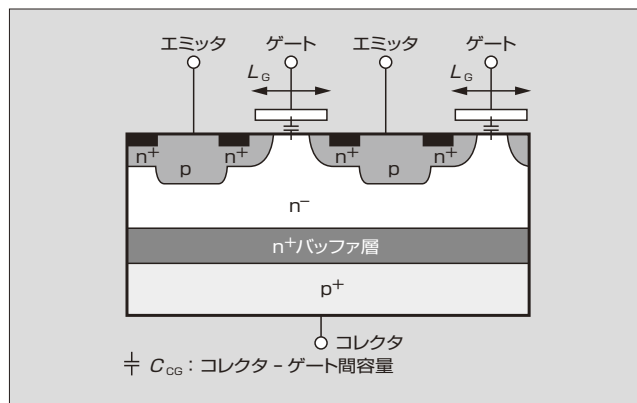
③ 特徴

今回開発した自動車用ワンチップイグナイタについては、現行量産品と同等の基本機能・性能を持たせたまま、下記の点を改善点として設計・開発を行った。

- (1) 電磁妨害の改善として放射ノイズの低減
- (2) 放射ノイズ低減策とトレードオフの関係にある特性への対応

以上の改善策として、図4に示すコレクター-ゲート間容量 (C_{CG}) を減少させるため、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) セル断面図内のゲート長 (L_G) を調整した。これにより、現行量産品と同等の基本機能・性能を持ち、放射ノイズを低減した自動車用ワンチップイグナイタとすることができた。

図4 IGBTセル断面図 (概略)



④ 基本機能・性能

4.1 放射ノイズの低減

点火装置からの電磁妨害、つまり放射ノイズは、エンジンの点火時や、パワースイッチがスイッチングするときに発生し、周辺機器に影響を与える原因となる。現行量産品の放射ノイズは、実用上問題ないが、今後の市場・顧客要求から、電磁妨害の改善として放射ノイズの低減を図った。

ワンチップイグナイタの回路を図5に示す。スイッチング時の放射ノイズは、IGBT部と内部回路の特性により発生する。そこで、スイッチングノイズの改善方法として一般的に用いられている、ドライブ回路に合わせたゲート容量の最適化を行った。具体的には、図4に示すIGBTセル断面図の、各 C_{CG} を減少させるため、IGBT各セルの L_G を変更し、最適範囲を求めた。 L_G と放射ノイズとの相関関係を図6に示す。 L_G を現行量産品の約0.8倍以下とすることで、放射ノイズがほとんど発生しなくなることを確認した。しかし、 L_G を短くしていくとある時点から $V_{CE(sat)}$ 特性が増加し、規格を満足しなくなる。そこで、 L_G の範囲を現行量産品の約0.6~0.8倍とすることで、放射ノイズがなく、現行とほぼ同じ $V_{CE(sat)}$ 特性を得られた。

4.2 電流制限機能

イグナイタはコイルを負荷としていることから、バッテリー電圧とコイルを含む配線のインピーダンスで決まる電流まで、コレクタ電流が流れることになる。負荷のコイルは直流抵抗成分が低いため、配線全体のインピーダンスは小さく、ECUからの信号が正常範囲内で長くなった場合は、大電流が流れることになる。そのため、システム、イグナイタ、コイルを保護するためには電流制限機能が不可欠である。

本製品の電流制限方法としては、メインIGBTに並列にセンスIGBTを接続した電流検出・制限方法を採用している。この電流検出方法は、メインIGBTに直列に電流検出用シャント抵抗を接続する方法に比べ、電圧降下が少ないため、 $V_{CE(sat)}$ を小さくすることが可能となり、発熱が

図5 ワンチップイグナイタの概略回路図

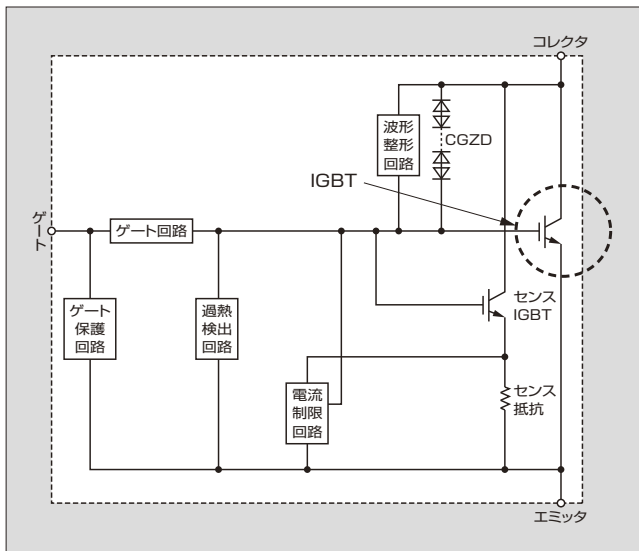
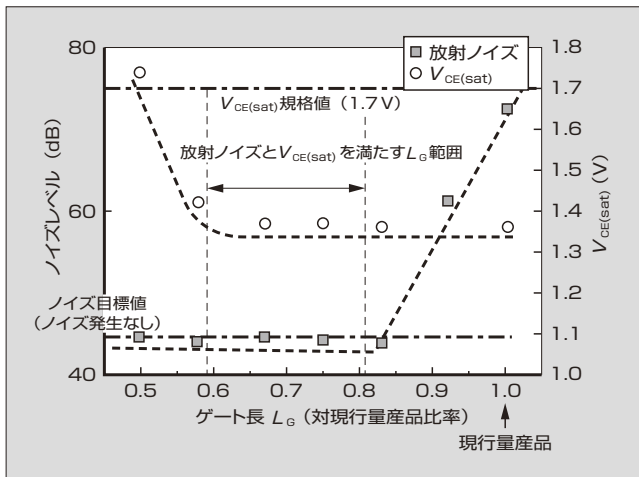


図6 放射ノイズ、 $V_{CE(sat)}$ とゲート長の相関関係(概略)



少なくコイル特性などに有利である。

また、電流制限開始時に発生するコレクタ-エミッタ間電圧のオーバシュート(コイル二次側に不要な電圧を発生させ、誤点火を引き起こす可能性がある)を抑えるため、富士電機独自の電流制限時の波形整形技術を採用している⁽¹⁾。

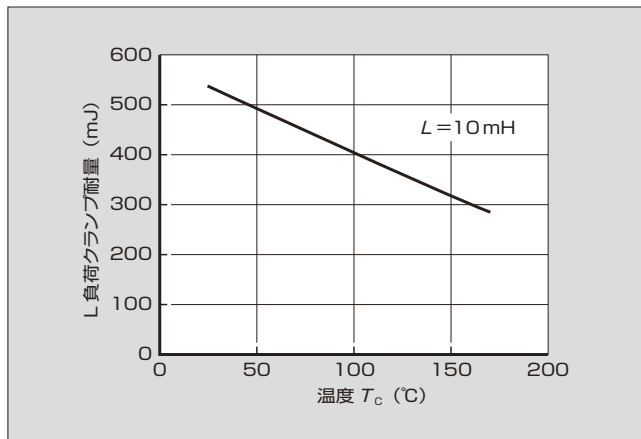
4.3 過熱検出機能

電流制限機能ではコレクタ-エミッタ間電圧を増加させることで電流を制限するため、イグナイタで消費される電力が増大する。何らかの原因で連続信号が入力された場合、チップ温度が上昇し、熱破壊に至ることが想定される。そこで、現行量産品と同様にチップ温度を常にモニタし、設定値を超える温度に達した場合にはコレクタ電流を強制的に遮断し、チップを熱破壊から保護する過熱検出機能^{(2),(3)}を持っている。

4.4 誘導性負荷クランプ耐量

点火装置において、何らかの原因で放電されなかった場合、イグニッションコイルの誘導性(L)負荷の特性として、

図7 L負荷クランプ耐量の温度依存性



コイルの二次側に蓄積されたエネルギーは、一次側のイグナイタで処理することとなる。このときのエネルギー量は、通常数十mJから100mJ程度までとなり、このL負荷クランプ耐量を実現するため、CBR(Collector Ballasting Resistor)技術を採用している。図4に示すように、薄いn+バッファ層がバラスト抵抗の役割をし、L負荷クランプ時にコレクタ電流の局部集中を緩和している。

図7に代表的なL負荷クランプ耐量の温度依存性を示す。現行量産品と同様に十分な耐量を確保している。^{(2),(3)}

4.5 電磁波ノイズ耐量

電磁波ノイズ耐量の評価として、TEMセル(電界200V/m,周波数帯域10MHz~1GHz)を使用して動作確認を行っており、電流制限機能、オンオフ機能、過熱検出保護機能は正常に動作することを確認している。

また、ゲート端子へのイグニッションコイルなどからのノイズ入力を想定して、ゲート-エミッタ端子間にESD(Electrostatic Discharge:静電気放電)サージ(150pF/150Ω,5~25kV)を印加し、各機能が正常に動作することを確認している。

5 あとがき

今回、現行量産品に比べ放射ノイズを低減させた自動車用ワンチップイグナイタを開発したので概要を紹介した。車載市場はよりワールドワイドに広がっていくことから、今後も市場・顧客の要求に応えられる製品を開発していく所存である。

参考文献

(1) Yoshida, K. et al. A Self-Isolated Intelligent IGBT for Driving Ignition Coils. Proceedings of the 10th ISPSD 1998. p.105-108.
 (2) 山本光俊ほか. 自動車用ワンチップイグナイタ(F6008L). 富士時報. vol.76, no.10, 2003, p.612-615.
 (3) 逸見徳幸ほか. 自動車用ワンチップイグナイタ. 富士時報. vol.78, no.4, 2005, p.273-276.