

CIVIC Hybrid 用小型インバータの開発

Development of Inverter for 2006 Model Year CIVIC Hybrid

大塚 浩*
Hiroshi OHTSUKA

安楽 文雄*
Fumio ANRAKU

塚田 能成**
Yoshinari TSUKADA

要 旨

CIVIC Hybrid 用 Integrated Motor Assist (IMA) システムのインバータは、従来型よりも高出力かつ小型化を目標として開発した。高出力化は、C-Cu基板の採用により放熱性能向上をねらい、従来比6%の最大出力電流向上を達成した。小型化は、Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) ゲートのトレンチ構造化及び素子厚さ低減、ダイオードの分散配置、薄膜フィルムコンデンサの採用、モータ制御部品及び構造部品の統合化により、従来比47%の容積低減、25%の重量低減を達成した。

ABSTRACT

Our goals in developing the inverter used in the CIVIC Hybrid Integrated Motor Assist (IMA) system were to reduce size and increase power. To increase the power, a C-Cu substrate was used to increase heat diffusion, resulting in a 6% rise at maximum power current compared with the former model. Several different technologies have been employed to reduce the size of the unit: A trench structure was used in the insulated gate bipolar transistor (IGBT) gates, the thickness of the chips was reduced, the diodes were spread out, a thin film capacitor was used and the control components of the motor and structural components were integrated. These changes resulted in a reduction of 47% in volume and 25% in weight compared with the former model.

1. まえがき

今回 CIVIC Hybrid のフルモデルチェンジにあたり、インバータのさらなる性能向上のため、Honda 内製インバータの開発をおこなった。インバータはFig. 1に示すように、リアシート背面に搭載されたIntelligent Power Unit (IPU)内

Power Control Unit (PCU)に内蔵され、モータとバッテリー間電力変換の役割を担う。車両の動力性能、燃費、商品性の向上を達成するため、インバータを始めIPU 部品の出力向上及び小型化を追求した。本稿ではインバータの高出力化、小型化技術について述べる。

2. 高出力化技術

インバータの最大出力電流はパワー半導体素子(以下素子)の耐熱温度により決定される。本開発ではパワーモジュール基板の放熱性能を向上することにより素子の温度上昇を低減させ、素子の最大電流値を向上させる手法を実施した。

2.1. 高放熱パワーモジュール基板

パワーモジュール基板は、放熱、絶縁、素子の固定、電気通電の機能を持ち、放熱性能が素子の温度上昇に影響する。

車両走行条件における素子の温度上昇が厳しくなる状態は、エンジン始動時等の過渡的な発熱及び連続走行時の定常的な発熱である。過渡的な発熱の場合、素子の温度上昇は

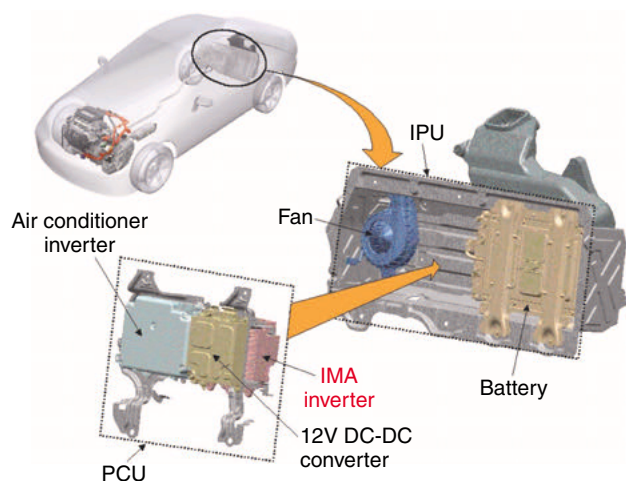


Fig. 1 Layout of IMA inverter

* 栃木研究所

**ホンダエンジニアリング株式会社

素子直下部材の熱容量と熱伝導率が支配的である。Fig. 2 上図に示すように従来のパワーモジュール基板構造は、Direct Brazed Aluminum (DBA) 基板及び放熱板から構成され、ハンダにて接続されている。素子直下の DBA 基板の構造は上層より Al, AlN, Al となっており、Al の厚さは薄く熱容量は小さい。仮に上層部の Al を厚くし熱容量を大きくした場合、素子とパワーモジュール基板を接合しているハンダ部にクラックが発生しやすくなる。これは Si を材質とする素子やセラミックである AlN に対し、Al の熱膨張率が大きく、ハンダ部にかかる応力は Al の厚さが増すほど高くなるためである。開発したパワーモジュール基板は、Fig. 2 下図に示すように上層より C-Cu、絶縁材、放熱板となっている。C-Cu は多孔質カーボン基材に Cu を含浸させた複合材であり、Cu 同等の熱伝導率と Si 同等の熱膨張率特性をもつ。厚い C-Cu を素子直下に配置することにより、ハンダ部の応力低減と高熱容量の両立が可能となる。以上により、Fig. 3 に示すように素子発熱は C-Cu へ分散され、Fig. 4 に示すように同一素子面積において過渡熱抵抗を低減している。エンジン始動時の A ポイントにおいては従来構造比 13% の過渡熱抵抗低減を達成している。

定常的な発熱の場合、素子の温度上昇は素子から熱交換

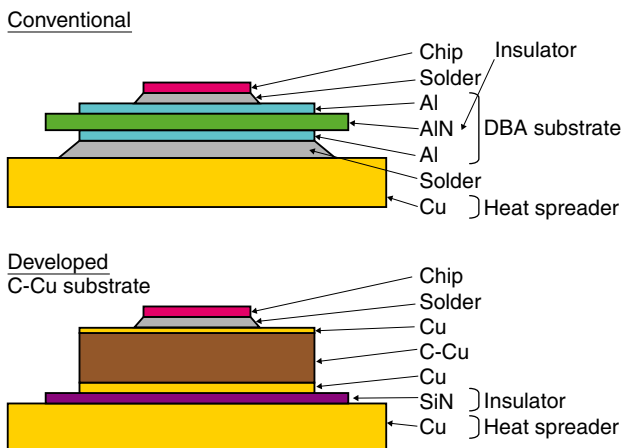


Fig. 2 Structure of power module substrate

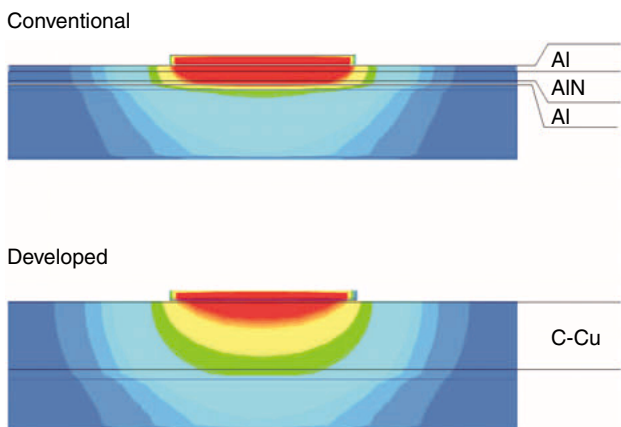


Fig. 3 Thermal simulation of transient conduction of heat

をおこなうヒートシンクまでの放熱性能が支配的である。パワーモジュール基板における放熱性能は、素子から放熱板までの熱伝導率、距離及び放熱面積により決定され、熱抵抗として表すことができる式(1)に熱抵抗の式を示す。

$$R = \frac{L}{kA} \quad (1)$$

Rは熱抵抗、Lは厚さ、kは熱伝導率、Aは面積を示す。一つの部材で考えた場合、熱抵抗を下げる方法は高熱伝導部材を使用し、熱通過面積を広くし、厚さを薄くすることである。ただしパワーモジュール基板は複数材料からなる多層基板構造であり、熱伝導率の低い部材までに熱拡散をおこない、熱通過面積を広くした方がパワーモジュール基板全体の熱抵抗が下がる。本開発では Fig. 5 に示すように熱伝導率の高い C-Cu 部を厚くして熱拡散をおこなうことで、熱伝導率の低い絶縁材の熱通過面積を広くしている。絶縁材には強度の高い SiN を選定し、薄型化を図っている。また、C-Cu、絶縁材、放熱板をロウ付けにて一体結合することにより、熱伝導率の低いハンダを廃止している。以上により、Fig. 6 に示すように同一素子面積において、従来構造比 22% の定常熱抵抗の低減を達成している。

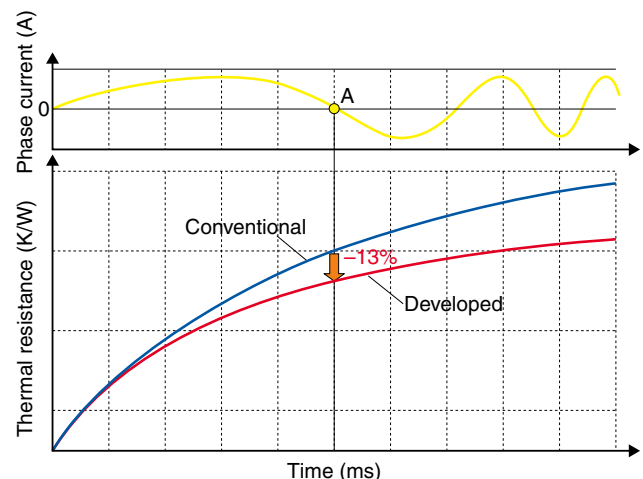


Fig. 4 Transient thermal resistance

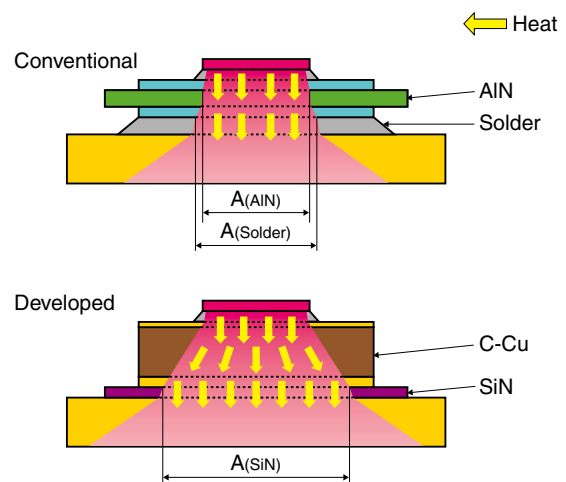


Fig. 5 Thermal diffusion

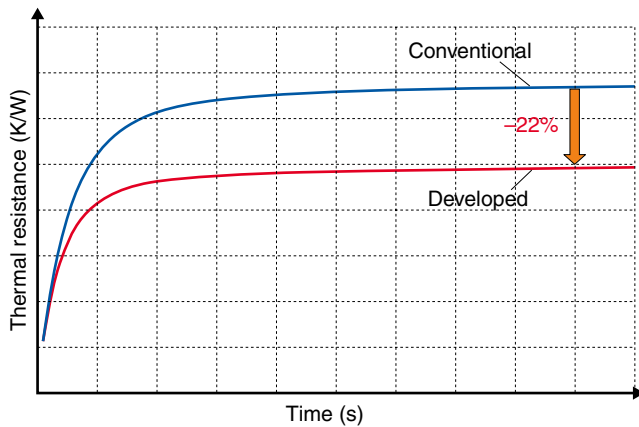


Fig. 6 Stationary thermal resistance

3. 小型化技術

インバータ及びモータ制御機能部品を Fig. 7 に示す。小型化を実施するにあたり着目した点は部品の統合である。従来まではインバータ等個々の小型化は実施してきたが、さらなる小型化のため、モータ制御機能部品及びインバータ周辺機構部品の統合を図るとともに接続部品の削減を実施した。

3.1. IGBT

本インバータではスイッチング素子として、高電力高速スイッチングが可能な IGBT を採用している。IGBT は主通電部が pnp 型バイポーラトランジスタ構造、ゲート部が Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOS FET) 構造となっており、パワー MOS FET の電圧駆動形での高速スイッチング特性とバイポーラトランジスタの高電圧・大電流スイッチング特性をもつ。

採用した IGBT ではセルの微細化、キャリア蓄積技術、素子の薄型化の手法を用いて、単位面積当りの損失を低減し、素子を小型化している。IGBT の構造図を Fig. 8 に示す。ゲートを素子表面に形成する従来のプレーナゲート構造においてセルの微細化をおこなった場合、空乏層の広がり

によって電流経路が狭くなり、オン抵抗が急増する。採用した IGBT では、ゲート構造を素子表面から内部に幅狭の深い溝を掘り、その側面にゲートを形成するトレンチゲート構造を採用することによりオン抵抗増加を防ぎ、セルの微細化を実施している。

また、ゲートを異間隔に配置し、ゲート間隔の広い方に絶縁膜を配することにより N 層にキャリア蓄積領域を設け、モジュレーション効果を向上している⁽¹⁾。このトレンチゲート構造の採用と素子の薄型化による比抵抗の低減により単位面積当りのオン抵抗を低減し、従来比 46% の素子面積低減を達成している。

トレンチ構造では短絡時の飽和電流増加による短絡耐量の低下及びゲート入力容量の増加によるスイッチング時間の遅れと駆動損失の増大というデメリットを生じる。採用した IGBT ではゲート間隔を部分的に広げることにより MOS 部の面積を低減し、プレーナゲート並みの飽和電流の抑制と入力容量の低減をおこなっている。

3.2. ダイオード

Fig. 9 に示すように従来の 1 チップ配置に対し、放熱性能向上のため 2 チップ配置とし熱の分散を実施した。チップ分散配置により、同一素子面積において 50% の熱抵抗低減が図れ、従来比 44% の素子面積低減を達成している。

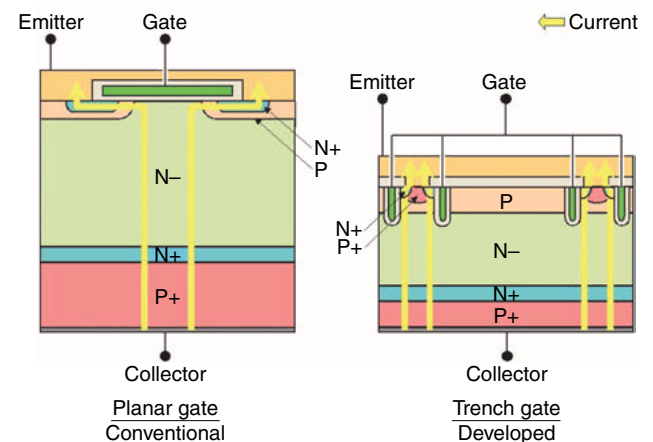


Fig. 8 Structure of IGBT

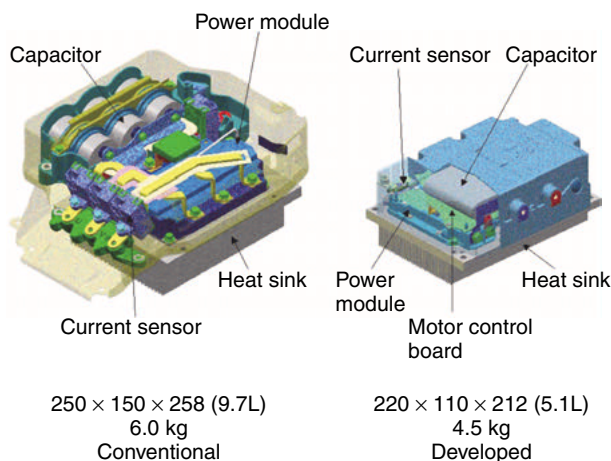


Fig. 7 Inverter configuration

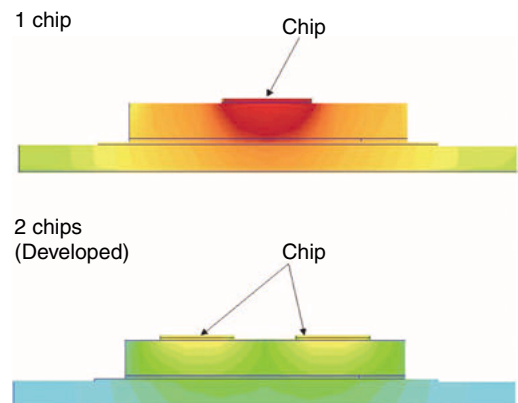


Fig. 9 Thermal simulation of conduction of heat

3.3. コンデンサ

コンデンサを小型化するために、静電容量の低減を検討した。通常IMAコンタクトは通電停止状態でのみ切り離されるが、IMA システムの異常発生時には Fig. 10 に示すように回生中に IMA コンタクトが切り離される場合があり、インバータ端子電圧が急峻に上昇する⁽²⁾。静電容量は電圧平滑だけでなく、この電圧上昇に影響し、静電容量を低減すると電圧上昇時間が早くなる。本インバータでは、過電圧保護の応答時間を従来比 90%短縮することにより、静電容量の低減を実施している。

従来の電解コンデンサは静電容量は大きい、電解液等による等価直列抵抗(ESR)が大きいため、リップル電流による発熱が大きい。Fig. 11 に示すように許容リップル電流と静電容量は比例関係にあり、電解コンデンサは静電容量を低減した際、許容リップル電流が車両の要求値を満足できず、従来からの小型化は実施できない。これに対しフィルムコンデンサは、静電容量は小さくなるが、ESR が低いため許容リップル電流が高いという特徴をもつ。本インバータでは車両用平滑コンデンサとして最小膜厚のフィルムコンデンサを採用し、Fig. 12 に示すようにコンデンサ素子形状を扁平型とすることにより従来比 40%の容積低減を達成している。

3.4. モータ制御機能及び電流センサの内蔵

インバータ周辺部品のブロック図を Fig. 13 に示す。従

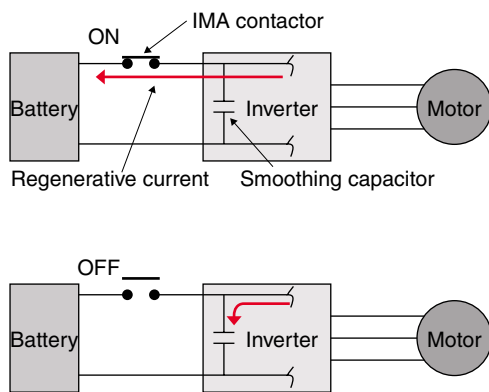


Fig. 10 IMA system diagram

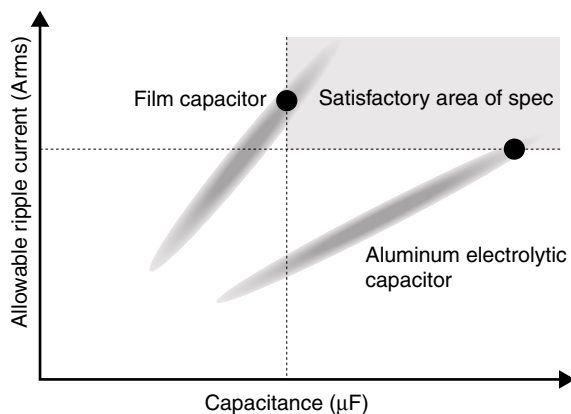


Fig. 11 Comparison of capacitor characteristics

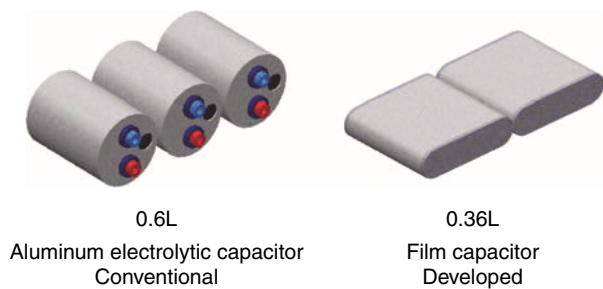
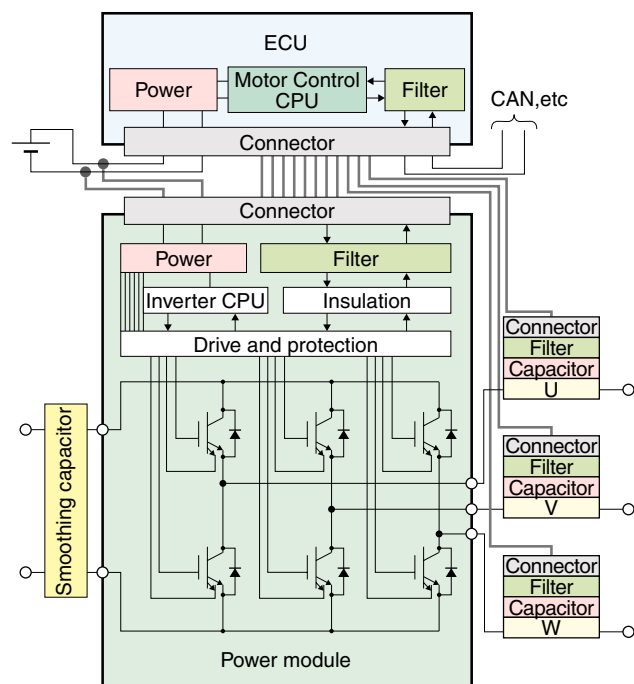


Fig. 12 Comparison of capacitor

Conventional



Developed

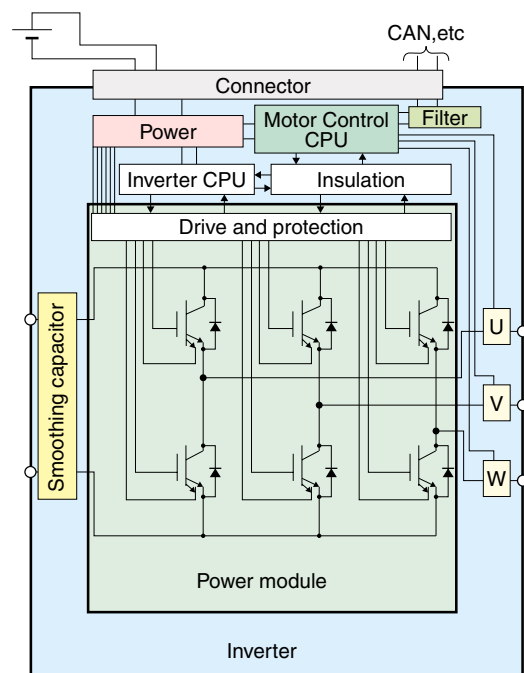


Fig. 13 Block diagram of inverter and peripheral parts

来のECUはモータ制御機能、バッテリー制御機能、冷却制御機能が一体となっており、ECUとモータ制御機能部品間を多くのハーネスで接続していた。今回システム部品の簡略化を図るため、モータ制御機能及び電流センサをインバータ内部に搭載し、他ECUとインバータ間はCANによる接続を実施した。これによりハーネス及びインターフェース回路の削減、電源、フィルタの共用化を実施している。

インバータの内部構成図を Fig. 14 に示す。ゲートドライブ基板、モータ制御基板、電流センサ基板間接続を従来のコネクタ接続からピン端子接続への変更をおこない、コネクタ及びハーネスの削減を実施している。

ゲートドライブ基板とモータ制御基板間の接続構造を Fig. 15 に示す。ピン端子 ASSY は固定ハウジング、可動ハウジング、ピン端子から構成され、組立時のゲートドライブ基板とモータ制御基板との位置ズレを可動ハウジングによって矯正し、ピン端子をモータ制御基板に挿入する構造としている。

モータ制御基板と電流センサ基板間の接続構造を Fig. 16 に示す。ピン端子は直接電流センサに設けられ、モータ制御基板にハンダにて接続される。組立時のモータ制御基板と電流センサ基板との位置ズレは、モータ制御基板側に設けられているピンガイドによりピン端子位置が矯正される。電流センサ容積はモータ制御基板との電源、フィルタ共用化を合わせ、従来比 73%の容積低減を達成している。

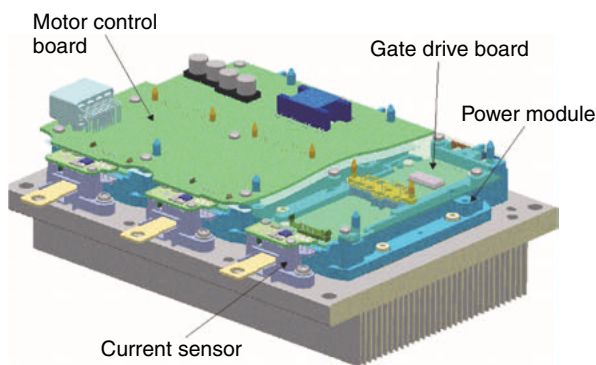


Fig. 14 Interior of inverter

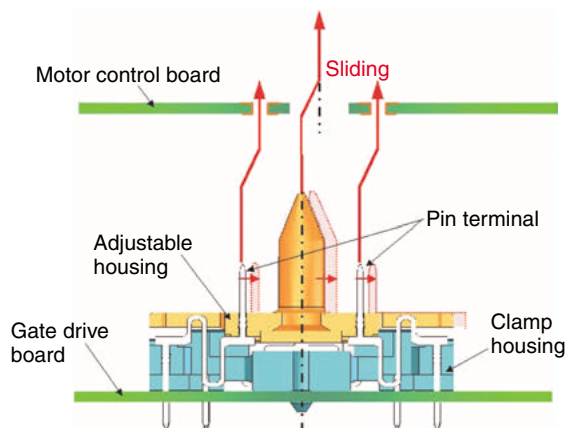


Fig. 15 Structure of pin terminal

3.5. 機構部品統合

各部品間電気接続及び部品固定の統合化のため、コンデンサユニットへの機能統合を実施した。コンデンサユニットの構成図を Fig. 17 に示す。従来のインバータカバーにコンデンサ及びノイズフィルタを固定し、同一のバスバーにて接続している。ノイズフィルタのグランドバスバーはコンデンサユニット固定部まで延長し、コンデンサユニット固定と同時にグランド接続をする構造としている。また、インバータカバーに入力端子台及び出力端子台構造を持たせ、インバータ出力バスバーを延長することにより、従来の出力バスバーを廃止している。以上により、Fig. 18に示すような部品点数削減を達成している。

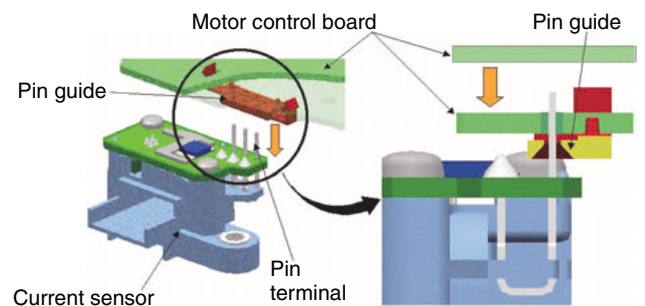


Fig. 16 Configuration of pin terminal

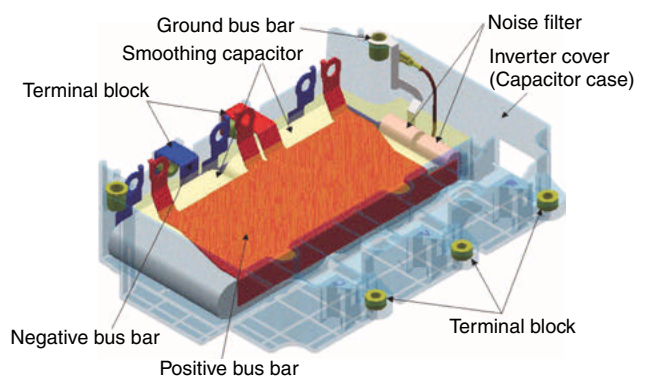


Fig. 17 Configuration of complete capacitor

Conventional

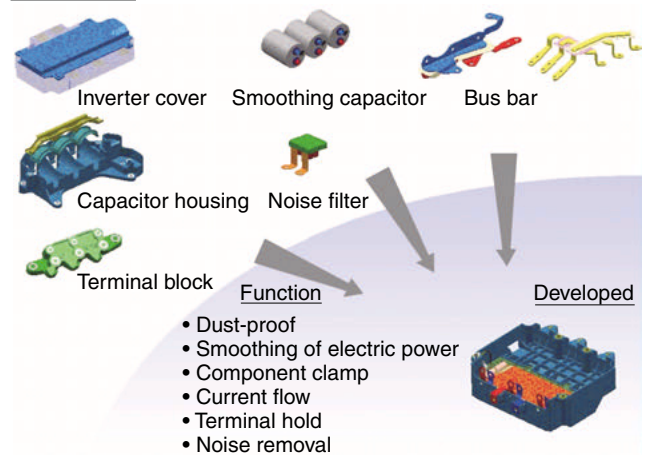


Fig. 18 Integration of capacitor components

4. まとめ

新型 CIVIC Hybrid 用インバータ開発にあたり、従来インバータに対し下記項目を達成した。

- (1)高放熱 C-Cu 基板採用によるインバータ最大出力電流 6%向上
- (2)IGBTゲートトレンチ化及び素子薄型化によるIGBT素子面積 46%低減
- (3)ダイオード分散配置によるダイオード素子面積 44%低減
- (4)薄型扁平フィルムコンデンサ採用によるコンデンサ容積 40%低減
- (5)モータ制御機能及び電流センサのインバータ内蔵によるコネクタ及びハーネスの廃止、基板実装部品の低減、電流センサ容積 73%低減
- (6)機能部品統合による部品点数削減

この結果、インバータ全体で最大出力電流値 6%向上、インバータ容積 47%低減、インバータ重量 25%低減し目標値を達成した。インバータの高出力化及び小型化技術は、Honda IMA システムの動力性能、燃費、商品性の向上に貢献した。

参考文献

- (1) Oyama,K., Kohno,Y., Sakano,J., Uruno,J., Ishizaka,K., Kawase,D., Mori,M., Hitachi Research Laboratory, Hitachi Ltd.: Novel 600-V Trench High-Conductivity IGBT (Trench HiGT) with short-Circuit Capability
- (2) Yusaku,N., Kosaka,H.: Development of intelligent Power Unit for the V6 Hybrid Midsized Sedan, SAE, 2005-01-0275

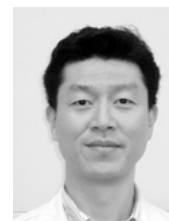
■著 者■



大塚 浩



安楽 文雄



塚田 能成