

新型インサイト用 Power Control Unit の開発

Development of Power Control Unit for 2009 Model Year INSIGHT

檀 上 靖 之*
Yasuyuki DANJO

深 津 友 博*
Tomohiro FUKAZU

要 旨

新型インサイト用Integrated Motor Assist(IMA)システムのPower Control Unit(PCU)は、リヤ荷室床下に配置するレイアウトのため、小型、低背、軽量を目標として開発した。PCUを構成するDC-DCコンバータとインバータを隣接させることにより搭載面積を低減すると共に、DC-DCコンバータ入力フィルタの廃止と端子台の削減が可能となり、小型化、低コスト化を実現した。DC-DCコンバータはメイントランス巻き線の一部を基板パターン化することで全高を抑え、PCUの低背化に寄与している。インバータは平滑コンデンサの静電容量半減による小型化、低コスト化に加え、Transfer-molded Power Module (TPM)の内部配線をビームリードとしDirect Lead Bonding(DLB)接続とすることで工程を簡略化でき、コスト低減を可能とした。

ABSTRACT

A Power Control Unit (PCU) has been developed for the Integrated Motor Assist (IMA) system employed in the new model INSIGHT. The development aimed to reduce the overall size, height, and weight of the PCU in order to realize a layout that positioned it under the floor of the rear trunk. Contiguous positioning of the DC-DC converter and the inverter in the PCU has reduced the area required for mounting the unit, in addition to enabling the DC-DC converter input filter to be removed and the number of terminals reduced. This has contributed to the realization of size and cost reductions. The total height of the DC-DC converter has been reduced through the use of copper wire printed on a substrate for part of the main transformer winding wire, contributing to the reduced height of the PCU. The use of a smoothing capacitor with the electrostatic capacity reduced by half enabled reductions in size and cost. In addition, the use of beam leads for the internal wiring of the transfer-molded power module (TPM), together with connections made by direct lead bonding (DLB), enabled the production process to be simplified and costs reduced.

1. まえがき

今日、地球温暖化の原因となる温室効果ガス低減のため、自動車の排気ガス中に含まれるCO₂削減、燃費向上技術に対する要望はさらなる高まりを見せている。その課題のひとつの対策手法としてハイブリッドシステムが存在し、Hondaは独自に開発したIMAシステムを初代インサイト、シビックハイブリッド、アコードハイブリッドに搭載してきた。従来のガソリン車に比べて燃料消費量が少ないIMAが本格的に普及すればCO₂削減効果が期待できる。そのためには低コスト化と同時に商品性の向上が必須であり、その要望に応えるPCUの開発が求められた。

*四輪開発センター

IMAを構成するユニットのうち電力変換を担うPCUに採用した、商品性向上(小型化、軽量化)と低コスト化の技術について以下に述べる。

2. 開発のねらい

初代インサイト、シビックハイブリッド、アコードハイブリッドに搭載されたIMAシステムは、燃費性能を軸に開発を進め進化を続けてきた。初代インサイトを除き4ドアセダンのボデー形状を持ち、Intelligent Power Unit(IPU)はリヤシートの背もたれ裏に搭載されている。IPUはその構成上貫通穴を設けることができずトランクスルーができな

いため、従来のIMA搭載車では長尺物の搭載には対応できなかった。

新型インサイトに搭載した IMA の IPU は、ミドルサイズの 5 ドアハッチバックというボデー形状とリヤシート背もたれの分割可倒レイアウトを実現するために、従来の IMA の技術をベースとしつつ可能な限り小型化、軽量化を図り、荷室床下に搭載する必要があった (Fig. 1)。

また、小型、軽量化と共に PCU の低コスト化を目標とし、開発をおこなった。

PCU は内部レイアウト最適化と部品共用化、インバータと DC-DC コンバータはそれぞれ新構造を採用することで小型、軽量、低コスト化をねらった。

Fig. 2 は IPU の外観であり、Fig. 2(a) は従来構造、Fig. 2(b) は新構造である。

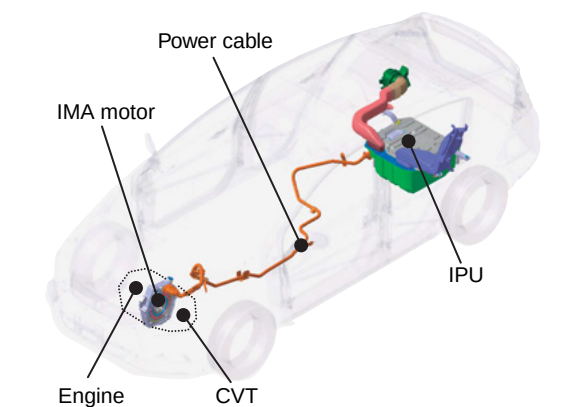


Fig. 1 Configuration of IPU

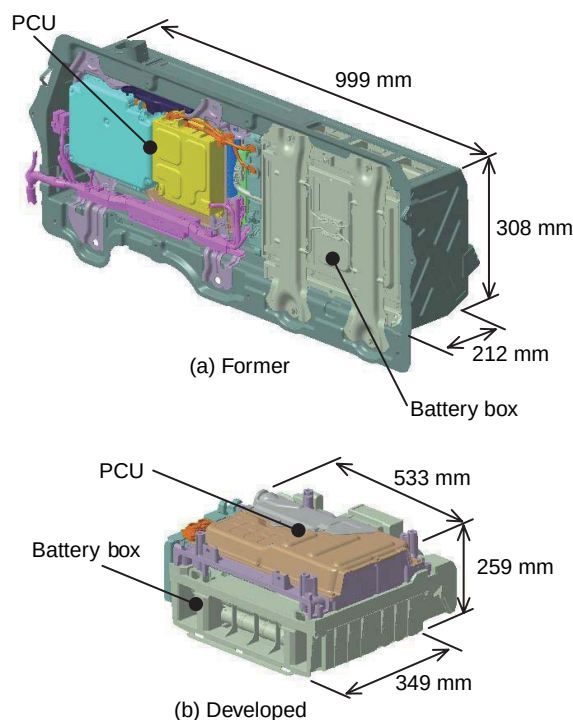


Fig. 2 Comparison of IPU

3. 小型化、低コスト化技術

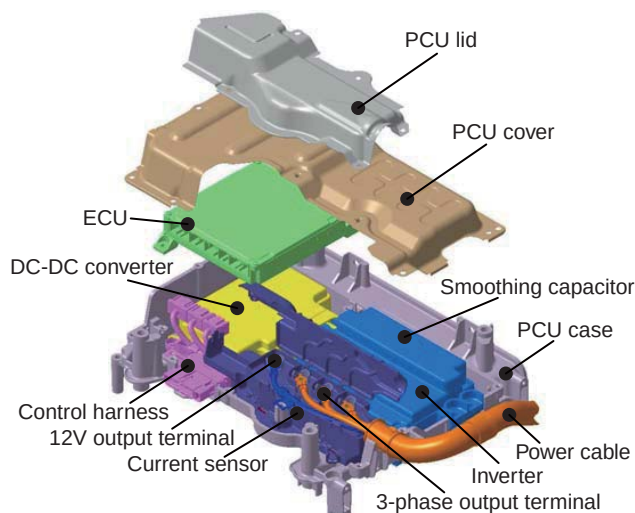
3.1. PCU 構造

PCU は、インバータ、DC-DC コンバータ、ECU、電流センサ、およびこれらを接続する制御ハーネスで構成されており、IMA システムの高電圧バッテリーとモータ間の電力変換制御および、12V 負荷電力を供給する役目をもつと同時に、電磁波シールド構造と配電構造が必要となる。

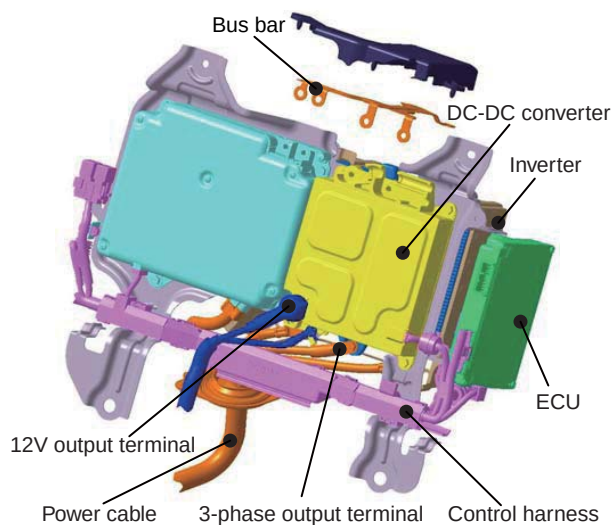
Fig. 3 は PCU の外観であり、Fig. 3(a) は新構造、Fig. 3(b) は従来構造である。

3.1.1. 電磁波シールド構造

高電圧スイッチング回路を内蔵している PCU は、スイッチングノイズが車両に影響を与える可能性があり、電磁波シールドが必要となる。そのため従来の PCU はインバー



(a) Developed



(b) Former

Fig. 3 Comparison of PCU

タ、DC-DC コンバータ、ECU それぞれが個別の金属筐体に収められていた [Fig. 3(b)].

今回開発した PCU は、PCU ケースと PCU カバーにより一括シールドされ、インバータ、DC-DCコンバータ、ECU が発生するスイッチングノイズの伝播や放射を抑制する構造とした。これによりインバータ、DC-DCコンバータのカバーを最小限の樹脂にすることができ、小型化と軽量化に寄与している。

また、モータケーブルと 12V 出力ケーブルをアルミパイプに内蔵したパワーケーブルの採用により、パワーケーブルのシールドと PCU カバー、PCU ケースを電氣的に接続することができ、IMA の高電圧ユニットをトータルでシールドする構造を簡易で低いコストで実現することが可能となった [Fig. 3(a)].

3.1.2. 配電構造

PCU 構成部品のなかで高電圧バッテリーからの電力を供給されるユニットは、インバータと DC-DC コンバータである。従来構造ではインバータと DC-DC コンバータが向かい合わせに配置され、それぞれの高電圧入力部を接続するバスバーが必要であった [Fig. 3(b)]. 新構造の PCU では DC-DCコンバータをインバータに隣接配置し、電力を供給する構造としたことで、DC-DCコンバータ入力バスバーを削減するとともに、インバータの平滑コンデンサを利用して、DC-DCコンバータのフィルタコンデンサ容量を削減した。これにより PCU の小型化と低コスト化をおこなった [Fig. 3(a)].

また、従来の 3 相出力、12V 出力の出力端子台は、インバータ、DC-DC コンバータがそれぞれ独自に持っており、ケーブルの接続と通線には広い面積を必要とした [Fig. 3(b)]. これに対し新構造の PCU では電流センサに出力端子台機能を付加したことで、インバータの三相交流出力と DC-DC コンバータの 12V 出力をコンパクトにまとめることができ、小型化と前述のシールド構造の低コスト化に寄与している [Fig. 3(a)].

これらの技術により PCU の底面積をバッテリーボックスの上方投影面積内に収めることが可能となり、IPU を車体のサイドフレーム間に収め荷室床下への搭載を実現した。これによって 5 ドアハッチバックというボデー形状を実現した。

3.2. インバータ

IMA システムでは、DC ブラシレスモータを駆動するためにインバータを搭載しており、高電圧 DC と 3 相 AC の電力変換をおこなっている。インバータの基本構成は、高電圧、大電流をスイッチングするパワー半導体モジュール、スイッチング制御、保護機能、通信機能を有する制御基板、高電圧入力部の平滑を担う平滑コンデンサ、インサートモールドバスバーによる高電圧配線部ケース、ヒートシンク、カ

パーからなっている。従来のインバータと開発したインバータの外形比較を Fig. 4 に示す。

3.2.1. インバータ平滑コンデンサ容量削減

インバータは、DC 入力電圧、電流の変動を低減するために平滑コンデンサを搭載している。

平滑コンデンサの静電容量はシステム異常時の電圧上昇速度にも影響し、静電容量を削減するには保護の応答時間を短縮する必要がある。本インバータでは応答時間を従来比 27% 短縮することで、従来比 50% の静電容量削減と低コスト化を実現した。

素子の材料には薄膜ポリプロピレンフィルムを採用しコンデンサ単体の 45% 小型化、軽量化に寄与している。従来品と本開発品のコンデンサを Fig. 5 に示す。

3.2.2. TPM 内部配線の DLB 構造

Fig. 6 はインバータのパワー半導体モジュールの外観であり、Fig. 6(a) は従来構造、Fig. 6(b) は新構造である。パワー半導体モジュールは、3 相のうちの 1 相分を 1 パッケージにした TPM 構造を採用している。

TPM 内部にはパワー素子 (IGBT, ダイオード)、絶縁基板、バスバーを収納しており、パワー素子とバスバーを電氣的に接続するために、DLB 構造を採用している Fig. 6(b)。従来構造ではパワー素子とバスバーの接続にワイヤボンディングを用いており Fig. 6(a)、パワー半導体モジュール製造工程で大きな割合を占めていた部分である。DLB はこの工程の簡略化を実現しコストダウンを可能とする手法である^{(1), (2)}。

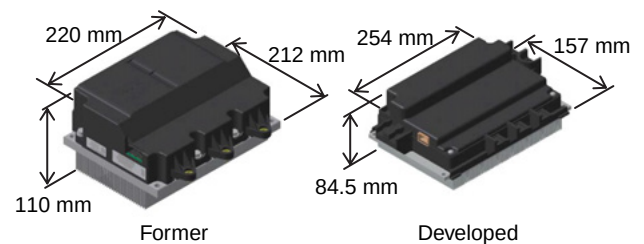


Fig. 4 Comparison of inverter

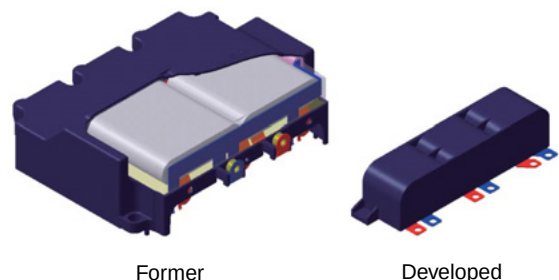


Fig. 5 Comparison of capacitor

3.2.3. パワー素子の許容接合温度の高温化

パワー素子は通電電流による発熱で接合温度が上昇し、許容温度を超えると破損する。温度上昇を小さくするには素子面積を拡大することで解決できるが、コストに影響するため素子面積は可能な限り小さくしたい。

本開発品では前述の DLB 化による信頼性向上の効果により許容接合温度を17%引き上げることに成功し、従来と同じ素子面積で通電電流 38%増加に対応可能とした。

上記の技術により、パワー半導体モジュール容積を60%低減した。

3.3. DC-DC コンバータ

IMA システム搭載車は、12V 補機負荷の電源供給に DC-DC コンバータを用いており、高電圧のスイッチング素子、トランス、整流ダイオード、チョーク、フィルタ、接続バスバー、ヒートシンク、および制御基板で構成されている。

従来のコンバータと開発したコンバータの外形比較を Fig. 7 に示す。

3.3.1. トランス巻き線構造

Fig. 8 はトランスの外観であり、Fig. 8(a) は従来構造、Fig. 8(b) は新構造である。

従来の一次巻き線は Fig. 8(a) のように、銅線をボビンに巻きつける単芯銅巻き線構造であった。このため、電氣的接続は端子を用いたねじ止め構造となり、プリント基板上の回路部品のはんだ付け工程とは異なる接続工程が必要であり、製造工程が複雑化していた。新構造の一次巻き線は Fig. 8(b) のように、プリント基板の各層に設けられた2ターン

分のコイル状導体パターンと3ターン分の銅板金で構成されている。これにより電氣的接続はプリント基板上の回路部品と同一のはんだ付け工程でおこなうことが可能になり、製造工程簡略化によるコストダウンを実現した⁽³⁾。

また、従来構造では一次巻き線を必要巻き数確保すると全高が高くなってしまったが、新構造ではプリント基板になるため、DC-DC コンバータの低背化にも寄与している。

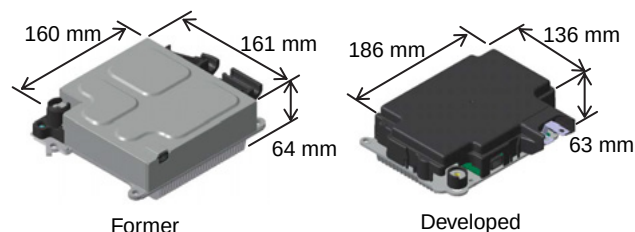
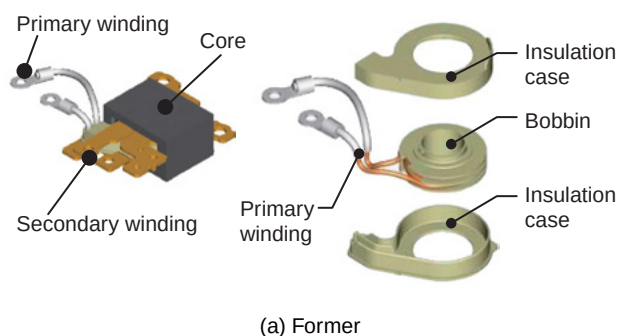
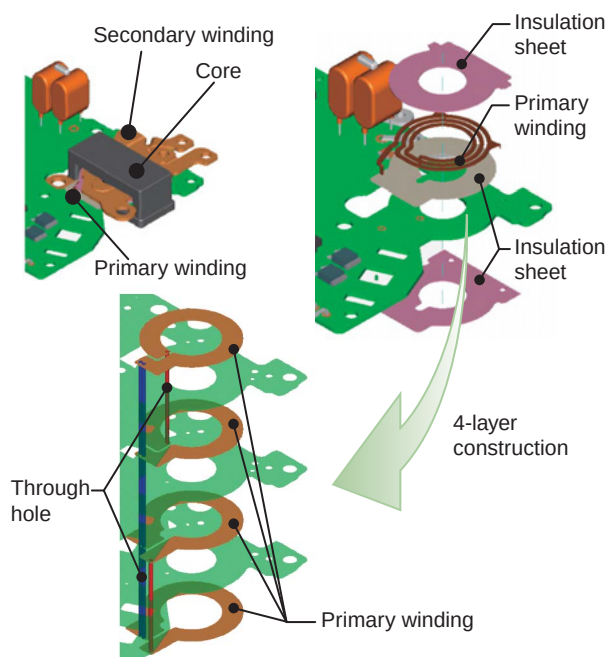


Fig. 7 Comparison of DC-DC converter



(a) Former



(b) Developed

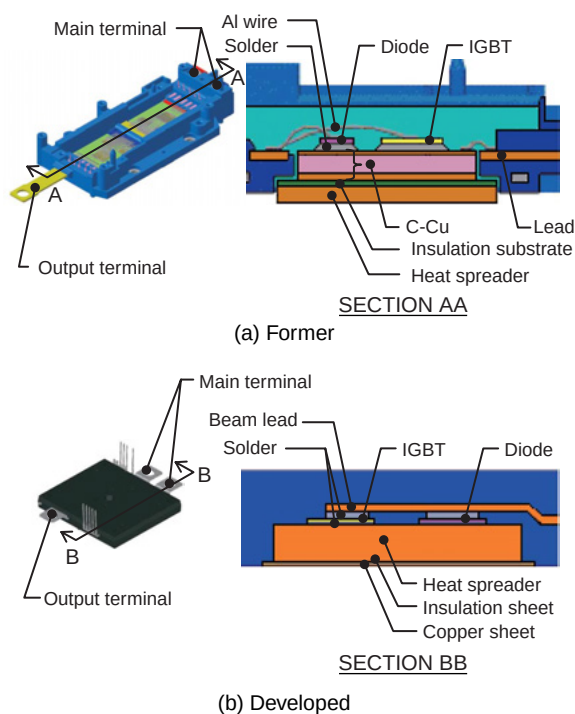


Fig. 6 Comparison of power module

Fig. 8 Comparison of transformer

3.3.2. 高電圧入力部のフィルタ回路削減

従来の DC-DC コンバータは高電圧入力部の外乱ノイズを軽減するために Fig. 9 に示すフィルタ回路を搭載していた。本開発では、PCU ケース内の DC-DC コンバータの配置を最適化することにより入力部のフェライトコアフィルタ、Y コンデンサを削除し、DC-DC コンバータ入力フィルタコンデンサの静電容量を、従来比 60%削減した。

3.3.3. 効率向上

燃費性能達成のためには PCU ユニット小型化による電力変換効率の低下を防ぐ必要があり、電力変換部のデバイスと回路の高効率化も重要な要因である。

従来は低耐圧で低損失の整流ダイオードを使用するために、2次側に共振スナバ回路を設けていたが、本開発品は1次側のスイッチングによるサージ電圧を抑制する回路に変更したことで、さらに低損失の整流ダイオードを採用することができた。これにより常用使用領域の効率を0.5%から1%改善した。損失を低減したことでヒートシンクの30%軽量化にも寄与している。効率比較を Fig. 10 に示す。

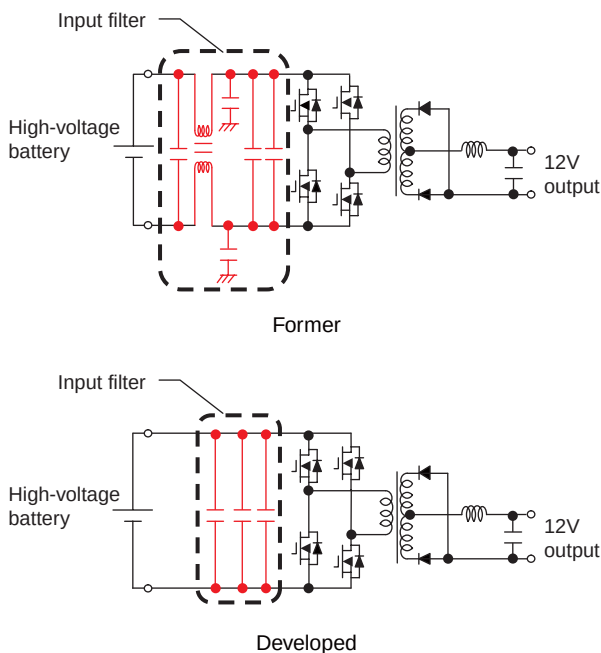


Fig. 9 Comparison of input filter

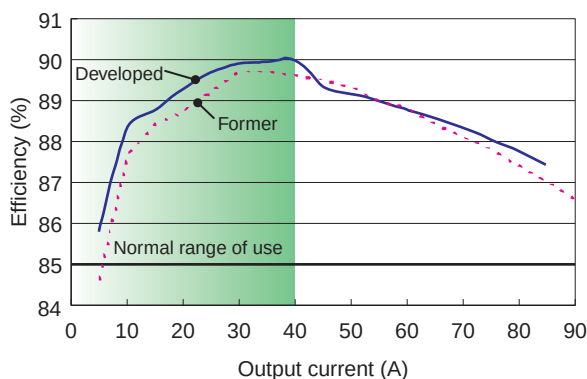


Fig. 10 Comparison of conversion efficiency

これらの技術により、DC-DCコンバータを、従来と比較して重量 46%、容積 3%削減を実現した。

4. まとめ

新型インサイト用 PCU 開発にあたり、従来 PCU に対して下記項目を達成した。

- (1)インバータは、過電圧検知の高速化を図ることで、平滑コンデンサ容量を 50%削減した。また、配線 DLB 化、パワー素子接合部許容温度の17%引き上げをおこない、効率を犠牲にすることなく、パワー半導体モジュール容積を 60%低減した。その結果、重量を 36%、容積を 35%低減した。
- (2)DC-DCコンバータは、トランス巻き線を部分的に基板化することと低損失整流ダイオードの採用、PCU内部最適配置による入力フィルタ削減で、重量を46%、容積を3%低減した。
- (3)PCUでは電磁波シールド構造と配電構造の最適化、インバータでは平滑コンデンサ静電容量削減と DLB 構造の採用、DC-DCコンバータでは新構造トランス巻き線構造の採用、入力フィルタの削減によりコスト低減を可能とした。

この結果、PCU 全体として低背化 41%、軽量化 31%、容積小型化 10%を達成した。

参考文献

- (1)大塚浩, 安楽文雄, 塚田能成: CIVIC Hybrid 用小型インバータの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.18, No.1, p.22-27
- (2)片岡正行, マジウムダールゴーラフ: 新デバイスで拓くパワーエレクトロニクス, 三菱電機技報, Vol.81, No.5, p.308-312(2007)
- (3)特開 2008-4823

■ 著 者 ■



檀上 靖之



深津 友博