



PHEV/EV用給電コンバータの開発

廣田将義*・馬場 猛・鄭 曙光
 二井和彦・大橋 紳悟・有吉 剛
 藤川裕之

Development of AC/DC Converter for PHEV/EV — by Masayoshi Hirota, Takeshi Baba, Xiaoguang Zhneg, Kazuhiko Nii, Shingo Ohashi, Takeshi Ariyoshi and Hiroyuki Fujikawa — As a global warming countermeasure, reduction of carbon dioxide and improvement of fuel efficiency have become increasingly important. Recently, automotive manufacturers have been developing not only hybrid electric vehicles (HEV), but plug-in hybrid electric vehicles (PHEV) and electric vehicles (EV), which are more effective on carbon dioxide reduction. The vehicles, such as PHEV and EV, have an AC/DC converter which supplies electric power from a commercial power system to an onboard high-voltage battery, in addition to a DC/DC converter which generates electric power for the accessory. Because of the shortened charging time and restricted space, AC/DC converters require efficiency improvement and downsizing.

We have been developing reactors, which are the key parts for high-efficiency and downsized AC/DC converters. This paper reviews the high-efficiency and downsized AC/DC converter that we have developed by applying our unique transformer-less insulation circuit.

Keywords: AC/DC converter, transformer-less, reactor

1. 緒 言

地球温暖化対策として、自動車のCO₂削減・燃費向上は益々重要になってきており、近年、各自動車メーカはハイブリッド自動車（HEV）のみならず、よりCO₂削減効果の大きなプラグインハイブリッド自動車（PHEV）・電気自動車（EV）等の開発に取り組んでいる。PHEV, EVには、図1に示す通り、補機類駆動用の電力を生成する為のDC/DCコンバータに加えて、新たに、商用系統から車載バッテリーへ電力を供給する為の給電コンバータ（充電器）が搭載される。給電コンバータは、充電時間の短縮及び搭載スペースの制約の為、高効率化・小型化が要求されるが、既存製品では、トランス等のコイル部品の容積・重量に占める割合が多く、また、高周波スイッチングに伴うパワーデバイスの損失が大きいという問題があった。

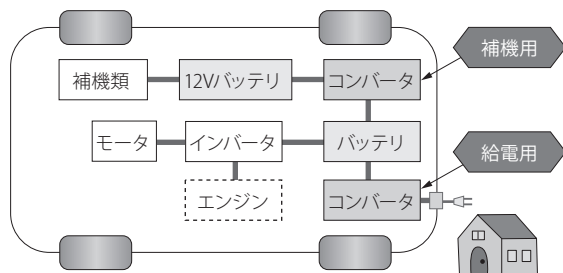


図1 PHEV/EVシステム

当社では、給電コンバータの基幹部品であるリアクトル^{*1}を始めとする、給電コンバータの高効率化・小型化に向けた開発を進めている。本稿では、当社独自で開発したトランスレス絶縁方式を用いて給電コンバータの高効率化・小型軽量化を実現した結果を報告する。

2. 給電コンバータのコンセプト

2-1 従来の回路構成と問題点 車載給電コンバータの回路構成の一例を図2に示す。給電コンバータは、入力交流電圧を直流電圧に変換する力率改善回路（PFC）^{*2}と、その直流電圧を高周波交流電圧に変換するHブリッジ回路^{*3}、変圧・絶縁の役割を果たす高周波トランス、高周波交流電圧を整流・平滑する回路から構成される。

しかしながら、上述の回路構成では大きく2つの問題が

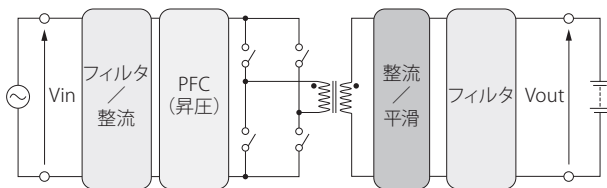


図2 車載給電コンバータの回路構成の一例

存在する。1つは、給電コンバータに占めるトランス、チョークコイル等のコイル部品の容積・重量の割合が大きい点である。一般に、給電コンバータは、補機駆動用のDC/DCコンバータに比べて出力が大きい為、それに伴いコイル部品の容積も大きくなる。更に、給電コンバータにはPFC用のリアクトルも搭載している為、コイル部品だけで全重量の2～3割を占めることになる。

もう1つの問題は、高周波スイッチング（以下、SW）に伴うパワーデバイスの損失が大きい点である。上述のコイル部品を小さくするには、SW周波数を増加すれば良いが、背反としてパワーデバイスのSW損失が増加するというトレードオフの関係にある。

従って、給電コンバータの小型軽量化・高効率化を両立するには、回路方式を見直し、コイル部品を削減し、且つパワーデバイスの損失を低減する必要がある。

2-2 当社給電コンバータのコンセプト 様々な回路方式を検討した結果、コイル部品を削減し、且つパワーデバイスの損失を低減する方策として、**図3**に示すような当社独自開発のトランスレス絶縁方式を主回路方式として採用した。本回路方式は、トランス・チョークコイルを用いず、フライングキャパシタ方式により電力伝送を行っており、高耐圧のパワーデバイスを用いて絶縁性能を確保している為、小型軽量化を可能とする。また、コンデンサの電荷を出力側に移送する際に高周波SWを必要とするが、SWデバイスの両端にほとんど電位差が発生しない為、SW損失を抑制することができ、高効率化を可能とする。

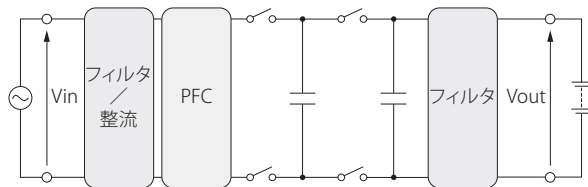


図3 独自開発のトランスレス絶縁回路

3. 車載給電コンバータの開発

3-1 試作仕様 表1に開発品の主要諸元を示す。開発目標を効率90%以上・重量6kg以下と設定した。

表1 開発品の主要諸元

項目	値
入力電圧	AC80V～132V/AC180V～264Vrms
出力電圧	300Vdc
定格出力	1.5kW/3kW

3-2 絶縁回路の設計 充電時の感電を防ぐ為、通常、車載給電コンバータの筐体は接地される。本回路では、入出力間の絶縁をできる限り確保する為、絶縁回路のSWデバイスには1kVを超える高耐圧のパワーデバイスを適用する。絶縁回路のメリットは、SWデバイスの両端に加わる電圧が小さく、SW損失を小さく抑制できる点にあり、損失の大部分は導通損失で占められることになる。ここで、SWデバイスとしてはMOSFET^{*4} あるいはIGBT^{*5}が候補に挙げられるが、MOSFETは高耐圧品になるとオン抵抗^{*6}が高くなる為、絶縁回路のSWデバイスには高耐圧品でもオン電圧の小さいIGBTを適用した。IGBTは逆方向の耐圧を持たない為、逆阻止ダイオードをIGBTと直列に挿入し、双方向の絶縁性能を確保した（**図4**）。

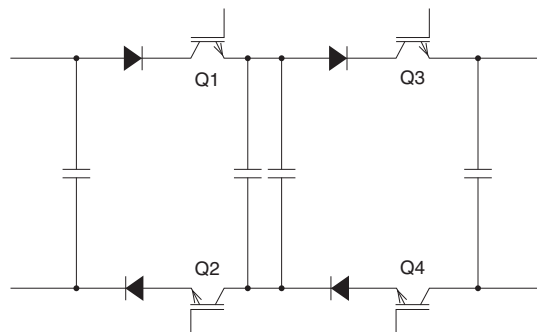
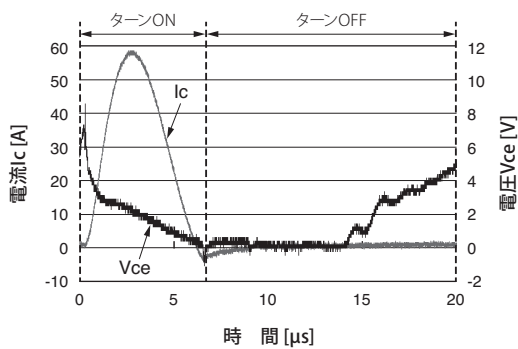


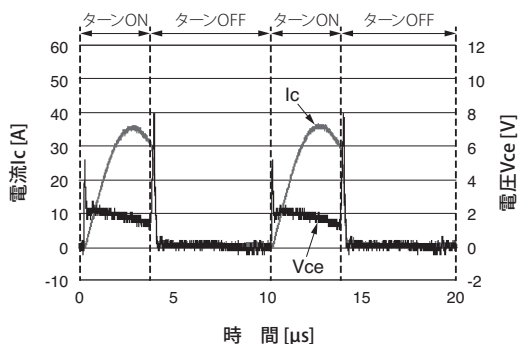
図4 絶縁回路の構成

本回路は、前段のSWデバイス（Q1、Q2）と後段のSWデバイス（Q3、Q4）を交互にSWすることで、出力側に電力伝送を行う。絶縁回路の駆動波形を**図5**に示す。SW周波数が低い場合（**図5 (a)**）、ZCS（Zero-Current-Switching）^{*7}が可能となり、SW損失を発生しないが、ターンON時の電流実効値が大きくなり導通損失が増加する。一方、SW周波数が高い場合（**図5 (b)**）、ZCS動作にはならず、若干のSW損失を発生するが、ターンON時の電流実効値が小さくなり導通損失が減少する。

一方で、コンデンサの体格を小さくするには、SW周波数をなるべく高くする方が良いが、入出力間の絶縁を確実にする為、全てのSWデバイスがオフとなる時間（デッドタイム）を設ける必要がある。よって、目標とする体格・効率を両立できるようなSW周波数を選択することとした。今回、SWデバイスとして用いるIGBTは、その特性としてターンオフ時間が長いことから、SW周波数を100kHzに設定した。また、絶縁回路には、IGBT（Q1～Q4）の短絡故障を検出する為の保護回路を設けており、故障時にはIGBTをONにしない制御となるように設計している。



(a) SW周波数：50kHz



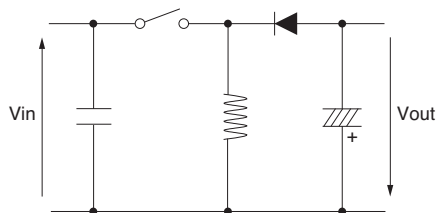
(b) SW周波数：100kHz

図5 絶縁回路の動作

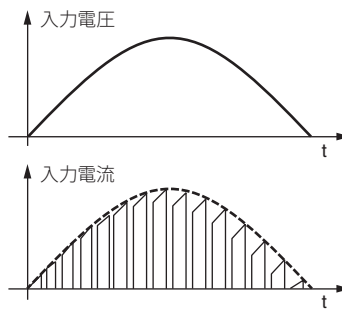
3-3 力率改善回路 (PFC) の設計 商用系統の電源から高圧バッテリーに電力を供給する給電コンバータには、高調波電流規制^{※8 (1)}に対応する為、力率改善回路 (PFC) が設けられる。通常、図2に示す一般的な回路構成では昇圧方式のPFCが採用され、後段のHブリッジ回路、トランスにより所望の電圧に変換される。一方、3-2で示した絶縁回路は電圧調整機能を持たない為、幅広い入出力電圧仕様に対応するにはPFCを昇降圧方式で構成する必要がある。

一般に、昇降圧方式は図6 (a) に示す回路構成となるが、この回路はリアクトルのみでエネルギーの蓄積・放出を行わなければならない、昇圧方式のPFC (昇圧方式) に比べて、体格・損失の増加を招いてしまう。更に、SWデバイスが入力ライン上に存在する為、図6 (b) に示すように入力電流が断続的になり、力率が低下するという問題があった。

そこで、当社では図7に示す回路方式を採用した。本方式は、降圧回路と昇圧回路を結合した回路であり、2つのSWデバイス (Q5、Q6) を独立に制御することで、昇降圧動作を実現する (図7 (b))。昇圧時にはQ1が常時ONとなり連続電流モードで動作する為、図6 (a) の回路に比べて、力率向上が可能となる。本回路方式の採用により、定格動作時、従来回路と比較して遜色の無い効率・力率を得ることができた。

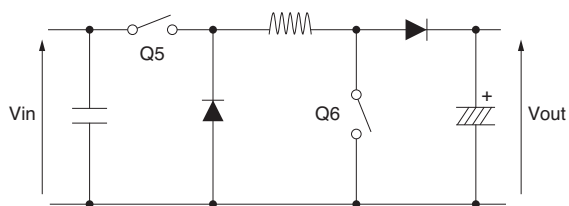


(a) 回路図

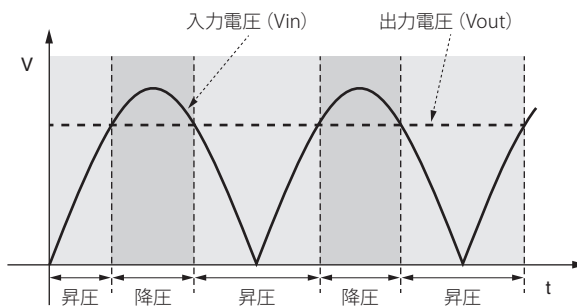


(b) 回路 (a) 適用時の入力電流波形

図6 昇降圧PFC初期案



(a) 回路図



(b) 制御動作

図7 昇降圧PFC改良案

3-4 冷却機構 車両への搭載自由度を考慮して空冷を前提に設計を進め、主な熱源であるパワーデバイス、及びリアクトルを冷却する為の専用ブロワを設けた。熱流

体解析結果は図8に示す通りであり、各構成部品が許容温度内に収まることを確認した。

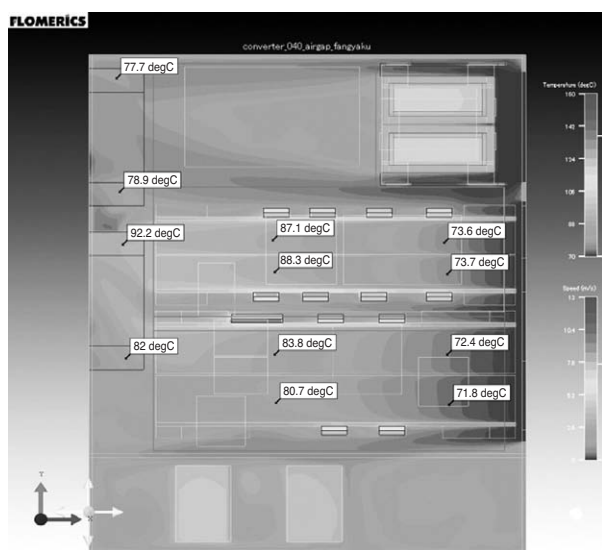


図8 熱流体解析結果

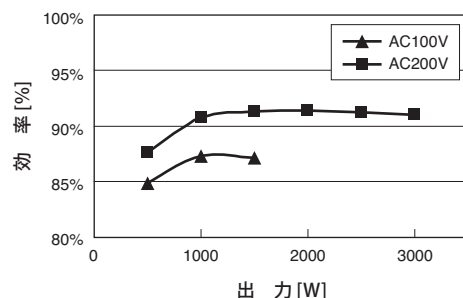
4. 評価結果

今回、開発した給電コンバータの外観を写真1に示す。重量は5.6kg、体積は6.4Lである。

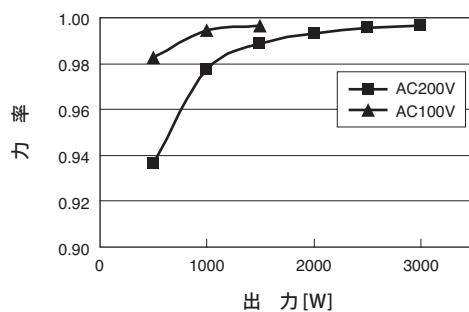
給電コンバータの評価結果を図9に示す。定格出力3kWにおいて、効率は約91%、力率は0.99以上を確保でき、当初の開発目標を達成した。



写真1 給電コンバータ試作品の外観



(a) 出力-効率特性



(b) 出力-力率特性

図9 給電コンバータ試作品の評価結果

5. 結 言

PHEV/EV用車載給電コンバータの開発を行った。試作評価の結果、目標とする効率90%以上・重量6kg以下を実現し、従来品と比較して小型化・高効率化が原理的に可能であることを証明した。

今後、課題である車載システムへの搭載要件の検討、及びノイズ対策を進め、また、給電コンバータの更なる小型軽量化、高効率化を目指していく。

用語集

※1 リアクトル

エネルギーの蓄積/放出を交互に行う受動素子。

※2 力率改善回路 (PFC)

Power Factor Correction：力率は、実効電力/皮相電力で定義される。力率改善回路は、電流波形を入力電圧波形と相似になるよう制御し、高調波発生を抑制する回路。

※3 Hブリッジ回路

単一の電源を用いて、対角上にある半導体スイッチを交互にONすることで高周波交流電圧を作り出すことのできる回路。

※4 MOSFET

Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor : 半導体素子の一つで、多数キャリアデバイスであり、高速スイッチングが可能である。耐圧が高くなるに従い、オン抵抗が大きくなる欠点を持つ。

※5 IGBT

Insulated Gate Bi-polar Transistor : 半導体素子の一つで、MOSFETをゲート部に組み込んだバイポーラトランジスタ。電子と正孔の2つのキャリアを用いる為、ONからOFFに移行する際、少数キャリアの蓄積効果により、MOSFETに比べてオフ時間が長くなるという欠点を持つ。

※6 オン抵抗

半導体スイッチがONした時に発生する定常損失の電気的特性。

※7 ZCS

Zero-Current-Switching : パワーデバイスのスイッチング時、通常、電圧と電流の過渡交差によりスイッチング損失が発生するが、ZCSは電流がゼロとなった状態でスイッチングを行う為、スイッチング損失を発生しない。

※8 高調波電流規制

機器から発生する高調波電流が電力系統に流れることにより、他の設備や機器に影響を及ぼさないように設けられた規制 (IEC61000-3-2)。

参 考 文 献 -----

(1) トランジスタ技術 2001年12月号、CQ出版株式会社

執 筆 者 -----

廣田 将義* : 自動車技術研究所
PHEV/EV用車載給電コンバータの設計・
開発に従事



馬場 猛 : 自動車技術研究所
鄭 暁光 : 自動車技術研究所
二井 和彦 : 自動車技術研究所
大橋 紳悟 : 自動車技術研究所 主席
有吉 剛 : 自動車技術研究所 主席
藤川 裕之 : 自動車技術研究所 グループ長

*主執筆者