

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 19 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420272

研究課題名(和文)スマートハウスと連系するワイヤレスV2Hシステム用新形非接触双方向給電装置の開発

研究課題名(英文)A new bidirectional wireless power transfer apparatus for a wireless V2H system linked with smart house

研究代表者

大森 英樹 (OMORI, HIDEKI)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：20613681

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：スマートハウスは自然エネ大量導入に対し電力系統安定を維持するシステムとして期待されている。蓄電池が高コストであることが課題であるが、電気自動車を家庭に接続するV2H(Vehicle to Home)が有力な解として注目されている。これを非接触給電で実現できれば幅広い利用者が容易に扱え、普及拡大が期待できる。しかし、従来の双方向非接触給電装置は8つのパワースイッチング素子を必要とし、構成が複雑で高価なため、家庭用であるV2Hには適していなかった。そこでシンプルかつ低コストで性能のよいワイヤレスV2Hを提供するべく、わずか2つのパワースイッチング素子で動作する新しい双方向非接触給電装置を開発した。

研究成果の概要(英文)：Smart houses are expected to maintain electric grid's stability in spite of large amount of renewable energy. It is a problem that recharge batteries are too high-cost for wider diffusion of them. Vehicle to Home (V2H) system which connects electric vehicle to home is paid the most attention as promising solution for reducing battery cost. A V2H system through wireless power transfer is easy to use by wide range of users. However conventional bidirectional wireless power transfer apparatus needs 8 power switching devices. It is not suitable to V2H system which is home use because of its complex and high-cost configuration. Developed has been a new type of bidirectional wireless power transfer apparatus which can operate by only 2 power switching devices to offer a simple and low-cost but high performance wireless V2H system.

研究分野：パワーエレクトロニクス

 キーワード：非接触給電 電気自動車 充電 パワーエレクトロニクス パワー半導体 共振形コンバータ シング
ルエンデッドインバータ 共振形インバータ

1. 研究開始当初の背景

最大電力供給能力の不足と電力コストの上昇が我が国の新たな課題となっており、電力消費ピークを抑制する負荷平準化が一層求められている。一方、低炭素化への対応で不安定な自然エネルギー大規模導入が加速されており、系統安定確保のため創エネ出力平準化が要求されている。

スマートハウスは太陽電池や風力発電などの創エネ機器と、配電に連系した蓄エネ機器および HEMS(Home Energy Management System)を備え、自然エネルギー出力と消費電力の両方を平準化するシステムとして期待されているが、蓄電池が高コストであることが課題である。そこで図1のように電気自動車 (EV: Electric Vehicle)を配電に双方向で接続して蓄電池として利用する V2H(Vehicle to Home)がスマートハウスを拡大する有力な解として注目されている。

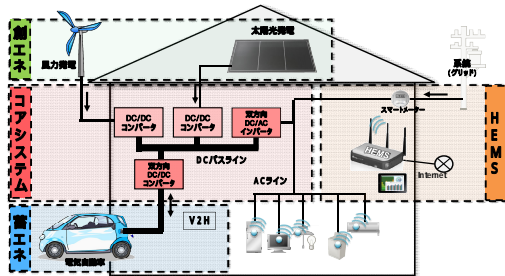


図1 V2Hを備えたスマートハウス

2. 研究の目的

カーポートなどのEVをV2Hとして家庭に接続する場合、これを非接触給電で実現できれば駐車するだけで電力ケーブルを取り扱う必要がないので、手を煩わせることなく、接続忘れもなくなるなど、高齢者を含めた幅広い利用者が容易に安全に扱うことができ、普及拡大が期待できる。

この種の機能を実現する双方向非接触給電装置は、高周波磁界で電力伝送するIPT(Inductive Power Transfer)方式を用いる。従来の国内外の研究では直流電力と高周波電力の双方向変換のために4つのパワースイッチング素子を用いたフルブリッジ構成の双方向インバータが用いられてきたが、定置側と車載側で計8つのパワースイッチング素子が必要とし、構成が複雑で高価なため、家庭用であるV2Hの普及には適していなかった。

そこで、本研究では、わずか2つの素子で動作するシンプルかつ低コストの双方向非接触給電装置を構築し、幅広い家庭に提供できるワイヤレスV2Hシステムを実現する。

3. 研究の方法

これまで研究してきた高周波磁界を発生する目的の種々のインバータや、単一のパワースイッチング素子で動作するシングルエンデッドインバータを用いた非接触EV充電装置の原型を基礎技術として、シングルエンデッドインバータの双方向化技術との組み合わせによって、わずか2つの素子で動作するシンプルかつ低コストの双方向非接触給電装置を開発する。

スイッチング素子の逆方向電流が電源に回生することを利用して受電電力を取り出し、また受電コイル回路を共振回路構成としてその共振を利用してソフトスイッチング動作をさせることによって、シングルエンデッドインバータの双方向化を実現する回路構成を確定する。インバータ回路および制御回路の試作品により、パワースイッチング素子のスイッチング損失、給電/受電コイル間からの漏洩磁界や電磁ノイズなど、実用化に関わる基本課題の抽出・対策で基本システムを完成させる。

4. 研究成果

シングルエンデッドワイヤレス給電システムから双方向ワイヤレス給電システムへの展開の過程を図2に示す。図2(a)の磁気結合方式を用いたワイヤレス給電システムの受電側に図2(b)のように共振用キャパシタを追加することで、給電側と受電側で共振動作を行う共振形磁気結合方式のワイヤレス給電システムへと改良を行い、伝送電力の向上を図る。次に図2(c)のように受電側に整流用のダイオードを追加して半波整流形の充電回路を形成する。最後に図2(d)のように、整流用ダイオードをアクティブ化し、パワースイッチング素子の逆並列ダイオードを用いる構成にすると、提案する双方向ワイヤレス給電システムが得られる。

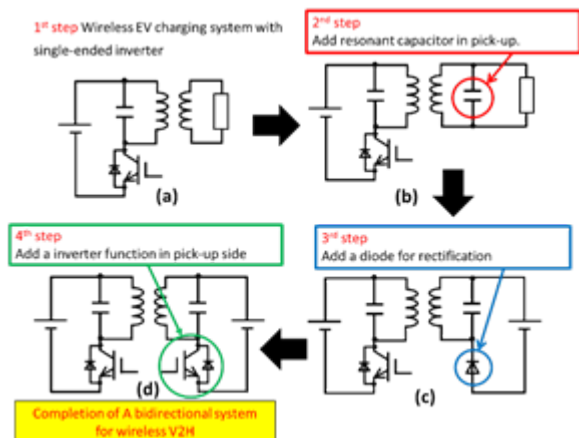


図2 シングルエンデッドインバータの双方向化

提案するワイヤレスV2H回路を図3に示す。

Vehicle to Home の電力伝送を行うときは図4のように Vehicle 側の回路がインバータ動作し、給電コイルと共振キャパシタの共振電圧により ZVS ソフトスイッチング動作を行う。受電側となる SW1 は OFF 状態にし、SW1 の逆並列ダイオードにより半波整流を行う。Home to Vehicle の伝送は上記と対称な動作で得られる。

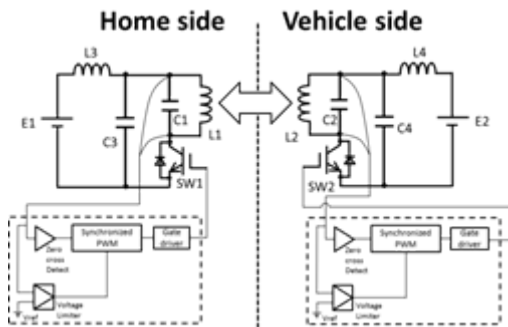


図3 ワイヤレスV2Hシステム

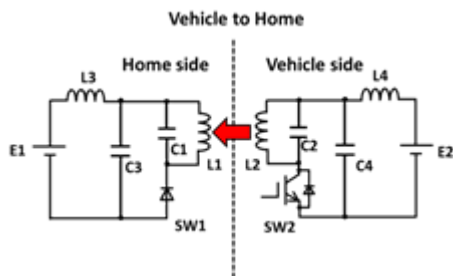


図4 V2Hモード

図5に開発した双方向回路のシミュレーション波形を、図6に動作モードを示す。モードでは電源からエネルギーが供給され、給電側から受電側に電力が伝送される。一次側、二次側ともにコイルと電源が直列の状態になり、電圧が上昇する。二次側の電流の向きが変わるとダイオードがオフになり、モード a の状態になる。モード a では受電側の SW がオフ状態となり、伝送部のコイルとキャパシタが共振し、共振波形が起こる。そして一次側インバータの任意制御の ON 期間を終えると一次側がオフの状態になり、モードへと移る。モードでは給電側、受電側、両方のスイッチがオフの状態になり、給電側、受電側それぞれで伝送部のコイルとキャパシタが共振し、共振波形が確認できる。1次側の共振電圧のゼロクロス点を通過すると、一次側のダイオードが ON し、モード b となる。モード b の状態では、1次側のコイルの電圧が逆並列ダイオード導通の方向となる。この、モード b の間に一次側の SW が ON し、再びモードへに戻る。提案するシステムではこのサイクルを繰り返す。

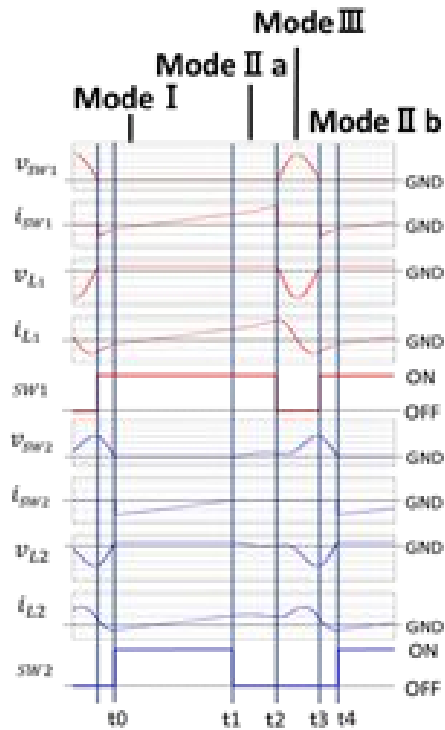


図5 提案する双方向回路のシミュレーション波形

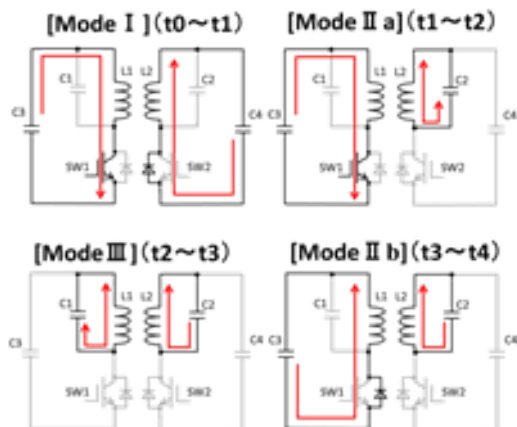


図6 提案する双方向回路の動作モード (H2Vモード)

図7に開発した双方向回路の実測波形を示す。(コイル間ギャップ = 30mm, 動作周波数 21.2kHz) 図18(a)の Home to Vehicle 動作時では給電側の SW1 の電圧は ZVS が維持されていることが確認できる。受電側の SW2 の電圧も自然に ZVS 動作になる。また、図5のシミュレーション波形と良好な一致を確認した。Vehicle to Home 動作では対象の波形が確認できる。

図8に開発した双方向回路の出力電力特性を示す。ギャップが大きくなると結合係数が小さくなり、伝送電力が低下する。動作周波数 21.2kHz, Gap=30mm 時の入力電力は 1300W であった。Home to Vehicle 動作時、Vehicle to Home 動作時に同様の電力伝送特性が確認で

きた。

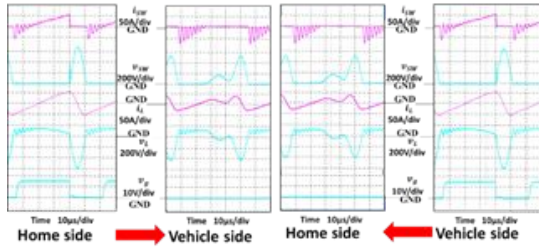


図7 提案する双方向回路の実測波形

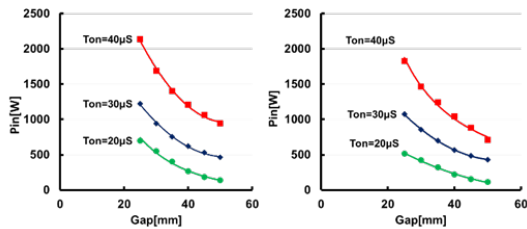


図8 提案する双方向回路の入力電力特性

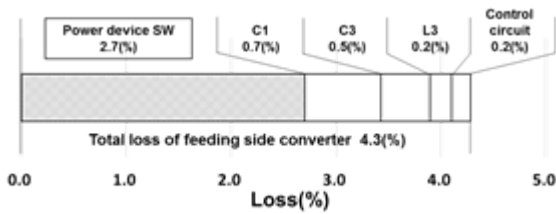


図9 給電側コンバータにおける各素子の損失

図9にHome to Vehicle動作時のHome側コンバータにおける各素子の損失を示す。パワースイッチング素子で発生している損失が、給電側コンバータの総損失において大半を占めている。提案するV2Hシステムの実用化に向けて、損失分析によるスイッチング素子の最適化を目指した。図10に給電側コンバータのスイッチ電流及び電圧波形を示す。素子の損失はタイオード導通期間の損失、IGBT導通期間の損失、ターンオフ期間の損失から計算する。

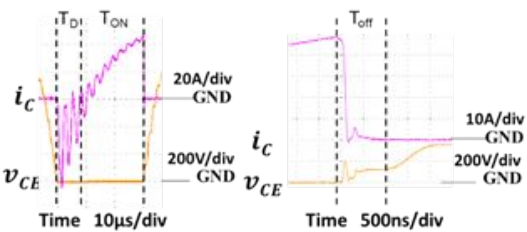


図10 パワースイッチング素子の電流電圧波形

本報告では、高速であるが導通電圧 $V_{CE(sat)}$ が高い高速タイプ (IKW40N120H3) と、導通電圧 $V_{CE(sat)}$ は低いものの、低速の低速タイプ (IHW40N120R3) の2種類の1200V

耐圧 Si-IGBT に対して比較評価を行った。

表1に、実測した2種類のパワースイッチング素子で発生する損失分析結果を示す。試験条件は入力電力 P_{in} を1kW、素子ケース温度 T_c を90に固定した。スイッチ電圧は緩やかに立ち上がるZVSターンオフであるため導通損が総損失の大半を占め、低速タイプのIGBTが提案するシステムに対してより適していることを確認した。

表1 パワースイッチング素子で発生する損失(実測値)

SI-IGBT:IKW40N120H3			
Conduction loss		Turn off loss	
29.7 W		5.4 W	
4.1 W (FWD)	25.6 W (IGBT)	2.3 W (fall loss)	3.1 W (Tail loss)
			Total loss : 35.1W
SI-IGBT:IHW40N120R3			
Conduction loss		Turn off loss	
23.3 W		6.3 W	
3.2 W (FWD)	20.1 W (IGBT)	2.4 W (fall loss)	3.9 W (Tail loss)
			Total loss : 29.6W

以上のように、従来の双方向インバータと異なる新しい動作原理の双方向非接触給電方式を確立し、シンプルかつ低コストで性能のよいワイヤレスV2Hシステムを提供することができた。この成果は、環境性に優れた電気自動車の付加価値や利便性を向上してその普及を加速し、スマートハウスによる自然エネ発電の平準化や家庭電力の負荷率改善を拡大して、低炭素化と電力供給の安定性確保や電力コストの抑制に貢献することが期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 8件)

北本拓也, 太森英樹, 高力率シングルエンドインバータによる共振形磁気結合ワイヤレスEV充電装置, 電気学会モータドライブ/家電民生合同研究会, 2016年03月01日、電気学会(東京都)

大原申也, 太森英樹, 双方向シングルエンドコンバータによるワイヤレスV2Hシステムとパワーデバイス評価, 電気学会自動車研究会, 2016年02月05日、名古屋大学(愛知県・名古屋市)

Shinya Ohara, Hideki Omori, Comparative Loss Evaluation of IGBTs Utilized for a New Single-Ended Wireless V2H System, IEEE International Future Energy Electronics Conference 2015 (国際学会), 2015年11月03日, Taipei(Taiwan)

Tomoki Onishi, Hideki Omori, Reduction of Leakage Magnetic Flux from a Rear-Side Wireless EV Charger, IEEE International Future Energy Electronics Conference 2015, 2015年11月03日, Taipei(Taiwan)

Tomoya Tanaka, Hideki Omori,

Comparative study of Power Receiving Circuits for a new Single-Ended Inverter-Driven Wireless EV charger with Low-Cost Power Factor Correction, IEEE International Future Energy Electronics Conference, 2015年11月03日, Taipei(Taiwan)

Yuya Kitano, Hideki Omori, New Wireless EV Charger using Single Switch ZVS Resonant Inverter with Optimized Power Transfer and Low-Cost PFC, International Conference on Electrical Drives and Power Electronics 2015, 2015年09月23日, The High Tatras(Slovak Republic)

Hideki Omori, Tosimitsu Morizane, Noriyuki Kimura, Mutsuo Nakaoka, A Wireless Vehicle to Home System with Resonant IPT Bidirectional Single-Ended Inverter for Smart House, International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid(IGBSG) 2014 (招待講演), 2014年04月24日, Taipei(Taiwan)

Shinya Ohara, Hideki Omori, Noriyuki Kimura, Toshimitsu Morizane, Mutuo Nakaoka, Yoshimichi Nakamura, A New V2H System with Single-Ended Inverter Drive Bidirectional Wireless Resonant IPT, IEEE International Power Electronics and Application Conference and Exposition(PEAC) 2014 (優秀論文賞受賞), 2014年11月07日, Shanghai(China)

6. 研究組織

(1)研究代表者

大森 英樹 (OMORI HIDEKI)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：20613681