

東京大学 大学院新領域創成科学研究科
基盤科学研究系 先端エネルギー工学専攻
2011年3月修了 修士論文要旨

磁界共振結合を用いた電気自動車向けワイヤレス給電システムの基礎研究

学生証番号 47-096063 氏名 加藤 昌樹
(指導教員 堀 洋一 教授)

Key Words : wireless power transfer, resonance

現在各社から電気自動車が発売され普及の兆しを見せている。しかし電気自動車には航続距離が短く充電が頻繁になる等、バッテリーのエネルギー密度に起因する問題を抱えている。その問題を解決するための一手段として電気自動車へのワイヤレス電力伝送が有望である。電気自動車にワイヤレス給電が適用された場合、コンセントをさすことなく駐車するだけで充電できるので「意識しない充電」が可能になり利便性が増すだけでなく、接点が存在しないため安全でもある。それだけでなく充電ケーブルに縛られないため充電中に完全停止している必要はなく、赤信号停止時や走行中への給電が可能となり航続距離を伸ばすために費用と車重を犠牲にして大容量のバッテリーを搭載する必要がなくなる。このようにワイヤレス給電は車両の設計思想や運用スタイルを一変させる可能性がある。電気自動車へのワイヤレス電力伝送の方式として電磁界共振結合方式が有望であり、この方式であれば比較的大きい伝送距離で高効率を維持できる。電磁界共振結合の中でも磁界を利用した磁界共振結合は人体安全性の面から優位である。

システム構築する上でまずはじめに磁界共振結合の特性を知る必要がある。磁界共振結合の特性は等価回路で表されているが、従来の研究では高周波回路で使用されるSパラメータで表されており電圧・電流の関係が分かりづらく大電力機器の設計が困難である。そこで、等価回路から機器設計に有用と思われる特性を電圧・電流を使用して4つ定義する。入力と出力、つまり送信側と受信側の電圧の比を電圧増幅率、同様に電流の比を電流増幅率、電力の比を電力増幅率、送信側からみたインピーダンスを入力インピーダンスと定義する。

アンテナの損失がない場合を考えて電力増幅率が1になる点、つまり損失なしで電力が負荷に伝送できる周波数を求めるとその解が3つあり、そのなかでも「自己共振周波数」は伝送距離や負荷抵抗値で周波数が変化しない安定した周波数であることが分かる。次に自己共振周波数での電圧増幅率、電流増幅率を求めると、自己共振周波数ではあたかも伝送距離と負荷抵抗で巻き数が変化する理想変圧器のような動作であることがわかった。

電気自動車用ワイヤレス電力伝送アンテナは車載用であることから小サイズであること、大電力を通過させるために低損失であることが重要である。従来の研究で小型化、低損失化のアンテナの研究を行っていたが、小型化と低損失化を両立せず、その原因も分らなかった。そこでまず、線材の種類に着目し、高周波電流が導体の表面に集中する表皮効果の影響がどの程度あるのかを実験によって確認した。その結果、絶縁された細線をより合わせた「リッツ線」の使用が、同断面積の単線を使用するより抵抗値が少なく、ある程度有効であることを確認した。さらに、線間容量によって発生する反共振点の損失への影響について数式であらわし、線間容量の少ない巻き方のアンテナが低損失化に有利であることを示し、従来の小型化のために巻き線を多層化した巻き方であると、巻き線容量が増加し損失に悪影響があることを実験で示した。

最後に、大電力ワイヤレス電力伝送システムを実際に構築し、大電力での伝送実験を行った。電源装置として、MOSFETを使用したフルブリッジ型インバータを制作した。そして大電力に耐えられるよう電力用コンデンサを用いた送受信アンテナを介し、シリコンパワーダイオードによるブリッジ整流回路と電子負荷を接続し、大電力伝送実験を行った。その結果、伝送距離40cmにおいて80%以上の効率、470Wの電力伝送することに成功し、大電力化への足掛かりをつかむことができた。