

電磁誘導現象を用いた非接触給電システムの開発動向

日下 佳祐* 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Development Trend of Inductive Power Transfer Systems

Keisuke Kusaka*, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

In recent years, inductive power transfer systems are actively studied. This paper provides the development trend of the inductive power transfer systems since 1970s focusing on a transmission frequency, transmission power and a coupling coefficient based on the survey of the published papers by IEEJ and IEEE. The transmission power shows close correlation with the transmission frequency. By contrast, the coupling coefficient does not show the correlation with both the transmission frequency and the transmission power.

キーワード：非接触給電, ワイヤレス給電, 電磁誘導, 結合係数, 電力変換器

(Inductive power transfer, Wireless power transfer, Electromagnetic induction, Coupling coefficient, Power converter)

1. はじめに

近年, 電磁誘導現象を用いた非接触給電システムが盛んに研究されている⁽¹⁻⁴⁾。電磁誘導現象を用いた非接触給電システムでは一般に数 kHz から数十 MHz の周波数帯の中から, アプリケーションに応じて特定の伝送周波数が使用される。また, 伝送電力もアプリケーションによって数十 mW から数十 kW の伝送システムまで多岐にわたる。伝送周波数と伝送電力には密接な関係があり, 経験的に大容量かつ高周波での非接触給電は実現が困難であると言われてはいるものの, これらの関係を示した文献は著者らの知る限りない。

また, 前述したとおり非接触給電システムは商用周波数以上の周波数で電力を伝送するのが一般的である。そのため, 非接触給電コイルの前段及び後段には電力変換器が必要となる⁽⁴⁾。周波数及び伝送電力によってこれらの非接触給電システムに適用される電力変換器の構成は大きく異なる。そのため, 電力変換器の構成は設計者の経験に基づいて決定されているのが実情である。

そこで本論文では, これまで開発された非接触給電システムを周波数や伝送電力によらず横断的に調査することで, 実現が可能な伝送電力と伝送周波数の関係を示す。また, 各伝送電力・周波数帯域で広く用いられている電力変換器の構成を明らかにする。

2. 開発動向

本論文では電気学会及び IEEE が 1978 年から 2015 年 9 月までに出版した論文誌並びに, 会議等で発表された文献の一部のうち, 表 1 に示す用語が論文タイトルもしくは本文中に含まれる文献の一部を調査対象とした。なお, 近年の研究により磁界共振結合方式(「磁気共鳴方式」「磁界共鳴方式」とも呼ばれる)は電磁誘導現象の一部であることが認知されてきているため⁽⁵⁾, 本論文ではこれらを区別しない。

〈2・1〉 伝送周波数の推移 図 1 に電磁誘導現象を用いた非接触給電システムにおける伝送周波数の年次推移を示す⁽⁶⁻¹⁹⁷⁾。ただし, ここで(a)は全体, (b)は(a)のうち低周波領域を拡大した図である。図 1 において, 横軸は文献の発表年を示している。非接触給電システムに適用される伝送周波数は電力変換技術の発展と密接な関係がある。1978 年, 米国 J. G. Bolger らにより初めて電磁誘導現象を用いた非接触給電システムの実証試験結果が示された⁽¹⁹⁷⁾。この文献では, 高周波出力を得るために電動機に機械的にカップリングした発電機を高周波電源 (150~210 Hz) として用いている。当時, 半導体電力変換技術は発展途上にあり, 非接触給電に必要な高周波出力を連続的かつ高効率に発生させる方法が確立されていなかったことが, このような構成をとらざるをえなかった理由として挙げられる。その後, パワートランジスタの発展や, MOSFET, IGBT などが実用段階を迎え, これらが非接触給電システムにおいても適用され

始めた。例えば、A. Esser らは 1991 年に多軸ロボット向けの回転トランスとして 650 V 耐圧の IGBT を用いて 25 kHz で非接触給電を行っている⁽¹⁸⁸⁾。また、1992 年には MOSFET を用いた C 級増幅器による 200 kHz を伝送周波数として非接触給電が報告されている⁽¹⁸⁹⁾。

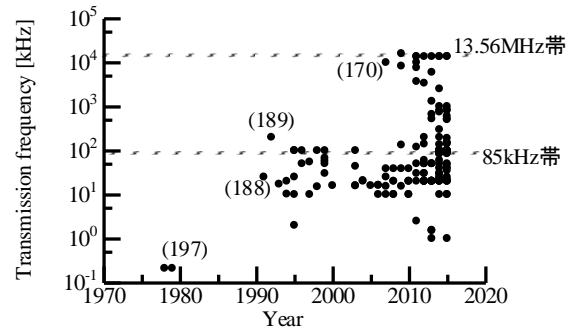
このように、はじめは数百 Hz という低周波で実現された非接触給電システムは、半導体スイッチの発展に伴い徐々に高周波化が進められてきた。特に近年では、数十 kHz～数百 kHz の低周波領域と MHz 以上の周波数帯域を用いる高周波領域に二分化する傾向にある。低周波領域では、これまでも半導体電力変換回路が広く適用されている周波数帯であることから、すでに電力変換技術が確立されていることが利点となる。また、自動車向け非接触給電システムの標準化が 85 kHz 近傍で進められていることの影響もある⁽¹⁹⁸⁾。一方、MHz 以上の周波数帯域は 2007 年の Massachusetts Institute of Technology の A. Kurs らが 10 MHz 近傍で非接触給電システムを報告したことが大きく影響している⁽¹⁷⁰⁾。本論文では、非接触給電の原理を結合モード理論により説明していたため、当初「Magnetic resonance」「磁気共鳴方式」「磁界共振結合方式」などと呼ばれ、従来の電磁誘導現象とは異なる現象を用いていると認識された。そのため多くの技術者、研究者が MHz 帯を用いた非接触給電システムの開発に取り組むようになった。そのため MIT の発表を境に MHz 帯を用いた非接触給電システムの報告が急増する。しかしながら、現在は MIT による報告は電磁誘導現象を用いた非接触給電の一種であると認識され始めたため⁽⁵⁾、現在では主に伝送システムの小型化を狙った研究において MHz 帯が用いられている。

〈2・2〉 伝送周波数と伝送電力の関係 図 2 にこれまで報告されている非接触給電システムの伝送周波数と伝送電力の関係を示す。図 2(a)は 1 次側電力変換器の構成、図 2(b)は 2 次側電力変換器の構成毎にプロットにより分類した。非接触給電システムは小容量では 1 W 未満から 52 kW の大容量まで幅広い電力範囲で研究開発が行われている。最も大容量を伝送しているのはバス等の大型電気自動車をアプリケーションとした 52 kW、20 kHz の非接触給電システムである⁽¹³⁸⁾。鉄道車両向けとしては数百 kW 以上の電力が求められており⁽²³⁾、大容量化に向けた検討は続けられているものの、現在のところスケールモデルを用いた検証段階であり実証報告はない。反対に、10 W 未満の非接触給電も多く見られる⁽¹⁰⁾⁽¹⁰⁶⁾⁽¹¹⁰⁾。このような小電力を伝送した報告が見られる理由として、WPC により策定されている Qi 規格の最大供給電力が 5 W であったことが挙げられる。ただし、2015 年現在では最大供給電力 15 W にて新しい規格が策定されているため、Qi 規格対応システムは今後伝送電力が徐々に増加していくことが見込まれる。一方、数 MHz から数十 MHz を超える非接触給電システムでは伝送電力が数 mW から数百 mW 程度であることが多い。これらは高周波化に向けた取り組みの中で、ベクトルネットワークアナライザ(VNA)を用いた理論的な検証が含まれているためであ

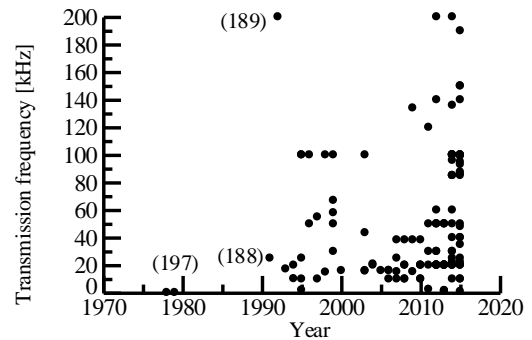
表 1 調査対象となる用語一覧

Table. 1. Terms for survey.

キーワード(日本語)	キーワード(英語)	
非接触給電	Wireless power transfer	Inductive charging
非接触充電	Wireless power transmission	Inductive charger
非接触電力伝送	Wireless power delivery	Resonant inductive coupling
無線給電	Wireless power supply	Resonant magnetic coupling
ワイヤレス給電	Wireless charging	Contactless power transfer
ワイヤレス電力伝送	Wireless energy transmission	Contactless power transmission
ワイヤレス充電	Inductive power transfer	Contactless power supply
無線電力伝送	Inductive power transmission	



(a) 100 Hz to 100 MHz



(b) Up to 200 kHz

図 1 非接触給電システムの伝送周波数の推移

Fig. 1. Trend for transmission frequency of Inductive power transfer.

る。

伝送周波数に着目すると、20 kHz 近傍を用いた非接触給電が多く報告されている。20 kHz 近傍はパワーエレクトロニクス回路でキャリア周波数として従来から広く用いられている周波数であるため、電力変換器の導入が容易であるという背景がある。また、20 kHz が人間の可聴域外であるという利点もある。次に多く見られるのが 100 kHz 近傍である。これは、近年自動車向け非接触給電システムの標準化が 85 kHz 帯(79 kHz～90 kHz)で進められていることが影響している⁽¹⁹⁸⁾。

図 2 中に点線で示した線は、プロット点の中から各周波数領域内で大電力を伝送している点を抽出し、最小二乗法により近似曲線を得たものである。近似曲線は(1)式で表される。この近似曲線は、伝送電力 P [kW] と周波数 f [kHz] がほぼ反比例の関係にあることを示しており、システムによらず伝送電力と周波数の積がほぼ一定となる。

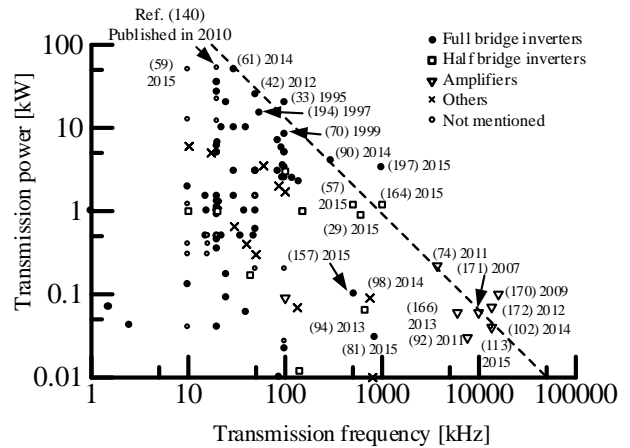
$$P = 2710 f^{-1.16} \dots\dots\dots(1)$$

このように、伝送周波数と伝送電力は密接な関係にあることがわかる。非接触給電システムの大容量化を実現するためには伝送周波数を低くする必要があり、伝送コイルを大型化せざるを得ない。例えば、100 kW の伝送を行う場合には、伝送周波数を 17 kHz まで低下させなければ実現が困難であるといえる。反対に、伝送周波数が法規的理由により 85 kHz に制限された場合には、現在の技術で達成できる伝送電力は約 15 kW となる。一方、伝送コイルの小型化を目指す場合、伝送周波数を高めることで実現可能であるが、供給可能な電力が制限される。なお、本近似曲線を大きく超える点も報告されてきており⁽¹⁹⁷⁾、スイッチングデバイスや材料技術の進展により今後この曲線が右上方向に推移していくこともありうる。

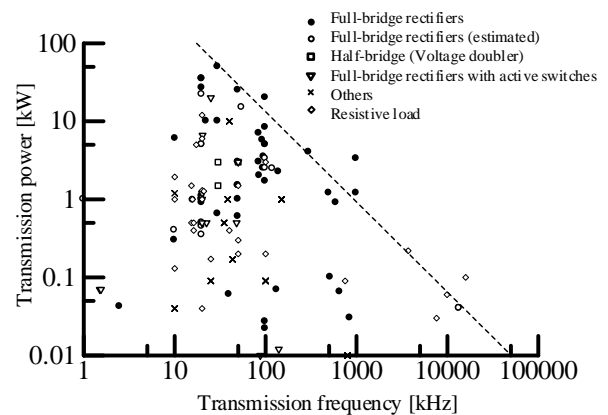
1 次側電力変換器の構成に着目する。図 2(a)中において、各シンボルの違いは、非接触給電部の駆動に使用されている 1 次側電力変換器の構成を示している。最も多く使用されている電力変換器はフルブリッジインバータであり、次にハーフブリッジインバータへと続く。また、C 級インバータ⁽¹⁷³⁾や E 級インバータ⁽⁷¹⁾⁽⁹⁷⁾⁽¹⁰⁶⁾⁽¹²⁸⁾⁽¹²⁹⁾、フルブリッジインバータ及びハーフブリッジインバータから派生したコンバータ⁽³¹⁾、フロントエンドコンバータを含めて 1 次側変換器としてマトリクスコンバータを適用した報告例⁽¹²⁵⁾⁽¹⁵⁹⁾等もある。なお、本論文ではフルブリッジインバータの定義を「2つのレグから構成され、レグ1つあたり自己点弧及び自己消弧が可能なスイッチ（以下、「アクティブスイッチ」）を2個用いるもの」とする。また、ハーフブリッジインバータは「1つのレグから構成され、レグにアクティブスイッチを2個用いるもの」とする。

フルブリッジインバータの適用例に着目すると、10 kHz から 100 kHz までの周波数領域において、伝送電力が数百 W から 50 kW までの広範囲で用いられている。そもそも、フルブリッジインバータはパワーエレクトロニクス分野で最も一般的に用いられている回路であり、このような周波数帯で多くの実績があるため、適用が容易であったことが背景として考えられる。また、大容量化を図った場合にも、各スイッチングデバイスで生じる発熱が4つのスイッチングデバイスで均等に分担されるため、大容量伝送時にも冷却が容易である。

ハーフブリッジインバータは特に 1 MHz 付近で 1 kW 程度の非接触給電システムにおいて用いられることが多い⁽²⁸⁾⁽⁵⁶⁾⁽¹⁶³⁾⁽¹⁷⁶⁾。しかしながら、全体の適用数ではフルブリッジインバータには及ばない。また、ハーフブリッジインバータを用いているシステムの最大伝送電力は文献⁽¹⁷⁶⁾の 3 kW であり、フルブリッジインバータと比較して比較的小容量で用いられている事例が多い。ハーフブリッジインバータは、アクティブスイッチの数が2個でよいという利点がある。しかしながら、ハーフブリッジインバータの出力電圧はフルブリッジインバータの1/2であり、電圧利用率が低



(a) Classification by topology of primary converter



(b) Classification by topology of secondary converter

図 2 伝送周波数と伝送電力の関係

Fig. 2. Relation between transmission frequency and transmission power.

い。したがって同じ直流電圧で比較した場合、フルブリッジインバータに対して2倍の電流を流さなければならないため、伝送コイルの導通損失が増加する。そのため、フルブリッジインバータよりも小容量の機器に対してハーフブリッジインバータは用いられる。

5 MHz 以上の高周波領域では線形増幅回路を用いた非接触給電システムの報告が多くなる⁽⁹¹⁾⁽¹⁰¹⁾⁽¹¹²⁾⁽¹⁶⁵⁾⁽¹⁶⁹⁻¹⁷¹⁾。これは、数 MHz 以上の領域においてスイッチング方式の電源が一般的ではないためである。しかしながら線形増幅回路の効率は低く、A 級増幅器の理論効率は 50%、B 級増幅器を用いても理論効率は 78.5%に留まる。したがって、これらの電源を用いた場合システムの高効率化は望めない。

2 次側電力変換器の構成に着目する。図 2(b)中において、各シンボルの違いは、非接触給電部の 2 次側に使用されている 2 次側電力変換器の構成を示している。なお、図中の白丸で示した点は、実験機器構成において整流器がブラックボックスとして描かれているものであり、ダイオードブリッジ整流器を使用していると推測されるものである。また、図中において菱形で示したプロットは、2 次側電力変換器を用いず、2 次側コイルに対して直接抵抗負荷を接続して

システムの検証をしている文献を示している。これらは、1次側電力変換器に着目した論文や、伝送コイルの特性自体に着目した論文等が該当する。

最も多く使用されている電力変換器はダイオードによるフルブリッジ整流器であり、次に MOSFET 等のアクティブスイッチを用いたフルブリッジ整流器、ブリッジレス整流器へと続く。また、ハーフブリッジ整流器(倍電圧整流器)⁽¹⁶⁾⁽⁴³⁾⁽¹³¹⁾、半波整流器⁽⁷⁾⁽¹⁷⁷⁾、ブリッジレス整流器⁽⁸¹⁾⁽¹⁰³⁾⁽¹¹¹⁾⁽¹²⁶⁾、倍電流整流器⁽⁶⁷⁾、D 級整流器⁽¹²⁹⁾、E 級整流器⁽¹⁰⁶⁾⁽¹²⁶⁾等の適用も報告されている。

伝送周波数によらず、ダイオードブリッジ整流器が広い範囲で使用されている。これは、ダイオード整流器は制御が不要であるため高周波領域においても適用が容易であるためである。一方、ハーフブリッジ整流器(倍電圧整流器)を用いた報告例はほぼなく、3 件のみである⁽¹⁶⁾⁽⁴³⁾⁽¹³¹⁾。アクティブスイッチを用いたフルブリッジ整流器に着目すると、ダイオード整流器に次いで多く用いられている。ダイオードをスイッチにすることで、同期整流による効率改善効果や、双方向非接触給電動作、出力電圧制御機能等の機能を付与できるためダイオードをアクティブスイッチに置き換える例が多い。しかしながら、非接触給電システムは商用周波数と比較して高い周波数で駆動されることとなるため、PWM が用いられることは少なく、1 次側電力変換器と同様に 2 次側電力変換器も 1 パルス動作することが一般的である。そのため、アクティブスイッチを用いた 2 次側電力変換器は主に 10 kHz から 50 kHz の伝送周波数範囲で用いられる。

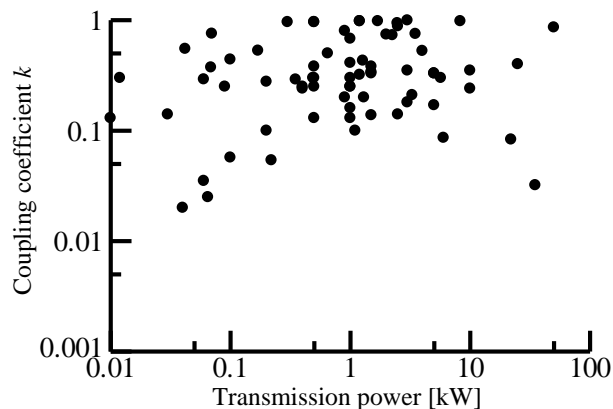
〈2・3〉 結合係数 図 3 に伝送電力と伝送周波数および結合係数の関係を示す。図 3(a)が伝送電力と結合係数の関係を示しており、図 3(b)は伝送周波数と結合係数の関係を示している。結合係数と伝送電力には有意な相関はみられず、結合の良し悪しは伝送電力に影響しない。同様に、結合係数と伝送電力にも有意な相関は見られなかった。ただし、10 MHz を超える周波数帯域で結合 0.1 を超えた非接触給電システムは報告されていない点が特徴的である。この理由として、10MHz をこえる高周波帯には現在のところ有効な磁性体がなく、空芯コイルを使わざるをえないため、結果的に結合係数が低下していること原因として挙げられる。

3. おわりに

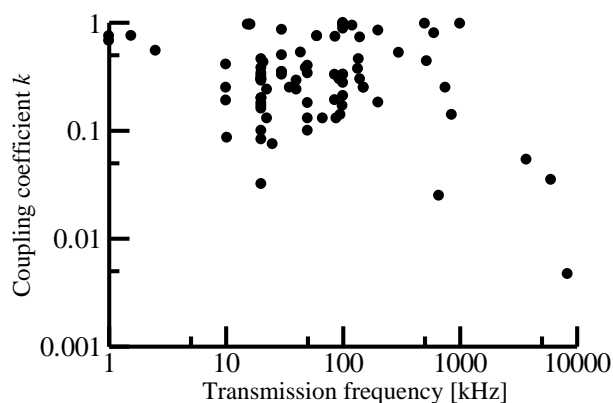
本論文ではこれまで報告されている非接触給電システムについて、伝送電力、伝送周波数、結合係数及び電力変換器のトポロジーの観点から調査を行った。これらの結果が、これから非接触給電システムの研究開発を行う者にとって参考となれば幸いである。

文 献

(1) 特許庁 「平成 26 年度特許出願技術動向調査報告書 非接触給電関連



(a) Transmission power



(b) Transmission frequency

図 3 結合係数・伝送周波数・伝送電力の関係
Fig. 3. Relation among coupling coefficient, transmission frequency and transmission power.

技術」(2015)

- (2) J. Dai, D. C. Ludois: "A Survey of Wireless Power Transfer and a Critical Comparison of Inductive and Capacitive Coupling for Small Gap Applications", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 30, No. 11, pp. 6017-6029 (2015)
- (3) M. P. Kazmierkowski, A. J. Moradewicz: "Contactless Energy Transfer (CET) Systems - A Review", 15th International Power Electronics and Motion Control Conference, pp. 4-6 (2012)
- (4) G. A. Covic, J. T. Boys: "Modern Trends in Inductive Power Transfer for Transportation Applications", IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, Vol. 1, No. 1, pp. 28-41 (2013)
- (5) T. Imura, Y. Hori: "Unified Theory of Electromagnetic Induction and Magnetic Resonant Coupling", IEEJ Trans. D, Vol. 135, No. 6, pp. 697-710 (2015)
- (6) H. Ayano, H. Nagase, H. Inaba: "Highly Efficient Contactless Electrical Energy Transmission System", IEEJ Trans. D, Vol. 123, No. 3, pp. 263-270 (2003)
- (7) H. Abe, H. Sakamoto, K. Harada: "A Nobel Method of Output Voltage Stabilization with Respect to Load Current Variation in the Non-Contact Energy Transfer", IEEJ Trans. D, Vol. 123, No. 11, pp. 1285-1294 (2003)
- (8) Y. Kaneko, S. Matsushita, Y. Oikawa, S. Abe: "Moving Pick-Up Type Contactless Power Transfer Systems and their Efficiency Using Series and Parallel Resonant Capacitors", IEEJ Trans. D, Vol. 128, No. 7, pp. 919-925 (2008)
- (9) H. Irie, N. Minami, H. Minami, H. Kitayoshi: "Non-Contact

- Energy Transfer System Using Immittance Converter”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 120, No. 6, pp. 789-794 (2000)
- (10) H. Abe, H. Sakamoto, K. Harada: “Load matching for Non-Contact Charging System”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 119, No. 4, pp. 536-543 (1999)
 - (11) H. Irie, H. Taike, H. Minami, H. Kitayoshi: “Equivalent Circuit of Pick-Up-Coil in Non-Contact Energy Transfer System”, *IEEJ Trans. D (letter)*, Vol. 118, No. 10, pp. 1228-1229 (1998)
 - (12) H. Irie, Y. Tahatra: “Cascade Configuration of T-LCL-Type and T-CLC-Type Immittance Converters in Non-Contact Energy Transfer Systems”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 129, No. 5, pp. 511-518 (2009)
 - (13) Y. Kaneko, N. Ehara, T. Iawata, S. Abe, T. Yasuda, K. Ida: “Comparison of Transformer Winding Methods for Contactless Power Transfer Systems of Electric vehicle”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 130, No. 6, pp. 734-741 (2010)
 - (14) H. Matsumoto, Y. Neba, K. Ishizaka, R. Itoh: “3-phase Contactless Power Transfer System Tacking Account of Mutual Inductance”, *IEEJ Trans. D (letter)*, Vol. 130, No. 8, pp. 1039-1040 (2010)
 - (15) S. Shindo, Y. Terae, I. Ando, K. Ohishi, M. Ogawa, H. Takano: “A Method of Single Phase High Frequency Inverter Based on Tracking Control to Load Resonant Frequency”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 131, No. 8, pp. 1078-1086 (2011)
 - (16) M. Chigira, Y. Nagatsuk, Y. Kaneko, S. Abe, T. Yasuda, A. Suzuki: “Novel Core Structure and Iron-loss Modeling for Contactless Power Transfer System of Electric Vehicle”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 132, No. 1, pp. 9-16 (2012)
 - (17) T. Tohi, Y. Kaneko, S. Abe: “Maximum Efficiency of Contactless Power Transfer Systems using k and Q ”, *IEEJ Trans. D (letter)*, Vol. 132, No. 1, pp. 123-124 (2012)
 - (18) K. Takuzaki, N. Hoshi: “Consideration of Operating Condition of Secondary-side Converter of Inductive Power transfer System for Obtaining High Resonant Circuit Efficiency”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 132, No. 10, pp. 966-975 (2012)
 - (19) H. Matsumoto, Y. Neba, K. Ishizaka, R. Itoh: “Power Factor Compensator for Contactless Power transfer System Connecting to Full-Bridge Diode Rectifier”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 133, No. 6, pp. 618-626 (2013)
 - (20) S. Kawano, E. Hiraki, T. Tanaka, M. Okamoto: “A High-Frequency Link AC-AC Converter for Contactless Power Supply System in Parking Tower”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 134, No. 2, pp. 139-146 (2014)
 - (21) H. Matsumoto, R. Nakashima, Y. Neba, H. Asahara: “Proposal and Verification of Two-Layer Three-Phase Contactless Power transformer”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 135, No. 5, pp. 539-547 (2015)
 - (22) T. Kai, K. Throngnumchai: “A Study on Receiver Circuit Topology of non-contact Charger for Electric Vehicle”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 132, No. 11, pp. 1048-1054 (2012)
 - (23) K. Yamamoto, T. Maruyama, K. Kondo, T. Kashiwagi: “A Method for Designing a High-Power Contactless Power Transformer Considering Reactive Power”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 133, No. 3, pp. 378-385 (2013)
 - (24) S. Kitazawa, K. Kondo, T. Kashiwagi: “An Evaluation of Power Flow Control of the Power Conversion Circuit for Contactless Power Transformer System at the Coil Misalignment”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 133, No. 5, pp. 518-525 (2013)
 - (25) S. Mochizuki, S. Nakadachi, H. Watanabe, S. Sakaino, Y. Kaneko, S. Abe, T. Yasuda: “Bidirectional Contactless Power Transfer System expandable from Unidirectional Systems”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 133, No. 7, pp. 707-713 (2013)
 - (26) Y. Nakata, J. Itoh: “PDM Control Method for a Matrix Converter Converting Several-Hundred-kHz Single-Phase Input to Commercial Frequency Three-Phase Output”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 134, No. 1, pp. 41-48 (2014)
 - (27) T. Yamanaka, I. Fujita, Y. Kaneko, S. Abe, T. Yasuda: “Cooling Structure for Large Capacity H-shaped Core Contactless Power Transformers for Electric Vehicles”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 134, No. 3, pp. 370-375 (2014)
 - (28) S. Ojika, Y. Miura, T. Ise: “Evaluation of Inductive Contactless Power Transfer Outlet with Coaxial Coreless Transformer”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 135, No. 1, pp. 49-57 (2015)
 - (29) H. Abe, T. Akiyama, M. Ozaki, H. Kohara: “Simple Equivalent Circuit for a Wireless Power Transfer System Using a Repeating Coil and Effects Confirming the Simplification in the Output Voltage Estimation”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 135, No. 6, pp. 679-688 (2015)
 - (30) H. Matsuoka, S. Watanabe, T. Koseki: “Research on the Characteristic Change in an Inductive-coupling-type Contactless Power Transformer for a Railway According to the Core Shapes and Misalignment Utilizing a T-type Equivalent Circuit”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 135, No. 7, pp. 746-754 (2015)
 - (31) K. Sugimori, H. Sakamoto, K. harada: “One Converter Type Contact-less Charger for Electric Vehicles”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 118, No. 11, pp. 1253-1259 (1998)
 - (32) F. Anan, K. Yamasaki, K. Harada, H. Sakamoto, K. Sugimori, M. Inoh: “A Charger with a Magneto-Inductive Connector”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 116, No. 3, pp. 245-250 (1995)
 - (33) T. Nishimura, T. Eguchi, T. Inoue, M. Saito, Y. Maejima, M. Majima, K. Hirachi: “A Transcutaneous Power Supply System for a Rechargeable Cardiac Pacemaker Battery”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 117, No. 9, pp. 1085-1091 (1997)
 - (34) D. Gunji, T. Imura, H. Fujimoto: “Fundamental Research on Control Method for Power Conversion Circuit of Wireless In-Wheel Motor using Magnetic Resonance Coupling”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 135, No. 3, pp. 182-191 (2015)
 - (35) K. Shimamura, M. Koizumi, Y. Mizuno, K. Komurasaki: “Effect of Axial Slit on metallic Tube for Wireless Power Transfer Via Magnetic Resonance Coupling -Application of Magnetic-Resonance Coupling Techniques for Infrastructure Diagnostics-”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 135, No. 7, pp. 787-793 (2015)
 - (36) J. Shibata, K. Kaneko, K. Ohishi, I. Ando, M. Ogawa, H. Takano: “Fine Output Voltage Control Method considering Time-Delay of Digital Inverter System for X-ray Computed Tomography”, *IEEJ Trans. D*, Vol. 131, No. 11, pp. 1331-1337 (2011)
 - (37) T. Mizuno, T. Ueda, S. Yachi, R. Ohtomo, Y. Goto: “Dependence of Efficiency on Wire Type and Number of Strands of Litz Wire for Wireless Power Transfer of Magnetic Resonant Coupling”, *IEEJ Journal of Industry Application*, Vol. 3, No. 1, pp. 35-40 (2014)
 - (38) T. Hiramatsu, H. Xiaoliang, M. Kato, T. Imura, Y. Hori: “Experimental Verification of Feedforward Controller for Wireless Charging Power Control through Receiver Side Voltage Control”, *IEEJ JIASC2014*, No. 2-13 (2014)
 - (39) T. Matsumura, Y. Kaneko, S. Abe: “An Operating Method of Inverter with Capacitive Load in Wireless Charger for Electric Vehicles”, *IEEJ JIASC2013*, No. 4-6 (2013)
 - (40) M. Jo, Y. Sato, Y. Kaneko, S. Abe: “Reduction of Harmonic Current Flowing Transformer of Wireless Charging System for Electric vehicles”, *IEEJ JIASC2013*, No. 4-7 (2013)
 - (41) I. Fujita, T. Yamanaka, Y. Kaneko, S. Abe, T. Yasuda, A. Suzuki: “Large Capacity Contactless Power Transforemr for Electric Vehicle Using Multiple Module Configuration”, *IEEJ JIASC2012*, No. 4-9 (2012)
 - (42) K. Okada, N. Hoshi, J. Haruna: “Frequency Characteristic for Inductive Power Transfer System”, (43)(131)*IEEJ JIASC2012*, No. Y-54 (2012)
 - (43) H. Takanashi, T. Yamanaka, M. Chigira, Y. Kaneko, S. Abe, T. Yasuda, A. Suzuki: “Compact Contactless Power Transformer for Electric Vehicle 3kW Charger”, *IEEJ JIASC2011*, No. 2-12 (2011)
 - (44) K. Iimura, N. Hoshi, J. Haruna: “Loss Evaluation of Moving Type Inductive Power Transfer System with LCL Circuit”, *IEEJ JIASC2011*, No. Y-48 (2011)
 - (45) Y. Moriwaki, T. Imura, Y. Hori: “A Study on Reduction of Reflected Power Using DC/DC Converter in Wireless Power Transfer System via Magnetic Resonant Coupling”, *IEEJ JIASC2011*, No. 2-10 (2011)
 - (46) K. Wakasugi, T. Isobe, R. Shimada: “Highly Efficient Non-Contact Energy Transfer Systems Using a Magnetic Energy Recovery Switch”, *IEEJ JIASC2010*, No. 1-42 (2010)
 - (47) Y. Tahara, H. Irie: “Cascade Configuration of T-LCL Type and T-CLC Type Immittance Converter in Non-Contact energy Transfer System”, *IEEJ JIASC2007*, No. 1-84 (2007)

- (48) A. Asami, H. Irie: "Comparison of characteristics for connections of pick-up in non-contact energy transfer system", IEEJ JIASC2006, No. 1-118 (2006)
- (49) A. Asami, H. Irie: "Series Resonance and Parallel Resonance of Receipt Device for Non-Contact Energy Transfer System", IEEJ JIASC2005, No. Y-100 (2005)
- (50) H. Abe: "A Simple Method of Output Voltage Stabilization Suited to the Output Rectifier Circuit in the Non-Contact Energy Transfer", IEEJ JIASC2003, No. 1-18 (2003)
- (51) Y. Yamane, H. Irie: "Characteristics of Non-Contact Energy Transfer System for Changing the Shape of the Core", IEEJ JIASC2003, No. 2-26 (2003)
- (52) M. Nishimura, A. Kawamura: "Fundamental Study on Contact-less power transmission for a high speed railway", IEEJ JIASC2003, No. Y-43 (2003)
- (53) T. Yabuuchi, H. Irie: "High Frequency Constant-Current Power Supply for Non-Contact Energy Transfer System", IEEJ JIASC2003, No. Y-42 (2003)
- (54) D. Gunji, T. Imura, H. Fujimoto: "Study of Power Conversion Circuit Structure Appropriate for Control Purpose on Wireless Power Transfer", IEEJ SPC, No. SPC-15-17 (2015)
- (55) R. Ota, N. Hoshi, J. Haruna: "Design of Compensation Capacitor in S/P Topology of Inductive Power Transfer System with Buck or Boost Converter on Secondary Side", IEEJ Journal of Industry Application, Vol. 4, No. 4, pp. 476-485 (2015)
- (56) Y. Hayashi, H. Toyoda, T. Ise: "Contactless DC Connector Concept for High-Power-Density 380-V DC Distribution System", IEEJ Journal of Industry Application, Vol. 4, No. 1, pp. 49-58 (2015)
- (57) K. Konishi, T. Mishima, M. Nakaoka: "A Time-Sharing Principle-based Frequency Doubler ZCS High Frequency-Resonant Inverter for Inductive Power Transfer -The First Report on the Experimental Evaluation-", IEICE Technical Report, No. EE2015-8 (2015)
- (58) K. Ukita, T. Kashiwagi, Y. Sakamoto, Y. Kato, H. Yoda, T. Sasakawa: "Verification of Non-contact Power Supply System for Railways Using a Test Vehicle", IEEJ Annual meeting 2015, No. 5-128 (2015)
- (59) A. Matsushita, N. Tada, H. Ishihara: "Verification test of 7kW Class Contactless Power Transfer system", IEEJ Annual meeting 2015, No. 4-156 (2014)
- (60) H. Toita, T. Takizawa, T. Kobari, J. Sagawa, N. Ariyoshi, T. Kaneko, et. Al.: "The Development of 50kW Inductive Power Supply System for the daily Root Bus.", IEEJ Annual meeting 2014, No. 4-083 (2014)
- (61) K. Iimura, N. Hoshi, J. Haruna: "Constant Voltage Output Control Methods of Parallel-Parallel Compensated Inductive Power Transfer", IEEJ Annual meeting 2013, No. 4-005 (2013)
- (62) K. Okada, K. Iimura, N. Hoshi: "Comparison of Primary Compensation Topologies for Inductive Power Transfer System", IEEJ Annual meeting 2012, No. 4-103 (2012)
- (63) H. Iura, H. Matsumoto, Y. Neba, K. Ishizaka, R. Itoh: "PFC Topology with Suppression of Input Harmonics in Contactless Power Transfer System", IEEJ Annual meeting 2012, No. 4-106 (2012)
- (64) S. Kawano, M. Okamoto, E. Hiraki, T. Tanaka: "Experimental verification of High-Frequency-link AC-AC Converter for Non-contact Power Supply System in Parking Tower", IEEJ Annual meeting 2012, No. 4-107 (2012)
- (65) S. Abe, K. Kanai, Y. Kaneko, S. Abe: "Three-phase Moving Pick-Up Type Contactless Power Transfer Systems", IEEJ Annual meeting 2012, No. 4-155 (2010)
- (66) N. Ehara, T. Iwata, T. Tsuji, Y. Kaneko, S. Abe, T. Yasuda: "Characteristics of Contactless Power Transfer System Equipped with Aluminum-plate Leakage Flux Shield", IEEJ Annual meeting 2008, No. 4-196 (2008)
- (67) T. Yamaji, F. Jin, K. Fujiwara, Y. Ishihara, T. Todaka, K. Sakaguchi, et. Al.: "Contact-less power transfer system based on the parallel resonance and current doubler", IEEJ Annual meeting 2007, No. 4-035 (2007)
- (68) A. Asami, H. Irie: "Non-Contact Power Transfer With a Pick-Up Witch Has immittance Converter Characteristics", IEEJ Annual meeting 2006, No. 4-221 (2006)
- (69) H. Sakamoto, K. Harada, S. Washimiya, K. Takehara, Y. Matsuo, F. Nakao: "Large Air-Gap Coupler for Inductive Charger", IEEE Trans. On Magnetics, Vol. 35, No. 5, pp. 3526-3528 (1999)
- (70) B. L. Cannon, J. F. Hoburg, D. D. Stancil, S. C. Goldstein: "Magnetic Resonant Coupling As a Potential Means for Wireless Power Transfer to Multiple Small Receivers", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 24, No. 7, pp. 1819-1825 (2009)
- (71) Z. N. Low, R. A. Chinga, R. Tseng, J. Lin: "Design and Test of a High-Power High-Efficiency Loosely Coupled Planar Wireless Power Transfer System", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 56, No. 5, pp. 1801-1812 (2009)
- (72) J. W. Hsu, A. P. Hu, A. Swain: "A Wireless Power Pickup Based on Directional Tuning Control of Magnetic Amplifier", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 56, No. 7, pp. 2771-1781 (2009)
- (73) S. Lee, R. D. Lorenz: "Development and Validation of Model for 95%-Efficiency 220-W Wireless Power Transfer Over a 30-cm Air Gap", IEEE Tran. On Industry Applications, Vol. 47, No. 6, pp. 2495-2504 (2011)
- (74) J. Park, Y. Tak, Y. Kim, Y. Kim, S. Nam: "Investigation of Adaptive Matching Methods for Near-Field Wireless Power Transfer", IEEE Trans. On Antennas and Propagation, Vol. 59, No. 5, pp. 1769-1773 (2011)
- (75) J. Huh, S. W. lee, W. Y. Lee, G. H. Cho, C. T. Rim: "Narrow-Width Inductive Power Transfer System for Online Electrical Vehicles", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 26, No. 12, pp. 3666-3679 (2011)
- (76) T. Imura, Y. Hori: "Maximizing Air Gap and Efficiency of Magnetic Resonant Coupling for Wireless Power Transfer Using equivalent Circuit and Neumann Formula", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 58, No. 10, pp. 4746-4752 (2011)
- (77) J. Wang, J. Li, S. L. Ho, W. Y. Chau, W. K. Lee, W. N. Fu, et. Al.: "Study and Experimental Verification of a Rectangular Printed-Circuit-Board Wireless Transfer System for Low Power Devices", IEEE Trans. On Magnetics, Vol. 48, No. 11, pp. 3013-3016 (2012)
- (78) H. Zeng, S. yang, F. Peng: "Wireless power transfer via harmonic current for Electric Vehicles Application", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition 13th, pp. 592-596 (2015)
- (79) F. Lu, H. Hofmann, J. Deng, C. Mi: "Output Power and Efficiency Sensitivity to Circuit Parameter Variations in Double-Sided LCC-Compensated Wireless Power Transfer System", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition 13th, pp. 597-601 (2015)
- (80) B. Wunsch, J. Bradshaw, I. Stevanovic, F. Canales, W. Van-der-Merwe: "Inductive power transfer for auxiliary power of medium voltage converters", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition 13th, pp. 2551-2556 (2015)
- (81) E. Asa, K. Colak, M. Bojarski, D. Czarkowski: "A Novel Phase Control of Semi Bridgeless Active Rectifier for Wireless Power Transfer Applications", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition 13th, pp. 3225-3231 (2015)
- (82) K. Hata, T. Imura, Y. Hori: "Maximum Efficiency Control of Wireless Power Transfer via Magnetic Resonant Coupling Considering Dynamics of DC-DC Converter for Moving Electric Vehicles", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition 13th, pp. 3301-3306 (2015)
- (83) J. Hou, Q. Chen, S. Wong, X. Ren, X. Ruan: "Output Current Characterization of Parallel-Series/Series Compensated Resonant Converter for Contactless Power Transfer", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition 13th, pp. 1625-1629 (2015)
- (84) H. Ishihara, F. Moritsuka, A. Matsushita, S. Otake: "A Voltage Ratio-based Efficiency Control Method for 3 kW Wireless Power Transmission", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition 12th, pp. 1312-1316 (2014)
- (85) K. Orikawa, Y. Fujita, J. Itoh: "Investigation for High Output of 2.5MHz Power Supply Constructed from Multi-Core Transformers and a Multi-Phase Inverter and Application for Wireless Power Transfer", IEEE Applied Power Electronics Conference and

- Exposition 12th, pp. 1329-1335 (2014)
- (86) C. Zhao, Z. Wang, J. Du, J. Wu, S. Zong, X. He: "Active Resonance Wireless Power Transfer System Using Phase Shift Control Strategy", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition 12th, pp. 1336-1341 (2014)
 - (87) N. Liu, B. Wang: "An LLC-Based Planar Wireless Power Transfer System for Multiple Devices", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition 12th, pp. 3411-3417 (2014)
 - (88) R. Bosshard, J. W. Kolar, B. Wunsch: "Accurate Finite-Element Modeling and Experimental Verification of Inductive Power Transfer Coil Design", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition 12th, pp. 1648-1653 (2014)
 - (89) R. Chen, C. Zheng, Z. U. Zahid, E. Faraci, M. Senesky, D. Anderson, G. Ilić: "Analysis and Parameters Optimization of a Contactless IPT System for EV Charger", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition 12th, pp. 1654-1661 (2014)
 - (90) J. Huh, W. Lee, G. Cho, B. Lee, C. Rim: "Characterization of Nonvel Inductive Power Transfer Systems for On-Line Electric Vehicles", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition 11th, pp. 1975-1979 (2013)
 - (91) A. P. Sample, D. A. Meyer, J. R. Smith: "Analysis, Experimental Results, and Range Adaption of Magnetically Coupled Resonators for Wireless Power Transfer", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 58, No. 2, pp. 544-554 (2011)
 - (92) W. Zhong, C. K. Lee, S. Y. R. Hui: "General Analysis on the Use of Tesla's Resonators in Domino Forms for Wireless Power Transfer", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 60, No. 1, pp. 261-170 (2013)
 - (93) D. Ahn, S. Hong: "Effect of Coupling Between Multiple Transmitters or Multiple Receivers on Wireless Power Transfer", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 60, No. 7, pp. 2602-2613 (2013)
 - (94) D. Ahn, S. Hong: "A Study on Magnetic Field Repeater in Wireless Power Transfer", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 60, No. 1, pp. 360-371 (2013)
 - (95) T. C. Beh, M. Kato, T. Imura, S. Oh, Y. Hori: "Automated Impedance Matching System for Robust Wireless Power Transfer via Magnetic Resonance Coupling", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 60, No. 9, pp. 3689-3698 (2013)
 - (96) M. J. Neath, A. K. Swain, U. K. Madawala, D. J. Thrimawithana: "An Optimal PID Controller for a Bidirectional Inductive Power Transfer System Using Multiobjective Genetic Algorithm", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 29, No. 3, pp. 1523-1531 (2014)
 - (97) S. Aldhafer, P. C. Luk, A. Bati, J. F. Whidborne: "Wireless Power Transfer Using Class E Inverter With Saturable DC-Feed Inductor", IEEE Trans. On Industry Applications, Vol. 50, No. 4, pp. 2710-2718 (2014)
 - (98) K. E. Koh, T. C. Beh, T. Imura, Y. Hori: "Impedance Matching and Power Division Using Impedance Inverter for Wireless Power Transfer via Magnetic Resonant Coupling", IEEE Trans. On Industry Applications, Vol. 50, No. 3, pp. 2061-2070 (2014)
 - (99) Q. Zhu, L. Wang, C. Liao: "Compensate Capacitor Optimization for Kilowatt-Level Magnetically Resonant Wireless Charging System", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 61, No. 12, pp. 6758-6768 (2014)
 - (100) S. Y. Choi, B. W. Gu, S. W. Lee, W. Y. Lee, J. Huh, C. T. Rim: "Generalized Active EMF Cancel Methods for Wireless Electric Vehicles", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 29, No. 11, pp. 5770-5783 (2014)
 - (101) M. Fu, C. Ma, X. Zhu: "A Cascaded Boost-Buck Converter for High-Efficiency Wireless Power Transfer Systems", IEEE Trans. On Industrial Informatics, Vol. 10, No. 3, pp. 1972-1980 (2014)
 - (102) W. Li, H. Zhao, S. Li, J. Deng, T. Kan, C. C. Mi: "Integrated LCC compensation topology for Wireless Charger in Electric and Plug-in Electric Vehicles", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 62, No. 7, pp. 4215-4225 (2015)
 - (103) T. Diekhans, R. W. D. Doncker: "A Dual-Side Controlled Inductive Power Transfer System Optimized for Large Coupling Factor Variations and Partial Load", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 60(10), No. 11, pp. 6320-6328 (2015)
 - (104) S. Li, W. Li, J. Deng, T. D. Nguyen, C. C. Mi: "A Double-Sided LCC Compensation Network and Its Tuning Method for Wireless Power Transfer", IEEE Trans. On Vehicular Technology, Vol. 64, No. 6, pp. 2261-2273 (2015)
 - (105) S. Li, C. C. Mi: "Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications", IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, Vol. 3, No. 1, pp. 4-17 (2015)
 - (106) S. Aldhafer, P. C. Luk, K. E. K. Drissi, J. F. Whidborne: "High-Input-Voltage High-Frequency Class E Rectifiers for Resonant Inductive Links", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 30, No. 3, pp. 1328-1335 (2015)
 - (107) J. Dai, D. C. Ludois: "A Survey of Wireless Power Transfer and a Critical Comparison of Inductive and Capacitive Coupling for Small Gap Applications", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 30, No. 11, pp. 6017-6029 (2015)
 - (108) W. X. Zhong, S. Y. R. Hui: "Maximum Energy Efficiency Tracking for Wireless Power Transfer Systems", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 30, No. 7, pp. 4025-4034 (2015)
 - (109) H. Li, J. Li, K. Wang, W. Chen, X. Yang: "A Maximum Efficiency Point Tracking Control Scheme for Wireless Power Transfer Systems Using Magnetic Resonant Coupling", Vol. 30, No. 7, pp. 3998-4008 (2015)
 - (110) Z. Pantic, K. Lee, S. M. Lukic: "Receivers for Multifrequency Wireless Power Transfer: Design for Minimum Interference", IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, Vol. 3, No. 1, pp. 234-241 (2015)
 - (111) K. Colak, E. Asa, M. Bojarski, D. Czarkowski, O. C. Onar: "A Novel Phase-Shift Control of Semibridgeless Active Rectifier for Wireless Power Transfer", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 30, No. 11, pp. 6288-6297 (2015)
 - (112) M. Fu, H. Yin, X. Zhu, C. Ma: "Analysis and Tracking of Optimal Load in Wireless Power Transfer Systems", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 30, No. 7, pp. 3952-3963 (2015)
 - (113) J. Lee, B. Han: "A Bidirectional Wireless Power Transfer EV Charger Using Self-Resonant PWM", IEEE Trans. On Power Electronics (Letter), Vol. 30, No. 4, pp. 1784-1791 (2015)
 - (114) A. Berger, M. Agostinelli, S. Vesti, J. A. Oliver, J. A. Cobos, M. Huemer: "A Wireless Charging System Applying Phase-Shift and Amplitude Control to Maximize Efficiency and Extractable Power", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 30, No. 11, pp. 6338-6348 (2015)
 - (115) J. T. Boys, G. A. Covic, Y. Xu: "DC Analysis Technique for Inductive Power Transfer Pick-Ups", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 1, No. 2, pp. 51-53 (2003)
 - (116) C. Wang, G. A. Covic, O. H. Stielau: "Investigating an LCL Load Resonant Inverter for Inductive Power Transfer Application", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 19, No. 4, pp. 995-1002 (2004)
 - (117) C. Wang, G. A. Covic, O. H. Stielau: "Power Transfer Capability and Bifurcation Phenomena of Loosely Coupled Inductive Power Transfer Systems", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 51, No. 1, pp. 148-157 (2004)
 - (118) G. A. Covic, J. T. Boys, M. L. G. Kissin, H. G. Lu: "A Three-Phase Inductive Power Transfer System for Roadway-Powered Vehicles", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 54, No. 6, pp. 3370-3378 (2007)
 - (119) N. A. Keeling, G. A. Covic, J. T. Boys: "A Unity-Power-Factor IPT Pickup for High-Power Application", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 57, No. 2, pp. 744-751 (2010)
 - (120) H. H. Wu, A. Gilchrist, K. D. Sealy, D. Bronson: "A High Efficiency 5 kW Inductive Charger for EVs Using Dual Side Control", IEEE Trans. On Industrial Informatics, Vol. 8, No. 3, pp. 585-595 (2012)
 - (121) U. K. Madawala, M. Neath, D. J. Thrimawithana: "A Power-Frequency Controller for Bidirectional Inductive Power Transfer Systems", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 60, No. 1, pp. 310-317 (2013)
 - (122) M. Budhia, J. T. Boys, G. A. Covic, C. Huang: "Development of a Single-Sided Flux Magnetic Coupler for Electric Vehicle IPT Charging Systems", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 60, No. 1, pp. 318-328 (2013)

- (123) D. J. Thrimawithana, U. K. Madawala, M. Neath: "A Synchronization Technique for Bidirectional IPT Systems", *IEEE Trans. On Industrial Electronics*, Vol. 60, No. 1, pp. 301-309 (2013)
- (124) D. J. Thrimawithana, U. K. Madawala: "A Generalized Steady-State Model for Bidirectional IPT Systems", *IEEE Trans. On Power Electronics*, Vol. 28, No. 10, pp. 4681-4689 (2013)
- (125) N. X. Bac, D. M. Vilathgamuwa, U. K. Madawala: "A SiC-Based Matrix Converter Topology for Inductive Power Transfer System", *IEEE Trans. On Power Electronics*, Vol. 29, No. 8, pp. 4029-4038 (2014)
- (126) G. R. Nagendra, G. A. Covic, J. T. Boys: "Determining the Physical Size of Inductive Couplers for IPT EV Systems", *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, Vol. 2, No. 3, pp. 571-583 (2014)
- (127) R. Haldi, K. Schenk: "A 3.5 kW Wireless Charger for Electric Vehicles with Ultra High Efficiency", *IEEE Energy Conversion Congress & Expo 2014*, pp. 668-674 (2014)
- (128) H. Sekiya, T. Suetsugu, K. Shirota: "Loosely Coupled Inductive Wireless Power Transfer Systems with Class-E Transmitter and Multiple Receivers", *IEEE Energy Conversion Congress & Expo 2014*, pp. 675-680 (2014)
- (129) P. C. K. Luk, S. Aldhafer: "Analysis and Design of a Class D Rectifier for a Class E Driven Wireless Power Transfer System", *IEEE Energy Conversion Congress & Expo 2014*, pp. 851-857 (2014)
- (130) M. Jo, Y. Sato, Y. Kaneko, S. Abe: "Methods for Reducing Leakage Electric Field of a Wireless Power Transfer System for Electric Vehicles", *IEEE Energy Conversion Congress & Expo 2014*, pp. 1762-1769 (2014)
- (131) H. Takanashi, Y. Sato, Y. Kaneko, S. Abe, T. Yasuda: "A Large Air Gap 3 kW Wireless Power Transfer System for Electric Vehicles", *IEEE Energy Conversion Congress & Expo 2012*, pp. 269-274 (2012)
- (132) H. H. Wu, A. Gilchrist, K. Sealy, D. Bronson: "A 90 Percent Efficient 5kW Inductive Charger for Evs", *IEEE Energy Conversion Congress & Expo 2012*, pp. 275-282 (2012)
- (133) A. Zaheer, D. Kacprzak, G. A. Covic: "A Bipolar Receiver Pad in a Lumped IPT System for Electric Vehicle Charging Applications", *IEEE Energy Conversion Congress & Expo 2012*, pp. 283-290 (2012)
- (134) F. Musavi, M. Edington, W. Eberle: "Wireless Power Transfer: A Survey of EV Battery Charging Technologies", *IEEE Energy Conversion Congress & Expo 2012*, pp. 1804-1810 (2012)
- (135) I. Nam, R. Dougal, En Santi: "Novel Control Approach to Achieving Efficient Wireless Battery Charging for Portable Electronic Devices", *IEEE Energy Conversion Congress & Expo 2012*, pp. 2482-2891 (2012)
- (136) E. Waffenschmidt: "Free positioning for inductive wireless power system", *IEEE Energy Conversion Congress & Expo 2011*, pp. 3480-3487 (2011)
- (137) J. O. Mur-Miranda, G. Fanti, Y. Feng, K. Omanakuttan, R. ongie, A. Setjoadi, W. Franklin: "Wireless Power Transfer Using Weakly Coupled Magnetostatic Resonators", *IEEE Energy Conversion Congress & Expo 2010*, pp. 4179-4186 (2011)
- (138) J. Huh, S. Lee, C. Park, G. Cho, C. Rim: "High Performance Inductive Power Transfer System with Narrow Rail Width for On-Line Electric Vehicles", *IEEE Energy Conversion Congress & Expo 2010*, pp. 647-651 (2010)
- (139) S. Lee, J. Huh, C. Park, N. Choi, G. Cho, C. Rim: "On-Line Electric Vehicle using Inductive Power Transfer System", *IEEE Energy Conversion Congress & Expo 2010*, pp. 1598-1601 (2010)
- (140) G. A. Covic, J. T. Boys, A. M. W. Tam, J. C. H. Peng: "Self Tuning Pick-ups for Inductive Power Transfer", *IEEE 39th Annual Power Electronics Specialist Conference*, pp. 3489-3494 (2008)
- (141) J. T. Boys, C. Y. Huang, G. A. Covic: "Single-Phase Unity Power-Factor Inductive Power Transfer System", *IEEE 39th Annual Power Electronics Specialist Conference*, pp. 3701-3706 (2008)
- (142) S. Raabe, J. T. Boys, G. A. Covic: "A High Power Coaxial Inductive Power Transfer Pickup", *IEEE 39th Annual Power Electronics Specialist Conference*, pp. 4320-4325 (2008)
- (143) S. Kitazawa, K. Kondo, T. Kashiwagi: "Study on a Control Method of the Power Converter for Constant Power Transmission by Single-pulse PWM mode", *15th European Conference on Power Electronics and Applications*, pp. 1-9 (2013)
- (144) H. Omori, Y. Iga, T. Morizane, N. Kimura, K. Nakagawa, M. Nagaoka: "A Novel Wireless EV Charger using SiC Single-Ended Quasi-Resonant Inverter for Home Use", *15th International Power Electronics and Motion Control Conference*, No. LS8b.2, pp. 1-9 (2012)
- (145) H. Hao, G. A. Covic, J. T. Boys: "An Approximate Dynamic Model of LCL-T-Based Inductive Power Transfer power Supplies", *IEEE Trans. On Power Electronics*, Vol. 29, No. 10, pp. 5554-5567 (2014)
- (146) H. Hao, G. A. Covic, J. T. Boys: "A Parallel Topology for Inductive Power Transfer Power Supplies", *IEEE Trans. On Power Electronics*, Vol. 29, No. 3, pp. 1140-1151 (2014)
- (147) A. Zaheer, G. A. Covic, D. Kacprzak: "A Bipolar Pad in a 10-kHz 300-W Distributed IPT System for AGV Applications", *IEEE Trans. On Industrial Electronics*, Vol. 61, No. 7, pp. 3288-3301 (2014)
- (148) W. Zhang, S. Wong, C. K. Tse, Q. Chen: "Design for Efficiency Optimization and Voltage Controllability of Series-Series Compensated Inductive Power Transfer Systems", *IEEE Trans. On Power Electronics*, Vol. 29, No. 1, pp. 191-200 (2014)
- (149) J. E. James, D. J. Robertson, G. A. Covic: "Improved AC Pickups for IPT Systems", *IEEE Trans. On Power Electronics*, Vol. 29, No. 12, pp. 6361-6374 (2014)
- (150) Z. Pantic, K. Lee: "Multifrequency Inductive Power Transfer", *IEEE Trans. On Power Electronics*, Vol. 29, No. 11, pp. 5995-6005 (2014)
- (151) Z. Cheng, Y. Lei, K. Song, C. Zhu: "Design and Loss Analysis of Loosely Coupled Transformer for an Underwater High-Power Inductive Power Transfer System", *IEEE Trans. On Magnetics*, Vol. 51, No. 7, pp. 8401110 (2015)
- (152) J. T. Boys, G. A. Covic: "The Inductive Power Transfer Story at the University of Auckland", *IEEE Circuits and Systems Magazine*, pp. 6-27 (2015)
- (153) X. Qu, H. Han, S. Wong, C. K. Tse, W. Chen: "Hybrid IPT Topologies With Constant Current or Constant Voltage Output for Battery Charging Applications", *IEEE Trans. On Power Electronics*, Vol. 30, No. 11, pp. 6329-6337 (2015)
- (154) S. Y. Choi, S. Y. Jeong, B. W. Gu, G. C. Lim, C. T. Rim: "Ultraslim S-Type Power Supply Rails for Roadway-Powered Electric Vehicles", *IEEE Trans. On Power Electronics*, Vol. 30, No. 11, pp. 6456-6468 (2015)
- (155) Y. H. Sohn, B. H. Choi, E. S. Lee, G. C. Lim, G. Cho, C. T. Rim: "General Unified Analyses of Two-Capacitor Inductive Power Transfer Systems: Equivalence of Current-Source SS and SP Compensations", *IEEE Trans. On Power Electronics*, Vol. 30, No. 11, pp. 6030-6045 (2015)
- (156) C. Zheng, H. Matsumoto, J. Lai, L. Zhang: "Design Considerations to Reduce Gap Variation and Misalignment Effects for the Inductive Power Transfer System", *IEEE Trans. On Power Electronics*, Vol. 30, No. 11, pp. 6108-6119 (2015)
- (157) B. X. Nguyen, D. Mahinda, G. H. B. Foo, P. Wang, A. Ong, U. K. Madawala, T. Duy Nguyen: "An Efficiency Optimization Scheme for Bidirectional Inductive Power Transfer Systems", *IEEE Trans. On Power Electronics*, Vol. 30, No. 11, pp. 6310-6319 (2015)
- (158) L. J. Chen, J. T. Boys, G. A. Covic: "Power Management for Multiple-Pickup IPT Systems in Materials Handling Applications", *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, Vol. 3, No. 1, pp. 163-176 (2015)
- (159) S. Weearsinghe, D. J. Thrimawithana, U. K. Madawala: "Modeling Bidirectional Contactless Grid Interfaces With a Soft DC-Link", *IEEE Trans. On Power Electronics*, Vol. 30, No. 7, pp. 3528-3541 (2015)
- (160) Z. U. Zahid, Z. M. Dalala, C. Zheng, R. Chen, W. E. Faraci, J. Lai, G. Iasi: "Modeling and Control of Series-Series Compensated Inductive Power Transfer System", *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, Vol. 30, No. 1, pp. 111-123

- (2015)
- (161) R. Bosshard, J. W. Kolar, J. Muhlethaler, I. Stevanovic, B. Wunsch, F. Canales: "Modeling and eta-alpha-Pareto Optimization of Inductive Power Transfer Coils for Electric Vehicles", *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, Vol. 3, No. 1, pp. 50-64 (2015)
- (162) H. Miura, S. Arai, Fumihiro Sato, H. Matsuki, T. Sato: "A Synchronous Rectification Using a Digital PLL Technique for Contactless Power Supplies", *IEEE Trans. On Magnetics*, Vol. 41, No. 10, pp. 3997-3999 (2015)
- (163) Y. Hayashi, H. Toyoda, T. Ise, A. Matsumoto: "Contactless DC Connector Based on GaN LLC Converter for Next-Generation Data Centers", *IEEE Trans. On Industry Applications*, Vol. 51, No. 4, pp. 3244-3253 (2015)
- (164) J. Hirai, T. Kim, A. Kawamura: "Practical Study on Wireless Transmission of Power and Information for Autonomous Decentralized Manufacturing System", *IEEE Trans. On Industrial Electronics*, Vol. 46, No. 2, pp. 349-359 (1999)
- (165) M. Pinuela, D. C. Yates, S. Lucyszyn, P. D. Mitcheson: "Maximizing DC-to-Load Efficiency for Inductive Power Transfer", *IEEE Trans. On Power Electronics*, Vol. 28, No. 5, pp. 2437-2447 (2013)
- (166) A. Shimamoto, H. Sakamoto, K. Harada: "Soft switching in Contactless Power Supply Equipments", Technical Report of IEICE, No. PE96-9, pp. 61-68 (1996)
- (167) H. Abe, H. Sakamoto, K. Harada: "Constant-current Charge of the Non-contact Load Dispatching", Technical Report of IEICE, No. EE99-41, pp. 37-44 (1999)
- (168) B. Schumelling, S. G. Cimen, T. Vosschagen, F. Turki: "Layout and Operation of a Non-Contact Charging System for Electric Vehicles", 15th International Power Electronics and Motion Control Conference, No. LS4d.4, pp. 1-7 (2012)
- (169) T. Imura, H. Okabe, Y. Hori: "Basic Experimental Study on Helical Antennas of Wireless Power Transfer for Electric Vehicles by using Magnetic Resonant Coupling", *Vehicle Power and Propulsion Conference 2009 (VPPC)*, pp. 936-940 (2009)
- (170) A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher, M. Soljacic: "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances", *Science*, Vol. 317, pp. 83-86 (2007)
- (171) N. Y. Kim, K. Y. Kim, Y. Ryu, J. Choi, D. Kim, C. Yoon, et. Al.: "Automated Adaptive Frequency Tracking System for Efficient Mid-range Wireless Power Transfer via Magnetic Resonance Coupling", 43rd European Microwave Conference 2012, pp. 221-224 (2012)
- (172) M. Eghtesadi: "Inductive power transfer to an electric vehicle-analytical model", 40th IEEE Conference in Vehicular Technology, pp. 100-104 (1990)
- (173) H. Sakamoto, K. Harada: "A Novel Converter for Non-Contact Charging with Electromagnetic Coupling", *IEEE Trans. On Magnetics*, Vol. 29, No. 6, pp. 3228-3231 (1993)
- (174) H. Sakamoto, K. Harada: "A Novel High Power Converter for Non-contact Charging with Magnetic Coupling", *IEEE Trans. On Magnetics*, Vol. 30, No. 6, pp. 4755-4757 (1994)
- (175) A. W. Green, J. T. Boys: "10 kHz inductively coupled power transfer-concept and control", International Conference on Power Electronics and Variable-Speed Drives, pp. 694-699 (1994)
- (176) H. Sakamoto, K. Harada, K. Yamasaki: "A Novel High Power Converter for Non-contact Charging with Magnetic Coupling", International Conference on Power Electronics and Variable-Speed Drives, pp. 461-464 (1995)
- (177) G. A. J. Elliott, J. T. Boys, A. W. Green: "Magnetically coupled systems for power transfer to electric vehicles", International Conference on Power Electronics and Variable-Speed Drives, Vol. 2, pp. 797-801 (1995)
- (178) J. G. Bolger, F. A. Kirsten, L. S. Ng: "Inductive Power Coupling for an Electric Highway System", *IEEE 28th Conference in Vehicular Technology Conference*, Vol. 28, pp. 137-144 (1978)
- (179) J. G. Bolger, L. S. Ng, D. B. Turner, R. I. Wallace: "Testing a Prototype Inductive Power Coupling For an Electric Highway System", *IEEE 29th Conference in Vehicular Technology Conference*, Vol. 29, pp. 48-56 (1979)
- (180) A. P. Hu, H. L. Li: "A new high frequency current generation method for inductive power transfer applications", 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference 2006, pp. 18-22 (2006)
- (181) Y. Su, C. Tang, S. Wu, U. Sun: "Research of LCL Resonant Inverter in Wireless Power Transfer System", International Conference on Power System Technology 2006, pp. 1-6 (2006)
- (182) U. K. Madawala, D. J. Thrimawithana: "Current sourced bi-directional inductive power transfer system", *Power Electronics IET*, Vol. 4, No. 4, pp. 471-480 (2013)
- (183) S. Ahn, H. H. Park, C. Choi, J. Kim, E. Song, H. B. Park, et. Al.: "Reduction of Electromagnetic Field (EMF) of Wireless Power Transfer System using Quadruple Coil for Laptop Applications", *IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission: Technologies, Systems, and Applications*, No. THU-C-4, pp. 65-68 (2012)
- (184) J. Kim, J. Kim, S. Kong, H. Kim, I. Suh, N. P. Suh, et. Al.: "Coil Design and Shielding Methods for a Magnetic Resonant Wireless Power Transfer System", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 101, No. 6, pp. 1332-1342 (2013)
- (185) I. Mayordomo, T. Drager, P. Spies, J. Bernhard, A. Pflaum: "An Overview of Technical Challenges and Advances of Inductive Wireless Power Transmission", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 101, No. 6, pp. 1302-1311 (2013)
- (186) F. Musavi, W. Eberle: "Overview of wireless power transfer technologies for electric vehicle battery charging", *Power Electronics IET*, Vol. 7, No. 1, pp. 60-66 (2014)
- (187) J. M. Miller, A. Daga: "Elements of Wireless Power Transfer Essential to High Power Charging of Heavy Duty Vehicles", *IEEE Trans. On Transportation Electrification*, Vol. 1, No. 1, pp. 26-39 (2015)
- (188) A. Esser, H. Skudelny: "A New Approach to Power Supplies for Robots", *IEEE Trans. On Industry Applications*, Vol. 27, No. 5, pp. 872-876 (1991)
- (189) H. Sakamoto, K. Harada: "A Novel Circuit For Non-contact Charging Through Electro-magnetic Coupling", 23rd IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp. 168-174 (1992)
- (190) K. W. Klontz, D. M. Divan, D. W. Novotny, R. D. Lorenz: "Contactless Power Delivery System for Mining Applications", *IEEE Trans. On Industry Applications*, Vol. 31, No. 1, pp. 27-35 (1995)
- (191) A. Esser: "Contactless charging and communication for electric vehicles", *IEEE Industry Applications Magazine*, Vol. 1, No. 6, pp. 4-11 (1995)
- (192) A. Kawamura, K. Ishioka, J. Hirai: "Wireless Transmission of Power and Information Through One High-Frequency Resonant AC Link Inverter for Robot Manipulator Applications", *IEEE Trans. On Industry Applications*, Vol. 32, No. 3, pp. 503-508 (1996)
- (193) J. M. Barnard, J. A. Ferreira, J. D. Wyk: "Sliding Transformers for Linear Contactless Power Delivery", *IEEE Trans. On Industrial Electronics*, Vol. 44, No. 6, pp. 774-779 (1997)
- (194) D. A. G. Pedder, A. D. Brown, J. A. Skinner: "A Contactless Electrical Energy Transmission System", *IEEE Trans. On Industrial Electronics*, Vol. 46, No. 1, pp. 23-30 (1999)
- (195) S. Adachi, F. Sato, S. Kikuchi, H. Matsuki: "Consideration of Contactless Power Station with Selective Excitation to Moving Robot", *IEEE Trans. On Magnetics*, Vol. 35, No. 5, pp. 3583-3585 (1999)
- (196) F. Lu, H. Zhang, H. Hofmann, C. Mi: "A High Efficiency 3.3 kW Loosely-Coupled Wireless Power Transfer System Without Magnetic Material", *IEEE Energy Conversion Congress & Expo 2015*, pp. 2282-2287 (2015)
- (197) C. E. Zell, J. G. Bolger, "Development of an engineering prototype of a roadway powered electric transit vehicle system: A public/private sector program", 32nd IEEE Vehicular Technology Conference 1982, Vol. 32, pp. 435-438 (1982)
- (198) 総務省 国際無線障害特別委員会(CISPR)の諸規格に関する情報つ真審議会からの一部答申 「諮問第 3 号「国際無線障害特別委員会(CISPR)の諸規格について」のうち「ワイヤレス電力伝送システムに関する技術的条件」のうち「電気自動車用ワイヤレス電力伝送システムに関する技術的条件」(2015)