

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2012-504387

(P2012-504387A)

(43) 公表日 平成24年2月16日 (2012. 2. 16)

(51) Int. Cl.		F I			テーマコード (参考)
H02J 17/00	(2006.01)	H02J 17/00		B	5K012
H01F 38/14	(2006.01)	H01F 23/00		B	
H04B 5/02	(2006.01)	H04B 5/02			

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 127 頁)

(21) 出願番号	特願2011-529289 (P2011-529289)	(71) 出願人	511078853
(86) (22) 出願日	平成21年9月25日 (2009. 9. 25)		ウィトリシティ コーポレーション
(85) 翻訳文提出日	平成23年5月27日 (2011. 5. 27)		アメリカ合衆国マサチューセッツ州024
(86) 国際出願番号	PCT/US2009/058499		72, ウォータータウン, グローブ・スト
(87) 国際公開番号	W02010/036980		リート・149
(87) 国際公開日	平成22年4月1日 (2010. 4. 1)	(74) 代理人	100087642
(31) 優先権主張番号	61/147, 386		弁理士 古谷 聡
(32) 優先日	平成21年1月26日 (2009. 1. 26)	(74) 代理人	100076680
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 溝部 孝彦
(31) 優先権主張番号	61/108, 743	(74) 代理人	100121061
(32) 優先日	平成20年10月27日 (2008. 10. 27)		弁理士 西山 清春
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	ケスラー, モリス, ピー.
(31) 優先権主張番号	61/100, 721		アメリカ合衆国マサチューセッツ州017
(32) 優先日	平成20年9月27日 (2008. 9. 27)		30, ベッドフォード, ハンコック・スト
(33) 優先権主張国	米国 (US)		リート・95

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線エネルギー伝達システム

(57) 【要約】

エネルギー源に結合され、 Q ファクタ $Q_1 > 100$ 及び特有サイズ x_1 を有する供給源共振器と、供給源共振器から距離 D に位置するエネルギードレインに結合され、 Q ファクタ $Q_2 > 100$ 及び特有サイズ x_2 を有する第2の共振器とのための改善された能力が説明され、この場合、供給源共振器および第2の共振器が、供給源共振器と第2の共振器との間でワイヤレスでエネルギーを交換するように結合される。

【選択図】 図1

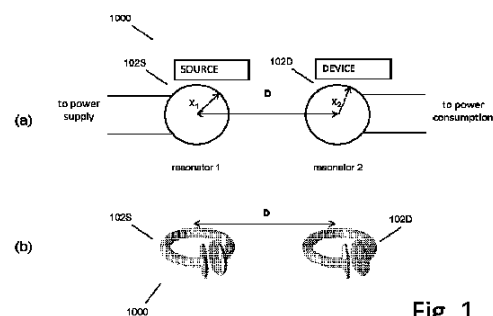


Fig. 1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電力発生装置に結合され、Qファクタ Q_1 及び特有サイズ x_1 を有する供給源共振器と、前記供給源共振器から距離Dに位置する負荷に結合され、Qファクタ Q_2 及び特有サイズ x_2 を有する第2の共振器とを含み、前記供給源共振器および前記第2の共振器が、前記供給源共振器と前記第2の共振器との間でワイヤレスでエネルギーを交換するように結合され、 $(Q_1 Q_2)^{1/2} > 100$ である、システム。

【請求項 2】

$Q_1 < 100$ である、請求項1に記載のシステム。

【請求項 3】

$Q_2 < 100$ である、請求項1に記載のシステム。

【請求項 4】

前記供給源共振器および前記第2の共振器と非放射的にエネルギーを伝送するように構成された、Qファクタ Q_3 を有する第3の共振器を更に含み、 $(Q_1 Q_3)^{1/2} > 100$ 及び $(Q_2 Q_3)^{1/2} > 100$ である、請求項1に記載のシステム。

【請求項 5】

$Q_3 < 100$ である、請求項4に記載のシステム。

【請求項 6】

前記供給源共振器が直接的な電気接続で前記電力発生装置に結合される、請求項1に記載のシステム。

【請求項 7】

インピーダンスマッチング回路網を更に含み、前記供給源共振器が、直接的な電気接続で前記電力発生装置に結合され及びインピーダンスマッチングされる、請求項1に記載のシステム。

【請求項 8】

調整可能な回路を更に含み、前記供給源共振器が、直接的な電気接続でもって、前記調整可能な回路を介して前記電力発生装置に結合される、請求項1に記載のシステム。

【請求項 9】

前記直接的な電気接続の少なくとも1つが、前記供給源共振器の共振モードを実質的に保持するように構成されている、請求項6、7、又は8に記載のシステム。

【請求項 10】

前記供給源共振器が、第1の端子、第2の端子、及び中央端子を有し、前記第1の端子と前記中央端子との間のインピーダンス、及び前記第2の端子と前記中央端子との間のインピーダンスが実質的に等しい、請求項6に記載のシステム。

【請求項 11】

前記供給源共振器は、第1の端子、第2の端子、及び中央端子を有する、容量的に装荷されたループを含み、前記第1の端子と前記中央端子との間のインピーダンス、及び前記第2の端子と前記中央端子との間のインピーダンスが実質的に等しい、請求項6に記載のシステム。

【請求項 12】

前記供給源共振器が、インピーダンスマッチング回路網に結合され、前記インピーダンスマッチング回路網が更に、第1の端子、第2の端子、及び中央端子を含み、前記第1の端子と前記中央端子との間のインピーダンス、及び前記第2の端子と前記中央端子との間のインピーダンスが実質的に等しい、請求項6に記載のシステム。

【請求項 13】

前記第1の端子および前記第2の端子が、前記電力発生装置に直接的に結合され、ほぼ180度位相がずれている発振信号で駆動される、請求項10、11、又は12に記載のシステム。

【請求項 14】

前記供給源共振器が、共振周波数 f_1 を有し、前記第1の端子および前記第2の端子が

10

20

30

40

50

、前記電力発生装置に直接的に結合され、前記共振周波数 ω_1 に実質的に等しい発振信号で駆動される、請求項 10、11、又は 12 に記載のシステム。

【請求項 15】

前記中央端子が、電気接地に接続される、請求項 10、11、又は 12 に記載のシステム。

【請求項 16】

前記供給源共振器が、共振周波数 ω_1 を有し、前記第 1 の端子および前記第 2 の端子が、前記電力発生装置に直接的に結合され、前記共振周波数 ω_1 に実質的に等しい周波数で駆動される、請求項 15 に記載のシステム。

【請求項 17】

前記電力発生装置および前記負荷に結合された複数のコンデンサを含む、請求項 2 に記載のシステム。

【請求項 18】

前記供給源共振器および前記第 2 の共振器がそれぞれ、低い損失正接の材料内に収容される、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 19】

電力変換回路を更に含み、前記第 2 の共振器が、前記電力変換回路に結合されて、D C 電力を前記負荷に伝える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 20】

電力変換回路を更に含み、前記第 2 の共振器が、前記電力変換回路に結合されて、A C 電力を前記負荷に伝える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 21】

電力変換回路を更に含み、前記第 2 の共振器が、前記電力変換回路に結合されて、A C 及び D C 電力を前記負荷に伝える、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 22】

電力変換回路および複数の負荷を更に含み、前記第 2 の共振器が、前記電力変換回路に結合され、前記電力変換回路が前記複数の負荷に結合される、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 23】

前記インピーダンスマッチング回路網がコンデンサを含む、請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 24】

前記インピーダンスマッチング回路網がインダクタを含む、請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 25】

前記調整可能な回路が、可変コンデンサを含む、請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 26】

前記調整可能な回路が、可変インダクタを含む、請求項 8 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願に対する相互参照

本出願は、以下の米国特許出願の優先権を主張しており、それら特許出願のそれぞれは、参照により全体として本明細書に組み込まれる。即ち、2008年9月27日に出願された米国特許出願第 61 / 100721 号、2008年10月27日に出願された米国特許出願第 61 / 108743 号、2009年1月26日に出願された米国特許出願第 61 / 147386 号、2009年2月12日に出願された米国特許出願第 61 / 152086 号、2009年5月15日に出願された米国特許出願第 61 / 178508 号、2009年6月1日に出願された米国特許出願第 61 / 182768 号、2008年12月9日に出願された米国特許出願第 61 / 121159 号、2009年1月7日に出願された米

10

20

30

40

50

国特許出願第 6 1 / 1 4 2 9 7 7 号、2 0 0 9 年 1 月 6 日に
出願された米国特許出願第 6 1 / 1 4 2 8 8 5 号、2 0 0 9 年 1 月 6 日に
出願された米国特許出願第 6 1 / 1 4 2 7 9 6 号、2 0 0 9 年 1 月 6 日に
出願された米国特許出願第 6 1 / 1 4 2 8 8 9 号、2 0 0 9 年 1 月 6 日に
出願された米国特許出願第 6 1 / 1 4 2 8 8 0 号、2 0 0 9 年 1 月 6 日に
出願された米国特許出願第 6 1 / 1 4 2 8 1 8 号、2 0 0 9 年 1 月 6 日に
出願された米国特許出願第 6 1 / 1 4 2 8 8 7 号、2 0 0 9 年 3 月 2 日に
出願された米国特許出願第 6 1 / 1 5 6 7 6 4 号、2 0 0 9 年 1 月 7 日に
出願された米国特許出願第 6 1 / 1 4 3 0 5 8 号、2 0 0 9 年 2 月 1 3 日に
出願された米国特許出願第 6 1 / 1 5 2 3 9 0 号、2 0 0 9 年 3 月 2 6 日に
出願された米国特許出願第 6 1 / 1 6 3 6 9 5 号、2 0 0 9 年 4 月 2 4 日に
出願された米国特許出願第 6 1 / 1 7 2 6 3 3 号、2 0 0 9 年 4 月 1 4 日に
出願された米国特許出願第 6 1 / 1 6 9 2 4 0 号、及び 2 0 0 9 年 4 月 2 9 日に
出願された米国特許出願第 6 1 / 1 7 3 7 4 7 号である。

10

【 0 0 0 2 】

背景

分野

本発明は、無線（ワイヤレス）電力伝送とも呼ばれる無線エネルギー伝達に関する。

【 0 0 0 3 】

関連技術の説明

エネルギー又は電力は、様々な良く知られた放射技術または遠距離場技術、及び非放射技術または近接場技術を用いてワイヤレスで伝送され得る。例えば、無線および移動体通信システム、及び家庭用コンピュータネットワークで使用されるような低指向性アンテナを用いる放射型無線情報伝送は、無線エネルギー伝送と考えられ得る。しかしながら、このタイプの放射型伝送は非常に非効率的であり、その理由は、受信器が獲得するのは、供給される電力または放射される電力のわずかな部分、即ちその方向の一部であり、それらは部分的に重なっているからである。電力の大部分は、他の全方向に放散されて自由空間で失われる。係る非効率的な電力伝送は、データ送信に受け入れ可能であるが、電気装置の電力供給または充電のような仕事を行うために、有用な量の電気エネルギーを伝送するには実用的ではない。幾つかの放射型エネルギー伝送方法の伝送効率を改善するための 1 つの方法は、放射されたエネルギーを受信器の方に限定する及び優先的に向けるために指向性アンテナを使用することである。しかしながら、これらの方向を持った（有向）放射方法は、中断されない見通し線を必要とする場合があり、移動できる送信器および/または受信器の場合には潜在的に複雑なトラッキング（追跡）及びステアリング（操向）機構を必要とする場合がある。更に、係る方法は、適度な量から大きな量の電力が伝送されている際に、ビームを横切る又はビームと交差する物体または人々に危害を及ぼす可能性がある。誘導または従来誘導と呼ばれることが多い、既知の非放射型または近接場無線エネルギー伝送方法は、電力を（意図的に）放射しないが、一次コイルを通過する振動電流を用いて、近接受信または二次コイルで電流を誘導する振動近傍磁界を生成する。従来の誘導方法は、適度な量から大量の電力の伝送を実証したが、非常に短い距離にわたるだけであり、一次電源ユニットと二次受信器ユニットとの間の非常に小さいオフセット量の許容範囲を有する。変圧器および近接充電器は、この既知の短距離の近接場エネルギー伝送方法を利用する装置の例である。

20

30

40

【 0 0 0 4 】

従って、中距離にわたって、又は中程度の位置合わせオフセット量で有用な量の電力を伝送することができる無線電力伝送方法が必要とされている。係る無線電力伝送方法は、従来の誘導方法で実現されたものと比べてより大きい距離にわたる、及びより大きい位置合わせオフセット量での有用なエネルギー伝送を可能にするべきであり、放射型送信方法に固有の制限および危険性なしで可能にするべきである。

【 0 0 0 5 】

概要

本明細書において、中距離にわたって、及び中程度の位置合わせオフセット量で有用な

50

量の電力を伝送することができる非放射型または近接場無線エネルギー伝送方法が開示される。本発明の技術は、長寿命振動性共振モードで結合された電磁共振器を使用して、電源からの電力を電力ドレインに伝送する。当該技術は一般的であり、本明細書で開示された具体例が電磁共振器に関係する場合でも、広範囲の共振器に適用され得る。共振器が設計される場合、電界によって蓄積されたエネルギーが主として構造体内に閉じ込められ、及び磁界により蓄積されたエネルギーが主として共振器の周囲の領域にあるようにされる。そして、エネルギー交換は共振近傍磁界により主として実現される。これらタイプの共振器は、磁気共振器と呼ばれ得る。共振器が設計される場合、磁界により蓄積されたエネルギーが主として構造体内に閉じ込められ、及び電界により蓄積されたエネルギーが主として共振器の周囲の領域にあるようにされる。そして、エネルギー交換は共振近傍電界により主として実現される。これらタイプの共振器は、電気共振器と呼ばれ得る。また、共振器のどちらかのタイプは、電磁共振器とも呼ばれ得る。共振器の双方のタイプが本明細書で開示される。

10

20

30

40

50

【0006】

開示される共振器の近接場に関して、全方向であるが変化しない（非損失性）特徴は、様々な電子デバイス（電子装置、電子機器）の充電、電力供給、又は同時の電力供給と充電に適した、中距離にわたる、広範囲の方向および共振器の位置関係にわたる、効率的な無線エネルギー伝送を可能にする。結果として、システムは、広範囲の様々な考えられる応用形態を有することができ、この場合、電源に接続された第1の共振器が1つの場所にあり、電気/電子デバイス、バッテリー、電力供給または充電回路などに潜在的に接続された第2の共振器は、第2の場所にあり、第1の共振器から第2共振器までの距離は、センチメートルからメートルのオーダーである。例えば、有線電気送電システムに接続された第1の共振器は、部屋の天井に配置され得るが、ロボット、車両、コンピュータ、通信装置、医療機器などのようなデバイスに接続された他の共振器は、部屋の中を動き回り、この場合、これらのデバイスは常に又は断続的に、供給源共振器からワイヤレスで電力を受け取っている。この一例から、本明細書で開示されたシステム及び方法が中距離にわたって無線電力を供給することができる多くの応用形態を考えることができ、係る応用形態には、家庭用電化製品、工業的応用形態、電力および照明のインフラ、運搬用車両、コンピュータゲーム、軍事的応用形態などが含まれる。

【0007】

2つの電磁共振器間のエネルギー交換は、共振器が実質的に同じ周波数にチューニングされ、システムの損失が最小限である場合に、最適化され得る。無線エネルギー伝送システムは、共振器間の「結合時間」が共振器の「損失時間」より大幅に短いように設計され得る。従って、本明細書で説明されたシステム及び方法は、低い固有損失率を有する高いQファクタ（高Q）の共振器を利用することができる。更に、本明細書で説明されたシステム及び方法は、共振器の特有サイズより大幅に長く延在する近接場を有するサブ波長共振器を使用することができ、そのためエネルギーを交換する共振器の近接場は、中距離で部分的に重なる。これは、以前に実施されていなかった、且つ従来の誘導設計とは大幅に異なる動作の状況である。

【0008】

本明細書で開示された高Q磁気共振器の方式と既知の近距離または近接型誘導方式との違いを理解することは重要であり、即ちこれら既知の方式は従来、高Q共振器を利用していない。結合モード理論（CMT）（例えば、H.A. Haus著「Waves and Fields in Optoelectronics」、Prentice Hall、1984年を参照）を用いることにより、高Q共振器の結合メカニズムが、中距離だけ離間された共振器間において、従来の誘導方式により可能にされたものよりも数桁大きい効率的な電力供給を可能にすることができることが示される。結合された高Q共振器は、中距離にわたる効率的なエネルギー伝送を実証し、短距離エネルギー伝送の応用形態における効率性およびオフセット量の許容範囲を改善した。

【0009】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、強く結合された高Q共振器を介した近接場

無線エネルギー伝送を提供し、安全に且つ従来の誘導技術を用いて達成されたものよりもはるかに長い距離にわたって、ピコワットからキロワットまでの電力レベルを伝送するための可能性を有する技術を提供することができる。効率的なエネルギー伝送は、強く結合された共振器の様々な一般的なシステム、例えば、強く結合された音響共振器、核共振器、機械共振器などのシステムに関して実現されることができ、係る一般的なシステムは、M.I.T.の研究者により彼らの文献で最初に説明されており、係る文献は、「Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer」、Annals of Physics、Vol 323、Issue 1、p.34、2008年、及び「Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances」、Science、vol.317、no.5834、p.83、2007年である。また、本明細書で開示された電磁共振器および結合された電磁共振器のシステムは、より具体的には、10 GHz未満の動作周波数を有する、結合された磁気共振器および結合された電気共振器と呼ばれる。

10

【0010】

本開示は、無線電力送信技術とも呼ばれる無線エネルギー伝送技術を説明する。本開示の全体にわたって、用語の無線エネルギー伝送、無線電力伝送、無線電力送信などは、区別なく使用され得る。本発明者は、供給源、AC又はDC供給源、バッテリー、供給源共振器、電源、電力発生装置、ソーラーパネル、及び熱吸収装置などからのエネルギー又は電力を、デバイス、遠隔デバイス、複数の遠隔デバイス、デバイス共振器（単数または複数）などに供給することに言及する。本発明者は、無線エネルギー伝送システムの有効範囲を拡張する中間共振器を説明し、その拡張は、供給源共振器から他のデバイス及び中間共振器の任意の組合せまで、エネルギーを跳ばず、通過伝送する、一時的に蓄積する、部分的に消散することを可能にすることにより行われ、又は形はどうあれ仲介されるべき伝送のために行われ、その結果、エネルギー伝送ネットワーク又は一続きのもの、又は延長経路が実現され得る。デバイス共振器は、供給源共振器からのエネルギーを受け取り、デバイスに電力供給またはデバイスを充電するための電力にそのエネルギーの一部を変換し、同時に受け取ったエネルギーの一部を他のデバイス又はモバイル機器の共振器に送ることができる。エネルギーは、供給源共振器から複数のデバイス共振器まで伝送されることができ、エネルギーがワイヤレスで伝送され得る距離は大幅に延ばされる。無線電力伝送システムは、様々なシステムアーキテクチャ及び共振器の設計を用いて実現され得る。システムは、電力を単一のデバイス又は複数のデバイスに送信する単一の供給源または複数の供給源を含むことができる。共振器は、供給源共振器またはデバイス共振器となるように設計され得るか、或いは中継器となるように設計され得る。場合によっては、共振器は、同時にデバイス及び供給源共振器になることができ、又は供給源としての動作からデバイス又は中継器としての動作に切り換えられ得る。当業者には理解されるように、様々なシステムアーキテクチャは、本明細書で説明された広範囲の共振器設計および機能によりサポートされ得る。

20

30

【0011】

説明される無線エネルギー伝送システムにおいて、遠隔デバイスは、ワイヤレスで供給される電力またはエネルギーを用いて直接的に電力供給され得るか、又はバッテリー、スーパーコンデンサ、ウルトラコンデンサなどのようなエネルギー蓄積ユニット（又は他の種類の電力ドレイン）に結合されることができ、この場合、エネルギー蓄積ユニットは、ワイヤレスで充電または再充電されることができ、及び/又は無線電力伝送機構は、デバイスの主電源に対する単なる補助的なものになる。デバイスは、一体型蓄積キャパシタなどを備えるバッテリーのような、ハイブリッドのバッテリー/エネルギー蓄積装置により電力供給され得る。更に、新規なバッテリー及びエネルギー蓄積装置が、無線電力伝送システムにより可能にされる動作上の改善を利用するように設計され得る。

40

【0012】

他の電力管理状況は、デバイスがアイドル状態、スリープモードなどで電源がオフされている間に、バッテリーを再充電またはエネルギー蓄積ユニットを充電するためにワイヤレスで供給される電力を用いることを含む。バッテリー又はエネルギー蓄積ユニットは、

50

高速（急速）又は低速（遅い）で充電または再充電され得る。バッテリー又はエネルギー蓄積ユニットは、トリクル充電またはフロート充電され得る。複数のデバイスは、同時に並行して充電または電力供給され得るか、又は複数のデバイスへの電力供給は、他の電力供給が他のデバイスに切り換えられた後の時間期間に、１つ又は複数のデバイスが電力を受け取るように、シリアル化され得る。複数のデバイスは、１つ又は複数の供給源からの電力を、１つ又は複数の他のデバイスと同時に、又は時分割多重化方法で、又は周波数分割多重化方法で、又は空間的多重化方法で、又は配向的多重化方法で、又は時分割、周波数分割、空間的、及び配向的多重化の任意の組合せで、共用することができる。複数のデバイスは、無線電力供給源として動作するために、互いに電力を共用する、或いは連続的に、断続的に、周期的に、時折に、又は一時的に再構成され得る少なくとも１つのデバイスと電力を共用する。当業者には理解されるように、デバイスの電力供給および／または充電のための様々な態様が存在し、様々な態様は、本明細書で説明された技術および応用形態に適用され得る。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 3 】

無線エネルギー伝送は、様々な考えられる応用形態を有することができ、係る応用形態には例えば、天井に、床の下に、又は部屋の壁に供給源（例えば、有線電気送電系統に接続された供給源）を配置すると同時に、ロボット、車両、コンピュータ、PDA又は類似物のようなデバイスが部屋の内部に配置されて自由に移動することが含まれる。他の応用形態には、バス及び／又はハイブリッド車のような電気エンジン車両、及び装着型または埋込み型装置のような医療機器の電力供給または再充電が含まれ得る。更なる例の応用形態には、自律電子機器（例えば、ラップトップコンピュータ、携帯電話、携帯型音楽プレイヤー、家庭用ロボット、GPSナビゲーションシステム、ディスプレイなど）、センサ、工業および製造装置、医療機器およびモニタ、家庭用電気製品および工具（例えば、照明、送風機、ドリル、鋸、ヒータ、ディスプレイ、テレビ、調理台の電化製品など）、軍用機器、加熱または照明付き衣類、通信およびナビゲーション機器（車両、衣類および防護服（例えば、ヘルメット、防弾チョッキ及びベストなど）に組み込まれた機器を含む）に対する電力供給または再充電する能力、並びに物理的に分離されたデバイス（例えば、埋め込まれた医療機器、隠された、埋設された、埋没した、又は埋め込まれたセンサ又はタグ、屋根のソーラーパネルから屋内の分電盤まで及び／又は屋内の分電盤から屋根のソーラーパネルまでなど）に電力を送信する能力が含まれる。

【 0 0 1 4 】

一態様において、本明細書で開示されたシステムは、電力発生装置に結合され、Qファクタ Q_1 及び特有サイズ x_1 を有する供給源共振器、供給源共振器から距離Dに位置する負荷に結合され、Qファクタ Q_2 及び特有サイズ x_2 を有する第2の共振器を含み、供給源共振器および第2の共振器が、供給源共振器と第2の共振器との間でワイヤレスでエネルギーを交換するように結合され、 $(Q_1 Q_2)^{1/2} > 100$ である。

【 0 0 1 5 】

Q_1 は100未満とすることができる。 Q_2 は100未満とすることができる。システムは、供給源共振器および第2の共振器と非放射的にエネルギーを伝送するように構成された、Qファクタ Q_3 を有する第3の共振器を含むことができ、 $(Q_1 Q_3)^{1/2} > 100$ 及び $(Q_2 Q_3)^{1/2} > 100$ である。 Q_3 は100未満とすることができる。

【 0 0 1 6 】

供給源共振器は、直接的な電気接続で電力発生装置に結合され得る。システムは、インピーダンスマッチング回路網を含むことができ、供給源共振器は、直接的な電気接続で電力発生装置に結合され及びインピーダンスマッチングされる。システムは、調整可能な回路を含むことができ、供給源共振器は、直接的な電気接続でもって、調整可能な回路を介して電力発生装置に結合される。調整可能な回路は、可変コンデンサを含むことができる。調整可能な回路は、可変インダクタを含むことができる。直接的な電気接続の少なくとも１つは、供給源共振器の共振モードを実質的に保持するように構成され得る。供給源共振器は、第1の端子、第2の端子、及び中央端子を有し、第1の端子と中央端子との間の

インピーダンス、及び第 2 の端子と中央端子との間のインピーダンスは実質的に等しくすることができる。供給源共振器は、第 1 の端子、第 2 の端子、及び中央端子を有する、容量的に装荷されたループを含むことができ、第 1 の端子と中央端子との間のインピーダンス、及び第 2 の端子と中央端子との間のインピーダンスは実質的に等しい。供給源共振器は、インピーダンスマッチング回路網に結合されることができ、インピーダンスマッチング回路網は更に、第 1 の端子、第 2 の端子、及び中央端子を含み、第 1 の端子と中央端子との間のインピーダンス、及び第 2 の端子と中央端子との間のインピーダンスは実質的に等しい。

【 0 0 1 7 】

第 1 の端子および第 2 の端子は、電力発生装置に直接的に結合され、ほぼ 180 度位相がずれている発振信号で駆動され得る。供給源共振器は、共振周波数 f_1 を有し、第 1 の端子および第 2 の端子は、電力発生装置に直接的に結合され、共振周波数 f_1 に実質的に等しい発振信号で駆動され得る。中央端子は、電気接地に接続され得る。供給源共振器は、共振周波数 f_1 を有し、第 1 の端子および第 2 の端子は、電力発生装置に直接的に結合され、共振周波数 f_1 に実質的に等しい周波数で駆動され得る。システムは、電力発生装置および負荷に結合された複数のコンデンサを含むことができる。供給源共振器および第 2 の共振器はそれぞれ、低い損失正接の材料内に収容され得る。システムは、電力変換回路を含むことができ、第 2 の共振器は、電力変換回路に結合されて、DC 電力を負荷に伝える。システムは、電力変換回路を含むことができ、第 2 の共振器は、電力変換回路に結合されて、AC 電力を負荷に伝える。システムは、電力変換回路を含むことができ、第 2 の共振器は、電力変換回路に結合されて、AC 及び DC 電力を負荷に伝える。システムは、電力変換回路および複数の負荷を含むことができ、第 2 の共振器は、電力変換回路に結合され、電力変換回路は複数の負荷に結合される。インピーダンスマッチング回路網はコンデンサを含むことができる。インピーダンスマッチング回路網はインダクタを含むことができる。

【 0 0 1 8 】

本開示の全体にわたって、本発明者は、回路部品または回路素子として、コンデンサ、インダクタ、抵抗、ダイオード、スイッチなどのような特定の回路部品に言及する。また、本発明者は、素子、回路網、接続形態（トポロジー）、回路などとして、これら部品の直列および並列の組合せにも言及する。本発明者は、調整可能なインピーダンス回路網、チューニング回路網、マッチング回路網、調整素子などとして、コンデンサ、ダイオード、バラクタ、トランジスタ、及び / 又はスイッチの組合せを説明する。また、本発明者は、全物体の全体にわたって分布された（又は単に集中されるとは対照的に、部分的に分布された）キャパシタンス及びインダクタンスを有する「自己共振」物体に言及する。当業者ならば理解されるように、回路または回路網内の調整および制御する可変構成要素は、その回路または回路網の性能を調整することができ、それらの調整は概して、チューニング、調整、マッチング、補正などとして説明され得る。無線電力伝送システムの動作点をチューニング又は調整するための他の方法は、単独で、或いはインダクタ及びコンデンサ、又はインダクタ及びコンデンサのバンクのような、調整可能な構成要素を調整することに加えて使用され得る。

【 0 0 1 9 】

特に定義されない限り、本明細書で使用される全ての技術用語および科学用語は、本開示が属する技術の当業者により一般に理解されるような同じ意味を有する。本明細書で言及された又は参照により本明細書に組み込まれる刊行物、特許出願、特許、及び他の文献と食い違う場合には、定義を含む本明細書が支配する。

【 0 0 2 0 】

上記で説明された任意の特徴は、本発明の範囲から逸脱せずに、単独で又は組み合わせて使用され得る。本明細書で開示されたシステム及び方法に関する他の特徴、目的、及び利点は、以下の詳細な説明および図面から明らかになるであろう。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 1 】

【図 1】(a) と (b) は、距離 D だけ離れた供給源の共振器 1 及びデバイスの共振器 2 を含む例示的な無線電力システムを示す。

【図 2】本開示で説明された表記規則に従って表記された例示的な共振器を示す。留意すべきは、共振器 1 の近傍には、外部物体または追加の共振器が示されていない。

【図 3】本開示で説明された表記規則に従って表記された「ローディング」物体の存在する状態での例示的な共振器を示す。

【図 4】本開示で説明された表記規則に従って表記された「パターニング」物体の存在する状態での例示的な共振器を示す。

【図 5】効率 対強結合率 $U = \frac{1}{(Q_s Q_d)^{1/2}} = k (Q_s Q_d)^{1/2}$ のグラフである。

10

【図 6】(a) は共振器の一例の回路図を示し、(b) は容量的に装荷されたインダクターループの磁気共振器の一例の図を示し、(c) は分布キャパシタンス及びインダクタンスを有する自己共振コイルの図を示し、(d) は本開示の例示的な磁気共振器に関連した電界および磁界の力線の簡易図を示し、(e) は電気共振器の一例の図を示す。

【図 7】MHz 周波数での無線電力伝送に使用され得る例示的な共振器の周波数の関数として「Q ファクタ」Q (実線) のグラフを示す。吸収 Q (波線) は周波数と共に増加するが、放射 Q (点線) は周波数と共に減少し、かくして全体の Q が特定の周波数でピークということになる。

【図 8】表示された特有サイズ、厚さ、及び幅を有する共振器構造の図である。

20

【図 9】例示的な誘導性ループ素子の図である。

【図 10】(a) と (b) は、プリント回路基板上に形成され、且つ磁気共振器構造で誘導性素子を実現するために使用されるトレース構造の例を示す。

【図 11】(a) は、平面磁気共振器の斜視図であり、(b) は様々な幾何学的形状を有する 2 つの平面磁気共振器の斜視図であり、(c) は距離 D だけ離れた 2 つの平面磁気共振器の斜視図である。

【図 12】平面磁気共振器の例の斜視図である。

【図 13】円形共振器コイルを有する平面磁気共振器の構成の斜視図である。

【図 14】平面磁気共振器の活性領域の斜視図である。

【図 15】供給源の周りに配置された、テーブル電力供給している幾つかのデバイスの中心に供給源を有する、無線電力伝送システムの応用形態の斜視図である。

30

【図 16】(a) は、中央における絞り箇所周りの正方形ループの電流により駆動される銅および磁性材料構造の 3 D 有限要素モデルを示す。この例において、構造体は、銅のような導電材料から作成され、磁性材料の層により覆われ、磁性材料のブロックにより接続された 2 つのボックスから構成され得る。この例における 2 つの導電ボックスの内部は、ボックスの外部で生じた AC 電磁界から遮蔽され、AC 電磁界により悪影響を及ぼされる共振器またはデリケートな構成要素の Q を低下させる損失性物体を収容することができる。また、この構造体により生成される、計算された磁界の流線が示され、係る流線は、磁力線が磁性材料のより低い磁気抵抗の経路をたどる傾向があることを示す。(b) は、(a) に示されたような 2 つの同一の構造体間での、計算された磁界の流線により示されるような相互作用を示す。対称性の故に、及び計算の複雑性を低減するために、システムの半分だけがモデル化されている(しかし、計算は、残りの半分の対称配置を推測する)。

40

【図 17】場合によっては磁氣的に透過性の材料を含む、構造体の周りに N 回巻き付けられた導電ワイヤを含む磁気共振器の等価回路図である。インダクタンスは、磁性材料を含む構造体の周りに巻き付けられた導電ループを用いて実現され、抵抗は、システムの損失機構を表す (R_{wire} はループの抵抗損失、 R_{μ} はループにより取り囲まれた構造体の等価直列抵抗を示す)。損失は、高 Q 共振器を実現するために最小限にされ得る。

【図 18】周波数 6 . 7 8 MHz の外部磁界において、損失性誘電体材料からなるディスクの上下の 2 つの高い導電率表面に関する有限要素法 (F E M) のシミュレーションを示

50

す図である。留意すべきは、磁界は、ディスクの前で均一であり、導電材料がシミュレートされる環境に導入された。このシミュレーションは円筒座標で行われた。画像は、 $r = 0$ の軸の周りに方位対称である。損失性誘電体ディスクは、 $\epsilon_r = 1$ 及び $\sigma = 10 \text{ S/m}$ を有する。

【図 19】高導電率表面により完全に覆われた損失性物体を近傍に有する磁気共振器の図である。

【図 20】高導電率表面により部分的に覆われた損失性物体を近傍に有する磁気共振器の図である。

【図 21】高導電率表面の上面に配置された損失性物体を近傍に有する磁気共振器の図である。

【図 22】完全なワイヤレスプロジェクトの図である。

【図 23】円形ループインダクタの直径を含むラインに沿った電界および磁界の大きさ、並びにループインダクタの軸に沿った電界および磁界の大きさを示す図である。

【図 24】磁気共振器および必要であるが損失性の物体を伴うその筐体の図であり、係る損失性物体は、(a) 共振器構造体からできる限り遠く離れて筐体の角に配置されているか、又は (b) 磁気共振器の誘導性素子により包囲された表面の中央に配置されている。

【図 25】磁気共振器の上に高導電率表面を有する磁気共振器と損失性物体の図であり、係る損失性物体は、共振器の近傍に持って来られるが、高導電率シートの上に持って来られる。

【図 26】(a) は、 z 軸に沿って最初は均一に外部から印加された磁界（灰色の力線）にさらされた、薄い導電（銅）円筒またはディスク（直径 20 cm 、高さ 2 cm ）の軸対称 FEM シミュレーションを示す。対称軸は、 $r = 0$ にある。示された磁氣的流線は、 $z = -$ で発し、この場合、それらは $r = 3 \text{ cm}$ から $r = 10 \text{ cm}$ まで 1 cm の間隔で配置される。軸の目盛りはメートルである。(b) は、外面に $\mu_r = 40$ の磁性材料からなる 0.25 mm の層（非可視）を含むように、導電円筒が変更されていることを除いて、(a) と同じ構造および外部から印加された磁界を示す。留意すべきは、磁氣的流線は、(a) においてよりも大幅に少なく円筒から離れるように偏向されている。

【図 27】図 26 に示されたシステムに基づいた変形形態の軸対称の図である。損失性材料の 1 つの表面のみが銅および磁性材料の層状構造により覆われる。図示されたように、インダクタループが損失性材料の反対側の銅および磁性材料構造の側に配置されている。

【図 28】(a) は、高 Q 誘導性素子に対する間接的結合を含むマッチング回路の一般的な接続形態を示し、(b) は、導体ループインダクタ及び調整可能なインピーダンス回路網を含む磁気共振器のブロック図を示す。この共振器に対する物理的電気接続は端子接続部に行われ得る。(c) は、高 Q 誘導性素子に直接的に結合されたマッチング回路の一般的な接続形態を示す。(d) は、高 Q 誘導性素子に直接的に結合され、反対称的に駆動された対称性マッチング回路の一般的な接続形態を示す（平衡駆動）。(e) は、高 Q 誘導性素子に直接的に結合され、主共振器の対称点で接地に接続されたマッチング回路の一般的な接続形態を示す（不平衡駆動）。

【図 29】(a) と (b) はそれぞれ、高 Q 誘導性素子にトランス結合された（即ち、間接的に又は誘導的に）マッチング回路の接続形態を示す。(c) におけるスミスチャートの強調表示部分は、 $L_2 = 1 / C_2$ の場合における図 31 の (b) の接続形態により任意の実インピーダンス Z_0 にマッチングされ得る複素インピーダンス（誘導性素子の L 及び R から生じる）を示す。

【図 30】(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f) は、高 Q 誘導性素子に直接的に結合され、 Z_0 に直列接続されたコンデンサを含むマッチング回路の 6 つの接続形態を示す。(a)、(b)、(c) に示された接続形態は、入力端子でコモンモード信号で駆動されるが、(d)、(e)、(f) に示された接続形態は、対称であり、平衡駆動を受け取る。(g) のスミスチャートの強調表示部分は、これら接続形態によりマッチングされ得る複素インピーダンスを示す。(h)、(i)、(j)、(k)、(l)、(m) は、高 Q 誘導性素子に直接的に結合され、 Z_0 に直列接続されたインダクタを含むマッ

10

20

30

40

50

ング回路の6つの接続形態を示す。

【図31】(a)、(b)、(c)は、高Q誘導性素子に直接的に結合され、 Z_0 に直列接続されたコンデンサを含むマッチング回路の3つの接続形態を示す。それらは、コンデンサの中心点で接地に接続され、不平衡駆動を受け取る。(d)のスミスチャートの強調表示部分は、これら接続形態によりマッチングされ得る複素インピーダンスを示す。(e)、(f)、(g)は、高Q誘導性素子に直接的に結合され、 Z_0 に直列接続されたインダクタを含むマッチング回路の3つの接続形態を示す。

【図32】(a)、(b)、(c)は、高Q誘導性素子に直接的に結合され、 Z_0 に直列接続されたコンデンサを含むマッチング回路の3つの接続形態を示す。それらは、インダクターループの中心点でタップ接続することにより接地に接続され、不平衡駆動を受け取る。(d)のスミスチャートの強調表示部分は、これら接続形態によりマッチングされ得る複素インピーダンスを示す。(e)、(f)、(g)は、高Q誘導性素子に直接的に結合され、 Z_0 に直列接続されたインダクタを含むマッチング回路の3つの接続形態を示す。

【図33】(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)は、高Q誘導性素子に直接的に結合され、 Z_0 に並列接続されたコンデンサを含むマッチング回路の6つの接続形態を示す。(a)、(b)、(c)に示された接続形態は、入力端子でコモンモード信号で駆動されるが、(d)、(e)、(f)に示された接続形態は、対称であり、平衡駆動を受け取る。(g)のスミスチャートの強調表示部分は、これら接続形態によりマッチングされ得る複素インピーダンスを示す。(h)、(i)、(j)、(k)、(l)、(m)は、高Q誘導性素子に直接的に結合され、 Z_0 に並列接続されたインダクタを含むマッチング回路の6つの接続形態を示す。

【図34】(a)、(b)、(c)は、高Q誘導性素子に直接的に結合され、 Z_0 に並列接続されたコンデンサを含むマッチング回路の3つの接続形態を示す。それらは、コンデンサの中心点で接地に接続され、不平衡駆動を受け取る。(d)のスミスチャートの強調表示部分は、これら接続形態によりマッチングされ得る複素インピーダンスを示す。(e)、(f)、(g)は、高Q誘導性素子に直接的に結合され、 Z_0 に並列接続されたインダクタを含むマッチング回路の3つの接続形態を示す。

【図35】(a)、(b)、(c)は、高Q誘導性素子に直接的に結合され、 Z_0 に並列接続されたコンデンサを含むマッチング回路の3つの接続形態を示す。それらは、インダクターループの中心点でタップ接続することにより接地に接続され、不平衡駆動を受け取る。(d)、(e)及び(f)のスミスチャートの強調表示部分は、これら接続形態によりマッチングされ得る複素インピーダンスを示す。

【図36】(a)、(b)、(c)、(d)は、微細な調整分解能を有し、可変コンデンサでの電圧が或る量低減される、可変コンデンサ全体を作成するために設計された固定および可変コンデンサの回路網に関する4つの接続形態を示す。

【図37】(a)及び(b)は、可変コンデンサ全体を作成するために設計された固定コンデンサ及び可変インダクタの回路網に関する2つの接続形態を示す。

【図38】無線電力伝送システムの高レベルブロック図である。

【図39】例示的な無線電力供給されるデバイスのブロック図である。

【図40】例示的な無線電力伝送システムの供給源のブロック図である。

【図41】磁気共振器の等価回路図である。コンデンサの記号を通る斜線は、表されたコンデンサが固定または可変とすることができることを示す。ポートパラメータ測定回路は、特定の電気信号を測定するように構成され、信号の大きさ及び位相を測定することができる。

【図42】調整可能なインピーダンス回路網が電圧制御コンデンサで実現されている、磁気共振器の回路図である。係る具現化形態は、プログラム可能または制御可能電圧源および/またはコンピュータプロセッサを含む電気回路により調整、チューニング、又は制御され得る。電圧制御コンデンサは、ポートパラメータ測定回路により測定され、測定値分析および制御アルゴリズム及びハードウェアにより処理されたデータに応じて調整され得る。電圧制御コンデンサは、コンデンサの切り換えられるバンクとすることができる。

10

20

30

40

50

【図４３】エンドツーエンド無線電力送信システムの図である。この例において、供給源およびデバイスは、ポート測定回路およびプロセッサを含む。「カプラー／スイッチ」と表示されたボックスは、ポート測定回路が方向性カプラー又はスイッチにより共振器に接続され、供給源共振器およびデバイス共振器の測定、調整、及び制御が、電力伝送の機能と共に、又は係る機能から離れて行われることを可能にすることを示す。

【図４４】エンドツーエンド無線電力送信システムの図である。この例において、供給源だけが、ポート測定回路およびプロセッサを含む。この場合、デバイス共振器の動作特性は、固定され得るか、又はアナログ制御回路により、且つプロセッサにより生成された制御信号を必要とせずに調整され得る。

【図４５】エンドツーエンド無線電力送信システムの図である。この例において、供給源およびデバイスは、ポート測定回路を含むが、供給源のみがプロセッサを含む。デバイスからのデータは、別個のアンテナで、又は供給源駆動信号の何らかの変調を通じて実現され得る無線通信チャネルを介して送信される。

【図４６】エンドツーエンド無線電力送信システムの図である。この例において、供給源だけが、ポート測定回路およびプロセッサを含む。デバイスからのデータは、別個のアンテナで、又は供給源駆動信号の何らかの変調を通じて実現され得る無線通信チャネルを介して送信される。

【図４７】周波数およびインピーダンスがプロセッサ又はコンピュータを用いて実現されたアルゴリズムを用いて、自動的に調整され得る、結合された電磁共振器の図である。

【図４８】バラクタアレイの図である。

【図４９】供給源によりワイヤレスで電力供給または充電されているデバイス（ラップトップコンピュータ）の図であり、この場合、供給源共振器およびデバイス共振器は、供給源およびデバイスから物理的に分離されるが、供給源およびデバイスに電気接続される。

【図５０】（a）は、ワイヤレスで電力供給または充電されるラップトップコンピュータの応用形態の図であり、この場合、デバイス共振器がラップトップコンピュータのケース内にあり且つ見ることができない。（b）は、ワイヤレスで電力供給または充電されるラップトップコンピュータの応用形態の図であり、この場合、共振器はラップトップコンピュータの基部の下にあり、電気ケーブルによりラップトップコンピュータの電力入力に電気接続される。（c）は、ワイヤレスで電力供給または充電されるラップトップコンピュータの応用形態の図であり、この場合、共振器は、ラップトップコンピュータの基部に取り付けられる。（d）は、ワイヤレスで電力供給または充電されるラップトップコンピュータの応用形態の図であり、この場合、共振器は、ラップトップコンピュータのディスプレイに取り付けられる。

【図５１】無線電力伝送を有する、屋根のＰＶパネルの図である。

【００２２】

詳細な説明

上述したように、本開示は、電源からの電力を電力ドレイン（drain：消費元）にワイヤレス（無線）で伝送することができる、長寿命振動性共振モード（long-lived oscillatory resonant mode）で結合された電磁共振器に関する。しかしながら、当該技術は、電磁共振器に限定されず、全般的であり、多種多様の共振器および共振物体に適用され得る。従って、最初に一般的な技術が説明され、次いで無線エネルギー伝送の電磁的例が開示される。

【００２３】

共振器

共振器は、少なくとも２つの異なる形態でエネルギーを蓄積することができるシステムとして定義されることができ、この場合、蓄積されたエネルギーは、２つの形態間で振動している。共振は、共振（モード）周波数 f 、及び共振（モード）場を有する特定の振動モードを有する。共振角周波数は、 $\omega = 2\pi f$ として定義されることができ、共振波長は、 $\lambda = c / f$ として定義されることができ、ここで c は光の速度であり、及び共振周期 T は、 $T = 1 / f = 2\pi / \omega$ として定義され得る。損失機構、結合機構または外部エネ

10

20

30

40

50

ルギー供給機構またはドレイン機構がない場合、共振器の蓄積された全エネルギー W は、一定のままであり、且つ 2 つの形態のエネルギーが振動し、この場合、他方が最小である場合に、一方が最大であり、逆もまた同じである。

【0024】

外部材料または外部物体がない場合、図 1 に示された共振器 102 のエネルギーは、固有損失により減衰または失われ得る。そして、共振器場は、以下の一次方程式に従う。即ち、

$$d a(t) / d t = - i (\quad - i \quad) a(t)$$

ここで、変数 $a(t)$ は、共振器内に包含されるエネルギーが $|a(t)|^2$ により与えられるように定義された共振場の振幅である。は、固有エネルギー減衰または損失率（例えば、吸収損失および放射損失に起因）である。

10

【0025】

エネルギー減衰の特性を表す、共振器の Quality Factor、又は Q ファクタ、又は Q は、これらエネルギー損失に反比例する。それは、 $Q = \quad * W / P$ として定義されることができ、ここで P は、定常状態での時間平均電力損失である。即ち、高い Q を有する共振器 102 は比較的低い固有損失を有し、比較的長い時間にわたってエネルギーを蓄積することができる。共振器がその固有減衰率 2 でエネルギーを失うので、その固有 Q (intrinsic Q) とも呼ばれるその Q は、 $Q = \quad / 2$ により与えられる。また、 Q ファクタは、振動周期 T の数も表し、共振器のエネルギーが e の倍数で減衰するのに要するのが T である。

20

【0026】

上述したように、本発明者は、固有の損失機構のみに起因するものとして共振器の Q ファクタ又は Q を定義する。 Q_1 のような下付き文字は、 Q が関係する共振器（この場合、共振器 1）を示す。図 2 は、この規則に従って表記された電磁共振器 102 を示す。留意すべきは、この図において、共振器 1 の近傍には、外部物体または追加の共振器は存在していない。

【0027】

第 1 の共振器の近傍の外部物体および / または追加の共振器は、第 1 の共振器に摂動を与え又は第 1 の共振器に負荷をかけ、それにより共振器と物体または他の共振器との間の距離、物体または他の共振器の材料組成、第 1 の共振器の構造、第 1 の共振器の電力などのような様々な因子に応じて、第 1 の共振器の Q に摂動を与える又は負荷をかける。共振器の近傍の外部材料および外部物体に対する意図しない外部エネルギー損失または結合機構は、共振器の Q に「摂動を与える (perturbing: パーターピング)」と呼ばれることができ、丸い括弧 () 内の下付き文字により示され得る。他の共振器、及び電力発生装置に対する結合を介したエネルギー伝送に関連した意図された外部エネルギー損失、及び無線エネルギー伝送システムの負荷は、共振器の Q に「負荷をかける (loading: ローディング)」と呼ばれることができ、角括弧 [] 内の下付き文字により示され得る。

30

【0028】

電力発生装置 g 、又は負荷 302、1 に接続または結合された共振器 102 の Q は、「ローデッド Q ファクタ」又は「ローデッド (loaded: 負荷をかけられた) Q 」と呼ばれることができ、図 3 に示されたように $Q_{[g]}$ 又は $Q_{[1]}$ により示され得る。一般に、共振器 102 に接続された 2 つ以上の電力発生装置または負荷 302 が存在することができる。しかしながら、それらの電力発生装置または負荷は別々に列挙されないで、電力発生装置および負荷の組合せによりもたらされる等価な回路負荷を表すために「 g 」及び「 1 」が使用される。全般的な説明において、共振器に接続された電力発生装置または負荷を表すために下付き文字「 1 」が使用され得る。

40

【0029】

本明細書の一部の説明において、共振器に接続された電力発生装置または負荷に起因した「ローディング Q ファクタ」又は「ローディング (loading: 負荷をかける) Q 」が、 $Q_{[1]}$ として定義され、ここで、 $1 / \quad Q_{[1]} = 1 / Q_{[1]} - 1 / Q$ である。留意すべき

50

は、電力発生装置または負荷のより大きなローディング Q 、 $Q_{[1]}$ 、より少ないロード Q 、 $Q_{[1]}$ は、共振器の無負荷時の Q から導出される。

【0030】

エネルギー伝送システムの一部であると意図されていない、外部物体402、 p が存在する状態の共振器の Q は、「パーターブド Q ファクタ」又は「パーターブド (perturbed : 摂動を与えられた (摂動された)) Q 」と呼ばれることができ、図4に示されるように、 $Q_{(p)}$ により示され得る。一般に、 p_1 、 p_2 等として示される多くの外部物体、又は共振器102の Q に摂動を与える一組の外部物体 $\{p\}$ が存在することができる。この場合、パーターブド Q は、 $Q_{(p_1+p_2+\dots)}$ 又は $Q_{(\{p\})}$ で示され得る。例えば、 $Q_{1(\text{brick+wood})}$ は、れんが及び木片の存在する状態での無線電力交換のシステムにおける第1の共振器のパーターブド Q ファクタを示すことができ、 $Q_{2(\{\text{office}\})}$ は、オフィス環境での無線電力交換のシステムにおける第2の共振器のパーターブド Q ファクタを示すことができる。

10

【0031】

本明細書の一部の説明において、外部物体 p に起因した「パーターピング Q ファクタ」又は「パーターピング Q 」は、 $Q_{(p)}$ として定義され、ここで、 $1/Q_{(p)} = 1/Q - 1/Q_{(p)}$ である。前述したように、パーターピング Q ファクタは、複数の外部物体 p_1 、 p_2 など、又は一組の外部物体 $\{p\}$ に依存することができる。物体のより大きな、パーターピング Q 、 $Q_{(p)}$ 、より小さいパーターブド Q 、 $Q_{(p)}$ は、共振器の摂動されていない Q から導出される。

20

【0032】

本明細書の一部の説明において、 $Q_{(p)} = Q_{(p)}/Q$ も定義され、それは、外部物体の存在する状態での共振器の「 Q ファクタの無感受性」又は「 Q 無感受性」と呼ばれる。 $Q_{(p)}$ のような下付き文字は、摂動される及び摂動されない Q ファクタが表している共振器を示し、即ち $Q_{1(p)} = Q_{1(p)}/Q_1$ である。

【0033】

留意すべきは、 Q ファクタ Q は、パーターブド Q ファクタ $Q_{(p)}$ と区別することが必要な場合には、「アンパーターブド (unperturbed : 摂動されない)」としても特徴付けられることができ、ロードド Q ファクタ $Q_{[1]}$ と区別することが必要な場合には、「アンロードド (unloaded : 負荷をかけられていない)」として特徴付けられる。同様に、パーターブド Q ファクタ $Q_{(p)}$ は、ロードド・パーターブド Q ファクタ $Q_{(p)[1]}$ と区別することが必要な場合には、「アンロードド」としても特徴付けられ得る。

30

【0034】

結合された共振器

実質的に同じ共振周波数を有し、近接場の任意の部分を介して結合された共振器は、相互作用してエネルギーを交換することができる。このエネルギー交換を理解する、設計する、最適化する、及び特徴付けるために採用され得る様々な物理的画像およびモデルが存在する。2つの結合された共振器間のエネルギー交換を説明する及びモデル化するための1つの方法は、結合モード理論 (CMT) を用いている。

【0035】

結合モード理論において、共振器の場合は、以下の一次方程式の組に従う。

40

【0036】

【数1】

$$\frac{da_m(t)}{dt} = -i(\omega_m - i\Gamma_m)a_m(t) + i \sum_{n \neq m} \kappa_{mn}a_n(t)$$

【0037】

ここで、添え字は異なる共振器を示し、 κ_{mn} は共振器間の結合係数である。相反系の場合、結合係数は、関係 $\kappa_{mn} = \kappa_{nm}$ に従うことができる。留意すべきは、本明細書の

50

ために、遠距離場放射線干渉の影響は無視され、かくして結合係数が実数とみなされる。更に、本明細書でのシステム性能の以後の計算の全てにおいて、結合係数は、それらの二乗、 $(\gamma_{mn})^2$ でのみ現れ、 γ_{mn} を用いて、実結合係数の絶対値が示される。

【0038】

留意すべきは、上述したCMTからの結合係数 γ_{mn} は、 $k_{mn} = 2\gamma_{mn} / (\gamma_m \gamma_n)^{1/2}$ により、共振器mとnとの間のいわゆる結合率 k_{mn} に関係づけられる。「強い結合率（強結合率と称す）」 U_{mn} は、 $U_{mn} = \gamma_{mn} / (\gamma_m \gamma_n)^{1/2} = k_{mn} / (Q_m Q_n)^{1/2}$ により、共振器mとnとの間の結合および損失率の比として定義される。

【0039】

同様の周波数共振器n又は追加の共振器の存在する状態で、共振器mのQファクタは、接続された電力発生装置または電力消費装置により負荷をかけられている共振器に類似するように、その共振器n又は追加の共振器により負荷をかけられ得る。共振器mが共振器nにより負荷をかけられ得る（逆もまた同じ）という事実は、共振器が結合されることを確認するための単に異なる方法である。

【0040】

これらの場合での共振器のローデッドQは、 $Q_{m[n]}$ 及び $Q_{n[m]}$ として示され得る。多数の共振器または負荷供給器またはデバイスの場合、共振器の全負荷は、各負荷を抵抗損失としてモデル化することにより、及び集合体の等価負荷を求めるために適切な並列および/または直列の組合せで、多数の負荷を追加することにより求められ得る。

【0041】

本明細書の一部の説明において、共振器nに起因して共振器mの「ローディングQファクタ」又は「ローディング Q_m 」が、 $Q_{m[n]}$ として定義され、ここで、 $1/Q_{m[n]} = 1/Q_m + 1/Q_{m[n]}$ である。留意すべきは、共振器nも共振器mにより負荷をかけられ、その「ローディング Q_n 」は、 $1/Q_{n[m]} = 1/Q_n + 1/Q_{n[m]}$ により与えられる。

【0042】

1つ又は複数の共振器が電力発生装置または負荷に接続される場合、一次方程式の組は次のように変更される。

【0043】

【数2】

$$\frac{da_m(t)}{dt} = -i(\omega_m - i\Gamma_m)a_m(t) + i \sum_{n \neq m} \kappa_{mn} a_n(t) - \kappa_m a_m(t) + \sqrt{2\kappa_m} s_{+m}(t)$$

$$s_{-m}(t) = \sqrt{2\kappa_m} a_m(t) - s_{+m}(t)$$

【0044】

ここで、 $s_{+m}(t)$ 及び $s_{-m}(t)$ はそれぞれ、電力発生装置から共振器mに入る場の振幅、及び共振器mから電力発生装置の方へ戻る又は負荷へ入る場の振幅であり、それらが伝える電力が $|s_{+m}(t)|^2$ 及び $|s_{-m}(t)|^2$ により与えられるように定義される。負荷係数 γ_m は、エネルギーが共振器mと電力発生装置またはそれに接続された負荷との間で交換される割合（rate：率、速度）に関係する。

【0045】

留意すべきは、上述したCMTからの負荷係数 γ_m は、 $Q_{m[1]} = \gamma_m / 2\gamma_m$ により前に定義されたローディングQファクタ $Q_{m[1]}$ に関係づけられる。

【0046】

共振器mの負荷および損失率の比として、「強ローディング率」 $U_{m[1]}$ が定義され、 $U_{m[1]} = \gamma_m / \gamma_m = Q_m / Q_{m[1]}$ である。

【0047】

10

20

30

40

50

図 1 の (a) は、2 つの結合された共振器 1 0 0 0 の例を示し、第 1 の共振器 1 0 2 S は供給源の共振器 (以降、供給源共振器と称す) として構成され、第 2 の共振器 1 0 2 D はデバイスの共振器 (以降、デバイス共振器と称す) として構成される。エネルギーは共振器間の距離 D にわたって伝送され得る。供給源共振器 1 0 2 S は、電源または電力発生装置 (図示せず) により駆動され得る。仕事は、電力消費ドレイン又は負荷 (例えば、負荷抵抗器、図示せず) により、デバイス共振器 1 0 2 D から取り出され得る。供給源に対して下付き文字「s」を使用し、デバイスに対して「d」を使用し、電力発生装置に対して「g」を使用し、負荷に対して「l」を使用し、この例において、2 つの共振器のみが存在し、 $s_d = d_s$ であるので、 s_d 、 k_{s_d} 、及び U_{s_d} の添え字を省き、それらをそれぞれ、 k 及び U として示す。

10

【0048】

電力発生装置は、角駆動周波数 ω に対応する一定の駆動周波数 f で供給源共振器を絶えず駆動することができ、ここで、 $\omega = 2\pi f$ である。

【0049】

この場合、(供給源共振器及びデバイス共振器を介した) 電力発生装置から負荷への電力伝送の効率、 $\eta = |s_d|^2 / |s_g|^2$ は、以下の条件の下で最大にされる。即ち、供給源共振器の周波数、デバイス共振器の周波数、及び電力発生装置の駆動周波数は一致される必要があり、即ち、

$$\omega_s = \omega_d = \omega_g$$

更に、電力発生装置に起因した供給源共振器のローディング Q 、 $Q_{s[g]}$ は、デバイス共振器及び負荷に起因した供給源共振器のローデッド Q 、 $Q_{s[d l]}$ にマッチング (等しく) される必要があり、逆に負荷に起因したデバイス共振器のローディング Q 、 $Q_{d[l]}$ は、供給源共振器および電力発生装置に起因したデバイス共振器のローデッド Q 、 $Q_{d[s g]}$ にマッチング (等しく) される必要があり、即ち、

20

$$Q_{s[g]} = Q_{s[d l]} \text{ 及び } Q_{d[l]} = Q_{d[s g]}$$

これらの方程式は、電力発生装置による供給源共振器の、及び負荷によるデバイス共振器の最適な負荷率を以下のように求める。

【0050】

【数 3】

30

$$U_{d[l]} = \kappa_d / \Gamma_d = Q_d / \delta Q_{d[l]} = \sqrt{1 + U^2} = \sqrt{1 + (\kappa / \sqrt{\Gamma_s \Gamma_d})^2} = Q_s / \delta Q_{s[g]} = \kappa_s / \Gamma_s = U_{s[g]}$$

【0051】

留意すべきは、上記の周波数マッチング及び Q マッチングの条件は、電気工学において「インピーダンスマッチング」として共に知られている。

【0052】

上記の条件の下で、最大化効率は、図 5 に示されるように、供給源共振器とデバイス共振器との間の強結合率 $U = \kappa / (\Gamma_s \Gamma_d)^{1/2} = k (Q_s Q_d)^{1/2}$ の関数のみを単調に増加させ、 $\eta = U^2 / (1 + (1 + U^2)^{1/2})^2$ により与えられる。留意すべきは、結合効率は、 U が 0.2 より大きい場合に 1% より大きく、 U が 0.7 より大きい場合に 10% より大きく、 U が 1 より大きい場合に 17% より大きく、 U が 3 より大きい場合に 52% より大きく、 U が 9 より大きい場合に 80% より大きく、 U が 19 より大きい場合に 90% より大きく、 U が 45 より大きい場合に 95% より大きい。幾つかの応用形態において、 $U > 1$ の場合の動作状況は、「強い結合 (強結合)」の状況と呼ばれ得る。

40

【0053】

特定の環境において、大きな $U = \kappa / (\Gamma_s \Gamma_d)^{1/2} = (2\kappa / (\Gamma_s \Gamma_d)^{1/2}) (Q_s Q_d)^{1/2}$ が望ましいので、高い Q (以降、高 Q と称する) である共振器が使用され得る。各共振器の Q は、高くすることができる。共振器の Q の幾何平均 ($Q_s Q_d$)

50

$d)^{1/2}$ も又はむしろ高くすることができる。

【0054】

結合率 k は、 $0 < k < 1$ の間の数であり、供給源共振器およびデバイス共振器の共振周波数に無関係（又はほぼ無関係）とすることができ、むしろそれらの相対的な幾何学的形状およびそれらの結合に介在する場の物理的な減衰法則により主として求められ得る。対照的に、結合係数 $= k (Q_s Q_d)^{1/2} / 2$ は、共振周波数の強い関数とすることができる。共振器の共振周波数は好適には、低い Q を達成するよりも、高い Q を達成するために選択されることができ、その理由は、これら 2 つの目標が 2 つの別個の共振周波数の状況で達成可能であるからである。

【0055】

高 Q の共振器（以降、高 Q 共振器と称す）は、 $Q > 100$ を有するものとして定義され得る。2 つの結合された共振器は、各共振器が 100 より大きい Q ($Q_s > 100$ 及び $Q_d > 100$) を有する場合に、高 Q 共振器のシステムと呼ばれ得る。他の具現化形態において、2 つの結合された共振器は、共振器の Q の幾何平均が 100 より大きい場合 ($(Q_s Q_d)^{1/2} > 100$) に、高 Q 共振器のシステムと呼ばれ得る。

【0056】

共振器は命名または番号付けされ得る。それらは、供給源共振器、デバイス共振器、第 1 の共振器、第 2 の共振器、中継共振器などと呼ばれ得る。理解されるべきは、2 つの共振器が図 1 に示されるが、以下の例の多くにおいて、他の具現化形態は 3 つ以上の共振器を含むことができる。例えば、単一の供給源共振器 102S は、多数のデバイス共振器 102D 又は多数のデバイスにエネルギーを伝送することができる。エネルギーは、第 1 のデバイスから第 2 のデバイスへ、次いで第 2 のデバイスから第 3 のデバイスへ以下同様に伝送され得る。多数の供給源がエネルギーを単一のデバイスへ、又は単一のデバイス共振器に接続された多数のデバイスへ、又は多数のデバイス共振器に接続された多数のデバイスへ伝送することができる。共振器 102 は、交互に又は同時に供給源、デバイスとしての機能を果たすことができ、又は 1 つの場所の供給源からの電力を別の場所のデバイスに中継するために使用され得る。中間の電磁共振器 102 は、無線エネルギー伝送システムの距離範囲を広げるために使用され得る。多数の共振器 102 は、相互にデ이지チェーン接続されて、延長された距離にわたって、広範囲の供給源およびデバイスとエネルギーを交換することができる。多数のデバイスに伝送される高い電力レベルが、多数の供給源 102S 間で分割されて、遠くの場所で再結合され得る。

【0057】

単一の供給源および単一のデバイス共振器の分析は、多数の供給源共振器および / または多数のデバイス共振器および / または多数の中間共振器に拡張され得る。係る分析において、結論は、多数の共振器の少なくとも幾つか又は全ての間の大きな強結合率 U_{mn} が、無線エネルギー伝送での高いシステム効率に好適であるということである。また、具現化形態は、高い Q を有する供給源共振器、デバイス共振器、及び中間共振器を使用することができる。各共振器の Q は高くすることができる。一対の共振器 m と n (大きな U_{mn} が望ましい) の Q の幾何平均 ($Q_s Q_d$)^{1/2} も又はむしろ高くすることができる。

【0058】

留意すべきは、2 つの共振器の強結合率が、各共振器の損失機構および 2 つの共振器間の結合機構の相対的な大きさにより求められることができ、これら機構の何れかまたは全ての強さは、上述したように共振器の近傍の外部物体の存在する状態で摂動され得る。

【0059】

前のセクションから表記に関する規則を続けると、外部物体または材料が存在しない状態での結合率として k が説明される。外部物体 p の存在する状態での結合率は $k_{(p)}$ として示され、それを「パーターブド (perturbed: 摂動される) 結合率」又は「パーターブド k 」と呼ぶ。留意すべきは、結合率 k も、パーターブド結合率 $k_{(p)}$ から区別する必要がある場合に、「アンパーターブド (unperturbed: 摂動されない)」として特徴付けられ得る。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 0 】

$k_{(p)}$ $k_{(p)} - k$ を定義し、それは、外部物体 p に起因した「結合率に対する摂動」又は「 k に対する摂動」と呼ばれる。

【 0 0 6 1 】

また、 $_{(p)} k_{(p)} / k$ も定義し、それは、「結合率無感受性」又は「 k 無感受性」と呼ばれる。 $_{1\ 2\ (p)}$ のような、下部の添え字は、パターブド及びアンパターブド結合率が関連する共振器を示し、即ち $_{1\ 2\ (p)} k_{1\ 2\ (p)} / k_{1\ 2}$ である。

【 0 0 6 2 】

同様に、外部物体の存在しない状態での強結合率として U を説明する。外部物体 p の存在する状態での強結合率が $U_{(p)}$ 、 $U_{(p)} = k_{(p)} (Q_{1\ (p)} Q_{2\ (p)})^{1/2}$ として示され、それは「パターブド強結合率」又は「パターブド U 」と呼ばれる。留意すべきは、強結合率 U も、パターブド強結合率 $U_{(p)}$ から区別する必要がある場合に、「アンパターブド (unperturbed: 摂動されない)」として特徴付けられ得る。

【 0 0 6 3 】

$U_{(p)}$ $U_{(p)} - U$ を定義し、それは、外部物体 p に起因した「結合率に対する摂動」又は「 U に対する摂動」と呼ばれる。

【 0 0 6 4 】

$_{(p)} U_{(p)} / U$ も定義し、それは、「強結合率の無感受性」又は「 U 無感受性」と呼ばれる。 $_{1\ 2\ (p)} U_{1\ 2\ (p)}$ のような、下部の添え字は、パターブド及びアンパターブド結合率が関連する共振器を示し、即ち $_{1\ 2\ (p)} U_{1\ 2\ (p)} / U_{1\ 2}$ である。

【 0 0 6 5 】

摂動されるシステムにおけるエネルギー交換の効率は、摂動されないシステムの効率を与える同じ式により与えられることができ、この場合、強結合率、結合率、及び Q ファクタのような全パラメータは、それらの摂動される (パターブド) 同等物により置き換えられる。例えば、1つの供給源および1つのデバイス共振器を含む無線エネルギー伝送のシステムにおいて、最適な効率は、以下のように計算され得る。

【 0 0 6 6 】

【 数 4 】

$$\eta_{(p)} = \left[U_{(p)} / \left(1 + \sqrt{1 + U_{(p)}^2} \right) \right]^2$$

【 0 0 6 7 】

従って、外部物体により摂動される無線エネルギー交換のシステムにおいて、多数の共振器の少なくとも幾つか又は全ての間の大きいパターブド強結合率 $U_{mn\ (p)}$ は、無線エネルギー伝送の高いシステム効率に望ましい。供給源共振器、デバイス共振器、及び / 又は中間共振器は高い $Q_{(p)}$ を有することができる。

【 0 0 6 8 】

幾つかの外因性摂動は、(結合率または Q ファクタに対する大きな摂動を介して) パターブド強結合率に時として弊害をもたらす場合がある。従って、システムに対する外因性摂動の影響を低減するための技術が使用され、大きな強結合率無感受性が維持され得る。

【 0 0 6 9 】

エネルギー交換の効率

有用なエネルギー交換でのいわゆる「有用な」エネルギーは、デバイスに電力を供給する又はデバイスを充電するためにデバイス (単数または複数) に伝えられる必要があるエネルギー又は電力である。有用なエネルギー交換に対応する伝送効率は、システム依存または用途依存とすることができる。例えば、数キロワットの電力を伝送する高い電力の車両充電用途は、伝送システムの様々な構成要素が大幅に加熱せずに、車両のバッテリーを再充電するのに十分なように、有用なエネルギー交換で生じる有用な量の電力を供給する

ために少なくとも80%の効率である必要がある。幾つかの家庭用電化製品の用途では、有用なエネルギー交換は、10%よりも大きい任意のエネルギー伝送効率、又は再充電可能なバッテリーを「満タン状態」に保つ及び長期間の動作を保つために許容できる他の量を含むことができる。幾つかの無線センサ用途の場合、1%よりも大幅に少ない伝送効率が、センサからかなりの距離に配置された単一の供給源から多数の低電力センサに電力供給するために適切であるかもしれない。更に他の用途について、有線の電力伝送が不可能または実用的でない場合、広範囲の伝送効率が有用なエネルギー交換に受け入れ可能であり、これらの用途において有用な電力がデバイスに供給され则认为られ得る。一般に、動作距離は、有用なエネルギー交換が本明細書で開示された原理に従って維持される又は維持され得る任意の距離である。

10

【0070】

電力供給または再充電の用途における無線エネルギー伝送の有用なエネルギー交換は、無駄なエネルギーレベル、熱放散、及び関連する電界強度が許容限界内である限り、効率的、非常に効率的、又は十分に効率的とすることができる。許容限界は、用途、環境、システムの場所に依存する場合がある。電力供給または再充電の用途の無線エネルギー伝送は、所望のシステム性能が適度なコスト的制限、重量制限、サイズ制限などに対して達せられ得る限り、効率的、非常に効率的、又は十分に効率的とすることができる。効率的なエネルギー伝送は、高いQシステムでない従来の誘導技術を用いて達成され得るものに対して決定され得る。次いで、エネルギー伝送は、同様の距離にわたって又は位置合わせオフセット量で従来の誘導方法での同様なサイズのコイル構造により伝えられ得るエネルギーよりも多くのエネルギーが伝えられた場合に、効率的、非常に効率的、又は十分に効率的であるとして定義され得る。

20

【0071】

留意すべきは、たとえ特定の周波数およびQマッチング条件がエネルギー伝送のシステム効率を最適化できるとしても、これら条件は、有用なエネルギー交換に関して効率的で十分なエネルギー伝送を有するために厳密に満たされる必要はないかもしれない。効率的なエネルギー交換は、共振周波数の相対的なオフセット量 $(|f_m - f_n| / (f_m + f_n))^{1/2}$ が、 $1/Q_{m(p)}$ 、 $1/Q_{n(p)}$ 、及び $k_{mn(p)}$ の中のほぼ最大値より小さい限り、実現され得る。Qマッチング条件は、効率的なエネルギー交換の周波数マッチング条件よりもあまり重要でない。電力発生装置および/または負荷に起因した共振器の強ローディング率 $U_{m[1]}$ がそれらの最適な値から離れることができる、及び依然として効率的で十分なエネルギー交換を有する程度は、特定のシステムに依存し、電力発生装置および/または負荷の全て又は幾つかがQのミスマッチングであるか否かなどに依存する。

30

【0072】

従って、共振器の共振周波数は厳密にマッチングされることができないが、上記の許容範囲内でマッチングされ得る。電力発生装置および/または負荷に起因した少なくとも幾つかの共振器の強ローディング率は、それらの最適な値に厳密にマッチングされなくてもよい。電圧レベル、電流レベル、インピーダンス値、材料パラメータなどは、本開示で説明された厳密な値にいらなくてもよいが、これらの値の何らかの許容できる許容範囲内にある。システムの最適化には、効率、Q、周波数、強結合率など、考慮事項に加えて、コスト、サイズ、重量、複雑性など、考慮事項が含まれ得る。幾つかのシステム性能パラメータ、仕様、及び設計は、他のシステム性能パラメータ、仕様、及び設計を最適化するために、決して最適ではないかもしれない。

40

【0073】

幾つかの用途において、少なくとも幾つかのシステムパラメータは、例えば、供給源またはデバイスのような構成要素が移動できる又は経年劣化するという理由で、又は負荷が変化しやすいという理由で、又は摂動または環境条件が変化しているなどの理由で、時間的に変化する可能性がある。これらの場合において、許容できるマッチング条件を達成するために、少なくとも幾つかのシステムパラメータは、動的に調整可能またはチューナブルである必要がある。全システムパラメータは、ほぼ最適な動作状態を達成するために動

50

的に調整可能またはチューナブルとすることができる。しかしながら、上述したことに基
づいて、効率的で十分なエネルギー交換は、たとえ幾つかのシステムパラメータが可変で
なくても、実現され得る。幾つかの例において、少なくとも幾つかのデバイスは動的に調
整されなくてもよい。幾つかの例において、少なくとも幾つかの供給源は動的に調整され
なくてもよい。幾つかの例において、少なくとも幾つかの中間の共振器は動的に調整され
なくてもよい。幾つかの例において、システムパラメータはどれも動的に調整されなくて
もよい。

【 0 0 7 4 】

電磁共振器

エネルギーを交換するために使用される共振器は電磁共振器とすることができる。係る
共振器において、固有のエネルギー減衰率 γ_m は、共振器の吸収（又は抵抗）損失および
放射損失により与えられる。

10

【 0 0 7 5 】

共振器は、電界により蓄積されるエネルギーが主として構造体内に閉じ込められるよう
に、及び磁界により蓄積されたエネルギーが主として共振器の周囲の領域にあるように構
成され得る。そして、エネルギー交換は共振近傍磁界により主として実現される。これら
タイプの共振器は、磁気共振器と呼ばれ得る。

【 0 0 7 6 】

共振器は、磁界により蓄積されたエネルギーが主として構造体内に閉じ込められるよう
に、及び電界により蓄積されたエネルギーが主として共振器の周囲の領域にあるように構
成され得る。そして、エネルギー交換は共振近傍電界により主として実現される。これら
タイプの共振器は、電気共振器と呼ばれ得る。

20

【 0 0 7 7 】

留意すべきは、共振器により蓄積される電氣的エネルギー及び磁気エネルギーは等しい
必要があるが、それらの局在性は、全く違う場合がある。場合によっては、共振器から或
る距離を離れて特定された平均電界エネルギーと平均磁界エネルギーの比は、共振器を特
徴づける又は説明するために使用され得る。

【 0 0 7 8 】

電磁共振器は、誘導性素子、分布インダクタンス、又はインダクタンス L を有するイン
ダクタンスの組合せ、及び容量性素子、分布キャパシタンス、又はキャパシタンス C を有
するキャパシタンスの組合せを含むことができる。電磁共振器 1 0 2 の最小回路モデルが
図 6 a に示される。共振器は、誘導性素子 1 0 8 及び容量性素子 1 0 4 を含むことができ
る。コンデンサ 1 0 4 に蓄電された電界エネルギーのような初期エネルギーが提供される
と、システムは、コンデンサが伝送エネルギーをインダクタ 1 0 8 に蓄積される磁場エネ
ルギーへ放電し、次いでインダクタ 1 0 8 がコンデンサ 1 0 4 に蓄電される電界エネ
ルギーへエネルギーを戻すように振動する。

30

【 0 0 7 9 】

図 6 の (b)、(c)、(d) に示された共振器 1 0 2 は、磁気共振器と呼ばれ得る。
磁気共振器は、人口の多い環境において無線エネルギー伝送用途に好適であり、その理由
は、動物、植物、及び人間を含むほぼ日常の構成物質が非磁性（即ち、 $\mu_r \approx 1$ ）であり
、そのためそれらの磁界との相互作用が最小であるからであり、係る相互作用は、二次効
果である、磁界の時間変化により誘導される渦電流に主として起因する。この特徴は、安
全上の理由で、及びそれが、システム性能を変化させる可能性がある外部環境物体および
材料との相互作用の可能性を低減するという理由で重要である。

40

【 0 0 8 0 】

図 6 の (d) は、例示的な磁気共振器 1 0 2 B に関連した電界および磁界の力線の幾つ
かの簡易図を示す。磁気共振器 1 0 2 B は、誘導性素子 1 0 8 として働くコンダクタのル
ープ、及びコンダクトループの両端に容量性素子 1 0 4 を含むことができる。留意すべき
は、この図面は、磁界に蓄積されている共振器の周囲の領域でのエネルギーの大部分、及
び電界に蓄積された共振器（蓄電板の間）のエネルギーの大部分を示す。フリンジ電界、

50

自由電荷、及び時間変動磁界に起因した或る電界は、共振器の周りの領域に蓄積され得るが、磁気共振器は、できる限り多くの電界を共振器自体に接近して又は共振器自体内に閉じ込めるように設計され得る。

【 0 0 8 1 】

電磁共振器 1 0 2 のインダクタ 1 0 8 及びコンデンサ 1 0 4 は、バルク回路素子とすることができるか、又はインダクタンス及びキャパシタンスは分布（分散）されることができ、結果としてその態様から構造内に導体が形成され、形作られ、又は配置され得る。例えば、インダクタ 1 0 8 は、図 6 の（b）、（c）、（d）に示されるように、表面積を包囲するように導体を形作ることにより実現され得る。このタイプの共振器 1 0 2 は、容量的に装荷されたループインダクタと呼ばれ得る。留意すべきは、用語「ループ」又は「コイル」は、任意の形状および寸法の表面を包囲し、任意のターン数を有する導電構造（ワイヤ、管、ストリップなど）を概して示すために使用される。図 6 の（b）において、包囲された表面積は円形であるが、表面は任意の多種多様な他の形状およびサイズとすることができ、特定のシステム性能の仕様を達成するために設計され得る。インダクタンスが如何にして物理的寸法に対応するかを示すための例として、一巻きの円形ループを形成するように構成された円形導体の長さに対するインダクタンスは、ほぼ以下の通りである。

10

【 0 0 8 2 】

【数 5】

$$L = \mu_0 x \left(\ln \frac{8x}{a} - 2 \right)$$

20

【 0 0 8 3 】

ここで、 μ_0 は自由空間の透磁率であり、 x は包囲された円形の表面積の半径であり、 a はインダクタループを形成するために使用される導体の半径である。ループのインダクタンスのより正確な値は、分析的に又は数値的に計算され得る。

【 0 0 8 4 】

他の包囲される表面形状、領域、サイズなどを形成するために構成された、及び任意のターン数のワイヤの、他の断面の導体に関するインダクタンスは、分析的、数値的に計算され得るか、又は測定により求められ得る。インダクタンスは、インダクタ素子、分布インダクタンス、回路網、アレイ、インダクタ及びインダクタンスの直列および並列の組合せなどを用いて実現され得る。インダクタンスは、固定または可変とすることができ、インピーダンスマッチング並びに共振周波数の動作条件を変更するために使用され得る。

30

【 0 0 8 5 】

共振器構造の所望の共振周波数を達成するために必要なキャパシタンスを実現するための様々な方法が存在する。蓄電板 1 1 0 が、図 6 の（b）に示されるように形成されて利用され得るか、又はキャパシタンスが、図 6 の（c）に示されるように、複数ループの導体 1 1 4 の隣接する巻線間に分布されて実現され得る。キャパシタンスは、コンデンサ素子、分布キャパシタンス、回路網、アレイ、キャパシタンスの直列および並列の組合せなどを用いて実現され得る。キャパシタンスは固定または可変とすることができ、インピーダンスマッチング並びに共振周波数の動作条件を変更するために使用され得る。

40

【 0 0 8 6 】

理解されるべきは、電磁共振器 1 0 2 のインダクタンス及びキャパシタンスは、集中され得るか、分布され得るか、又は集中および分布インダクタンス及びキャパシタンスの組合せとすることができ、電磁共振器は、様々な素子、技術、及び本明細書で説明される効果の組合せにより実現され得る。

【 0 0 8 7 】

電磁共振器 1 0 2 は、インダクタ、インダクタンス、コンデンサ、キャパシタンス、及び追加の回路素子（例えば、抵抗、ダイオード、スイッチ、増幅器、ダイオード、トラン

50

ジスタ、変圧器、導体、コネクタなど)を含むことができる。

【0088】

電磁共振器の共振周波数

電磁共振器102は、特有の共振周波数、固有の共振周波数、又はその物理的特性により求められる共振周波数を有することができる。この共振周波数は、共振器の電界 W_E ($W_E = q^2 / 2C$ 、ここで q はコンデンサ C の電荷である)により蓄積されたエネルギーと、磁界 W_B ($W_B = Li^2 / 2$ 、ここで i はインダクタ L を流れる電流である)により蓄積されたエネルギーとの間で、共振器により蓄積されたエネルギーが振動する周波数である。システム(系)において任意の損失がない場合、エネルギーはコンデンサ104の電界とインダクタ108の磁界との間で継続的に交換される。エネルギーが交換される周波数は、共振器の特有周波数、固有周波数、又は共振周波数と呼ばれることができ、それは、 $f = (1 / LC)^{1/2}$ により与えられる。

10

【0089】

共振器の共振周波数は、共振器のインダクタンス L 、及び/又はキャパシタンス C をチューニング(調整)することにより変更され得る。共振器の周波数は、 FC により規定されるような、いわゆるISM(Industrial(工業)、Scientific(科学)、Medical(医療))周波数で動作するように設計され得る。共振器の周波数は、特定の領域制限の仕様、比吸収率(SAR)制限の仕様、電磁両立性(EMC)の仕様、電磁妨害(EMI)の仕様、構成要素のサイズ、コスト、又は性能仕様などを満たすように選択され得る。

【0090】

20

電磁共振器のQファクタ

図6に示された共振器102のエネルギーは、吸収損失(抵抗損失または抵抗損失とも呼ぶ)及び/又は放射損失を含む固有損失により減衰または失われ得る。エネルギー減衰を特徴付ける、共振器のQファクタ又は Q は、それらの損失に反比例する。吸収損失は、インダクタを形成するために使用される導体の有限導電率により、並びに共振器の他の素子、構成要素、コネクタなどの損失によりもたらされる可能性がある。低損失材料から形成されたインダクタは、「高Q誘導性素子」と呼ばれることができ、低い損失を有する素子、構成要素、コネクタなどは、「高い抵抗性 Q 」を有すると呼ばれ得る。一般に、共振器の全吸収損失は、共振器を構成する様々な素子および構成要素の抵抗損失の適切な直列および/または並列の組合せとして計算され得る。即ち、任意の顕著な放射損失または構成要素/接続の損失がない状態において、共振器の Q は、 $Q_{abs} = L / R_{abs}$ により与えられ得る。ここで、 f は共振周波数であり、 L は共振器の全インダクタンスであり、例えば、インダクタを形成するために使用される導体の抵抗は、 $R_{abs} = l / A$ により与えられる(l はワイヤの長さであり、 A は導体材料の抵抗率であり、 A は電流がワイヤに流れる断面積である)。交流電流の場合、電流が流れる断面積は、表皮効果に起因して導体の物理的な断面積より小さくすることができる。従って、高Q磁気共振器は、高い導電率、比較的大きな表面積を有する導体、及び/又は近接効果を最小限にする及び AC 抵抗を低減するために特別に設計された断面(プロファイル)(例えば、リッツ線)を有する導体から構成され得る。

30

【0091】

40

磁気共振器の構造は、高い導電率のワイヤ、被覆線、リッツ線、リボン、ストラップ又はプレート、管、塗料、ゲル、トレースなどから構成された高Q誘導性素子を含むことができる。磁気共振器は、自己共振とすることができ、コンデンサ、インダクタ、スイッチ、ダイオード、トランジスタ、変圧器などのような外部結合素子を含むことができる。磁気共振器は、分布および集中キャパシタンス及びインダクタンスを含むことができる。一般に、共振器の Q は、共振器の個々の構成要素の全ての Q により求められ得る。

【0092】

Q はインダクタンス L に比例するので、共振器は、特定の他の制約の範囲内で L を増加させるように設計され得る。例えば、 L を増加させるための1つの方法は、共振器のインダクタを形成するために2つ以上のターン数の導体を使用することである。設計技術およ

50

びトレードオフは用途に依存し、多種多様な構造、導体、構成要素、及び共振周波数は、高Q磁気共振器の設計で選択され得る。

【0093】

顕著な吸収損失がない状態で、共振器のQは、主として放射損失により求められることができ、 $Q_{rad} = L / R_{rad}$ により与えられ、ここで、 R_{rad} は共振器の放射損失であり、動作の周波数又は波長に対する共振器のサイズに依存する。上述した磁気共振器の場合、放射損失は、 $R_{rad} \sim (\lambda / \dots)^4$ （磁気双極子放射の特性）としてスケーリングされることができ、ここで、 λ は図6の(b)に示された誘導性素子の半径のような、共振器の特有寸法であり、 $\lambda = c / f$ であり、 c は光速であり、 f は上記で定義されたものと同じである。磁気共振器のサイズは、動作の波長よりも非常に小さくすることができ、そのため放射損失が非常に小さくすることができる。係る構造は、副波長共振器と呼ばれ得る。放射は、非放射型無線エネルギー伝送システムの損失機構とすることができ、設計は、 R_{rad} を低減または最小化するように選択され得る。留意すべきは、高 Q_{rad} は、非放射型無線エネルギー伝送方法に望ましい。

10

【0094】

また、留意すべきは、非放射型無線エネルギー伝送用の共振器の設計は、通信または遠距離場エネルギー伝送目的に設計されたアンテナとは異なる。特に、容量的に装荷された導電性ループは共振アンテナ（例えば、セル方式の携帯電話で）として使用され得るが、それらは、放射Qが放射エネルギーにおいてアンテナ効率を小さくするように意図的に設計されている遠距離場の状況で動作する。係る設計は、本明細書で開示された効率的な近接場無線エネルギー伝送技術に適切ではない。

20

【0095】

放射損失および吸収損失を含む共振器のQファクタは、 $Q = L / (R_{abs} + R_{rad})$ である。留意すべきは、特定の共振器に対する最大Q値が存在し、その共振器は、高Q共振器を達成するために、共振器、動作周波数、接続機構などを構成するために使用される共振器のサイズ、材料、及び素子に特別に配慮して設計され得る。図7は、MHz周波数での無線電力送信に使用され得る例示的な磁気共振器（この場合、4cmの外径(OD)を有する銅管から作成された60cmの直径を有するコイル）のQのグラフを示す。吸収Q（波線）702は周波数と共に増加するが、放射Q（点線）704は周波数と共に減少し、かくして全体のQが特定の周波数でピーク708ということになる。留意すべきは、この例示的な共振器のQは、広い周波数範囲にわたって100より大きい。磁気共振器は、周波数範囲にわたって高Qを有するように設計されることができ、システムの動作周波数はその範囲の任意の周波数に設定され得る。

30

【0096】

共振器が損失率の点で記述されている場合、そのQは、前述されたように、固有の減衰率 2α を用いて定義され得る。固有の減衰率は、非結合および非駆動の共振器がエネルギーを失う率である。上述した磁気共振器の場合、固有の損失率は、 $\alpha = (R_{abs} + R_{rad}) / 2L$ により与えられることができ、共振器のQファクタQは、 $Q = 1 / 2\alpha$ により与えられる。

【0097】

留意すべきは、特定の損失機構にのみ関連したQファクタは、共振器が特定されていない場合、 $Q_{mechanism}$ として示され、共振器が特定されている場合（例えば、共振器1）、 $Q_{1,mechanism}$ として示される。例えば、 $Q_{1,rad}$ は、放射損失に関連した共振器1のQファクタである。

40

【0098】

電磁共振器の近接場

本明細書で開示された近接場無線エネルギー伝送システムで使用される高Q電磁共振器は、副波長物体とすることができる。即ち、共振器の物理的寸法は、共振周波数に対応する波長よりもはるかに小さくすることができる。副波長磁気共振器は、それらの近傍磁界に蓄積されたエネルギーの大部分を共振器の周囲の領域に有することができ、これらの場

50

は、共振器から離れて放射しないので、変化しないもの又は非伝搬としても記述され得る。共振器を取り囲む領域の近接場の範囲は一般に、波長により設定され、そのため、近接場は、副波長共振器の共振器自体を越えて適切に広がることができる。場の振る舞いが近接場の振る舞いから遠距離場の振る舞いに変化する制限表面は、「放射コーステック (caustic: 火面、腐食性)」と呼ばれ得る。

【0099】

近接場の強さは、共振器から遠ざかるほど低減される。共振器近接場の場の強さは、共振器から離れるように減衰するが、場は、共振器の全般的な近傍に持ってこられた物体と依然として相互作用することができる。場が相互作用する程度は、様々な因子に依存し、当該因子の幾つかは制御および設計されることができ、及び当該因子の幾つかは制御および設計されることができない。本明細書で説明される無線エネルギー伝送方法は、結合された共振器間の距離が、1つの共振器が他の共振器の放射コーステックの範囲内に位置する場合に実現され得る。

【0100】

電磁共振器の近接場のプロファイルは、双極子 (ダイポール) 共振器または振動子に一般に関連したものに類似する。係る場のプロファイルは、全方向として記述されることができ、場の大きさを意味することは、物体から離れる全方向において非ゼロである。

【0101】

電磁共振器の特有サイズ

空間的に分離および/またはオフセットした、十分なQの磁気共振器は、たとえ共振器構造のサイズ及び形状が異なっても、従来技術で見られたものよりはるかに長い距離にわたって効率的な無線エネルギー伝送を達成することができる。また、係る共振器は、より短い範囲の距離にわたって、従来技術で達成可能であったものよりも効率的なエネルギー伝送を達成するように動作され得る。係る共振器が中距離エネルギー伝送をできるものとして説明される。

【0102】

中距離は、伝送に含まれる最も小さい共振器の特有寸法よりも大きい距離として定義されることができ、この場合、距離は、1つの共振器構造の中心から、空間的に離れた第2の共振器構造の中心までを測定される。この定義において、二次元共振器は、それらの誘導性素子によって外接した領域が交差しない場合に空間的に分離されており、三次元共振器は、それらの体積が交差しない場合に空間的に分離されている。二次元共振器は、二次元共振器により外接した領域が三次元共振器の体積の外側にある場合に、三次元共振器から空間的に分離されている。

【0103】

図8は、特有寸法を表記された幾つかの共振器の例を示す。理解されるべきは、共振器102の特有サイズ802は、導体のサイズ、磁気共振器の誘導性素子により外接または包囲された領域、電気共振器の容量性素子を形成する導体の長さの点で定義され得る。そして、共振器102の特有サイズ802、 x_{char} は、磁気または電気共振器のそれぞれの誘導性素子または容量性素子の周りに適合することができる最も小さい球の半径に等しくすることができ、共振器構造の中心が球の中心である。共振器102の特有厚さ804、 t_{char} は、磁気または電気共振器のそれぞれの誘導性素子または容量性素子の、それが配置された平面から測定された最も高い点の最も小さい可能な高さとすることができ、共振器102の特有幅808、 w_{char} は、磁気または電気共振器のそれぞれの誘導性素子または容量性素子が通過することができるが、直線で進む最も小さい可能な円の半径とすることができ、例えば、円柱状共振器の特有幅808は、円柱の半径とすることができ、

【0104】

本発明の無線エネルギー伝送技術において、エネルギーは、広範囲の距離にわたって効率的に交換され得るが、当該技術は、中間距離にわたって、及び異なる物理的寸法、構成要素、及び位置関係 (orientation: 幾何学的配置、方向性、配向性) を有する共振器間で、デバイスに電力供給またはデバイスを再充電するための有用なエネルギーを交換する

ための能力により区別される。留意すべきは、 k はこれらの環境で小さくすることができるが、強い結合および効率的なエネルギー伝送は、高い U 、 $U = k (Q_s Q_d)^{1/2}$ を達成するために高 Q 共振器を用いることにより実現され得る。即ち、 Q の増加は、有用なエネルギー伝送効率を維持するために、少なくとも部分的に k の減少を克服するために使用され得る。

【0105】

また、留意すべきは、単一の共振器の近接場が全方向として説明され得るが、2つの共振器間のエネルギー交換の効率は、共振器の相対的な位置および方向性に依存する可能性がある。即ち、エネルギー交換の効率は、共振器の特定の相対的な方向性に対して最大化され得る。2つの補償されていない共振器の相対位置および方向性に対する伝送効率の感度は、 k 又は の計算で捕らえられ得る。結合は、互いに対してオフセットされた及び / 又は回転された共振器間で達成され得るが、交換の効率は、位置決めの細部に依存する、及び動作中に実施される任意のフィードバック、チューニング、及び補償技術に依存する可能性がある。

10

【0106】

高 Q 磁気共振器

副波長の容量的に装荷されたループ磁気共振器 (x) の近接場の状況において、半径が浸透厚 (skin depth : 表皮厚さ) より大きい、 N ターンのワイヤから構成された円形導電性ループインダクタに関連した抵抗は、ほぼ以下の通りである。

20

【0107】

【数6】

$$R_{abs} = \sqrt{\mu_0 \rho \omega / 2} \cdot Nx / a \quad \text{及び} \quad R_{rad} = \pi / 6 \cdot \eta_0 N^2 (\omega x / c)^4$$

【0108】

ここで、 は、導電材料の抵抗率であり、 ϵ_0 120 は自由空間のインピーダンスである。係る N ターンのループのインダクタンス L は、予め与えられる単一ターンのループのインダクタンスのほぼ N^2 倍である。係る共振器の Q ファクタ、 $Q = L / (R_{abs} + R_{rad})$ は、システムパラメータ (図 4) により求められた特定の周波数に対して最も高い。前述されたように、より低い周波数において、 Q は主として吸収損失により求められ、より高い周波数において、 Q は、主として放射損失により求められる。

30

【0109】

留意すべきは、上記で与えられた式は、近似であり、構造の物理的パラメータにおける R_{abs} 、 R_{rad} 及び L の関数依存性を示すことが意図されている。厳密な準静的制限からの偏移、例えば、導体に沿った不均一な電流 / 電荷分布を考慮する、これらパラメータのより正確な数値計算は、共振器構造の精密な設計に役立つことができる。

【0110】

留意すべきは、吸収損失は、誘導性素子を形成するために低損失導体を用いることにより最小化され得る。導体の損失は、導電性管、ストラップ、ストリップ、機械加工物体、プレートなどのような大きな表面積の導体を用いることにより、リッツ線、編組線、任意の断面のワイヤ、及び低い近接損失を有する他の導体のような特別に設計された導体 (この場合、上述した周波数スケーリングされた振る舞いは異なる可能性がある) を用いることにより、及び例えば、高純度銅および銀のような低い抵抗率の材料を用いることにより、最小限にされ得る。より高い動作周波数において導体として導電性管を用いる1つの利点は、同様の直径の中空でない導体よりも安く及び軽くでき、大部分の電流が表皮効果に起因して導体の外面に沿って伝わるので同様の抵抗を有することができるということである。

40

【0111】

銅線または銅管から作成され、マイクロ波領域での動作に適した実現可能な共振器の設計のおおよその推定を得るために、様々な断面を有する銅線 ($\rho = 1.69 \cdot 10^{-8}$)

50

m) からなる 1 つの円形誘導性素子 ($N = 1$) から構成された共振器の最適な Q 及び共振周波数が計算され得る。そして、例えば、セル式携帯電話に適した、特有サイズ $x = 1$ cm、及び導体直径 $a = 1$ mm の誘導性素子については、 Q ファクタは、 $f = 380$ MHz の場合に、 $Q = 1225$ でピークに達する。 $x = 30$ cm、及び $a = 2$ mm の場合、誘導性素子のサイズがラップトップコンピュータ又は家庭用ロボットに適しており、 $f = 17$ MHz で $Q = 1103$ である。例えば、天井に配置され得る、より大きな供給源の誘導性素子の場合、 $x = 1$ m、及び $a = 4$ mm であり、 Q は、 $f = 5$ MHz で $Q = 1315$ までなることができる。留意すべきは、多数の実例は、 $f/x = 50 \sim 80$ で、 $Q = 1000 \sim 1500$ の予想される Q ファクタを生じる。上述したものよりも多種多様のコイル形状、サイズ、材料、及び動作周波数の測定値は、 $Q > 100$ が、一般に入手可能な材料を用いた様々な磁気共振器構造に実現され得ることを示す。

10

【0112】

上述したように、特有サイズ x_1 及び x_2 、中心間の距離 D だけ離れた 2 つの共振器間でのエネルギー伝送の割合 (rate: 率) は、 f により与えられ得る。定義されたパラメータが如何にしてスケールされるかに関する例を与えるために、3 つの距離 $D/x = 10$ 、8、6 において、上記からのセル式携帯電話、ラップトップコンピュータ、及び天井の共振器の例を考察する。ここで考察される例において、供給源およびデバイスの共振器は同じサイズ $x_1 = x_2$ と形状であり、図 1 の (b) に示されるように配置される。セル式携帯電話の例において、それぞれ $f/2 = 3033$ 、 1553 、 655 である。ラップトップコンピュータの例では、それぞれ $f/2 = 7131$ 、 3651 、 1540 であり、天井の共振器の例については、それぞれ $f/2 = 6481$ 、 3318 、 1400 である。誘導性素子の Q がピークに達する周波数での対応する結合対損失率のピークは、上述した 3 つの誘導性素子のサイズと距離の場合、 $f/2 = 0.4$ 、 0.79 、 1.97 及び 0.15 、 0.3 、 0.72 及び 0.2 、 0.4 、 0.94 である。異なるサイズの誘導性素子を用いる例は、距離 $D = 3$ m 離れて (例えば、部屋の高さ)、 $x_1 = 1$ m のインダクタ (例えば、天井の供給源)、及び $x_2 = 30$ cm のインダクタ (例えば、床上の家庭用ロボット) である。この例において、最適な動作周波数 $f = 6.4$ MHz において、約 14% の効率について、強い結合の性能指数 $U = f/(x_1 + x_2)^{1/2} = 0.88$ である。ここで、最適なシステムの動作周波数は、個々の共振器の Q のピーク間にある。

20

30

【0113】

誘導性素子は、高 Q の磁気共振器用に形成され得る。本発明者は、表面を包囲する誘導性素子へ形成される、銅導体を用いた様々な高 Q 磁気共振器を実証した。誘導性素子は、様々な形状に構成された様々な導体を用いて形成されることができ、任意のサイズ又は形状の領域を包囲し、単一のターン数又は複数のターン数の素子とすることができる。例示的な誘導性素子 900A ~ 900B の図面が図 9 に示される。誘導性素子は、円形、長方形、正方形、三角形、丸みを帯びたかど (すみ) を有する形状、特定の構造またはデバイスの輪郭をたどる形状、構造またはデバイス内の専用空間をたどる、満たす、又は利用する形状などを包囲するように形成され得る。設計は、サイズ、コスト、重量、体裁、性能などに最適化され得る。

40

【0114】

これらの導体は、所望のサイズ、形状、及びターン数へ曲げられ又は形成され得る。しかしながら、手動の技術を用いて正確に導体の形状およびサイズを複製することは困難である可能性がある。更に、誘導性素子の隣接するターンの導体セグメント間での均一な又は所望の中心間の間隔を維持することは困難である可能性がある。正確または均一な間隔は、例えば、構造の自己キャパシタンス、並びに AC 抵抗における任意の近接効果の誘導的増加を決定する際に重要である。

【0115】

高 Q 共振器の設計のためのインダクタ素子を複製するために、金型 (モールド) が使用され得る。更に、金型は、導体にねじれ、よじれ、又は場合によっては他の有害な影響を生じることなく、導体を任意の種類の形状へと正確に形作るために使用され得る。金型は

50

、インダクタ素子を形成するために使用されることができ、次いでインダクタ素子は、型から取り外され得る。ひとたび取り外されれば、これらの誘導性素子は、高Q磁気共振器を収容することができる筐体またはデバイスへ組み込まれ得る。また又は代わりとして、形成された素子は、それらを形成するために使用された金型に残存してもよい。

【0116】

金型は、標準的なCNC（コンピュータ数値制御）のルーティング又はフライス加工のツール、或いは切断またはブロックに溝を形成するための任意の他の知られた技術を用いて形成され得る。また又は代わりとして、金型は、機械加工技術、射出成形技術、鋳造技術、鋳込み技術、真空技術、熱成形技術、カットインプレイス（cut-in-place）技術、圧縮成型技術などを用いて形成され得る。

10

【0117】

形成された素子は、金型から取り外されるか、又は金型に残存してもよい。金型は、誘導性素子の内側で変更され得る。金型は、被覆され、機械加工され、取り付けられ、塗装などされ得る。金型および導体の組合せは、別のハウジング、構造、デバイスに組み込まれ得る。金型に切り込まれた溝は、任意の寸法とすることができ、導電管、ワイヤ、ストラップ、ストリップ、ブロックなどを所望の導体形状とサイズに形成するために設計され得る。

【0118】

磁気共振器に使用される誘導性素子は、2つ以上のループを含むことができ、内側に又は外側に螺旋状に、又は螺旋状に上昇又は下降、又は幾つかの方向の組合せで螺旋状になることができる。一般に、磁気共振器は、様々な形状、サイズ、及びターン数を有することができ、様々な導電材料から構成され得る。

20

【0119】

磁気共振器は、自立型とすることができ、又は筐体、容器、スリーブ又はハウジング内に収容され得る。磁気共振器は、誘導性素子を作成するために使用された型を含むことができる。これらの様々な型および筐体は、ほぼ任意の種類の材料から構成され得る。テフロン（登録商標）、REXOLITE（登録商標）、スチレンなどのような低損失材料は、幾つかの用途に好適とすることができ、これらの筐体は、誘導性素子を保持する固定具を含むことができる。

【0120】

磁気共振器は、銅ワイヤ又は銅管の自己共振コイルから構成され得る。自己共振導電性ワイヤコイルから構成された磁気共振器は、長さ l 、及び断面半径 a のワイヤを含み、そのワイヤは、半径 x 、高さ h 、及びターン数 N の螺旋コイルへ巻かれ、それは例えば、 $N = (l^2 - h^2)^{1/2} / 2x$ として特徴づけられ得る。

30

【0121】

磁気共振器の構造は、 x が約30cm、 h が約20cm、 a が約3mm、及び N が約5.25であるように構成されることができ、動作中、磁気共振器に結合された電源が共振周波数 f （この場合、 f は約10.6MHz）で共振器を駆動することができる。 x が約30cm、 h が約20cm、 a が約1cm、 N が約4である場合、共振器は周波数 f （この場合、 f は約13.4MHz）で駆動され得る。 x が約10cm、 h が約3cm、 a が約2mm、 N が約6である場合、共振器は周波数 f （この場合、 f は約21.4MHz）で駆動され得る。

40

【0122】

高Q誘導性素子は、プリント回路基板のトレースを用いて設計され得る。プリント回路基板のトレースは、機械的に形成された誘導性素子に比べて、確立されたプリント回路基板の製作技術を用いて正確に複製され且つ容易に集積化され得ること、それらのAC抵抗が特注設計された導体トレースを用いて低くされ得ること、及びそれらを大量生産するコストが大幅に低減され得ることを含む様々な利点を有することができる。

【0123】

高Q誘導性素子は、FR-4（エポキシエガラス）、多機能エポキシ、高性能エポキシ

50

、ビスマレイミドトリアジン／エポキシ、ポリイミド、シアネートエステル、ポリテトラフルオロエチレン（Teflon（登録商標））、FR - 2、FR - 3、CEM - 1、CEM - 2、Rogers（登録商標）、Resolute（登録商標）などのような任意のPCB材料に関する標準的なPCB技術を用いて製作され得る。導体トレースは、より低い損失正接を有するプリント回路基板材料で形成され得る。

【0124】

導電トレースは、銅、銀、金、アルミニウム、ニッケルなどから構成されることができ、塗料、インク又は他の硬化材料から構成されてもよい。回路基板は、フレキシブルとすることができ、フレックス回路とすることができる。導電トレースは、化学蒸着、エッチング、リソグラフィ、スプレー蒸着、切断加工（cutting）などにより形成され得る。導電トレースは、所望のパターンを形成するように付着されることができ、結晶および構造成長技術を用いて形成され得る。

10

【0125】

導電トレースの寸法、並びに導電トレースを含む層の数、位置、係るトレースのサイズと形状、及びトレースを相互接続するための構造は、共振器の Q 、 $Q_{(p)}$ 、共振器のサイズ、共振器の材料および製作コスト、 U 、 $U_{(p)}$ などのような特定のシステム仕様を達成または最適化するために設計され得る。

【0126】

一例として、図10の（a）に示されるように、3ターンの高 Q 誘導性素子1001Aが、長方形の銅トレースパターンを用いて4層プリント回路基板に製作された。銅トレースは黒色で示され、PCBは白色で示される。この例における銅トレースの幅と厚さはそれぞれ、約1cm（400ミル）及び43 μ m（1.7ミル）である。単一層上の導電トレースのターン間のエッジ間距離は、約0.75cm（300ミル）であり、基板の各層の厚さは、約100 μ m（4ミル）である。図10の（a）に示されたパターンは、基板の各層で繰り返され、導体は並列に接続される。3ループ構造の外側の寸法は、約30cm \times 20cmである。このPCBループの測定されたインダクタンスは、5.3 μ Hである。この誘導性素子および調整可能なコンデンサを用いる磁気共振器は、その設計された6.78MHzの共振周波数において550の Q ファクタ Q を有する。共振周波数は、磁気共振器のインダクタンス及びキャパシタンスの値を変更することによりチューニング（調整）され得る。

20

30

【0127】

別の例として、2ターンのインダクタ1001Bが、図10の（b）に示された長方形の銅トレースパターンを用いて4層のプリント回路基板上に製作された。銅トレースは黒色で示され、PCBは白色で示される。この例における銅トレースの幅と高さはそれぞれ、約0.75cm（300ミル）及び43 μ m（1.7ミル）である。単一層上の導電トレースのターン間のエッジ間距離は、約0.635cm（250ミル）であり、基板の各層の厚さは、約100 μ m（4ミル）である。図10の（b）に示されたパターンは、基板の各層で繰り返され、導体は並列に接続される。2ループ構造の外側の寸法は、約7.62cm \times 26.7cmである。このPCBループの測定されたインダクタンスは、1.3 μ Hである。約0.635cm（250ミル）の垂直離隔距離で2つの基板を互いに積み重ね、直列に2つの基板を接続することにより、約3.4 μ Hのインダクタンスを有するPCBインダクタが作成された。このスタック型インダクタループ及び調整可能なコンデンサを用いる磁気共振器は、その設計された6.78MHzの共振周波数において390の Q ファクタ Q を有する。共振周波数は、磁気共振器のインダクタンス及びキャパシタンスの値を変更することによりチューニング（調整）され得る。

40

【0128】

誘導性素子は、任意のサイズ、形状、厚さなどの磁性材料、及び広範囲の透磁率および損失の値を有する材料の磁性材料を用いて形成され得る。これら磁性材料は、中実のブロックとすることができ、中空の体積を包囲することができ、多くの小さい磁性材料のタイル片から形成または互いに積み重ねられることができ、高い導電材料から作成された導電

50

シート又は筐体と一体化され得る。ワイヤは、近傍磁界を生成するために、磁性材料に巻き付けられ得る。これらのワイヤは、構造の1つの軸又は2つ以上の軸に巻き付けられ得る。複数のワイヤが、並列または直列で組み合わせられて、又はカスタマイズされた近接場のパターンを形成するためにスイッチを介して、磁性材料に巻き付けられ得る。

【0129】

磁気共振器は、3F3フェライト材料の19.2cm×10cm×5mmのタイル状ブロックに15ターン巻き付けられたリッツ線を含むことができる。リッツ線は、所望の共振器性能を達成するために、任意の方向または方向の組合せでフェライト材料に巻き付けられる。ワイヤのターン数、ターン間の間隔、ワイヤの種類、磁性材料のサイズと形状、及び磁性材料の種類は全て、様々な用途の状況に関して変化または最適化され得る設計パラメータである。

10

【0130】

磁性材料構造を用いる高Q磁気共振器

たとえ構造全体の或る程度のサイズの空隙を有するとしても、開磁路を形成するために組み立てられた磁性材料を用いて、磁気共振器構造を実現することができる。これらの構造において、高い導電性材料が、磁性材料から作成された構造体に巻き付けられて、磁気共振器の誘導性素子を形成する。コンデンサ素子は、高い導電性材料に接続され、次いで共振周波数が上述したように決定され得る。これら磁気共振器は、容量的に装荷されたインダクタループの共振器の場合のように、垂直でなくて二次元共振器構造の平面において双極子モーメントを有する。

20

【0131】

単一の平面共振器構造の図が図11の(a)に示される。平面共振器構造は、フェライトのような磁性材料のコア1121から構築され、コア1121に巻き付けられた導電材料1122のループ(単数または複数)を有する。構造は、電力を伝送する供給源共振器として、及びエネルギーを捕らえるデバイス共振器として使用され得る。供給源として使用される場合、導体の両端部は電源に結合され得る。導体ループを流れる交流電流が交番磁界を生じさせる。構造が電力を受け取るために使用される場合、導体の両端部は、電力ドレイン又は負荷に結合され得る。変化する磁界が、コアの磁性材料に巻き付けられた導体のループ(単数または複数)に起電力を誘導する。これらタイプの構造の双極子モーメントは、構造体の平面内にあり、例えば、図11の(a)の構造体のY軸に沿って方向付けられる。2つの係る構造体は、実質的に同じ平面内に配置される場合(即ち、図11のX、Y平面)、強い結合を有する。図11の(a)の構造体は、共振器がY軸に沿って同じ平面に整列された場合に最も好適な位置関係を有する。

30

【0132】

説明された平面共振器の幾何学的形状および結合の位置関係は、幾つかの用途に好適とすることができる。平面または平坦な共振器形状は、比較的平坦および平面である多くの電気デバイスに容易に組み込まれ得る。平面共振器は、デバイスの幾何学的形状の変更を必要とせずに、デバイスの全裏面または側面に組み込まれ得る。多くのデバイスの平坦な形状に起因して、表面上に配置されたデバイスの自然の位置は、それらが配置された表面に平行である最も大きい寸法で横たわることである。平坦なデバイスに組み込まれた平面共振器は、表面の平面に自然に平行であり、他のデバイスの共振器または平坦な表面に配置された平面共振器の供給源に対して好適な結合の位置関係にある。

40

【0133】

前述したように、平面共振器の幾何学的形状は、デバイスへのより容易な組み込みを可能にすることができる。これらの薄型により、共振器がデバイスの全側面へ又は全側面の一部として組み込まれることが可能になる。デバイスの全側面が共振器により覆われる場合、磁束は、デバイス又はデバイスの回路の一部である可能性がある損失性材料により妨害されずに、共振器のコアを流れることができる。

【0134】

平面共振器構造のコアは、様々な形状および厚さからなることができ、最小寸法が構造

50

の最も大きい寸法の30%を超えないように、平坦または平面にすることができる。コアは、複雑な幾何学的形状を有することができ、くぼみ、切欠き、隆起部などを有することができる。幾何学的な増強が、位置関係への結合依存性を低減するために使用されることができ、デバイス、パッケージング、パッケージ、筐体、カバー、外板などへの組み込みを容易にするために使用され得る。コアの幾何学的形状の2つの例示的な変形形態が、図11の(b)に示される。例えば、平面コア1131は、導体の巻線のくぼみを形成するために、端部が構造体の中央部よりもかなり広くなるように形作られ得る。コア材料は、変化する厚さからなることができ、端部は、中央部よりも厚く且つ広い。コア材料1132は、導体ループ、ハウジング、パッケージングなどに適合するための様々な深さ、幅、及び形状の任意の数の切欠きまたは切開部1133を有することができる。

10

【0135】

コアの形状および寸法は、組み込まれるデバイスの寸法および特徴により更に影響され得る。コア材料は、デバイスの輪郭に追従するように湾曲することができ、又はデバイスの部品の隙間(クリアランス)を可能にするために、非対称の切欠きまたは切開部を必要とする場合がある。コアの構造は、磁性材料の単一のモノリシック片とすることができるか、又は大きな構造を形成するために互いに構成された複数のタイル、ブロック、又は部片から構成され得る。構造体の異なる層、タイル、ブロック、又は部片は同様のものからなることができ、又は異なる材料からなることができる。構造体の異なる場所には、異なる透磁率を有する材料を使用することが望ましい。異なる透磁率を有するコアの構造体は、磁束を誘導するために、結合を改善するために、システムの活性領域の形状または範囲に影響を及ぼすために役に立つことができる。

20

【0136】

平面共振器構造体の導体は、コアに少なくとも1回巻き付けられ得る。或る特定の状況では、少なくとも3つのループで巻き付けることが好ましい場合がある。導体は、導電ワイヤ、リッツ線、導電管、シート、ストリップ、ゲル、インク、トレースなどを含む任意の適切な導体とすることができる。

【0137】

供給源の活性領域のサイズ、形状、又は寸法は、磁界を阻止、遮蔽、又は誘導する材料を使用することにより、更に強化、変更、又は改良され得る。供給源の周りに非対称活性領域を生成するために、供給源の一方の側面が、磁気シールドで覆われて、特定の方向の磁界の強度を低減することができる。シールドは、導体とすることができるか、又は特定方向から離れるように磁界を誘導するために使用され得る磁性材料と導体の層状の組合せとすることができる。導体および磁性材料の層から構成された構造は、供給源の遮蔽に起因して生じる可能性があるエネルギー損失を低減するために使用され得る。

30

【0138】

複数の平面共振器は、1つの平面共振器構造に一体化または組み合わせられ得る。導体(単数または複数)は、2つの導体により形成されたループが同軸でないように、コア構造体に巻き付けられ得る。係る構造体の例が図12に示され、この場合、2つの導体1201、1202が平面長方形コア1203に直角角度で巻き付けられている。コアは、長方形とすることができるか、又は幾つかの延長部分または突出部を有する様々な幾何学的形状を有することができる。突出部は、導体の巻き付け、重量、サイズ又はコアの質量の低減に役立つことができるか、又は共振器の指向性または全方向性を強化するために使用され得る。図13において、4つの突出部を有する、複数の巻き付けられた平面共振器が、内部構造1310により示され、この場合、4つの導体1301、1302、1303、1304がコアに巻き付けられる。コアは、1つ又は複数の導体ループを有する、延長部分1305、1306、1307、1308を有することができる。単一の導体が、コアに巻き付けられて、同軸でないループを形成することができる。例えば、図13の4つの導体ループは、連続した1本の導体で、又は2つの導体を用いて(この場合、単一の導体を用いて全て同軸のループを作成する)形成されることができる。

40

【0139】

50

複数の導体ループを含む共振器の周りの不均一な又は非対称の場のプロファイルは、同一でないパラメータで幾つかの導体ループを駆動することにより生成され得る。複数の導体ループを有する供給源共振器の幾つかの導体ループは、異なる周波数、電圧、電力レベル、デューティサイクル、及び各導体により生成される磁界強度に影響を及ぼすために使用され得る全ての同様のもので、電源により駆動され得る。

【0140】

平面共振器構造体は、平坦共振器構造を維持しながら供給源の上および下を含む、辺り一面に全方向性活性領域を提供するために、容量的に装荷されたインダクタ共振器コイルと組み合わせられ得る。図13に示されるように、導体のループ（単数または複数）からなる追加の共振器ループコイル1309が、平面共振器構造体1310としての共通平面に配置され得る。外側共振器コイルは、供給源のほぼ上および下にある活性領域を提供する。共振器コイルは、本明細書で説明された任意の数の平面共振器構造体および構成で構成され得る。

10

【0141】

平面共振器構造体は、磁氣的に透過性のパッケージングに収容される得るか、又は他のデバイスに組み込まれ得る。単一の共通平面内の共振器の平面形状は、平坦なデバイスへのパッケージング及び組み込みを可能にする。共振器の応用形態を示す図が図14に示される。それぞれが1つ又は複数の導体ループを有する1つ又は複数の平面共振器1414からなる平坦な供給源1411が、他の平面共振器1415、1416と一体化され、且つ供給源の活性領域1417内に配置されたデバイス1412、1413へ電力を伝送することができる。デバイスは、供給源に対するデバイスの位置関係に関係なく、供給源の活性領域が変化しないように、複数の平面共振器を含むことができる。回転の位置合わせ不良に対する不変性に加えて、平面共振器からなる平坦なデバイスは、平面共振器が供給源の平面内に依然として存在するという理由で、活性領域に実質的に影響を与えずに、裏返されることができる。

20

【0142】

平面共振器構造体を用いた電力伝送システムの可能な用途を示す別の図が、図15に示される。表面1525の上に配置された平面供給源1521は、「付勢表面」の領域を生じる実質的な表面積に及ぶ活性領域を生成することができる。コンピュータ1524、携帯電話機1522、ゲーム、及びそれぞれの平面デバイス共振器に結合される他の電子装置1523のようなデバイスは、供給源の活性領域内に配置された場合に供給源からエネルギーを受け取ることができ、係るデバイスは表面の上のどこにでもいてもよい。異なる寸法を有する幾つかのデバイスが、活性領域内に配置されることができ、厳格な配置または位置合わせの制約を有せず、供給源から充電または電力供給されながら普通に使用され得る。供給源は、テーブル、カウンタ、机、キャビネットなどの表面の下に配置されることができ、それにより供給源は、テーブル、カウンタ、机、キャビネットなどの表面の上を付勢し、供給源よりも非常に大きな表面に活性領域を生成しながら、完全に隠されることが可能になる。

30

【0143】

供給源は、充電しているデバイスの方向またはどのデバイスが充電中であるか、充電に伴うエラー又は問題、電力レベル、充電時間などを示すために、ディスプレイ、又は他の可視的、聴覚的、又は振動的インジケータを含むことができる。

40

【0144】

供給源共振器および回路は、任意の数の他のデバイスに組み込まれ得る。供給源は、時計、キーボード、モニタ、絵画用額縁などのようなデバイスに組み込まれ得る。例えば、平面共振器並びに適切な電力および制御回路と一体化されたキーボードは、任意の追加のデスクスペースを占有することなく、コンピュータマウス、ウェブカメラ、携帯電話機などのような、キーボードの周りに配置されたデバイスに対する供給源として使用され得る。

【0145】

50

平面共振器構造体がモバイル機器に関連して説明されたが、当業者には明らかなように、物理的な寸法を超えて延在する活性領域を有する無線電力伝送用の平坦な平面供給源は、多くの他の民生用および産業用の応用形態を有する。構造体および構成は、電子または電気装置および電源が一般に、実質的に同じ平面および位置合わせで、位置する、配置される、又は操作される非常に多数の応用形態に役に立つことができる。可能な応用形態の状況の幾つかは、壁、床、天井、又は任意の他の実質的に平坦な表面上にデバイスを含む。

【 0 1 4 6 】

平坦な供給源共振器は、絵画用額縁に組み込まれ、又は壁に掛けられることができ、それによりデジタルピクチャーフレーム、テレビ、照明などのような他の電子デバイスが取り付けられて、ワイヤなしで電力供給され得る壁の平面内に活性領域を提供する。平面共振器は、床に組み込まれることができ、結果として、付勢されている床または装置が電力を受け取るために配置され得る床上に活性領域を生じる。音声スピーカ、照明、ヒータなどは、活性領域内に配置されて、ワイヤレスで電力を受け取ることができる。

10

【 0 1 4 7 】

平面共振器は、導体に結合された追加の構成要素を有することができる。コンデンサ、インダクタ、抵抗、ダイオードなどのような構成要素は、導体に結合されることができ、共振周波数および共振器のインピーダンスマッチングを調整または同調するために使用され得る。

20

【 0 1 4 8 】

図 1 1 の (a) に示された、上述したタイプの平面共振器構造体は、例えば、100 の Q ファクタ Q、又はより高い 1000 以上の Q さえも有するように作成され得る。図 1 1 の (c) に示されるように、エネルギーは、1 つの平面共振器構造体から別の共振器構造体へ、共振器の特有サイズより大きい距離にわたってワイヤレスで伝送され得る。

【 0 1 4 9 】

磁気共振器の誘導性素子に類似した特性を有する構造体を実現するために磁性材料を利用することに加えて、係る誘導性構造を実現するために良好な導体材料および磁性材料の組合せを使用することが可能である。図 1 6 の (a) は、磁性材料の少なくとも 1 つの層により包囲され、磁性材料のブロック 1604 により連結された高い導電率の材料から作成された 1 つ又は複数の筐体（その内部は、外側で生じた AC 電磁界から遮蔽される）を含むことができる磁気共振器構造体 1602 を示す。

30

【 0 1 5 0 】

構造体は、磁性材料の層により一面に覆われた高い導電率の材料のシートを含むことができる。層状構造体は代わりに、電子デバイスの部品が高い導電率の磁性材料層により覆われることができると同時に、容易にアクセスされる必要がある他の部品（ボタン又は画面など）が覆われていない状態にされ得るように、電子デバイスに共形的（conformally）に適用され得る。また又は代わりとして、構造体は、磁性材料の層またはバルク片のみを含むことができる。かくして、磁気共振器は、既存の機能を大幅に妨げることなく、且つ大規模な再設計を殆ど又は全く必要とせずに、既存のデバイスに組み込まれ得る。更に、良好な導体および/または磁性材料の層は、それらが完成したデバイスに余計な重量および体積を殆ど加えないほど十分に薄く（ミリメートル以下のオーダー）作成され得る。図 1 6 において、構造体の中央の正方形ループにより示されるように、構造体に巻き付けられた一本の導体に印加される振動電流は、この構造体に関連した電磁界を生じさせるために使用され得る。

40

【 0 1 5 1 】

構造体の Q ファクタ

上述したタイプの構造体は、約 1000 以上の Q ファクタ Q を有するように作成され得る。この高 Q は、たとえ磁性材料の損失が高くても、磁性材料内の磁気エネルギーの割合が、物体に関連した全磁気エネルギーに比べて小さい場合に、可能である。導電材料および磁性材料の層からなる構造体の場合、導電材料の損失は、前述したように、磁性材料の

50

存在により低減され得る。磁性材料の層の厚さがシステムの最も大きな寸法の $1/100$ のオーダーであり（例えば、磁性材料が約 1 mm の厚さからなることができると同時に、構造体の面積が約 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ である）、且つ相対透磁率が約 1000 である構造体において、磁性材料内に含まれる磁気エネルギーの割合を、物体または共振器に関連した全磁気エネルギーの数 100 分の 1 だけにすることが可能である。それが如何にして生じるかを見るために、留意すべきは、体積に含まれる磁気エネルギーの式が、以下の通りであり、

【0152】

【数7】

$$U_m = \int_V d\mathbf{r} \mathbf{B}(\mathbf{r})^2 / (2\mu_r\mu_0)$$

10

【0153】

そのため、 B （ H ではなく）が磁性材料 - 空気の界面を横切って保存される主磁界であり（一般に開磁路での場合）、高 μ_r の領域に含まれた磁気エネルギーの割合は、空気中にあるものと比べて大幅に低減され得る。

【0154】

磁性材料の磁気エネルギーの割合が frac により示され、材料の損失正接が \tan である場合、共振器の Q は、磁性材料が損失の唯一の原因であると仮定すれば、 $Q = 1 / (\text{frac} \times \tan)$ である。かくして、損失正接が 0.1 と大きくても、これらタイプの共振器構造体に対して約 1000 の Q を達成することが可能である。

20

【0155】

構造体がそれに巻き付けられた N ターンのワイヤで駆動される場合、励磁導体ループの損失は、 N が十分に大きい場合に無視され得る。図17は、これら構造体の等価回路1700の図、及び導電および磁性材料から作成された構造体に N ターン数巻き付けられた状態での、損失機構およびインダクタンスのスケーリングを示す。近接効果が無視され得る（適切な巻線または近接効果を最小限にするように設計されたワイヤ、例えばリッツ線などを用いることにより）場合、ループ導体のワイヤに起因した抵抗1702は、ターン数に比例する1ターンであるループの長さに線形的に比例する。他方では、これら特別の構造体の等価抵抗1708及び等価インダクタンス1704は、構造体の内部の磁界の二乗に比例する。磁界は N に比例するので、等価抵抗1708及び等価インダクタンス1704は、 N^2 に比例する。かくして、 N が十分に大きい場合、ワイヤの抵抗1702は、磁気構造体の等価抵抗1708よりも非常に小さくなり、共振器の Q は $Q_{\max} = L_\mu / R_\mu$ に漸近する。

30

【0156】

図16の(a)は、構造体1604の中央の狭くなった部分の周りの正方形ループの電流により駆動された銅および磁性材料構造体1602の図、及びこの構造体1608により生成される磁界の流線を示す。この例示的な構造体は、銅で包囲され、次いで $\mu'_r = 1400$ 、 $\mu''_r = 5$ 、及び $\tan\delta = 0.5\text{ S/m}$ の特性を有する磁性材料の 2 mm の層で完全に覆われた2つの $20\text{ cm} \times 8\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ の中空領域を含む。これら2つの平行六面体は、 4 cm 離れて配置され、同じ磁性材料の $2\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ のブロックにより接続される。励磁ループは、このブロックの中央に巻き付けられる。 300 KHz の周波数において、この構造体は、計算された 890 の Q を有する。導体および磁性材料の構造体は、特定のシステムパラメータを最適化するように形作られ得る。例えば、励磁ループにより包囲された構造体のサイズは、励磁ループの抵抗を低減するために小さくすることができるか、又は大きな磁界に関連した磁性材料の損失を軽減するように大きくすることができる。留意すべきは、磁性材料のみからなる同じ構造体に関連した磁界の流線および Q は、本明細書で示された層導体および磁性材料の設計に類似する。

40

【0157】

他の物体と相互作用する電磁共振器

50

電磁共振器の場合、固有Qに摂動を与える外因性損失機構は、近くの外部物体の材料内部の吸収損失、及び近くの外部物体からの共振場の散乱に関連した放射損失を含むことができる。吸収損失は、対象となる周波数範囲にわたって非ゼロであるが、有限の導電率（又は同様に、誘電体誘電率の非ゼロで有限の虚数部）を有する材料に関連付けられることができ、そのため電磁界は、その材料に入り込むことができ、その材料内に電流を生じさせることができ、次いで抵抗損失を介してエネルギーが放散される。物体が少なくとも部分的に損失性材料を含む場合、それは損失性として記述され得る。

【0158】

導電率、及び透磁率 μ の均質等方材料を含む物体を考察する。この物体の内部の電磁界の侵入深さは、浸透厚により与えられ、 $\delta = (2 / \mu \sigma \omega)^{1/2}$ である。物体の内部で消散される電力 P_d は、以下の式により求められる。

10

【0159】

【数8】

$$P_d = \int_V d\mathbf{r} \sigma |\mathbf{E}|^2 = \int_V d\mathbf{r} |\mathbf{J}|^2 / \sigma$$

【0160】

ここで、本発明者は、オームの法則を使用し、 $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$ であり、 \mathbf{E} は電界であり、 \mathbf{J} は電流密度である。

【0161】

20

対象となる周波数にわたって、物体を構成する材料の導電率 σ が、材料の浸透厚 δ が長いと考えられ得るほど十分に低い場合（即ち、 δ が物体の特有サイズよりも長い、又は δ が損失性である物体の一部の特有サイズより長い）、電磁界 \mathbf{E} 及び \mathbf{H} （ここで \mathbf{H} は磁界である）は、物体内へ大幅に入り込むことができる。次いで、これら有限値の場合は、 $P_d \sim V_0 \int |\mathbf{E}|^2$ として、スケーリングされる消散電力を生じさせることができ、ここで、 V_0 は損失性である物体の体積であり、 $\int |\mathbf{E}|^2$ は、検討中の体積における電界の二乗の空間平均値である。従って、低い導電率の制限において、消散電力は、導電率に比例し、非導電（純粋に誘電体）材料の制限においてゼロに達する。

【0162】

対象となる周波数にわたって、物体を構成する材料の導電率 σ が、材料の浸透厚 δ が短いと考えられ得るほど十分に高い場合、電磁界 \mathbf{E} 及び \mathbf{H} は、物体内へほんの短い距離だけ入り込むことができる（即ち、電磁界は材料の「表皮」の近くにとどまり、ここで δ は損失性である物体の一部の特有厚さより小さい）。この場合、材料内に生じる電流は、材料の表面に非常に接近して、ほぼ浸透厚内に集中されることができ、それらの大きさは、表面電流密度（大部分は、入射電磁界の形状により求められ、導体の厚さが浸透厚より大幅に大きい限り、周波数に無関係であり、一次までの導電率 $K(x, y)$ （ここで、 x と y は表面をパラメータ化する座標である）と表面内への指数関数的に減衰する関数、即ち $\exp(-z/\delta)$ ）/ δ （ここで、 z は、表面に局所的に垂直な座標を示す）の積により近似されることができ、即ち $\mathbf{J}(x, y, z) = K(x, y) \exp(-z/\delta) / \delta$ である。次いで、消散電力 P_d は、以下の式により概算され得る。

30

40

【0163】

【数9】

$$P_d = \int d\mathbf{r} |\mathbf{J}(\mathbf{r})|^2 / \sigma \approx \left(\int dx dy |K(x, y)|^2 \right) \left(\int_0^\infty dz \exp(2z/\delta) / (\sigma \delta^2) \right) = \sqrt{\mu \omega / 8 \sigma} \left(\int dx dy |K(x, y)|^2 \right)$$

【0164】

従って、高い導電率の限界において、消散電力は、導電率の平方根に反比例し、完全に導電する材料の限界においてゼロに達する。

【0165】

対象となる周波数にわたって、物体を構成する材料の導電率 σ が有限である場合、材料

50

の浸透厚が物体内へ或る距離だけ入り込み、電力の或る量が、物体のサイズおよび電磁界の強度にも依存して物体内で消散され得る。また、この説明は、物体内の導電率の任意の不均一で異方性の分布を有する物体のような、異なる特性および導電率を有する多数の異なる材料を含む物体の一般的な場合を説明するためにも一般化され得る。

【0166】

留意すべきは、上述した損失機構の大きさは、共振器の場に対する外部物体の場所および位置関係、並びに外部物体の材料組成に依存する可能性がある。例えば、高導電率の材料は、共振器の共振周波数をシフトし、他の共振物体からそれを同調ずれさせる可能性がある。この周波数シフトは、共振器のインダクタンス及び/又はキャパシタンスの変化を通じてのように、周波数を補正するフィードバック機構を共振器に適用することにより固定され得る。これらの変化は、可変コンデンサ及びインダクタを用いて実現されることができ、場合によっては共振器の構成要素の幾何学的形状の変化により達成され得る。また、以下で説明される他の新規なチューニング機構を用いて、共振器の周波数を変更することもできる。

【0167】

外因性損失が高い場合、パターブドQは低くなることができ、係る外部物体および材料の内部の共振器エネルギーの吸収を制限するために措置が講じられ得る。電界および磁界の強度に対する消散電力の関数依存性の故に、システム性能は、所望の結合が供給源共振器においてより短い及びデバイス共振器においてより長いエバネセント共振場の末端で達成されるようにシステムを設計することにより最適化されることができ、その結果、他の物体の存在する状態での供給源のパターブドQが最適化される（又はデバイスのパターブドQが最適化される必要がある場合には逆もまた同じである）。

【0168】

留意すべきは、人々、動物、植物、建築材料などのような多くの一般的な外部材料および物体は、低い導電率を有することができ、それ故に本明細書で開示された無線エネルギー伝送方法に殆ど影響を及ぼさない。本発明者が説明する磁気共振器設計に関連した重要な事実は、それらの電界が共振器構造自体内に主として閉じ込められることができ、そのため中距離にわたって無線電力交換を提供しながら、人の安全に関する一般に認められた指針内で動作することが可能である。

【0169】

低減された相互作用を有する電磁共振器

近接場無線電力送信の対象となる1つの周波数範囲は、10kHz～100MHzである。この周波数範囲において、例えば幾つかのタイプの木材およびプラスチックのような多種多様の通常の非金属材料は、比較的低い導電率を有することができ、そのため電力の僅かな量しかそれらの内部で消散されない。更に、低い損失正接 $\tan \delta$ を有する材料（ここで、 $\tan \delta = \frac{\text{虚数部}}{\text{実数部}}$ 、 δ 及び $\tan \delta$ はそれぞれ誘電率の虚数部と実数部である）でも、それらの内部で消散される電力は僅かな量でしかない。銅、銀、金などのような、比較的高い導電率を有する金属材料でも、それらの内部で消散される電力は僅かであり、その理由は、前述したように、電磁界がこれらの材料に大幅に入り込むことができないからである。これら非常に高い及び非常に低い導電率材料、並びに低い損失正接の材料および物体では、磁気共振器の損失に対する影響は無視しても構わない。

【0170】

しかしながら、対象となる周波数範囲において、適度な（一般に不均一で異方性）導電率、及び/又は適度から高い損失正接を有することができ、比較的高い消散的損失を有することができる、幾つかの電子回路および幾つかのより低い導電率の金属のような材料および物体が存在する。比較的大きな量の電力がそれらの内部で消散され得る。これら材料および物体は、かなりの量だけ $Q_{(p)}$ を低減するのに十分なエネルギーを消散することができ、「損失性物体」と呼ばれ得る。

【0171】

共振器の $Q_{(p)}$ に関して損失性材料の影響を低減するための1つの方法は、共振器の場

が損失性物体を避けるように、共振器の場を形作るために高い導電率材料を使用することである。電磁界がそれらの近傍において損失性物体を避けるように電磁界を調整するために高い導電率の材料を使用することに関するプロセスは、電磁界を偏向させる又はその形を作り直す材料として高い導電率の材料を視覚化することにより理解され得る。この画像は、導体の厚さが浸透厚より大きい限り定性的に正しく、その理由は、良好な導体の表面における電磁界の境界条件が、電界を強制的にほぼ完全に導体表面に垂直にさせ、磁界を強制的に導体表面にほぼ完全に正接させるからである。従って、垂直な磁界または正接の電界は導体表面から「離れるように偏向」する。更に、正接の磁界または垂直な電界でさえも、場の供給源および導電性表面の相対位置に依存して、一面および/または導電表面の特定の場所での大きさが強制的に減少され得る。

10

【0172】

一例として、図18は、周波数 $f = 6.78 \text{ MHz}$ の外部の初期均一磁界において、損失性誘電体材料1804の上下の2つの高い導電率表面1802に関する有限要素法(FEM)のシミュレーションを示す。系は、 $r = 0$ 軸の周りに方位角的に対称である。このシミュレーションにおいて、損失性誘電体材料1804が、約 $z = \pm 0.01 \text{ m}$ において白線として示された2つの導体1802の間に挟まれている。誘電体ディスクの上下に導電表面がない状態では、磁界(磁力線を描くことにより表される)は、本質的に均一の状態のままであり(磁力線は直線であり、 z 軸に平行)、磁界が損失性誘電体材料を真っ直ぐに通過することが示される。この場合、電力は、損失性誘電体ディスクで消散される。しかしながら、導電表面の存在する状態では、このシミュレーションは、磁界の形が作り直されることを示す。磁界は、強制的に導体の表面に正接するようにされ、そのためこれらの導電表面1802の周りに偏向し、導電表面の裏、又は導電表面間の損失性誘電体材料1804に消散され得る電力の量が最小限にされる。本明細書で使用される場合、電気的対称性の軸は、一定または時間変化する電界または磁界が、本明細書で開示されたようなエネルギーの交換中に実質的に対称である任意の軸を意味する。

20

【0173】

同様な効果は、誘電体ディスクの上または下に1つの導電表面だけが使用された場合でも観測される。誘電体ディスクが薄い場合、電界が表面において実質的にゼロであり、それに接近して連続的で平滑であるという事実は、電界が表面の近くのどこでも(即ち、誘電体ディスク内で)非常に低いことを意味する。損失性物体から離れるように共振器の場を偏向するための単一表面の具現化形態は、損失性材料または物体(例えば、LCD画面)の両面を覆うことができない応用形態に好適とすることができる。留意すべきは、多少の浸透厚のオーダーでの導電材料の非常に薄い表面でさえも、損失性材料の存在する状態での共振器の $Q_{(p)}$ を大幅に改善するのには十分とすることができる(6.78 MHz での純銅の浸透厚は $\sim 20 \mu\text{m}$ 、 250 kHz では $\sim 100 \mu\text{m}$)。

30

【0174】

損失性外部材料および物体は、高Q共振器が一体化されるべき装置の部品とすることができる。これら損失性材料および物体におけるエネルギーの消散は、以下を含む多数の技術により、即ち、

- ・損失性材料および物体を共振器から離して、又は共振器に対する特別な位置および位置関係に配置することにより、
- ・共振器の近傍の損失性材料および物体を部分的または完全に覆うために高導電率の材料または構造を用いることにより、
- ・損失性物体を完全に覆うために、及び共振器の場が損失性物体を避けるように共振器の場を形作るために損失性物体の周りに高導電率の材料の閉曲面(例えば、シート又はメッシュなど)を配置することにより、
- ・物体または材料の上面、底面に沿って、側面に沿ってなどのように、損失性物体の一部のみの周りに高導電率の材料の表面(例えば、シート又はメッシュなど)を配置することにより、
- ・損失性物体の場所において場の強度を低減するために損失性物体の上または下または一

40

50

面に高導電率の材料の単一表面（例えば、シート又はメッシュなど）でさえも配置することにより、
低減され得る。

【0175】

図19は、磁気共振器102を形成する容量的に装荷されたループインダクタ、及びループインダクタの内部に配置された損失性物体1804を完全に取り囲む高導電率材料のディスク状表面1802を示す。留意すべきは、幾つかの損失性物体は、外部環境と相互作用、外部環境と通信、又は外部環境に接続される必要があり、ひいては電磁的に完全に分離されることができない電子回路のような構成要素とすることができる。高導電率材料で損失性材料を部分的に覆うことは、損失性材料または物体が適切に機能することを可能にしながら、依然として外因性損失を低減することができる。

10

【0176】

図20は、共振器102として使用される容量的に装荷されたループインダクタ、及びインダクタループの内部に配置され、損失性物体1804の一部のみを取り囲む高導電率材料の表面1802を示す。

【0177】

損失性物体または材料の上に、下に、又は側面などに高導電率材料の単一表面を配置することにより、外因性損失は低減され得るが、完全には除去されることができない。一例が図21に示され、この場合、容量的に装荷されたループインダクタが共振器102として使用され、高導電率材料の表面1802がインダクタループの内部で損失性物体1804の下に配置され、損失性物体の場所において場の強度を低減する。コスト、重量、組立の複雑化、空気の流れ、視覚的アクセス、物理的アクセスなどを考慮するという理由で、材料または物体の一面のみを覆うことが好適である。

20

【0178】

高導電率材料の単一表面を用いて、両面から覆われることができない又は覆われるべきでない物体（例えば、LCD画面またはプラズマ画面）を避けることができる。係る損失性物体は、光学的に透明な導体を用いて避けられ得る。光学的に透明な導体の代わりに、又はそれに加えて、高導電率の光学的に不透明な材料が損失性物体の一部のみに代わりとして配置されてもよい。片面对複数面の覆いの具現化形態の妥当性、及び内部固有の設計のトレードオフは、無線エネルギー伝送状況の細部、及び損失性材料および物体の特性に依存する可能性がある。

30

【0179】

以下において、無線エネルギー伝送システムで使用される集積磁気共振器の Q 無感受性 (p) を改善するために、高導電率表面を用いる例が説明される。図22はワイヤレスプロジェクト2200を示す。ワイヤレスプロジェクトは、図示されたように構成されたデバイス共振器102C、プロジェクト2202、無線ネットワーク/ビデオアダプタ2204、及び電力変換回路2208を含むことができる。デバイス共振器102Cは、表面を包囲するように構成された3ターンの導体ループ、及びコンデンサ回路2210を含むことができる。導体ループは、デバイス共振器102Cがその動作共振周波数において高い Q （例えば、 >100 ）を有するように設計され得る。完全なワイヤレスプロジェクト2200に集積化（一体化）する前に、このデバイス共振器102Cは、設計された6.78MHzの動作共振周波数で約477の Q を有する。集積化、及び共振器ループインダクタの中央に無線ネットワーク/ビデオアダプタカード2204を配置した後で、共振器の $Q_{(integrated)}$ は約347まで減少する。 Q から $Q_{(integrated)}$ までの少なくとも幾つかの減少は、摂動を与える（パターニング）無線ネットワーク/ビデオアダプタカードの損失に起因すると考えられる。上述したように、磁気共振器102Cに関連した電磁界は、無線ネットワーク/ビデオアダプタカード2204に電流を生じさせる可能性があり、係る電流は当該カードを構成する損失性材料の抵抗損失で消散され得る。共振器の $Q_{(integrated)}$ が、共振器の近傍に配置された物体および材料の組成、位置、及び位置関係に依存して、異なるように影響されることを、本発明者は観測した。

40

50

【0180】

完全なワイヤレスプロジェクトの例において、ネットワーク/ビデオアダプタカードを薄い銅のポケット（無線ネットワーク/ビデオアダプタカードの上面と底面を覆うが、通信アンテナを覆わない銅の折り置まれたシート）で覆うことは、磁気共振器の $Q_{(integrated)}$ を約444の $Q_{(integrated+copper\ pocket)}$ まで改善する。言い換えれば、外部ネットワーク/ビデオアダプタカードにより生じた摂動に起因した $Q_{(integrated)}$ の減少の大部分は、損失性材料から離れるように共振器の場を偏向するために銅ポケットを用いて防止され得る。

【0181】

別の完全なワイヤレスプロジェクトの例において、ネットワーク/ビデオアダプタカードの下に配置された単一の銅シートでネットワーク/ビデオアダプタカードを覆うことにより、 $Q_{(integrated+copper\ sheet)}$ はほぼ $Q_{(integrated+copper\ pocket)}$ に等しくされる。この例において、システムの高いパターブドQは、損失性アダプタカードから離れるように共振器の場を偏向するために使用される単一の高導電率シートで維持され得る。

【0182】

高Q電磁共振器を含む装置の一部である損失性材料または物体を、共振器により生じた場が比較的弱く、そのため電力がこれら物体で殆ど又は全く消散されず、Q無感受性 (p) を大きくすることができる場所に配置することは有利であるかもしれない。前に示されたように、異なる導電率の材料は、電界対磁界に異なるように応答することができる。従って、外部物体の導電率によれば、位置決め技術は、一方または他方の場に限定され得る。

【0183】

図23は、円形ループインダクタの直径を含むラインに沿った電界2312及び磁界2314、並びに10MHzの共振で半径30cmの容量的に装荷された円形ループインダクタのワイヤのループインダクタの軸に沿った電界2318及び磁界2320の大きさを示す。共振近接場の振幅が、ワイヤの近くでそれらの最大値に達し、ループから離れるように減衰すること(2312、2314)が看取され得る。ループインダクタの平面において、場2318、2320がループの中央で極小に到達する。従って、装置の有限サイズを考えると、場は装置の極値で最も弱くなるかもしれない、又は場の大きさは、装置内のどこかで極小を有するかもしれない。この議論は、任意の他のタイプの電磁共振器102及び任意のタイプの装置に当てはまる。例が、図24の(a)と(b)に示され、この場合、容量的に装荷されたインダクタループが磁気共振器102を形成し、外因性損失性物体1804は、電磁界が最小限の大きさを有する場所に配置される。

【0184】

実証例において、磁気共振器は、正方形表面（丸みを帯びた角を有する）を包囲するように構成された3ターンの導体ループおよびコンデンサ回路を用いて形成された。共振器のQは、所望の動作共振周波数6.78MHzで約619であった。この共振器のパターブドQは、摂動を与える（パタービング）物体の配置（この場合、共振器に対するポケットプロジェクト）に依存した。摂動を与える（パタービング）プロジェクトがインダクタループの内部およびその中央に、又はインダクタワイヤの巻線の上に位置する場合、 $Q_{(projector)}$ は約96であり、それは、摂動を与えるプロジェクトが共振器の外側に配置された場合（ $Q_{(projector)}$ は約513である）より低い。これらの測定値は、インダクタループの内側の場がその外側の場より大きく、そのため係るループインダクタの内部に配置された損失性物体は、損失性物体がループインダクタの外側に配置された場合に比べて、システムのより低いパターブドQを生じることができることを示す分析をサポートする。共振器設計および材料組成および損失性物体の位置関係に依存して、図24の(b)に示された構成は、図24の(a)に示された構成に比べて、より高いQ無感受性 $(projector)$ を生じることができる。

【0185】

高Q共振器は、装置の内部に組み込まれ得る。高い誘電体誘電率、透磁率、又は導電率

の外部材料および物体は、高Q共振器が組み込まれるべき装置の一部とすることができる。高Q電磁共振器の近傍のこれら外部材料および物体については、それらのサイズ、共振器に対する位置と位置関係に依存して、共振器の場のプロファイルは、共振器の摂動を与えられていない元の場のプロファイルから大幅に歪まされ逸脱され得る。共振器の摂動を与えられていない（アンパターブド）場の係る歪みは、外部物体および材料が無損失であっても、Qをより低い $Q_{(p)}$ まで大幅に低減する可能性がある。

【0186】

高Q電磁共振器を含む装置の一部である高導電率物体を、これら物体の表面ができる限り、摂動を与えられていない共振器により生じる電気力線に垂直になり、且つ摂動を与えられていない共振器により生じる磁力線に平行になるような位置関係に配置し、かくして実現可能な最も少ない量だけ共振器の場のプロファイルを歪ませることが有利である。磁気共振器の平面に垂直に配置され得る他の一般的な物体は、スクリーン（LCD、プラズマ等）、バッテリー、ケース、コネクタ、放射アンテナなどを含む。共振器のQ無感受性 $_{(p)}$ は、物体が共振器の場に対して異なる位置関係に配置される場合よりも非常に大きくすることができる。

10

【0187】

高Q電磁共振器を含む集積化装置の一部でない損失性外部材料および物体は、例えば、装置の使用中に共振器の近傍に配置され得るか、又は持って来られ得る。特定の状況において、損失性外部物体が位置する又は導入される領域を、共振器の場が避けるように共振器の場を調整するために高導電率材料を使用することが有利であり、それによりこれら材料および物体の電力消散が低減され、Q無感受性 $_{(p)}$ が増加される。一例が図25に示され、この場合、容量的に装荷されたループインダクタ及びコンデンサが共振器102として使用され、高導電率材料の表面1802がインダクタループの上に配置されて、損失性外部物体1804が配置または導入され得る、共振器上の領域の場の大きさが低減される。

20

【0188】

留意すべきは、場の形を作り直すために共振器の近傍にもたらされた高導電率表面も、 $Q_{(cond. surface)} < Q$ につながることをすることができる。パーターブドQの減少は、損失性導体の内部のエネルギーの消散、又は導体の表面における場の境界条件のマッチングに関連した、摂動を与えられていない共振器の場のプロファイルの歪みに起因する。従って、高導電率表面を用いて、外因性損失性物体の内部の消散に起因した外因性損失を低減する、場合によっては、特に、電磁界の形を大幅に作り直すことにより、これが達成される外因性損失の一部において低減することができるが、場が損失性物体を避けるように係る高導電率表面を用いることは、所望の結果 $Q_{(p+cond. surface)} > Q_{(p)}$ ではなくて、事実上 $Q_{(p+cond. surface)} < Q_{(p)}$ という結果になる。

30

【0189】

上述したように、損失誘発物体の存在する状態で、磁気共振器のパーターブドQファクタは、電磁共振器に関連した電磁界の形が損失誘発物体を避けるために作り直される場合に、改善され得る。摂動を与えられていない共振器の場の形を作り直すための別の方法は、高透磁率材料を用いて損失誘発物体を完全に又は部分的に包囲または覆い、それにより損失誘発物体と磁界の相互作用を低減することである。

40

【0190】

磁界遮蔽は、例えば、Jackson著、「Electrodynamics 3rd Ed.」pp.201-203に従って説明されている。そこでは、磁氣的透過性材料の球状シェルが示され、外部磁界からその内部が遮蔽される。例えば、内側半径a、外側半径b、及び相対的透磁率 μ_r のシェルが最初は均一な磁界 H_0 に配置される場合、シェルの内部の場は、一定の大きさ、 $9\mu_r H_0 / [(2\mu_r + 1)(\mu_r + 2) - 2(a/b)^3(\mu_r - 1)^2]$ を有し、それは、 μ_r 1の場合、 $9H_0 / 2\mu_r (1 - (a/b)^3)$ に向かう。この結果は、シェルが極めて薄い場合でさえも、透磁率が十分に高い場合には、入射磁界（必ずしも入射磁界ではないが）がシェルの内部で著しく減衰され得ることを示す。特定の状況において、損失性材

50

料および物体が共振器の磁界により避けられるように、及び電力がこれらの材料および物体で殆ど又は全く消散されないように、損失性材料および物体を部分的に又は完全に覆うために高い透磁率材料を用いることは有利である。係る手法において、 Q 無感受性_(p)は、材料および物体が覆われていない場合に比べて、大きくなることができ、場合によっては1より大きい。

【0191】

損失誘発物体から離れるように電界および磁界を保持することが望ましい。上述されたように、係る態様において場を形作るための1つの方法は、損失誘発物体を完全に又は部分的に包囲または覆うために高導電率表面を使用することである。磁性材料（ゼロでない透磁率を有する任意の材料またはメタマテリアル）とも呼ばれる磁氣的透過性材料の層は、高導電率表面の上に又はその周りに配置され得る。磁性材料の追加の層は、偏向した磁界が追従する、より低い磁気抵抗経路（自由空間に比べて）を提供することができ、その下の導体を入射磁束から部分的に遮蔽することができる。この構成は、高導電率表面に生じた電流に起因する損失を低減することができる。ある状況下では、磁性材料により提供される、より低い磁気抵抗経路は、構造体のパーターブド Q を改善することができる。

10

【0192】

図26の(a)は、 z 軸に沿って最初は均一に外部から印加された磁界（灰色の力線）にさらされた、薄い導電（銅）ディスク2604（直径20cm、高さ2cm）の軸対称FEMシミュレーションを示す。対称軸は、 $r = 0$ にある。示された磁氣的流線は、 $z = -$ で発し、この場合、これらは $r = 3$ cmから $r = 10$ cmまで1cmの間隔で配置される。軸の目盛りはメートルである。例えば、図19に示されたような無線エネルギー伝送システムにおいて、この導電円筒が、磁気共振器により閉じ込められた領域内に損失誘発物体を包囲することを想像されたい。

20

【0193】

この高導電率筐体は、損失性物体のパーターピング Q 、それ故にシステムの全体のパーターブド Q を増大させるが、導電表面に生じた損失および電磁界のプロファイルに対する変化故に、当該パーターブド Q は、依然としてアンパーターブド Q 未満であることができる。高導電率筐体に関連したパーターブド Q の減少は、高導電率筐体の外面または表面に沿って磁性材料の層を含むことにより少なくとも部分的に回復され得る。図26の(b)は、図26の(a)から薄い導電（銅）ディスク2604（直径20cm、高さ2cm）の軸対称FEMシミュレーションを示すが、磁性材料の追加の層が高導電率筐体の外面に直に配置されている。留意すべきは、磁性材料の存在は、より低い磁気抵抗の経路を磁界に提供することができ、それにより下にある導体を少なくとも部分的に遮蔽し、導体に生じた渦電流に起因した損失を低減する。

30

【0194】

図27は、図26に示されたシステムに対する変形形態（軸対称の図において）を示し、この場合、損失性材料2708の全てが高導電率表面2706により覆われているとは限らない。特定の状況において、コスト、重量、組立の複雑化、空気の流れ、視覚的アクセス、物理的アクセスなどの考慮事項に起因するように、材料または物体の一面のみを覆うことが有用であるかもしれない。図27に示された例示的な構成において、損失性材料2708の1つの表面のみが覆われて、共振器のインダクタループが高導電率表面の反対側に配置される。

40

【0195】

数学的モデルを用いて、磁気共振器により閉じ込められた領域内に配置された、銅から作成され、直径20cm、高さ2cmの円筒形ディスクのように形作られた高導電率筐体をシミュレートし、当該磁気共振器は、ループ半径 $r = 11$ cm、ワイヤの半径 $a = 1$ mmの単一ターンのワイヤループである誘導性素子を有する。適用される6.78MHzの電磁界のシミュレーションは、この高導電率筐体のパーターピング Q ファクタ $Q_{(enclosure)}$ が1870であることを示す。高導電率筐体が、実数の相対透磁率 $\mu'_{\text{r}} = 40$ 、及び虚数の相対透磁率 $\mu''_{\text{r}} = 10 \cdot 10^{-2}$ を有する磁性材料の0.25cm厚の層を含むよ

50

うに変更された場合、シミュレーションは、パーターピングQファクタが $Q_{(enclosure + magnetic material)} = 5060$ まで増加することを示す。

【0196】

磁性材料2702の薄い層の追加に起因した性能の改善は、高導電率筐体が共振器のループインダクタ2704により閉じ込められた領域のより大きい部分を占める場合には、更に劇的である。上記の例において、インダクタループ2704の半径が低減され、そのためそれが高導電率筐体の表面から3mmだけ離れる場合、パーターピングQファクタは、筐体の外側の周りに磁性材料2702の薄い層を追加することにより、670(導電筐体のみ)から2730(磁性材料の薄い層を有する導電筐体)まで改善され得る。

【0197】

共振器構造体は、一般に損失を生じさせる材料に共振器が非常に接近している場合でさえも、例えば、高い水準をもたらすことができる遮蔽または分布コンデンサを用いて高度に閉じ込められた電界を有するように設計され得る。

【0198】

結合電磁共振器

2つの共振器間のエネルギー伝送の効率、強い結合の性能指数、 $U = \frac{1}{2} \left(\frac{2}{Q_s Q_d} \right)^{1/2} (Q_s Q_d)^{1/2}$ により求められ得る。磁気共振器の具現化形態において、2つの共振器間の結合率は、共振器のそれぞれの誘導性素子のインダクタンス L_1 及び L_2 、及びそれらの間の相互インダクタンス M に、 $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$ により関連付けられ得る。留意すべきは、この式は、電気双極子結合を介した無視できる結合が存在すると仮定する。インダクタが円形導電ループによりNターンで形成され、図1の(b)に示されたように距離Dだけ離されて配向されている、容量的に装荷されたインダクタループの共振器の場合、相互インダクタンスは、 $M = \frac{\mu_0 N_1 N_2}{4} (x_1 x_2)^2 / D^3$ であり、ここで x_1 、 N_1 及び x_2 、 N_2 はそれぞれ、第1及び第2の共振器の導体ループの特有サイズ及びターン数である。留意すべきは、これは準静的な結果であり、そのため共振器のサイズが波長よりも非常に小さく、共振器の距離が波長よりも非常に小さいが、それらの距離が少なくともそれらのサイズの数倍であることが仮定される。上述されたように、準静的制限で及び中距離で動作されたこれら円形共振器の場合、 $k = \frac{2}{(x_1 x_2)^{1/2}} \sim \left(\frac{x_1 x_2}{D} \right)^{1/2}$ である。中距離における共振器間の強い結合(大きいU)は、共振器のQファクタが中距離において小さいkを補償するほど十分に大きい場合に確立され得る。

【0199】

磁気共振器に関して、2つの共振器が導電部品を含む場合、結合機構は、他方から生じた電界と磁界に起因して電流が一方の共振器に生じることができる。結合率は、第2の共振器の高Q誘導性素子の囲まれた領域を横切る、第1の共振器の高Q誘導性素子から生じた磁界の磁束に比例することができる。

【0200】

低減された相互作用を有する結合電磁共振器

前述されたように、高導電率材料の表面は、共振器の場が共振器の近傍の損失性物体pを避けることにより、共振器の全体的な外因性損失を低減および高いQ無感受性 $(p+cond.surf)$ を維持するように、共振器の場を形作るために使用され得る。しかしながら、係る表面は、パーターブド結合率 $k_{(p)}$ より小さく、且つサイズ、位置、及び共振器に対する高導電率材料の位置関係に依存する、共振器間のパーターブド結合率 $k_{(p+cond.surf)}$ もまねく可能性がある。例えば、高導電率材料が平面内に配置され、且つ無線エネルギー伝送システムにおける少なくとも1つの磁気共振器の誘導性素子により閉じ込められた領域内に配置される場合、結合に介在する共振器の領域を通る磁束の一部が阻止され、kが低減され得る。

【0201】

再び図19の例を考察する。高導電率のディスク筐体のない状態では、外部磁束の特定量は、ループの閉じ込められた領域を横切ることができる。高導電率のディスク筐体の存

10

20

30

40

50

在する状態では、この磁束の一部は、偏向または阻止され、もはやループの領域を横切ることとはできず、かくしてより小さいパターブド結合率 $k_{12(p+cond.surface)}$ をまねく。しかしながら、偏向された磁力線が高導電率表面のエッジに沿って接近して進むことができるので、ディスクを閉じ込めるループを通る磁束の減少は、ディスクの面の領域とループの領域の比より小さい。

【0202】

単独で又は磁性材料との組合せで高導電率材料の構造体を使用することにより、パターブドQファクタ、パターブド結合率、又はパターブド効率を最適化することができる。

【0203】

図21の例を考察する。損失性物体が容量的に装荷されたインダクタループ共振器のサイズに等しいサイズを有するように、かくしてその領域 A_{2102} を満たすようにする。高導電率表面1802が損失性物体1804の下に配置され得る。これが2つの結合された共振器1と2のシステムにおける共振器1とし、導電表面の領域(面積) A_{s2104} が増加するにつれて $U_{12(object+cond.surface)}$ が U_{12} に比べて如何にしてスケールアップされるかを考察しよう。損失性物体1804の下に導電表面1802がない場合、 $k_{12(object)}$ は約1になることができるが、 $Q_{1(object)}$ は小さくなり、そのため $U_{12(object)}$ は小さくなる。

【0204】

損失性物体の下の高導電率表面がインダクタループ共振器の全領域を覆う ($A_s = A$) 場合、 $k_{12(object+cond.surface)}$ がゼロに近づくことができ、その理由は、インダクタループを横切ることができる磁束が殆どなく、そのため $U_{12(object+cond.surface)}$ がゼロに近づくからである。高導電率表面の中間のサイズの場合、外因性損失および関連した $Q_{1(object+cond.surface)}$ の抑制は、 $Q_{1(object)}$ に比べて十分に大きくなることができるが、結合の減少は著しくなく、関連する $k_{12(object+cond.surface)}$ は、 $k_{12(object)}$ よりあまり小さくなく、そのため全体的な $U_{12(object+cond.surface)}$ は $U_{12(object)}$ に比べて増大することができる。無線エネルギー伝送システムにおける高導電率表面を介して外部損失性物体を回避する最適な程度は、システム構成の細部および用途に依存する可能性がある。

【0205】

本発明者は、システムの高いパターブドQを達成するための1つの可能な方法として、高Q共振器の近傍における損失を含む物体を完全に又は部分的に包囲する又は覆うために、高導電率材料を用いることを説明した。しかしながら、物体を覆うために良好な導体だけを用いることは、上述したように共振器の結合を低減する可能性があり、それにより無線電力伝送の効率が低減される。導電表面の面積が磁気共振器の面積に近づくにつれて、例えば、パターブド結合率 $k_{(p)}$ はゼロに近づくことができ、それにより導電表面の使用は効率的な無線電力伝送と相反する。

【0206】

前述した問題に対処するための1つの手法は、高導電率材料の周りに磁性材料の層を配置することであり、その理由は、透磁性材料の追加の層が、偏向された磁界が追従するより低い磁気抵抗経路(自由空間に比べて)を提供することができるので、その下にある導体を入射磁束から部分的に遮蔽することができるからである。ある状況下では、磁性材料により提供される、より低い磁気抵抗経路は、他の共振器に対する共振器の電磁結合を改善することができる。共振器の場が高Q磁気共振器内またはその周りの損失性物体を避けるように共振器の場を調整するために導電材料を用いることに関連したパターブド結合率の減少は、導電材料の外表面(単数または複数)に沿って磁性材料の層を含むことにより少なくとも部分的に回復され得る。磁性材料は、その初期の摂動を与えられていない(アンパターブド)値に対してパターブド結合率を増加させることができる。

【0207】

留意すべきは、図26のシミュレーション結果は、入射磁界が導電構造体だけによるも

10

20

30

40

50

のに比べて、層状磁性材料および導電構造体によるものにより少なく偏向され得ることを示す。図 26 の (a) と (b) に示されたディスクの半径よりもほんの僅かに大きい半径を有する磁気共振器ループが、当該ディスクを閉じ込める場合、より多くの磁束線が図 26 の (a) に示された場合に比べて図 26 の (b) に示された場合で捕捉されることが明らかであり、それ故に $k_{(disk)}$ は図 26 の (b) に示された場合にはより大きくなる。従って、導電材料に磁性材料の層を含むことは、全体的なシステム性能を改善することができる。システムの分析は、これら材料が部分的に、全体的に、又は最小限に共振器に組み込まれるべきであるか否かを判定するために行われ得る。

【0208】

上述したように、図 27 は、損失性材料 2708 の全てが導体および / または磁性材料の構造により覆われることができるとは限らない場合に使用するのに適切とすることができる、層状の導体 2706 及び磁性材料 2702 の構造を示す。11 cm の半径のインダクタループ及びワイヤ半径 $a = 1 \text{ mm}$ の共振器により閉じ込められた、20 cm の直径および 2 cm の高さを有する銅導体ディスクについて、当該銅円筒の計算されたパーティビング Q は 1870 であることが上記で示された。共振器および導電ディスクシェルが均一な磁界内に配置（インダクタループの対称軸に沿って位置合わせされて）される場合、本発明者は、銅導体が関連した結合率の無感受性 0.34 を有すると計算した。比較のために、本発明者は、実数の相対透磁率 $\mu'_r = 40$ 、及び虚数の相対透磁率 $\mu''_r = 10^{-2}$ を有する磁性材料の 0.25 cm 厚の層を含むことを除いて同じ構造をモデル化した。上述した同じモデル及びパラメータを用いて、本発明者は、結合率の無感受性が、導体の表面に磁性材料を追加することにより、0.64 まで改善されることを見出した。

【0209】

磁性材料は、無線エネルギー伝送システムでの結合を増大させるために、磁気共振器により閉じ込められた領域内に配置され得る。最初は均一な磁界に配置された、相対透磁率 μ_r を有する磁性材料の中実の球体を考察する。この例において、磁性材料により提供される、より低い磁気抵抗経路は、磁界を球体の体積に集中させ得る。本発明者は、球体の赤道（均分円）により囲まれた領域を通る磁束が、磁性材料の追加により、 $3\mu_r / (\mu_r + 2)$ 倍で強化されることを見出した。 $\mu_r = 1$ の場合、この強化係数は、3 に近づくことができる。

【0210】

誘導性素子により囲まれた磁気球体を磁気共振器に含むシステムの双極子モーメントが、同じ係数により強化されたその磁気双極子を有することも示されるであろう。かくして、高い透磁率を有する磁気球体は、共振器の双極子磁気結合を実質的に 3 倍にする。内側半径 a 及び外側半径 b を有する磁性材料の球体シェルを使用する場合、このシェルが高い導電材料から作成されたブロック又は筐体の上にある場合でさえも、結合におけるこの増加の大部分を保持することが可能である。この場合、赤道を通る磁束の強化（増大）は、以下の通りである。

【0211】

【数 10】

$$\frac{3\mu_r \left(1 - \left(\frac{a}{b} \right)^3 \right)}{\mu_r \left(1 - \left(\frac{a}{b} \right)^3 \right) + 2 \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{a}{b} \right)^3 \right)}$$

【0212】

$\mu_r = 1000$ 、及び $(a/b) = 0.99$ の場合、この強化係数は依然として 2.73 であり、そのため、磁性材料の薄い層を有していても、結合を大幅に改善することが可

能である。

【0213】

上述されたように、磁性材料を含む構造体を用いて、磁気共振器を実現することができる。図16の(a)は、銅および磁性材料構造体1600の三次元モデルを示し、当該構造体は、その中央における絞り箇所の周りの正方形ループの電流により駆動される。図16の(b)は、図16の(a)に示されたような、同じ特性を有する2つの同一の構造体1600A、1600B間での、磁界の流線により示されるような相互作用を示す。対称性の故に、及び計算の複雑性を低減するために、システムの半分だけがモデル化されている。2つの物体間の相対的な位置関係を固定し、それらの中心間距離を変化させる場合(図は、50cmの相対的な離隔距離で示された)、本発明者は、300kHzにおいて、結合効率は、構造体間の離隔距離が30cmから60cmまで変化するにつれて、87%から55%まで変化することを見出した。図示された構造体1600A、1600Bの例の各々は、4cm×4cm×2cmの磁性材料のブロックにより結合され、且つ同じ磁性材料の2mmの層で完全に覆われた、銅製の2つの20cm×8cm×2cmの平行六面体を含む($\mu_r = 1400 + j5$ を有すると考えられる)。駆動ループの抵抗損失は無視される。各構造体は、815の計算されたQを有する。

10

【0214】

電磁共振器およびインピーダンスマッチング

低損失誘導性素子のインピーダンスマッチングのアーキテクチャ

本説明のために、誘導性素子は、磁性材料から作成された(ギャップ付き又はギャップ無し)コアを備える又は備えない、任意の導電材料の任意のコイル又はループ構造(「ループ」とすることができ、それはまた、他のシステムに誘導的に又は任意の他の非接触方法で結合され得る。素子は、ループのインピーダンス及び任意に潜在的に結合されたシステムのいわゆる「反射」インピーダンスを含むそのインピーダンスが、正のリアクタンスX、及び抵抗Rを有するので、誘導性である。

20

【0215】

誘導性素子が接続され得る駆動回路または駆動される負荷または伝送ラインのような外部回路を考察する。外部回路(例えば、駆動回路)は、電力を誘導性素子に伝えることができ、及び誘導性素子は外部回路に電力を伝えることができる(例えば、駆動される負荷)。所望の周波数において誘導性素子と外部回路との間で伝えられる電力の効率およびその量は、外部回路の特性に対する誘導性素子のインピーダンスに依存する可能性がある。インピーダンスマッチングの回路網および外部回路制御技術を用いて、所望の周波数fにおいて、外部回路と誘導性素子との間の電力伝送を調整することができる。

30

【0216】

外部回路は、クラスA、B、C、D、DE、E、Fなどの増幅器を形成するように構成された駆動回路とすることができ、それが固有インピーダンス Z_0^* を有する共振回路網を駆動する場合に、最大の効率で(即ち、駆動回路内で最小の損失で)電力を伝えることができ、ここで Z_0 は複素数とすることができ、 $*$ は複素共役を示す。外部回路は、クラスA、B、C、D、DE、E、Fなどの整流装置を形成するように構成された、駆動される負荷とすることができ、それが固有インピーダンス Z_0^* を有する共振回路網により駆動される場合に、最大の効率で(即ち、駆動される負荷内で最小の損失で)電力を受け取ることができ、ここで Z_0 は複素数とすることができ、外部回路は、特性インピーダンス Z_0 を有する伝送ラインとすることができ、インピーダンス Z_0^* に接続される場合に、最大の効率で(即ち、ゼロ反射で)電力をやりとりすることができる。本発明者は、外部回路の特性インピーダンス Z_0 を最大の効率で電力交換するためにそれに接続され得るインピーダンスの複素共役と呼ぶ。

40

【0217】

誘導性素子の一般的なインピーダンス $R + jX$ は、 Z_0^* とは非常に異なる可能性がある。例えば、誘導性素子が低い損失(高い X/R)を有する場合、その抵抗Rは外部回路の特性インピーダンス Z_0 の実数部より非常に小さくなることのできる。更に、誘導性素

50

子はそれ自体により、共振回路網となることができない。誘導性素子に接続されたインピーダンスマッチング回路網は一般に、共振回路網を形成することができ、そのインピーダンスは調整され得る。

【0218】

従って、インピーダンスマッチング回路網は、外部回路と誘導性素子（任意の結合されたシステムの反射インピーダンスを含む）との間で伝えられる電力の効率を最大化するように設計され得る。伝えられる電力の効率は、所望の周波数において、インピーダンスマッチング回路網と誘導性素子の組合せのインピーダンスを外部回路（又は伝送ライン）の特性インピーダンスにマッチングすることにより最大化され得る。

【0219】

インピーダンスマッチング回路網は、外部回路と誘導性素子（任意の結合されたシステムの反射インピーダンスを含む）との間で所定量の電力を伝えるように設計され得る。伝えられる電力は、所望の周波数において、インピーダンスマッチング回路網および誘導性素子の組合せのインピーダンスと外部回路（又は伝送ライン）のインピーダンスの複素数比を調整することにより決定され得る。

【0220】

誘導性素子に接続されたインピーダンスマッチング回路網は、磁気共振器を形成することができる。強く結合された磁気共振器を用いる無線電力伝送のような幾つかの用途の場合、高いQは共振器に望ましい。従って、誘導性素子は、低い損失（高い X/R ）を有するように選択され得る。

【0221】

マッチング回路が一般に共振器の内部に追加の損失源を含む可能性があるので、マッチング回路の構成要素は、低い損失を有するようにも選択され得る。更に、高い電力用途において及び/又は高い共振器のQに起因して、大きな電流が共振器回路の部品に流れる可能性があり、大きい電圧が共振器内の幾つかの回路素子の両端に存在するかもしれない。係る電流および電圧は、特定の回路素子の所定の許容範囲を越える可能性があり、特定の構成要素については非常に高いので耐えることができないかもしれない。場合によっては、例えば、特定の用途のために高Qおよび高い電力共振器の設計を実現するために十分なサイズ、コスト、及び性能（損失および電流/電圧の定格）の仕様に関して、調整可能なコンデンサのような構成要素を得る又は実装することが困難であるかもしれない。本発明者は、低い損失および/または高い電流/電圧の定格に関する構成要素の要件を低減しながら、磁気共振器の高いQを保持することができるマッチング回路の設計、方法、具現化形態および技術を開示する。

【0222】

マッチング回路の幾つかの素子に対する損失および電流定格の要件を最小化する、マッチング回路の接続形態が設計され得る。低損失誘導性素子をインピーダンス Z_0 にマッチングする回路の接続形態は、その構成要素の幾つかが外部回路と直列にすることにより、関連した高Q共振器の外側にあるように選択され得る。これら構成要素の低い直列損失または高い電流定格の要件は、低減され得る。回路素子に対する低い直列損失および/または高い電流定格の要件を軽減することは、素子が可変である必要があり、及び/又は大きい電圧定格および/または低い並列損失を有する必要がある場合に特に有用であるかもしれない。

【0223】

マッチング回路の幾つかの素子に対する電圧定格の要件を最小限にするマッチング回路の接続形態が、設計され得る。低損失誘導性素子をインピーダンス Z_0 にマッチングする回路の接続形態は、その構成要素の幾つかが Z_0 と並列にすることにより、関連した高Q共振器の外側にあるように選択され得る。これら構成要素の低い並列損失または高い電圧定格の要件は、低減され得る。回路素子に対する低い並列損失および/または高い電圧の要件を軽減することは、素子が可変である必要があり、及び/又は大きい電流定格および/または低い直列損失を有する必要がある場合に特に有用であるかもしれない。

【0224】

低損失誘導性素子を外部特性インピーダンス Z_0 にマッチングする回路の接続形態は、関連した共振モードの電磁界パターン、ひいてはその高い Q が、外部インピーダンスに共振器を結合する際に保持されるように、選択され得る。もしそうでなければ、所望の共振モードに対する非効率的な結合が生じる可能性があり（場合によっては、他の不要共振モードへの結合に起因して）、結果として共振器の Q を事実上、低くすることになる。

【0225】

低損失誘導性素子または外部回路が変化を呈することができる応用形態の場合、マッチング回路は、所望の周波数 f において、誘導性素子を外部回路のインピーダンス Z_0 にマッチングするために動的に調整される必要があるかもしれない。2つのチューニング目標、即ち所望の周波数 f においてインピーダンスレベル Z_0 の実数部と虚数部をマッチング又は制御することが一般に存在するので、マッチング回路に2つの可変素子が存在することができる。誘導性素子の場合、マッチング回路は、少なくとも1つの可変容量性素子を含む必要があるかもしれない。

【0226】

低損失誘導性素子は、2つの可変コンデンサ又は可変コンデンサの2つの回路網を用いる接続形態によりマッチングされ得る。例えば、可変コンデンサは、調整可能なバタフライ型コンデンサとすることができるか、又はユーザ設定できる可変キャパシタンスを有する任意の他のコンデンサとすることができ、当該調整可能なバタフライ型コンデンサは、例えば接地、或いは電源または負荷の他のリード線に接続するための中央端子、及び当該調整可能なバタフライ型コンデンサのキャパシタンスが変更または調整され得る少なくとも1つの他の端子を有する。

【0227】

低損失誘導性素子は、可変コンデンサ（単数または複数）の1つ又は係る可変コンデンサの回路網、及び可変インダクタ（単数または複数）の1つ又は係る可変インダクタの回路網を用いる接続形態によりマッチングされ得る。

【0228】

低損失誘導性素子は、外部回路または他のシステムに誘導性素子をトランス結合する、可変コンデンサ（単数または複数）の1つ又は係る可変コンデンサの回路網、及び可変相互インダクタンス（単数または複数）の1つ又は係る可変相互インダクタンスの回路網を用いる接続形態によりマッチングされ得る。

【0229】

場合によっては、サイズ、コスト及び高 Q を実現するために十分な性能仕様、高い電力、及び場合によっては高速で同調可能な共振器設計に関して、調整可能な集中素子を得る又は実装することが困難であるかもしれない。可変誘導性素子を外部回路にマッチングする回路の接続形態は、幾つかの可変性が、外部回路のトランジスタ、ダイオード、スイッチなどに印加される駆動信号の周波数、振幅、位相、波形、デューティサイクルなどを変更することにより外部回路に割り当てられるように設計され得る。

【0230】

共振周波数における誘導性素子の抵抗 R およびインダクタンス L のばらつきは、部分的にのみ補償され得るか、又は全然補償されない。かくして、適切なシステム性能は、他のシステム構成要素または仕様へと設計された許容範囲により保持され得る。より少ない調整可能な構成要素または調整可能能力の低い構成要素を用いて実現される部分的な調整は十分とすることができる。

【0231】

マッチング回路のアーキテクチャは、その調整可能な素子の電圧／電流定格要件を最小限にし且つより微細な（即ち、より高い分解能でより精密な）全体的な調整可能性を達成しながら、高電力条件下でインピーダンスマッチング回路の所望の可変性を達成するように設計され得る。可変誘導性素子をインピーダンス Z_0 にマッチングする回路の接続形態は、可変構成要素の電圧／電流要件が低減されることができ、且つ所望の調整範囲がより

微細な調整分解能でカバーされ得るように、固定および可変素子の適切な組合せ及び配置を含むことができる。電圧／電流要件は、可変でない構成要素で低減され得る。

【0232】

開示されたインピーダンスマッチングのアーキテクチャ及び技術は、以下のことを達成するために使用され得る。即ち、

- ・電力駆動発生装置から供給源の低損失誘導性素子（及び低損失誘導性素子にワイヤレスで結合された任意の他のシステム）に伝えられる電力を最大化する、又は係る低損失誘導性素子間のインピーダンス不整合を最小限にするために、
- ・デバイスの低損失誘導性素子（及び低損失誘導性素子にワイヤレスで結合された任意の他のシステム）から電力駆動される負荷へ伝えられる電力を最大化する、又は係る低損失誘導性素子間のインピーダンス不整合を最小限にするために、
- ・電力駆動発生装置から供給源の低損失誘導性素子（及び低損失誘導性素子にワイヤレスで結合された任意の他のシステム）に制御された電力量を伝える、又は係る低損失誘導性素子間の特定のインピーダンス関係を達成するために、
- ・デバイスの低損失誘導性素子（及び低損失誘導性素子にワイヤレスで結合された任意の他のシステム）から電力駆動される負荷へ制御された電力量を伝える、又は係る低損失誘導性素子間の特定のインピーダンス関係を達成するために。

10

【0233】

モードプロファイルの保存の接続形態（高いQ）

共振器構造体は、電力発生装置または負荷にワイヤレスで（間接的に）又は有線接続で（直接的に）接続されるように設計され得る。

20

【0234】

図28の(a)のブロック図により示されるような、一般的に間接的に結合されたマッチング接続形態を考察する。そこで、(R、L)として表示され、インダクタの回路記号により表された誘導性素子2802が、本明細書または本明細書で提供される文献に説明された任意の誘導性素子とすることができ、この場合、インピーダンスマッチング回路2402は、部品A及びBを含む、又は部品A及びBからなる。Bは、インピーダンス2804、 Z_0 を残りの回路（Aと誘導性素子の組合せ（ $A + (R, L)$ ））に、ワイヤレス接続（誘導性または容量性結合機構）を介して接続するマッチング回路の一部とすることができる。

30

【0235】

Aと誘導性素子2802の組合せは、共振器102を形成することができ、それは孤立して、関連した電流および電荷分布で高Q共振器電磁モードをサポートすることができる。外部回路 Z_0 とB、共振器 $A + (R, L)$ との間に有線接続がないことは、高Q共振器電磁モード及びその電流／電荷分布が、ワイヤレス結合の程度があまり大きくない限り、その固有の（孤立した）プロファイルの形態をとることができることを保証することができる。即ち、電磁モード、電流／電荷分布、ひいては共振器の高Qは、間接的に結合されるマッチング接続形態を用いて自動的に維持され得る。

【0236】

このマッチング接続形態は、誘導性結合が外部回路とインダクタループとの間に使用される場合に、間接的に結合された、又はトランス結合された、又は誘導性結合されたと呼ばれ得る。このタイプの結合状況は、参照されるScienceの論文で説明された中距離にわたる無線エネルギー伝送の実証において、電源を供給源共振器に結合する、及びデバイス共振器をライトバルブに結合するために使用された。

40

【0237】

次に、誘導性素子が、誘導性素子および任意の間接的に結合されたシステムを含むことができる例を考察する。この場合、上述されたように、やはり外部回路または結合されたシステムと共振器との間に有線接続がないという理由で、結合されたシステムは、あまり大きくない程度の間接結合の良好な接近で、共振器の電磁モードプロファイル及び共振器の電流／電荷分布に影響を与えることはない。従って、間接的に結合されたマッチング回

50

路は、本明細書で定義されるような、共振器の一部としての任意の一般的な誘導性素子、並びに他のシステムにワイヤレスで結合された誘導性素子に同様にうまく機能することができる。本明細書の全体にわたって、本発明者が開示するマッチング接続形態は、このタイプの一般的な誘導性素子に関するマッチング接続形態を意味し、即ち、この場合、任意の追加のシステムが低損失誘導性素子に間接的に結合されることができ、理解されるべきは、これらの追加のシステムが共振器の電磁モードプロファイル及び共振器の電流 / 電荷分布に大した影響を与えることはない。

【 0 2 3 8 】

上記の議論に基づいて、任意の数の結合された供給源共振器、デバイス共振器、及び中間の共振器からなる無線電力伝送システムにおいて、共振器間のワイヤレス磁気（誘導性）結合は、共振器のそれぞれの電磁モードプロファイル及び電流 / 電荷分布に影響を与えない。従って、これら共振器が高い（アンローデッド及びアンパターブド） Q を有する場合、それらの（アンローデッド及びアンパターブド） Q は、ワイヤレス結合の存在する状態で保持される（留意すべきは、共振器のローデッド Q は、別の共振器へのワイヤレス結合が存在する状態で低減され得るが、本発明者は、損失機構のみに関連し、結合 / 装荷（ローディング）機構に関連しないアンローデッド Q を保持することに興味がある）。

【 0 2 3 9 】

図 2 8 の（b）に示されたようなマッチング接続形態を考察する。図 2 8 の（b）に示されたコンデンサは、コンデンサ回路または回路網を表すことができる。図示されたコンデンサを用いて、共振器 1 0 2 を形成することができ、且つ供給源共振器およびデバイス共振器の周波数および / またはインピーダンスを調整することができる。この共振器 1 0 2 は、「端子接続」2 8 0 8 と表示されたポートを用いて、インピーダンス Z_0 に直接的に結合され得る。図 2 8 の（c）は、一般化された直接結合されたマッチング接続形態を示し、この場合、インピーダンスマッチング回路 2 4 0 2 は、部品 A、B、及び C を含む又はそれらからなる。ここで、A、B、及び C の回路素子は、共振器 1 0 2 の一部、並びにインピーダンスマッチング 2 4 0 2（及び周波数調整）接続形態の一部と考えられ得る。B 及び C は、インピーダンス Z_0 2 8 0 4（又は回路網の端子）を残りの回路（A 及び誘導性素子）に、各単一ワイヤ接続を介して接続するマッチング回路 2 4 0 2 の部品とすることができる。留意すべきは、B 及び C は無くてもよい（短絡）。回路部品 B 及び C（即ちこれら単一のワイヤ接続）を切断する又は開く場合、A 及び誘導性素子（R、L）の組合せは、共振器を形成することができる。

【 0 2 4 0 】

高 Q 共振器の電磁モードは、誘導性素子に沿った電圧分布のプロファイルがノード、即ち電圧がゼロである位置を有するようになるかもしれない。1つのノードは、（磁性材料を備える又は備えない）誘導性素子を形成するために使用される導体の中心のような、誘導性素子の長さのほぼ中心にあることができ、少なくとも1つの他のノードはA内にあることができる。電圧分布は、その電圧ノードに対して誘導性素子に沿ってほぼ反対称になることができる。高い Q は、マッチング接続形態（A、B、C）及び / 又は端子電圧（ V_1 、 V_2 ）を設計することにより維持されることができ、そのためこの高 Q 共振器の電磁モードの分布は、誘導性素子上にほぼ保持され得る。この高 Q 共振器の電磁モードの分布は、誘導性素子の電圧ノードを（ほぼ中心に）保持することにより、誘導性素子上にほぼ保持され得る。これら設計の目標を達成する例が本明細書で提供される。

【 0 2 4 1 】

A、B、及びCは任意（即ち、任意の特別な対称性を備えない）とすることができ、 V_1 及び V_2 は、誘導性素子の両端の電圧が対称性（誘導性素子の中央にある電圧ノード）であるように選択され得る。これらの結果は、接続形態に依存するコモンモード信号（ $V_1 + V_2$ ） / 2 が双方の端子で要求され得るので、潜在的に複雑な端子電圧を除いて、簡単なマッチング回路を用いて達成されることができる。

【 0 2 4 2 】

共振器の電圧ノード全てを接続する「軸」を考察し、この場合、やはり1つのノードが

誘導性素子の長さのほぼ中心にあり、他のノードがA内にある（留意すべきは、「軸」は、電気回路接続形態内で実際に一組の点（電圧ノード）であり、実際の物理的構造の線形軸に必ずしも対応するとは限らない。「軸」は、物理的構造が対称性を有する場合に物理的軸とそろうかもしれない。）。共振器の2つの点は、インピーダンスが2つの点のそれぞれとの間で見出され、「軸」上の点、即ち共振器の電圧ノードの点と同じである場合、「軸」に対して電氣的に対称である。

【0243】

B及びCは同じ（ $C = B$ ）であり、2つの端子は、図28の（d）に示されるように、上記で定義された「軸」に対して電氣的に対称であり、対向する電圧（ $V_2 = -V_1$ ）で駆動される、共振器（ $A + (R, L)$ ）の任意の2つの点に接続され得る。共振器102の2つの電氣的に対称の点は、インダクティブ上上の2つの電氣的に対称の点とすることができる。共振器の2つの電氣的に対称の点は、Aの内部の2つの電氣的に対称の点とすることができる。2つの電氣的に対称の点（等しい部品B及びCのそれぞれが接続される）がAの内部にある場合、Aは、これらの電氣的に対称の点が回路内の接続点としてアクセス可能であるように設計される必要がある。この接続形態は、「平衡駆動」の接続形態と呼ばれ得る。これら平衡駆動の例は、外部回路または電力回路網における摂動に起因して接地線上に存在することができる任意のコモンモード信号が、例えば、自動的に除去され得る（及び共振器に到達できない）という利点を有することができる。幾つかの平衡駆動の例において、この接続形態は他の接続形態よりも多くの構成要素を必要とするかもしれない。

10

20

【0244】

他の例において、図28の（e）に示されるように、Cは短絡するように選択され、対応する端子が接地（ $V = 0$ ）、及び共振器の電気対称（ゼロ電圧）の「軸」上の任意の点に接続され、Bが電気対称の「軸」上にない共振器の任意の他の点に接続されるように選択される。電気対称の「軸」上の接地接続された点は、誘導性素子上の、その導体長さのほぼ中心にある電圧ノードとすることができる。電気対称の「軸」上の接地接続された点は、回路Aの内部にあることができる。電気対称の「軸」上の接地接続された点がAの内部にある場合、Aは、電氣的にアクセス可能な、即ち接続が可能な、電気対称の「軸」上に係る1つの点を含むように設計される必要がある。

30

【0245】

この接続形態は、「不平衡駆動」の接続形態と呼ばれ得る。誘導性素子に沿った電磁モードのほぼ反対称の電圧分布は、共振器が正確に対称的に駆動されることができなくても、ほぼ保持され得る。その理由は、高いQ及び大きな関連したR対 Z_0 の不整合は、共振器（ $A + (R, L)$ ）の内部を流れることができる非常に大きな電流に比べて、少ない電流がB及び接地を通して流れることができることを必要とするということである。この状況において、共振器モード上の摂動は、弱くなることができ、電圧ノードの場所は、誘導性素子のほぼ中央の場所にとどまることができる。これら不平衡駆動の例は、それらが簡単なマッチング回路を用いて達成されることができ、 V_1 端子の駆動電圧に制限がないという利点を有することができる。幾つかの不平衡駆動の例において、接地端子に生じるかもしれないコモンモード信号を低減するために、追加の設計が必要とされるかもしれない。

40

【0246】

図28の（c）に示されるように、概して部品A、B及びCを含む又はそれらからなる直接的に結合されたインピーダンスマッチング回路は、ワイヤ及び回路の構成要素が誘導性素子および/または抵抗の電磁モードの電界および磁界のプロファイルに摂動を与えず、ひいては共振器の高いQを保持するように設計され得る。回路のワイヤ及び金属の構成要素は、電磁モードの電気力線に垂直になるように配向され得る。回路のワイヤ及び構成要素は、電磁モードの電界および磁界が弱い領域に配置され得る。

【0247】

素子の低直列損失および高電流定格の要件を軽減するための接続形態

50

低い損失の誘導性素子の小さい抵抗 R を外部回路のより大きな特性インピーダンス Z_0 にマッチングするために使用されるマッチング回路が無損失であると考えられる場合、

$$I_{Z_0}^2 Z_0 = I_R^2 R \leftrightarrow I_{Z_0} / I_R = \sqrt{R / Z_0}$$

及び端子を流れる電流は、誘導性素子を流れる電流よりも非常に小さい。従って、端子と直に直列接続された素子（例えば、直接的に結合された B、C（図 28（c）））は、大きい電流を伝えることができない。従って、たとえマッチング回路が損失性素子を有するとしても、端子に直列接続された素子に存在する抵抗損失は、共振器の高 Q における著しい減少という結果にならない。即ち、それら直列素子の抵抗損失は、 Z_0 から誘導性素子への（または逆もまた同じ）電力伝送の効率を著しく低減しない。従って、低直列損失および / または高電流定格の厳密な要件は、これら構成要素に必要ないかもしれない。一般に、係る低減された要件は、高 Q 及び / または高電力インピーダンスマッチング及び共振器の接続形態へと設計され得る構成要素のより広い選択をもたらすことができる。これら低減された要件は特に、これら高 Q 及び / または高電力インピーダンスマッチング回路で使用され得る、可変および / または高電圧および / または低並列損失の構成要素の種類を広げることにより有用となることことができる。

10

【0248】

素子の低並列損失および高電圧定格の要件を軽減するための接続形態

20

上記のように、低い損失の誘導性素子の小さい抵抗 R を外部回路のより大きな特性インピーダンス Z_0 にマッチングするために使用されるマッチング回路が無損失であると考えられる場合、前の分析を用いて、

$$|V_{Z_0} / V_{load}| = |I_{Z_0} Z_0 / I_R (R + jX)| \approx \sqrt{R / Z_0} \cdot Z_0 / X = \sqrt{Z_0 / R} (X / R)$$

及び低損失（高い X / R ）誘導性素子の場合、端子にわたる電圧は一般に、誘導性素子の両端の電圧より非常に小さい。従って、端子に直に並列接続された素子は、高電圧に耐える必要がない。従って、たとえマッチング回路が損失性素子を有するとしても、端子に並列接続された素子に存在する抵抗損失は、共振器の高 Q における著しい減少という結果にならない。即ち、それら並列素子の抵抗損失は、 Z_0 から誘導性素子への（または逆もまた同じ）電力伝送の効率を著しく低減しない。従って、低並列損失および / または高電圧定格の厳密な要件は、これら構成要素に必要ないかもしれない。一般に、係る低減された要件は、高 Q 及び / または高電力インピーダンスマッチング及び共振器の接続形態へと設計され得る構成要素のより広い選択をもたらすことができる。これら低減された要件は特に、これら高 Q 及び / または高電力インピーダンスマッチング及び共振器回路で使用され得る、可変および / または高電流および / または低直列損失の構成要素の種類を広げることにより有用となることことができる。

30

【0249】

40

留意すべきは、上記の設計原理は、 Z_0 と直列接続された回路網の使用（直接的に結合された B、C のような）、又は Z_0 と並列接続された回路網の使用を様々な提案するように、様々な素子における電流および電圧を異なるように低減することができる。所与の用途に好適な接続形態は、低直列損失 / 高電流定格、又は低並列損失 / 高電圧定格の素子の入手のしやすさに依存する可能性がある。

【0250】

微細な調整可能性を達成し、及び可変素子の高い定格要件を軽減するための固定および可変素子の組合せ

回路の接続形態

満足な低損失および高電圧または高電流定格を有する可変回路素子は、入手するのに困

50

難または高価である可能性がある。本明細書において、本発明者は、適切な電圧および電流定格を有する可能性がより高い、回路の固定素子に大きな電圧または電流が割り当てられ、且つ回路の可変素子に対する電圧および電流定格要件を軽減するように、固定素子および可変素子の組合せを組み込むことができるインピーダンスマッチング接続形態を説明する。

【 0 2 5 1 】

可変回路素子は、所与のインピーダンスマッチングの用途により必要されるものよりも大きな調整（チューニング）範囲を有することができ、これらの場合、微細調整の分解能は、係る大きな範囲の素子だけを用いて得ることは困難である可能性がある。本明細書において、本発明者は、より微細な調整分解能が同じ可変素子で達成され得るように、固定素子および可変素子の組合せを組み込むインピーダンスマッチング接続形態を説明する。

10

【 0 2 5 2 】

従って、固定素子および可変素子の組合せを用いる接続形態は、同時に２種類の利点をもたらすことができ、即ち回路の敏感なチューニング構成要素にわたる電圧またはそれを流れる電流の低減、及びより微細な調整分解能である。留意すべきは、最大の達成可能な調整範囲は、回路設計における調整可能な構成要素にわたる電圧またはそれを流れる電流の最大限の減少に関係付けられ得る。

【 0 2 5 3 】

素子の接続形態

単一の可変回路素子（上述した素子の回路網とは対照的に）は、可変構成要素の定格要件の減少およびより微細な調整分解能を達成するために、直列または並列に接続された固定および可変構成要素の組合せを用いた接続形態により実現され得る。これは、以下の事実により数学的に実証され得る。

20

【 0 2 5 4 】

【 数 1 1 】

$$x_{|total|} = x_{|fixed|} + x_{|variable|} \quad \text{の場合}$$

$$\Delta x_{|total|} / x_{|total|} = \Delta x_{|variable|} / (x_{|fixed|} + x_{|variable|})$$

$$\text{及び } X_{variable} / X_{total} = X_{variable} / (X_{fixed} + X_{variable})$$

30

【 0 2 5 5 】

ここで、 $x_{|subscript|}$ は任意の素子の値（例えば、キャパシタンス、インダクタンス）であり、 X は電圧または電流であり、「+ 符号」は、素子の適切な（直列追加または並列追加）組合せを示す。留意すべきは、 $x_{|subscript|}$ の下付き文字の形式は、円形誘導性素子（例えば、 x 、 x_1 など）により包囲される面積の半径からそれを容易に区別するために選択される。

【 0 2 5 6 】

更に、この原理は、可変素子が他の固定素子と適切に組み合わせられる場合、異なるタイプの可変素子を用いることにより、特定のタイプ（例えば、キャパシタンス又はインダクタンス）の可変電気素子を実現するために使用され得る。

40

【 0 2 5 7 】

結論として、最適化の制約として必要な調整範囲を有する固定および可変素子の必要な数、配置、タイプ、及び値、並びに最適化の目的として可変素子の電流および／または電圧の最小化を決定する接続形態最適化のアルゴリズムが適用され得る。

【 0 2 5 8 】

例

以下の回路図において、本発明者は、低損失誘導性素子に対するインピーダンスマッ

50

ング及び係る誘導性素子の共振器設計の異なる特定の接続形態の具現化形態を示す。更に、本発明者は、各接続形態について、上述されたどの原理が使用されているか、マッチングを達成するために使用され得る可変素子の値を与える式、及びマッチングされ得る複素インピーダンスの範囲（不等式およびスミスチャートの表現を用いて）を示す。これらの例の場合、本発明者は、 Z_0 が実数であるが、非ゼロの虚数部を有する特性インピーダンスまでの拡張が真っ直ぐであると仮定し、その理由は、それがマッチング回路網の構成要素の必要な値における小さな調整だけを意味するからである。本発明者は、量に関する下付き文字 n が Z_0 （除算した）に対する正規化を意味する取り決めを使用する。

【0259】

図29は、トランス結合されたインピーダンスマッチング回路の2つの例を示し、この場合、2つの調整可能な素子（要素）は、コンデンサ及び2つの誘導性素子間の相互インダクタンスである。本発明者が、図29の（a）に関して、 $X_2 = L_2$ 、及び図29の（b）に関して、 $X_2 = L_2 - 1/C_2$ 、及び $X = L$ を定義する場合、調整可能な素子の必要な値は、以下の通りである。

【0260】

【数12】

$$\omega C_1 = \frac{1}{X + RX_{2n}}$$

$$\omega M = \sqrt{Z_o R(1 + X_{2n}^2)}$$

【0261】

図29の（b）の接続形態の場合、特に簡単な設計は、 $X_2 = 0$ を選択することである。この場合、これらの接続形態は、以下の不等式を満たすインピーダンスをマッチングすることができる。即ち、

$$R_n > 0, X_n > 0$$

それらは、図29の（c）のスミスチャートの実線により包囲された領域によって示される。

【0262】

良好に予め選択された固定 M が与えられる場合、調整可能な C_2 を有する上記マッチング接続形態を代わりに使用することもできる。

【0263】

図30は、直接的に結合されたインピーダンスマッチング回路の6つの例（a）～（f）（この場合2つの調整可能な素子はコンデンサである）、及び直接的に結合されたインピーダンスマッチング回路の6つの例（h）～（m）（この場合2つの調整可能な素子は1つのコンデンサと1つのインダクタである）を示す。図30の（a）、（b）、（c）、（h）、（i）、（j）の接続形態の場合、コモンモード信号は、誘導性素子の中央に共振器の電圧ノードを保持する、ひいては高い Q を保持するために2つの端子に必要とされ得る。留意すべきは、これらの例は、図28の（c）に示された一般的な接続形態の具現化形態として説明され得る。図30の（d）、（e）、（f）、（k）、（l）、（m）の対称の接続形態の場合、2つの端子は、誘導性素子の中央に共振器の電圧ノードを保持する、ひいては高い Q を保持するために反対称的に駆動される必要があるかもしれない。留意すべきは、これらの例は、図28の（d）に示された一般的な接続形態の具現化形態として説明され得る。理解されるべきは、本明細書で使用されるようなコンデンサの回路網は、別の意味が明確に提供される又は文脈から明らかであることを除いて、1つ又は複数のコンデンサを含む任意の回路接続形態を一般に意味し、コンデンサ、又は任意の他の等価物または異なる回路構造（単数または複数）を用いる特に本明細書で開示された任

意の回路を制限しないことを含む。

【0264】

図30の(a)、(d)、(h)、(k)についてそれぞれ、 $Z = R + jL$ を定義し、図30の(b)、(e)、(i)、(l)についてそれぞれ、 $Z = R + jL + 1/jC_3$ を定義し、図30の(c)、(f)、(j)、(m)についてそれぞれ、 $Z = (R + jL)(1/jC_3)$ を定義しよう。ここで記号「 \sim 」は、「 \sim の並列組合せ」を意味し、 $R = \text{Re}\{Z\}$ 、 $X = \text{Im}\{Z\}$ である。図30の(a)～(f)について、調整可能な素子の必要な値は、以下により与えられる。

【0265】

【数13】

10

$$\omega C_1 = \frac{X - \sqrt{X^2 R_n - R^2(1 - R_n)}}{X^2 + R^2},$$

$$\omega C_2 = \frac{R_n \omega C_1}{1 - X \omega C_1 - R_n}$$

【0266】

20

これらの接続形態は、以下の不等式を満たすインピーダンスをマッチングすることができる。即ち、

$$R_n \leq 1, X_n \leq (R_n(1 - R_n))^{1/2}$$

それらは、図30の(g)のスミスチャートの実線により包囲された領域によって示される。図30の(h)～(m)の場合、調整可能な素子の必要な値は、以下により与えられる。

【0267】

【数14】

$$\omega C_1 = \frac{X + \sqrt{X^2 R_n - R^2(1 - R_n)}}{X^2 + R^2},$$

30

$$\omega L_2 = -\frac{1 - X \omega C_1 - R_n}{R_n \omega C_1}$$

【0268】

40

図31は、直接的に結合されたインピーダンスマッチング回路の3つの例(a)～(c)(この場合2つの調整可能な素子はコンデンサである)、及び直接的に結合されたインピーダンスマッチング回路の3つの例(e)～(g)(この場合2つの調整可能な素子は1つのコンデンサと1つのインダクタである)を示す。図31の(a)、(b)、(c)、(e)、(f)、(g)の接続形態の場合、接地端子は、誘導性素子の中央に共振器の電圧ノードを保持する、ひいては高いQを保持するために、2つの等しい値のコンデンサ $2C_1$ の間(即ち、主共振器の対称軸上)に接続される。留意すべきは、これらの例は、図28の(e)に示された一般的な接続形態の具現化形態として説明され得る。

【0269】

図31の(a)、(e)についてそれぞれ、 $Z = R + jL$ を定義し、図31の(b)、(f)についてそれぞれ、 $Z = R + jL + 1/jC_3$ を定義し、図31の(c)、(g)についてそれぞれ、 $Z = (R + jL)(1/jC_3)$ を定義し、及び $R = \text{Re}\{Z\}$

50

$e \{ Z \}$ 、 $X \text{ Im } \{ Z \}$ を定義しよう。図 3 1 の (a) ~ (c) について、調整可能な素子の必要な値は、以下により与えられる。

【 0 2 7 0 】

【 数 1 5 】

$$\omega C_1 = \frac{X - \frac{1}{2} \sqrt{X^2 R_n - R^2 (4 - R_n)}}{X^2 + R^2},$$

10

$$\omega C_2 = \frac{R_n \omega C_1}{1 - X \omega C_1 - \frac{R_n}{2}}$$

【 0 2 7 1 】

これらの接続形態は、以下の不等式を満たすインピーダンスをマッチングすることができる。

【 0 2 7 2 】

【 数 1 6 】

$$R_n \leq 1, \quad X_n \geq \sqrt{\frac{R_n}{1 - R_n}} (2 - R_n)$$

20

【 0 2 7 3 】

それらは、図 3 1 の (d) のスミスチャートの実線により包囲された領域によって示される。図 3 1 の (e) ~ (g) の場合、調整可能な素子の必要な値は、以下により与えられ得る。

【 0 2 7 4 】

【 数 1 7 】

$$\omega C_1 = \frac{X + \frac{1}{2} \sqrt{X^2 R_n - R^2 (4 - R_n)}}{X^2 + R^2},$$

30

$$\omega L_2 = - \frac{1 - X \omega C_1 - \frac{R_n}{2}}{R_n \omega C_1}$$

40

【 0 2 7 5 】

図 3 2 は、直接的に結合されたインピーダンスマッチング回路の 3 つの例 (a) ~ (c) (この場合 2 つの調整可能な素子はコンデンサである)、及び直接的に結合されたインピーダンスマッチング回路の 3 つの例 (e) ~ (g) (この場合 2 つの調整可能な素子は 1 つのコンデンサと 1 つのインダクタである) を示す。図 3 2 の (a)、(b)、(c)、(e)、(f)、(g) の接続形態の場合、接地端子は、誘導性素子の中央に接続され、その点に共振器の電圧ノードを保持する、ひいては高い Q を保持することができる。留意すべきは、これらの例は、図 2 8 の (e) に示された一般的な接続形態の具現化形態と

50

して説明され得る。

【0276】

図32の(a)について、 $Z = R + jL$ を定義し、図32の(b)について、 $Z = R + jL + 1/jC_3$ を定義し、図32の(c)について、 $Z = (R + jL)(1/jC_3)$ を定義し、及び $R = \operatorname{Re}\{Z\}$ 、 $X = \operatorname{Im}\{Z\}$ を定義しよう。図32の(a)～(c)について、調整可能な素子の必要な値は、以下により与えられる。

【0277】

【数18】

$$\omega C_1 = \frac{X - \sqrt{\frac{X^2 R_n - 2R^2(2 - R_n)}{4 - R_n}}}{X^2 + R^2}, \quad 10$$

$$\omega C_2 = \frac{R_n \omega C_1}{1 - X \omega C_1 - \frac{R_n}{2} + \frac{R_n X \omega C_1}{2(1+k)}} \quad 20$$

【0278】

ここで、 k は $M' = -kL'$ により定義され、ここで L' は、インダクタループの各半分のインダクタンスであり、 M' は係る2つの半分間の相互インダクタンスであり、これらの接続形態は、以下の不等式を満たすインピーダンスをマッチングすることができる。

即ち、

$$R_n \geq 2, X_n \geq (2R_n(2 - R_n))^{1/2}$$

それらは、図32の(d)のスミスチャートの実線により包囲された領域によって示される。図32の(e)～(g)の場合、調整可能な素子の必要な値は、以下により与えられる。

【0279】

【数19】

$$\omega C_1 = \frac{X + \sqrt{\frac{X^2 R_n - 2R^2(2 - R_n)}{4 - R_n}}}{X^2 + R^2} \quad 30$$

【0280】

図30、図31、図32の回路において、コンデンサ C_2 又はインダクタ L_2 (又は2つのコンデンサ $2C_2$ 又は2つのインダクタ $L_2/2$)は、端子に直列に接続され、非常に低い直列損失を有するか、又は大きい電流に耐える必要はないかもしれない。

【0281】

図33は、直接的に結合されたインピーダンスマッチング回路の6つの例(a)～(f)(この場合2つの調整可能な素子はコンデンサである)、及び直接的に結合されたインピーダンスマッチング回路の6つの例(h)～(m)(この場合2つの調整可能な素子は1つのコンデンサと1つのインダクタである)を示す。図33の(a)、(b)、(c)、(h)、(i)、(j)の接続形態の場合、コモンモード信号は、誘導性素子の中央に共振器の電圧ノードを保持する、ひいては高いQを保持するために2つの端子に必要とされ得る。留意すべきは、これらの例は、図28の(c)に示された一般的な接続形態の具現化形態として説明されることができ、ここでB及びCは短絡であり、Aは平衡されてい

ない。図 3 3 の (d)、(e)、(f)、(k)、(l)、(m) の対称の接続形態の場合、2 つの端子は、誘導性素子の中央に共振器の電圧ノードを保持する、ひいては高い Q を保持するために反対称的に駆動（平衡駆動）される必要があるかもしれない。留意すべきは、これらの例は、図 2 8 の (d) に示された一般的な接続形態の具現化形態として説明されることができ、ここで B 及び C は短絡であり、A は平衡されている。

【 0 2 8 2 】

図 3 3 の (a)、(d)、(h)、(k) についてそれぞれ、 $Z = R + j L$ を定義し、図 3 3 の (b)、(e)、(i)、(l) についてそれぞれ、 $Z = R + j L + 1 / j C_3$ を定義し、図 3 3 の (c)、(f)、(j)、(m) についてそれぞれ、 $Z = (R + j L) (1 / j C_3)$ を定義し、及び $R = \operatorname{Re} \{ Z \}$ 、 $X = \operatorname{Im} \{ Z \}$ を定義しよう。図 3 3 の (a) ~ (f) について、調整可能な素子の必要な値は、以下により与えられる。

10

【 0 2 8 3 】

【 数 2 0 】

$$\omega C_1 = \frac{1}{X - Z_o \sqrt{R_n(1 - R_n)}},$$

$$\omega C_2 = \frac{1}{Z_o} \sqrt{\frac{1}{R_n} - 1}$$

20

【 0 2 8 4 】

これらの接続形態は、以下の不等式を満たすインピーダンスをマッチングすることができる。即ち、

$$R_n \leq 1, X_n \leq (R_n(1 - R_n))^{1/2}$$

それらは、図 3 3 の (g) のスミスチャートの実線により包囲された領域によって示される。図 3 3 の (h) ~ (m) の場合、調整可能な素子の必要な値は、以下により与えられる。

30

【 0 2 8 5 】

【 数 2 1 】

$$\omega C_1 = \frac{1}{X + Z_o \sqrt{R_n(1 - R_n)}},$$

$$\omega L_2 = \frac{Z_o}{\sqrt{\frac{1}{R_n} - 1}}$$

40

【 0 2 8 6 】

図 3 4 は、直接的に結合されたインピーダンスマッチング回路の 3 つの例 (a) ~ (c) (この場合 2 つの調整可能な素子はコンデンサである)、及び直接的に結合されたインピーダンスマッチング回路の 3 つの例 (e) ~ (g) (この場合 2 つの調整可能な素子は 1 つのコンデンサと 1 つのインダクタである) を示す。図 3 4 の (a)、(b)、(c)、(e)、(f)、(g) の接続形態の場合、接地端子は、誘導性素子の中央に共振器の電圧ノードを保持する、ひいては高い Q を保持するために、2 つの等しい値のコンデンサ $2 C_2$ の間 (即ち、主共振器の対称軸上) に接続される。留意すべきは、これらの例は、

50

図 28 の (e) に示された一般的な接続形態の具現化形態として説明され得る。

【 0 2 8 7 】

図 34 の (a)、(e) についてそれぞれ、 $Z = R + j \quad L$ を定義し、図 34 の (b)、(f) についてそれぞれ、 $Z = R + j \quad L + 1 / j \quad C_3$ を定義し、図 34 の (c)、(g) についてそれぞれ、 $Z = (R + j \quad L) \quad (1 / j \quad C_3)$ を定義し、及び $R \in \{ Z \}$ 、 $X \in \{ Z \}$ を定義しよう。図 34 の (a) ~ (c) について、調整可能な素子の必要な値は、以下により与えられる。

【 0 2 8 8 】

【 数 2 2 】

$$\omega C_1 = \frac{1}{X - Z_o \sqrt{\frac{1 - R_n}{R_n}} (2 - R_n)}$$

10

$$\omega C_2 = \frac{1}{2Z_o} \sqrt{\frac{1}{R_n} - 1}$$

20

【 0 2 8 9 】

これらの接続形態は、以下の不等式を満たすインピーダンスをマッチングすることができる。

【 0 2 9 0 】

【 数 2 3 】

$$R_n \leq 1, \quad X_n \geq \sqrt{\frac{R_n}{1 - R_n}} (2 - R_n)$$

30

【 0 2 9 1 】

それらは、図 34 の (d) のスミスチャートの実線により包囲された領域によって示される。図 34 の (e) ~ (g) の場合、調整可能な素子の必要な値は、以下により与えられる。

【 0 2 9 2 】

【 数 2 4 】

$$\omega C_1 = \frac{1}{X + Z_o \sqrt{\frac{1 - R_n}{R_n}} (2 - R_n)}$$

40

$$\omega L_2 = \frac{2Z_o}{\sqrt{\frac{1}{R_n} - 1}}$$

【 0 2 9 3 】

図 35 は、直接的に結合されたインピーダンスマッチング回路の 3 つの例を示し、この場合 2 つの調整可能な素子はコンデンサである。図 35 の接続形態の場合、接地端子は、

50

誘導性素子の中央に接続され、その点に共振器の電圧ノードを保持する、ひいては高いQを保持することができる。留意すべきは、これらの例は、図28の(e)に示された一般的な接続形態の具現化形態として説明され得る。

【0294】

図35の(a)について、 $Z = R + j\omega L$ を定義し、図35の(b)について、 $Z = R + j\omega L + 1/j\omega C_3$ を定義し、図35の(c)について、 $Z = (R + j\omega L) \parallel (1/j\omega C_3)$ を定義し、及び $R = \operatorname{Re}\{Z\}$ 、 $X = \operatorname{Im}\{Z\}$ を定義しよう。調整可能な素子の必要な値は、以下により与えられる。

【0295】

【数25】

10

$$\omega C_1 = \frac{2}{X(1+a) - \sqrt{Z_0 R(4-R_n)(1+a^2)}},$$

$$\omega C_2 = \frac{2}{X(1+a) + \sqrt{Z_0 R(4-R_n)(1+a^2)}}$$

【0296】

20

ここで、 $a = R / (2Z_0 - R) \cdot k / (1+k)$ 、 k は $M' = -kL'$ により定義され、ここで L' は、誘導性素子の各半分のインダクタンスであり、 M' は係る2つの半分間の相互インダクタンスである。これらの接続形態は、以下の不等式を満たすインピーダンスをマッチングすることができる。

【0297】

【数26】

$$R_n \leq 2 \& \frac{2}{\gamma} \leq R_n \leq 4,$$

$$X_n \geq \sqrt{\frac{R_n(4-R_n)(2-R_n)}{2-\gamma R_n}}$$

30

この場合

$$\gamma = \frac{1-6k+k^2}{1+2k+k^2} \leq 1$$

【0298】

40

それらは、 $k=0$ の場合の図35の(d)に示された、 $k=0.05$ の場合の図35の(e)に示された、及び $k=1$ の場合の図35の(f)に示された3つのスミスチャートの実線により包囲された領域によって示される。留意すべきは、 $0 < k < 1$ の場合、この接続形態がマッチングすることができる、スミスチャートの2つの分離された領域が存在する。

【0299】

図33、図34、図35の回路において、コンデンサ C_2 又はインダクタ L_2 (又は2つのコンデンサ $2C_2$ の一方、又は2つのインダクタ $2L_2$ の一方)は、端子に並列に接続され、ひいては高い電圧定格を有する必要はないかもしれない。2つのコンデンサ $2C_2$ 又は2つのインダクタ $2L_2$ の場合、双方は高い電圧定格を有する必要はないかもしれない。その理由は、ほぼ同じ電流がそれらを流れ、かくしてそれらが、それらにわたるほ

50

ば同じ電圧を蒙るからである。

【0300】

図30～図35の接続形態に関して、コンデンサ C_3 が使用される場合、コンデンサ C_3 の使用は、周波数およびインピーダンスの微細な調整をもたらすことができる。図30～図35の接続形態に関して、誘導性素子に直列接続された固定コンデンサ C_3 の使用は、高い誘導性素子の電圧の大部分がこの固定コンデンサ C_3 を横切り、かくして幾つかを可変とすることができるインピーダンスマッチング回路の他の素子に対する電圧定格要件を潜在的に軽減する。係る接続形態が好適か否かは、適切な固定および調整可能な構成要素の入手可能性、コスト、及び仕様に依存する。

【0301】

上記の例において、共通端子を備えない一對の等しい値の可変コンデンサは、連動型コンデンサ、又は集合体として値を調整するためにバイアスされる及び制御されるバラクタ又はダイオードのグループ又はアレイを用いて実現され得る。1つの共通端子を備える一對の等しい値の可変コンデンサは、調整可能なバタフライ型コンデンサ、又は任意の他の調整可能な又は可変コンデンサ、又は集合体としてキャパシタンス値を調整するためにバイアスされる及び制御されるバラクタ又はダイオードのグループ又はアレイを用いて実現され得る。

【0302】

インピーダンスマッチング回路網の選択の際に考慮され得る別の基準は、所望の動作周波数以外の異なる周波数に対する回路網の応答である。誘導性素子が結合される外部回路で生成される信号は、所望の周波数において単一波長でないが、例えば、スイッチングアンプの駆動信号、又はスイッチング整流装置の反射信号のような、所望の周波数で周期的とすることができる。係る場合によっては、誘導性素子に入力する高次の高調波の量を抑制することが望ましかもしれない（例えば、この素子からこれらの高調波の放射を低減するために）。従って、インピーダンスマッチング回路網の選択は、誘導性素子に入力する係る高調波の量を十分に抑制するものとすることができる。

【0303】

外部の周期信号が電圧供給源信号（直列共振負荷でクラスD増幅器の駆動信号のような）として挙動すると考えられることができる信号であり、そのため、より高い周波数で誘導性素子を流れる電流が殆どない場合に、インピーダンスマッチング回路網は、基本波より高い周波数において外部回路により見出されるインピーダンスが高いようにすることができる。図30～図35の接続形態の中で、インダクタ L_2 を使用するものは、このインダクタが高い周波数において高いインピーダンスを提供するので、好適とすることができる。

【0304】

外部の周期信号が電流供給源信号として挙動すると考えられることができる信号であり、そのため、より高い周波数で誘導性素子の両端に生じる電圧が殆どない場合に、インピーダンスマッチング回路網は、基本波より高い周波数において外部回路により見出されるインピーダンスが低いようにすることができる。図30～図35の接続形態の中で、コンデンサ C_2 を使用するものは、このコンデンサが高い周波数において低いインピーダンスを提供するので、好適とすることができる。

【0305】

図36は、1つの可変コンデンサ、及び残りの固定コンデンサの回路網を使用する可変コンデンサの4つの例を示す。これらの回路網の接続形態を用いると、全キャパシタンス値の微細な調整可能性が達成され得る。更に、図36の（a）、（c）、（d）の接続形態は、電圧の大部分が固定コンデンサにわたって割り当てられ得るので、可変コンデンサの両端の電圧を低減するために使用され得る。

【0306】

図37は、1つの可変インダクタ及び固定コンデンサの回路網を使用する可変コンデンサの2つの例を示す。特に、これら回路網は、可変リアクタンスの具現化形態を提供し、

10

20

30

40

50

及び関心のある周波数において、各回路網が、実質的に可変キャパシタンスとすることができる正味の負の可変リアクタンスに対応するように、可変インダクタが使用され得る値を提供することができる。

【0307】

調整可能なコンデンサ及び調整可能なインダクタのような調整可能な素子は、機械的に調整可能、電氣的に調整可能、熱的に調整可能などとしてすることができる。調整可能な素子は、可変コンデンサ又はインダクタ、バラクタ、ダイオード、ショットキーダイオード、逆バイアスPNダイオード、バラクタアレイ、ダイオードアレイ、ショットキーダイオードアレイなどとしてすることができる。ダイオードは、Siダイオード、GaNダイオード、SiCダイオードなどとしてすることができる。GaN及びSiCダイオードは特に、高電力用途には魅力的とすることができる。調整可能な素子は、電氣的に切り換えられるコンデンサバンク、電氣的に切り換えられ機械的に調整可能なコンデンサバンク、電氣的に切り換えられるバラクタアレイバンク、電氣的に切り換えられるトランス結合されたインダクタバンクなどとしてすることができる。調整可能な素子は、上記で列挙された素子の組合せとすることができる。

10

【0308】

上述したように、結合された高Q磁気共振器間の電力伝送の効率は、共振器が共振周波数に如何に接近してマッチングされるか、及びそれらのインピーダンスがシステムの電源および電力消費装置に如何に良好にマッチングされるかにより、影響を受ける。システムにおける外部物体または他の共振器の相対位置、又はそれら相対位置の変更を含む様々な外部要因が、共振周波数および/または高Q磁気共振器の入力インピーダンスを変更する可能性があるので、調整可能なインピーダンス回路網は、様々な環境または動作状況において、十分な電力伝送のレベルを維持するために必要であるかもしれない。

20

【0309】

図示されたコンデンサのキャパシタンス値は、磁気共振器の共振周波数および/またはインピーダンスを調整するために調整され得る。コンデンサは、電氣的、機械的、熱的に、又は任意の他の知られた方法により調整され得る。コンデンサは、フィードバック信号に応じてのように、手動で又は自動的に調整され得る。コンデンサは、特定の電力伝送効率、又は電源と電力消費装置との間の他の動作特性を達成するために調整され得る。

【0310】

共振器のインダクタ及び誘導性素子のインダクタンス値は、磁気共振器の周波数および/またはインピーダンスを調整するために調整され得る。インダクタンスは、調整可能なコンデンサ、インダクタ、及びスイッチのような調整可能な構成要素を含む結合回路を用いて調整され得る。インダクタンスは、トランス結合されたチューニング回路を用いて調整され得る。インダクタンスは、誘導性素子の導体の異なるセクションの出入りを切り換えることにより、及び/又は強磁性同調(チューニング)及び/又はミュー同調などを用いて調整され得る。

30

【0311】

共振器の共振周波数は、より低い又はより高い周波数に調整され得るか、又は変更することを可能にすることができる。共振器の入力インピーダンスは、より低い又はより高い入力インピーダンス値に調整され得るか、又は変更することを可能にすることができる。供給源により伝えられる及び/又はデバイスにより受け取られる電力の量は、より低い又はより高いレベルの電力に調整され得るか、又は変更することを可能にすることができる。供給源に伝えられる及び/又はデバイス共振器からデバイスにより受け取られる電力の量は、より低い又はより高いレベルの電力に調整され得るか、又は変更することを可能にすることができる。共振器の入力インピーダンス、共振周波数、及び電力レベルは、システムの電力消費装置(単数または複数)に依存して、及び共振器の近傍の物体または材料に依存して調整され得る。共振器の入力インピーダンス、周波数、及び電力レベルは、手動または自動的に調整されることができ、フィードバック又は制御信号、又はアルゴリズムに応じて調整され得る。

40

50

【 0 3 1 2 】

回路素子は、共振器に直接的に接続され得る、即ち、物理的な電気コンタクトにより、例えば、誘導性素子を形成する導体の両端部に及び / 又は端子接続に直接的に接続され得る。回路素子は、導体にはんだ付けされ、溶接され、圧着され、接着され、挟まれ、又は接近して配置され、或いは様々な電気構成要素、コネクタ又は接続技術を用いて取り付けられ得る。電源および電力消費装置は、磁気共振器に直接的に又は間接的に又は誘導的に接続され得る。電気信号は、端子接続を介して共振器に供給、又は当該共振器から取られることができる。

【 0 3 1 3 】

当業者には理解されるように、本明細書で説明された原理の実際の具現化形態において、本明細書で記載された方程式を介して計算された値から実際の構成要素（コンデンサ、インダクタ、抵抗など）の値まで、対称性または反対称性またはその他により示された値から実際の信号（電圧、電流など）の値まで、及び対称性またはその他により示された場所から点（例えば、誘導性素子の中央または「軸」の点などに接近した接地端子の接続点）の実際の幾何学的場所の値まで、関連した許容範囲または許容変動が存在してもよい。

【 0 3 1 4 】

例

システムブロック図

本発明者は、中距離でワイヤレスでデバイスに電力供給またはデバイスを充電することができる無線電力伝送システム用の高Q共振器の例を開示する。また、高Q共振器の無線電力伝送システムは、システムの任意の供給源共振器とは異なるサイズ、形状、組成、構成などである磁気共振器でもってワイヤレスでデバイスに電力を供給またはデバイスを充電することもできる。

【 0 3 1 5 】

図1の(a)、(b)は、2つの例示的な2共振器システムの高レベルブロック図を示す。これら例示的なシステムはそれぞれ、単一の供給源共振器102S又は104S、及び単一のデバイス共振器102D又は104Dを有する。図38は、さらに幾つかの特徴が浮き彫りにされたシステムの高レベルブロック図を示す。ワイヤレスで電力供給される又は充電されるデバイス2310は、DC又はAC、或いはDC及びACの電力が伝送されるデバイス（単数または複数）2308と共に、デバイス共振器102D、デバイス電力および制御回路2304などを含む又はからなることができる。システムのエネルギー源又は電源は、電源および制御回路2302、供給源共振器102Sなどを含むことができる。デバイス共振器102D、並びに電力および制御回路2304から電力を受け取るデバイス（単数または複数）2308は、前述されたように任意の種類のデバイス（単数または複数）2308とすることができる。デバイス共振器102D及び回路2304は、デバイス（単数または複数）のバッテリーを再充電する、デバイス（単数または複数）に直接的に電力を供給する、又は供給源共振器102Sの近傍にある場合に双方を行うために使用され得るデバイス（単数または複数）2308に電力を供給する。

【 0 3 1 6 】

供給源共振器およびデバイス共振器は、数メートルだけ離され得るか、又は互いに非常に接近することができるか、又はそれらの間の任意の距離だけ離され得る。供給源共振器およびデバイス共振器は、互いから水平方向に又は軸方向にオフセットされて（ずらされて）もよい。供給源共振器およびデバイス共振器は、直線的に整列されるか（水平方向のオフセットなし）、或いは数メートル又はそれらの間の任意の距離だけオフセットされてもよい。供給源共振器およびデバイス共振器は、それらの誘導性素子により包囲された表面領域（表面積）が互いにほぼ平行になるように配向され得る。供給源共振器およびデバイス共振器は、それらの誘導性素子により包囲された表面領域が互いにほぼ垂直になるように配向され得るか、又はそれらの間の任意の相対角度（0度～360度）に配向され得る。

【 0 3 1 7 】

供給源共振器およびデバイス共振器は、自立型とすることができるか、又は筐体、容器、スリーブ、又はハウジングに収容され得る。これら様々な筐体は、ほぼ任意の種類の材料から構成され得る。Teflon（登録商標）、REXOLITE（登録商標）、スチレンなどのような低い損失正接の材料が、幾つかの用途に好適とすることができる。供給源共振器およびデバイス共振器は、電源および電力消費装置に一体化され得る。例えば、供給源共振器およびデバイス共振器は、キーボード、コンピュータマウス、ディスプレイ、携帯電話などに組み込まれることができ、そのためそれらはこれらデバイスの外側で見ることができない。供給源共振器およびデバイス共振器は、システムにおいて電源および電力消費装置から分離されることができ、及び標準的な又は特注のワイヤ、ケーブル、コネクタ又はプラグにより接続されてもよい。

10

【0318】

供給源102Sは、コンピュータのUSBポートを含む、多数のDC又はAC電圧源、電流源、又は電源から電力供給され得る。供給源102Sは、配電網から、壁コンセントから、バッテリーから、電源から、エンジンから、太陽電池から、電力発生装置から、別の供給源共振器などから、電力供給され得る。供給源電力および制御回路2302は、電源から供給源電子回路を分離するための回路および構成要素を含むことができ、そのため任意の反射された電力または信号が供給源の入力端子を通じて結合されない。供給源電力および制御回路2302は、力率補正回路を含むことができ、監視、課金、請求書作成、制御、及び類似した機能のために電力使用量を監視するように構成され得る。

20

【0319】

システムは、双方向で動作され得る。即ち、デバイス共振器で生成される又はデバイス共振器に蓄積されるエネルギー又は電力は、配電網、バッテリー、任意の種類のエネルギー蓄積ユニットなどを含む電源にフィードバックされ（返され）得る。供給源電力および制御回路は、力率補正回路を含むことができ、双方向のエネルギーの流れに関して、監視、課金、請求書作成、制御、及び類似した機能のために電力使用量を監視するように構成され得る。無線エネルギー伝送システムは、ビークルトゥグリッド（V2G）の応用形態を可能にする又は推進することができる。

【0320】

供給源およびデバイスは、供給源およびデバイスの共振器の動作、及びエネルギー交換の効率に影響を与える可能性がある環境条件、摂動、及びローディング（装荷）条件の変更を、動作点の調整が補償することを可能にするチューニング能力を有することができる。また、チューニング能力は、多数の供給源から、多数のデバイスへの、多数のシステムへの、多数の中継器などへの電力供給を多重伝送するためにも使用され得る。チューニング能力は、手動で制御され得るか、又は自動で制御されることができ、連続的に、周期的に、断続的に、又は計画的な時間または間隔で実行され得る。

30

【0321】

デバイス共振器、及びデバイス電力および制御回路は、バッテリー室、又はデバイスのカバー又はスリーブ、又はマザーボードのような、デバイスの任意の部分に組み込まれることができ、例えば標準的な再充電可能なバッテリー又は他のエネルギー蓄積ユニットと共に一体化され得る。デバイス共振器は、デバイス共振器素子、及びデバイス電力および制御電子回路の任意の組合せを電力伝送に使用される電磁界から遮蔽することができる、且つ損失性デバイス共振器素子、並びにデバイス電力および制御電子回路から離れるように共振器の場を偏向させることができる、デバイスの場の再整形回路（場 - 再整形回路と称する）を含むことができる。磁性材料および/または高導電率の場 - 再整形回路を用いて、共振器のパートワードQファクタQを増加させ、供給源共振器およびデバイス共振器のパートワード結合率を増加させることができる。

40

【0322】

供給源共振器、及び供給源電力および制御回路は、任意のタイプの家具、構造体、マット、ラグマット、額縁（デジタルピクチャフレーム、電子フレームを含む）、プラグインモジュール、電子デバイス、車両などに組み込まれ得る。供給源共振器は、供給源共振器

50

素子、及び供給源電力および制御電子回路の任意の組合せを電力伝送に使用される電磁界から遮蔽することができる、且つ損失性供給源共振器素子、並びに供給源電力および制御電子回路から離れるように共振器の場を偏向させることができる、供給源の場 - 再整形回路を含むことができる。磁性材料および / または高導電率の場 - 再整形回路を用いて、共振器のパートワードQファクタQを増加させ、供給源共振器およびデバイス共振器のパートワード結合率を増加させることができる。

【0323】

ワイヤレスで電力供給されるデバイスの例におけるサブシステムのブロック図が図39に示される。電力および制御回路は、デバイス共振器102Dからの交流電流電力を変換するように、及びデバイスに電力供給またはデバイスを充電するのに適した安定した直流電力にそれを変換するように設計され得る。電力および制御回路は、デバイス共振器からの一周波数の交流電流電力を、デバイスに電力供給またはデバイスを充電するのに適した異なる周波数の交流電流電力に変換するように設計され得る。電力および制御回路は、インピーダンスマッチング回路2402D、整流回路2404、電圧制限回路（図示せず）、電流制限回路（図示せず）、AC/DC変換器2408回路、DC/DC変換器2408回路、DC/AC変換器2408回路、AC/AC変換器2408回路、バッテリー充電制御回路（図示せず）などを含む、又はからなることができる。

10

【0324】

インピーダンスマッチング2402D回路網は、所望の周波数において、デバイス共振器102Dとデバイス電力および制御回路2304との間で伝えられる電力を最大にするように設計され得る。インピーダンスマッチング素子は、共振器の高いQが保持されるように、選択および接続され得る。動作条件に応じて、インピーダンスマッチング回路2402Dは、供給源からデバイスへ、供給源からデバイス共振器へ、デバイス共振器とデバイス電力および制御回路との間などで伝えられる電力を制御するために変更または調整され得る。電力信号、電流信号、及び電圧信号は、デバイス回路およびフィードバックアルゴリズム回路および技術の任意の点で監視されることができ、所望の信号レベル及びシステム動作を達成するために構成要素を制御するために使用され得る。フィードバックアルゴリズムは、アナログ又はデジタル回路技術を用いて実現されることができ、回路はマイクロプロセッサ、デジタルシグナルプロセッサ、フィールドプログラマブルゲートアレイのプロセッサなどを含むことができる。

20

30

【0325】

図39の3番目のブロックは、デバイス共振器からのAC電圧電力をDC電圧に整流することができる整流器回路2404を示す。この構成において、整流器2404の出力は、電圧クランプ回路への入力することができる。電圧クランプ回路（図示せず）は、DC/DC変換器2408D又はDC/AC変換器2408Dに対する入力において最大電圧を制限することができる。一般に、デバイスの位置および動作の大きなばらつきが許容され得ると同時に、最適な電力がデバイスに伝えられるように、大きな入力電圧のダイナミックレンジを有するDC対DC/AC変換器を使用することが望ましいかもしれない。例えば、整流器の出力における電圧レベルは、デバイスの電源入力および負荷の特性が変化するとつれて、変動し、高レベルに到達する可能性がある。デバイスが異なる仕事（タスク）を実行する場合、電力需要が変動するかもしれない。変化する電力需要は、負荷特性が変化する際に整流器の出力において高い電圧を生じる可能性がある。同様に、デバイス及びデバイス共振器は、供給源の近くに及び供給源から更に離れて持って来られるので、デバイス共振器に伝えられる電力は変動し、整流器の出力において電圧レベルの変化を生じるかもしれない。電圧クランプ回路は、整流器回路からの電圧出力が、DC対DC/AC変換器の動作範囲内にある所定値を超えないようにすることができる。電圧クランプ回路を用いて、無線エネルギー伝送システムの動作モード及び範囲を拡張することができる。

40

【0326】

デバイスの電力および制御回路の次のブロックは、安定したDC出力電圧を生成するこ

50

とができるDC/DC変換器2408Dである。DC/DC変換器(コンバータ)は、ブーストコンバータ、バックコンバータ、ブーストバックコンバータ、セピック(Single ended primary inductance converter:SEPIC)、又は特定の用途の要件に適した任意の他のDC/DC接続形態(トポロジー)とすることができる。デバイスがAC電力を必要とする場合、DC/AC変換器がDC/DC変換器の代わりに使用され得るか、又はDC/DC変換器の後に、DC/AC変換器が続く。デバイスが再充電可能バッテリーを含む場合、デバイス電力および制御回路の最後のブロックは、バッテリー駆動デバイスのバッテリーの充電およびメンテナンスを管理することができるバッテリー充電制御ユニットとすることができる。

【0327】

10

デバイス電力および制御回路2304は、マイクロコントローラ、デジタルシグナルプロセッサ、フィールドプログラマブルゲートアレイのプロセッサ、マイクロプロセッサ、又は任意の他のタイプのプロセッサのような、プロセッサ2410Dを含むことができる。プロセッサを用いて、電力および制御回路、及びデバイス共振器の状態または動作点を読み出す又は検出することができる。プロセッサは、回路、素子、構成要素、サブシステム、及び共振器の動作点を解釈する及び調整するためのアルゴリズムを実施することができる。ワイヤレスで電力供給されるデバイスのインピーダンスマッチング、共振器、DC/DC変換器、DC/AC変換器、バッテリー充電ユニット、整流器などを調整するために、プロセッサが使用され得る。

【0328】

20

プロセッサは、他のデバイス又は供給源への無線または有線のデータ通信リンクを有することができる、システムの動作点を調整するために使用され得るデータを送受信することができる。単一の周波数における又は周波数範囲にわたる電力信号、電圧信号、及び電流信号の任意の組合せは、デバイス回路の任意の点で監視され得る。これら信号は、アナログ技術またはデジタル技術、又は組み合わされたアナログ及びデジタル技術を用いて監視され得る。これら監視される信号は、フィードバックループで使用されることができ、又は様々な既知の態様でユーザに伝えられることができ、又は格納されて後で検索され得る。これら信号を用いて、システムのユーザに故障を警告する、性能を示す、又は音声、視覚、振動などを提供し、システムのユーザにフィードバックすることができる。

【0329】

30

図40は、電力を単一又は複数のデバイスに供給するように構成された例示的な無線電力伝送システムの供給源電力および制御回路2302の構成要素を示す。例示的なシステムの供給源電力および制御回路2302は、家庭用コンセントのようなAC電圧源2502、バッテリー、コンピュータのUSBポート、太陽電池、別のワイヤレス電源などのようなDC電圧源から電力供給され得る。供給源電力および制御回路2302は、例えば10kHzより大きく且つ100MHz未満の周波数を有する交流電流で供給源共振器102Sを駆動することができる。供給源電力および制御回路2302は、10GHz未満の周波数の交流電流で供給源共振器102Sを駆動することができる。供給源電力および制御回路2302は、DC/DC変換器2408S、AC/DC変換器2408S、又はAC/DC変換器2408S及びDC/DC変換器2408S、発振器2508、電力増幅器2504、インピーダンスマッチング回路網2402Sなどを含むことができる。

40

【0330】

供給源電力および制御回路2302は、複数のAC又はDC電圧源2502から電力供給されることができ、必要な電圧レベルを回路構成要素に提供する、並びに供給源共振器を駆動するために使用され得る電力増幅器にDC電圧を提供するために、AC/DC及びDC/DC変換器2408Sを含むことができる。DC電圧は、調整可能とすることができ、電力増幅器の出力電力レベルを制御するために使用され得る。供給源は力率補正回路を含むことができる。

【0331】

発振器2508の出力は、供給源共振器102Sを駆動する電力増幅器2504に対す

50

る入力として使用され得る。発振器の周波数は、同調可能とすることができ、発振器信号の振幅は、電力増幅器からの出力電力レベルを制御するという意味で変更され得る。発振器信号の周波数、振幅、位相、波形、及びデューティサイクルは、アナログ回路により、デジタル回路により、又はアナログ及びデジタル回路の組合せにより制御され得る。制御回路は、マイクロプロセッサ、デジタルシグナルプロセッサ、フィールドプログラマブルゲートアレイのプロセッサなどのような、プロセッサ 2 4 1 0 S を含むことができる。

【 0 3 3 2 】

供給源共振器およびデバイス共振器のインピーダンスマッチングのブロック 2 4 0 2 は、電力を調整、並びに回路および供給源共振器およびデバイス共振器を制御するために使用され得る。例えば、これら回路のチューニングは、外部物体またはシステムの供給源とデバイスとの間の距離の変化に起因して、供給源共振器またはデバイス共振器の Q ファクタ Q の摂動を調整することができる。また、これら回路のチューニングは、動作環境を検出するために、1 つ又は複数のデバイスに流れる電力を制御するために、無線電力回路網への電力を制御するために、危険又は故障モードの条件が検出された場合に電力を低減するなどのために使用され得る。

【 0 3 3 3 】

電力信号、電圧信号、及び電流信号の任意の組合せは、供給源回路の任意の点で監視され得る。これら信号は、アナログ技術、又はデジタル技術、又は組み合わされたアナログ技術とデジタル技術を用いて監視され得る。これら監視される信号は、フィードバック回路で使用されることができ、又は様々な既知の態様でユーザに伝えられることができ、又は格納されて後で検索され得る。これら信号を用いて、ユーザにシステム故障を警告する、ユーザに安全性の限界値を超えていることを警告する、性能を示す、又は音声、視覚、振動などを提供し、システムのユーザにフィードバックすることができる。

【 0 3 3 4 】

供給源電力および制御回路は、プロセッサを含むことができる。プロセッサを用いて、電力および制御回路、及び供給源共振器の状態または動作点を読み出すことができる。プロセッサは、回路、素子、構成要素、サブシステム、及び共振器の動作点を解釈する及び調整するためのアルゴリズムを実施することができる。供給源のインピーダンスマッチング、共振器、DC / DC 変換器、AC / DC 変換器、発振器、電力増幅器などを調整するために、プロセッサが使用され得る。システムのプロセッサ及び調整可能な構成要素は、周波数および / または時間電力多重化供給の方式を実現するために使用され得る。プロセッサは、デバイス及び他の供給源への無線または有線のデータ通信リンクを有することができ、システムの動作点を調整するために使用され得るデータを送受信することができる。

【 0 3 3 5 】

詳細な及び特定の設計がこれらのブロック図に示されるが、当業者には明らかなように、コンポーネント及び構成要素の多くの様々な変形および再構成は、例示的なシステムの思想の範囲内にあることができる。回路の部分は、例証目的のために概略的に示され、当業者には明らかなように、各ブロックの構成要素は、より小さいブロックに更に分割、結合または共用されてもよい。同等の例において、電力および制御回路は、個々のディスクリット部品、又はより大きな集積回路から構成され得る。例えば、整流器回路は、ディスクリットのダイオードから構成されることができ、又は単一チップ上に集積されたダイオードを使用することができる。多数の他の回路および集積デバイスは、電力またはサイズ又はコスト又は用途のような設計基準に依存して、設計において置き換えられ得る。電力および制御回路の全部、又は供給源またはデバイス回路の任意の一部は、1 つのチップへと集積化され得る。

【 0 3 3 6 】

デバイス及び / 又は供給源のインピーダンスマッチング回路網は、コンデンサ又はコンデンサの回路網、インダクタ又はインダクタの回路網、或いはコンデンサ、インダクタ、ダイオード、スイッチ、抵抗などの任意の組合せを含むことができる。インピーダンスマ

ッチング回路網の構成要素は、調整可能および可変とすることができ、システムの効率および動作点に影響を及ぼすように制御され得る。インピーダンスマッチングは、共振器の接続点を制御することにより、磁性材料の透磁率を調整することにより、バイアス磁場を制御することにより、励起の周波数を調整することなどにより、実行され得る。インピーダンスマッチングは、任意の数または組合せのバラクタ、バラクタのアレイ、切り換えられる素子、コンデンサバンク、切り換えられて調整可能な素子、逆バイアスダイオード、空隙コンデンサ、圧縮コンデンサ、B Z T電気調整コンデンサ、M E M S調整可能コンデンサ、電圧可変誘電体、トランス結合されたチューニング回路などを使用する又は含むことができる。可変構成要素は、機械的に調整され、熱的に調整され、電氣的に調整され、圧電的に調整されるなどされ得る。インピーダンスマッチングの素子は、シリコンデバイス、窒化ガリウムデバイス、炭化ケイ素デバイスなどとすることができる。素子は、高い電流、高い電圧、高い電力、或いは電流、電圧および電力の任意の組合せに耐えるように選択され得る。素子は、高Q素子となるように選択され得る。

10

【0337】

供給源のマッチング及びチューニングの計算は、デバイスに電力供給するU S Bポートを介して外部デバイスで実行され得る。デバイスは、コンピュータ、P D A、又は他のコンピュータプラットフォームとすることができる。

【0338】

複数の電子消費者装置をワイヤレスで電力供給/再充電するために、デバイス共振器に結合された供給源共振器を使用した実演例は、以下に限定されないが、ラップトップコンピュータ、D V Dプレイヤー、プロジェクタ、携帯電話、ディスプレイ、テレビ、プロジェクタ、デジタルピクチャフレーム、ライト(照明)、T V / D V Dプレイヤー、携帯音楽プレイヤー、回路遮断器、ハンドヘルドツール、携帯情報端末、外部バッテリー充電器、マウス、キーボード、カメラ、能動負荷などを含む。様々なデバイスが単一のデバイス共振器から同時に電力供給され得る。デバイス共振器は、供給源共振器として同時に動作され得る。デバイス共振器に供給される電力は、その意図されたデバイス共振器に伝えられる前に、追加の共振器を通過することができる。

20

【0339】

監視、フィードバック及び制御

いわゆるポートパラメータ測定回路は、システムの特定の電力、電圧、及び電流信号を測定または監視することができ、プロセッサ又は制御回路は、それら測定値に基づいて特定の設定値または動作パラメータを調整することができる。これらポートパラメータの測定値に加えて、システムの全体にわたる電圧および電流信号の大きさ及び位相、並びに電力信号の大きさは、システム性能を測定または監視するためにアクセスされ得る。本明細書の全体にわたって言及される測定信号は、ポートパラメータの信号、並びに電圧信号、電流信号、電力信号などの任意の組合せとすることができる。これらパラメータは、アナログ又はデジタル信号を用いて測定されることができ、それらはサンプリング及び処理されることができ、それらは多数の既知のアナログ及びデジタル処理技術を用いてデジタル化または変換され得る。測定信号または監視信号は、フィードバック回路またはシステムで使用されて、共振器および/またはシステムの動作が制御され得る。一般に、本発明者は、これら監視信号または測定信号を、基準信号、又はポートパラメータ測定値または信号と呼ぶが、それらは時として、エラー信号、監視信号、フィードバック信号などとも呼ばれる。本発明者は、電圧制御コンデンサを駆動するために使用される電圧のような、回路素子を制御するために使用される信号を、制御信号と呼ぶ。

30

40

【0340】

場合によっては、回路素子が、供給源共振器およびデバイス共振器の規定の又は所定のインピーダンス値を達成するために調整され得る。別の場合では、インピーダンスは、デバイス共振器が電力消費装置(単数または複数)に接続された場合に、供給源共振器およびデバイス共振器の所望のインピーダンス値を達成するために調整され得る。別の場合では、インピーダンスは、共振周波数の変化、又は供給源共振器および/またはデバイス共

50

振器の移動に起因したインピーダンス又は電力レベルの変化、又は共振器の近傍における環境の変化（例えば、相互作用する材料または物体の移動など）を軽減するために調整され得る。別の場合では、供給源共振器およびデバイス共振器のインピーダンスは、異なるインピーダンス値に調整され得る。

【0341】

結合された共振器は、異なる材料から作成されることができ、異なる回路、構成要素、及び構造的な設計を含むことができ、又はそれらは同じとすることができる。結合された共振器は、性能監視および測定回路、信号処理および制御回路、又は測定および制御回路の組合せを含むことができる。高Q磁気共振器の幾つか又は全ては、調整可能なインピーダンス回路を含むことができる。高Q磁気共振器の幾つか又は全ては、自動的に制御される調整可能なインピーダンス回路を含むことができる。

10

【0342】

図41は、共振器の特定のパラメータを測定するように構成されたポートパラメータ測定回路3802を有する磁気共振器を示す。ポートパラメータ測定回路は、構造体の入力インピーダンス、又は反射電力を測定することができる。ポートパラメータ測定回路は、供給源および/またはデバイス共振器の設計に含められることができ、Sパラメータ（散乱パラメータ）、Zパラメータ（インピーダンスパラメータ）、Yパラメータ（アドミタンスパラメータ）、Tパラメータ（伝送パラメータ）、Hパラメータ（ハイブリッドパラメータ）、ABCDパラメータ（鎖、カスケード又は伝送パラメータ）などのような2ポート回路パラメータを測定するために使用され得る。これらパラメータは、様々なタイプの信号が印加される場合に、線形電気回路網の電氣的挙動を記述するために使用され得る。

20

【0343】

異なる動作状況または結合状況の下で電気回路網を特徴付けるために、異なるパラメータが使用され得る。例えば、Sパラメータは、マッチングされた及びマッチングされていない負荷を測定するために使用され得る。更に、磁気共振器内の及び/又は供給源およびデバイス自体内の電圧信号および電流信号の大きさ及び位相は、システム性能の情報を生成するために、様々な点で監視され得る。この情報は、光、読み上げ、ビーブ音、ノイズ、振動などのようなユーザインターフェースを介してシステムのユーザに提供され得るか、又はデジタル信号として提供され得るか、又はシステムのプロセッサに提供されてシステムの自動制御に使用され得る。この情報は、ログ記録され、格納されることができ、又はより高いレベルの監視および制御システムにより使用され得る。

30

【0344】

図42は、磁気共振器の回路図を示し、この場合、調整可能なインピーダンス回路網は、電圧制御コンデンサ3902又はコンデンサ回路網で実現され得る。係る具現化形態は、プログラム可能電圧源3908などのような電気回路および/またはコンピュータプロセッサにより、調整され、チューニングされ、又は制御され得る。例えば、電圧制御コンデンサは、ポートパラメータ測定回路3802により取得され、測定分析および制御アルゴリズムサブシステム3904により処理されたデータに応じて調整され得る。基準信号は、ポートパラメータ測定回路または所望のシステム動作点からの偏移の程度を測定するように設計された他の監視回路から導出され得る。測定された基準信号は、システムの1つ又は幾つかの点における、及び単一の周波数または複数の周波数における電圧、電流、複素インピーダンス、反射係数、電力レベルなどを含むことができる。

40

【0345】

基準信号は、調整可能インピーダンスマッチング回路網の様々な構成要素の値を変更するための制御信号を生成することができる、測定値分析および制御アルゴリズムサブシステムモジュールに供給される。制御信号は、共振周波数および/または磁気共振器の入力インピーダンス、又は供給源により供給される電力レベル、又はデバイスにより引き出される電力レベルを変更して、電源/電力発生装置と電力ドレイン/負荷との間の所望の電力交換を達成することができる。

50

【 0 3 4 6 】

調整アルゴリズムを用いて、磁気共振器の周波数および／またはインピーダンスを調整することができる。アルゴリズムは、システムの所望の動作点および出力補正からの偏移の程度に関連した基準信号、又は所望の動作点（単数または複数）の方へシステムを戻すためにシステムの可変または調整可能素子を制御するその偏移に関連した制御信号を取り込むことができる。共振器が無線電力送信システムにおいて電力を交換している間に、磁気共振器の基準信号が取得され得るか、又はそれらはシステム動作中に回路から切り換えられ得る。システムに対する補正は、閾値を超える際に、デジタル的に、アナログ方法などを用いて、連続的に、周期的に適用または実行され得る。

【 0 3 4 7 】

図 4 3 は、エンドツーエンド無線電力送信システムを示す。供給源およびデバイスは、ポート測定回路 3 8 0 2 およびプロセッサ 2 4 1 0 を含むことができる。「カプラー／スイッチ」と表示されたボックス 4 0 0 2 は、ポート測定回路 3 8 0 2 が方向性カプラー又はスイッチにより共振器 1 0 2 に接続され、供給源共振器およびデバイス共振器の測定、調整、及び制御が、電力伝送の機能と共に、又は係る機能から離れて行われることを可能にすることを示す。

【 0 3 4 8 】

ポートパラメータ測定および／または処理回路は、システムの幾つかの、任意の、又は全ての共振器と共に存在することができる。ポートパラメータ測定回路は、供給源／デバイス共振器の応答（即ち、システムの任意の 2 つのポート間の伝送および反射）を測定するために、電力送信信号の一部を利用することができ、又は周波数の範囲にわたって励起信号を利用することができ、振幅および／または位相情報を含むことができる。係る測定は、掃引信号周波数の信号で、又は多重周波数信号で達成され得る。共振器および無線電力送信システムを測定および監視するために使用される信号は、プロセッサ（単数または複数）及び標準入出力（I/O）回路により生成されることができ、係る標準入出力（I/O）回路は、デジタル／アナログ変換器（DAC）、アナログ／デジタル変換器（ADC）、増幅器、信号生成チップ、受動素子などを含む。測定は、ネットワーク分析器のような試験装置を用いて、又は専用回路を用いて達成され得る。測定された基準信号は、ADCによりデジタル化され、コンピュータ、マイクロプロセッサ、DSPチップ、ASICなどで実行する専用アルゴリズムを用いて処理され得る。測定された基準信号は、アナログ制御ループで処理されてもよい。

【 0 3 4 9 】

測定回路は、Sパラメータ、Yパラメータ、Zパラメータ、Hパラメータ、Gパラメータ、Tパラメータ、ABCDパラメータなどのような、2つのポートパラメータの任意の組を測定することができる。測定回路は、駆動回路および共振器回路の様々な点での電流および電圧信号、システムの対向する端部（即ちデバイスに向かって供給源共振器のマッチング回路（図 4 3 の「ポート 1」）を調査する及びその逆もまた同じ）における供給源共振器およびデバイス共振器のインピーダンス及び／又はアドミタンスの特性を表すために使用され得る。

【 0 3 5 0 】

デバイスは、関連した信号および／またはポートパラメータを測定し、測定データを解釈し、供給源の動作とは無関係に、結合されたシステムを調査してインピーダンスを最適化するためにそのマッチング回路網を調整することができる。供給源は、関連したポートパラメータを測定し、測定データを解釈し、デバイスの動作とは無関係に、結合されたシステムを調査してインピーダンスを最適化するためにそのマッチング回路網を調整することができる。

【 0 3 5 1 】

図 4 3 は、無線電力送信システムにおける供給源およびデバイスのブロック図を示す。システムは、結合されたシステムでの性能を最適化するために、供給源共振器およびデバイス共振器の何れか又は双方のチューニング／マッチング回路網を能動的に調整する制御

10

20

30

40

50

アルゴリズムを実行するように構成され得る。ポート測定回路 3802S は、供給源の信号を測定し、これら信号をプロセッサ 2410 に伝える。プロセッサ 2410 は、測定された信号を性能最適化または安定化アルゴリズムで使用し、これらアルゴリズムの出力に基づいて制御信号を生成することができる。制御信号は、チューニング/インピーダンスマッチング回路 2402S の可変回路素子に印加されて、共振器の電力およびデバイスに対する結合のような、供給源の動作特性を調整することができる。制御信号は、電源または電力発生装置に印加されて、供給をオン又はオフする、電力レベルを増減する、供給信号を変調するなどすることができる。

【0352】

供給源とデバイスとの間で交換される電力は、様々な要因に依存する可能性がある。これら要因には、供給源およびデバイスの実効インピーダンス、供給源およびデバイスの Q、供給源およびデバイスの共振周波数、供給源とデバイスとの間の距離、供給源およびデバイスの近傍の材料および物体の相互作用などが含まれ得る。ポート測定回路および処理アルゴリズムは、動的状態および定常状態の動作条件下で、一致協力して共振器パラメータを調整して、電力伝送を最大化する、電力伝送を一定に保持する、電力伝送を制御可能に調整するなどすることができる。

【0353】

システムの具現化形態における供給源およびデバイスの幾つか、又は全ては、ポート測定回路 3802S 及び処理 2410 能力を含む、又はそれらのどれも係るポート測定回路 3802S 及び処理 2410 能力を含まなくてもよい。図 44 は、供給源 102S だけがポート測定回路 3802 及びプロセッサ 2410S を含む、エンドツーエンド無線電力送信システムを示す。この場合、デバイス共振器 102D の動作特性は、固定され得るか、又はアナログ制御回路により、且つプロセッサにより生成された制御信号を必要とせずに調整され得る。

【0354】

図 45 は、エンドツーエンド無線電力送信システムを示す。供給源およびデバイスは、ポート測定回路 3802 を含むが、図 45 のシステムにおいて、供給源のみがプロセッサ 2410S を含む。供給源およびデバイスは、互いに通信して、特定のシステムパラメータの調整は、供給源とデバイスとの間の無線通信回路 4202 を介してのように、ワイヤレスで伝えられた制御信号に応答することができる。無線通信チャネル 4204 は、無線電力伝送チャネル 4208 から分離され得るか、又は同じとすることができる。即ち、電力交換に使用される共振器 102 は、情報交換にも使用され得る。場合によっては、情報は、構成要素、供給源またはデバイス回路を変調し、ポートパラメータ又は他の監視装置でその変化を検知することにより交換され得る。

【0355】

供給源のみがプロセッサ 2410 を含む具現化形態は、供給源がチューニング及び調整の全ての「決定」を処理し、デバイス（単数または複数）に制御信号を単に戻すように伝えることができるマルチデバイスシステムに有用であるかもしれない。この具現化形態は、デバイスのプロセッサの必要性を取り除き、又は係るプロセッサの必要な機能を低減することができるので、デバイスをより小さく且つより安くすることができる。各デバイスにおける各ポート測定からのデータセットの一部または全部は、分析のために供給源のマикроプロセッサに返信されることができ、制御命令は、デバイスに返信され得る。これら通信は、無線通信とすることができる。

【0356】

図 46 は、エンドツーエンド無線電力送信システムを示す。この例において、供給源だけが、ポート測定回路 3802 及びプロセッサ 2410S を含む。供給源およびデバイスは、無線通信回路 4202 を介してのように、互いに通信することができ、特定のシステムパラメータの調整は、供給源とデバイスとの間でワイヤレスで伝えられた制御信号に応答することができる。

【0357】

10

20

30

40

50

図 4 7 は、周波数およびインピーダンスがプロセッサ又はコンピュータを用いて自動的に調整され得る、結合された電磁共振器 1 0 2 を示す。供給源共振器およびデバイス共振器の共振周波数のチューニング及び連続したインピーダンス調整は、図 4 7 の C 1、C 2、C 3 として示されたコンデンサ回路網内に包含された逆バイアスダイオード、ショットキーダイオード、及び / 又はバラクタ素子で実現され得る。本明細書で構築および実証された、及び説明された回路接続形態は、例示であり、自動システムチューニング及び制御の説明を制限することは決して意図されていない。他の回路接続形態が、本明細書で説明された測定および制御のアーキテクチャで利用され得る。

【 0 3 5 8 】

デバイス共振器および供給源共振器のインピーダンス及び共振周波数は、Lab View (登録商標) 4 4 0 4 のようなコントローラで実現された、ネットワーク分析器 4 4 0 2 A、4 4 0 2 B で、又は上述した他の手段により測定され得る。測定回路または装置は、フィードバックアルゴリズムを実現する、及びプログラム可能 D C 電圧源を介して周波数およびインピーダンスを動的に調整するコンピュータ又はプロセッサにデータを出力することができる。

10

【 0 3 5 9 】

一構成において、逆バイアスされたダイオード (ショットキー、半導体接合部など) は、非常に少ない D C 電流を引き出す調整可能コンデンサを実現するために使用され、大きな直列出力抵抗を有する増幅器により逆バイアスされ得る。この具現化形態は、磁気共振器の非常に高い Q を維持しながら、D C 制御信号が共振器回路の制御可能な回路素子に直接的に印加されることを可能にすることができる。

20

【 0 3 6 0 】

図 4 7 に示されるように、必要な D C バイアス電圧が異なる場合に、C 2 バイアス信号は、D C 阻止コンデンサで C 1 及び / 又は C 3 バイアス信号から絶縁され得る。バイアス増幅器の出力は、バイアス増幅器からの R F 電圧を絶縁するために回路接地にバイパスされ、基本でない R F 電圧が共振器へ導入されることを避けることができる。幾つかのコンデンサに対する逆バイアス電圧は、代わりに共振器自体の誘導性素子を介して印加されてもよく、その理由は誘導性素子が D C において短絡として働くからである。

【 0 3 6 1 】

ポートパラメータ測定回路は、共振周波数、入力インピーダンス、共振器により蓄積または捕捉されるエネルギー、或いは供給源により伝えられる又はデバイス負荷に伝えられる電力を自動的に調整するために使用されるフィードバック又は制御システムの一部として、プロセッサ (任意の必要な A D C 及び D A C を含む) と信号を交換することができる。また、プロセッサは、磁気共振器内の、又は磁気共振器に取り付けられたチューニング回路または調整回路に制御信号を送信することができる。

30

【 0 3 6 2 】

調整可能なコンデンサとしてバラクタ又はダイオードを利用する場合、チューニング / マッチング回路において高い逆バイアス電圧で動作する調整可能なコンデンサに並列および直列に固定コンデンサを配置することが有利であるかもしれない。この構成は、回路およびシステムの安定性の改善、及び調整可能なコンデンサの動作電圧を最適化することにより電力処理能力の改善をもたらすことができる。

40

【 0 3 6 3 】

バラクタ又は他の逆バイアスダイオードは、電圧制御コンデンサとして使用され得る。バラクタのアレイは、より高い電圧適合性または異なるキャパシタンスが単一のバラクタ構成要素のもの以外に必要とされる場合に、使用され得る。バラクタは、直列に、及び並列に接続された $N \times M$ アレイで構成され、アレイの個々のバラクタとは異なる特性を有する単一の 2 端子構成要素として扱われ得る。例えば、各行の構成要素が並列に接続され、各列の構成要素が直列に接続された同等のバラクタからなる $N \times M$ アレイは、アレイにおける任意の単一のバラクタと同じキャパシタンスを有する 2 端子デバイスとして使用され得るが、電圧適合性は、アレイにおける単一のバラクタの N 倍である。アレイにおける個

50

々のパラクタのパラメータに関するばらつき及び差異に応じて、抵抗、インダクタなどからなる追加のバイアス回路が必要とされるかもしれない。磁気共振器の用途に適することができる、バイアスされていないパラクタの 4×4 アレイ 4502 の回路図が、図 48 に示される。

【0364】

システム性能の更なる改善は、調整可能な（パラクタ/ダイオード/コンデンサ）素子と並列に及び/又は直列に配置される固定値のコンデンサ（単数または複数）の慎重な選択により実現され得る。回路の出入りを切り換えられる複数の固定コンデンサは、試験、開発、及び稼働中の無線電力伝送システムで遭遇するかもしれない共振器の Q、インピーダンス、共振周波数、電力レベル、結合強度などの変化を補償することができる。切り換えられるコンデンサバンク及び他の切り換えられる素子バンクは、システム設計により必要とされる動作周波数およびインピーダンス値に収束することを確実にするために使用され得る。

【0365】

分離された及び結合された磁気共振器の例示的な制御アルゴリズムは、図 47 に示された回路およびシステムの素子に関して説明され得る。制御アルゴリズムは最初、供給源共振器およびデバイス共振器のループのそれぞれを「分離して」、即ちシステムの他の共振器がシステムから「短絡された」又は「取り外された」状態で、調整する。事実上、共振器は、例えば C1 及び/又は C3 の値を最大化することにより、非常に低い周波数で共振させることにより、「短絡され」得る。このステップは、共振器間の結合を実質的に低減し、それにより特定の周波数およびインピーダンスにおいてシステムを単一の共振器に実質的に低減する。

【0366】

分離して磁気共振器をチューニングすることは、ポートパラメータ測定回路により測定された値がそれらの所定の相対値、計算された相対値、または測定された相対値になるまで、チューニング及びマッチング回路の調整可能な素子を変更することを含む。ポートパラメータ測定回路により測定された量の所望の値は、所望のマッチングインピーダンス、周波数、強い結合パラメータなどに基づいて選択され得る。以下で開示される例示的なアルゴリズムの場合、ポートパラメータ測定回路は、周波数の範囲にわたって S パラメータを測定する。共振器の特性を表すために使用される周波数の範囲は、得られるシステム性能情報と計算/測定速度との間の折衷したものとするすることができる。以下で説明されるアルゴリズムの場合、周波数範囲は、動作共振周波数の約 $\pm 20\%$ とすることができる。

【0367】

各分離された共振器は、以下のようにチューニングされ得る。最初に、調整されない共振器を短絡する。次に、特徴付けられている及び調整されている共振器の C1、C2、及び C3 を最小化する。ほとんどの場合、C1、C2、及び C3 に並列に接続された固定回路素子が存在し、そのためこのステップはキャパシタンス値をゼロまで低減しない。次に、上述した測定周波数の範囲の任意の周波数において、共振器のインピーダンスが「目標（ターゲット）」の実インピーダンスにマッチングされるまで、C2 を増加させることを開始する。最初の「目標」インピーダンスは、結合されたシステムの予想される動作インピーダンス未満とすることができる。

【0368】

C2 は、最初の「目標」インピーダンスが測定範囲の周波数に対して実現されるまで調整され得る。次いで、C1 及び/又は C3 は、ループが所望の動作周波数で共振するまで調整され得る。

【0369】

各共振器は、上記のアルゴリズムに従って調整され得る。分離して各共振器をチューニングした後、第 2 のフィードバックアルゴリズムが適用されて、結合されたシステムにおける無線送信電力に対して共振周波数および/または入力インピーダンスが最適化され得る。

【 0 3 7 0 】

結合されたシステムにおける各共振器の C 1 及び / 又は C 2 及び / 又は C 3 に対する必要な調整は、図 4 3 に示された何れかの「ポート（単数または複数）」及び / 又は双方の「ポート（単数または複数）」から入力インピーダンスの実数部および虚数部の値を測定および処理することにより求められ得る。結合された共振器の場合、1 つの共振器の入力インピーダンスの変更は、他の共振器の入力インピーダンスを変更することができる。制御および追跡アルゴリズムは、1 つのポートの測定値に基づいて所望の動作点までそのポートを調整することができ、次いで他のポートの測定値に基づいて係る他のポートを調整することができる。これらステップは、両側が所望の動作点に収束するまで繰り返され得る。

10

【 0 3 7 1 】

S パラメータが供給源のポート及びデバイスのポートで測定され、次の一連の測定および調整が行われ得る。以下の説明において、 Z_0 は入力インピーダンスであり、目標インピーダンスとすることができる。場合によっては、 Z_0 は 50 オーム、又はほぼ 50 オームである。 Z_1 及び Z_2 は、 Z_0 と同じ値とすることができるか、又は Z_0 と異なることができる中間インピーダンス値である。 $\text{Re}\{\text{値}\}$ は、値の実数部を意味し、 $\text{Im}\{\text{値}\}$ は値の虚数部を意味する。

【 0 3 7 2 】

2 つの結合された共振器の入力インピーダンス及び共振周波数を調整するために使用され得るアルゴリズムは以下に記載される。即ち、

20

- 1) Adjust each resonator "in isolation" as described above.
- 2) Adjust source C1/C3 until, at ω_0 , $\text{Re}\{S_{11}\} = (Z_1 + / - \text{Re})$ as follows:
 - If $\text{Re}\{S_{11} @ \omega_0\} > (Z_1 + \text{Re})$, decrease C1/C3. If $\text{Re}\{S_{11} @ \omega_0\} < (Z_0 - \text{Re})$, increase C1/C3.
- 3) Adjust source C2 until, at ω_0 , $\text{Im}\{S_{11}\} = (+/- \text{Im})$ as follows:
 - If $\text{Im}\{S_{11} @ \omega_0\} > \text{Im}$, decrease C2. If $\text{Im}\{S_{11} @ \omega_0\} < - \text{Im}$, increase C2.
- 4) Adjust device C1/C3 until, at ω_0 , $\text{Re}\{S_{22}\} = (Z_2 + / - \text{Re})$ as follows:
 - If $\text{Re}\{S_{22} @ \omega_0\} > (Z_2 + \text{Re})$, decrease C1/C3. If $\text{Re}\{S_{22} @ \omega_0\} < (Z_0 - \text{Re})$, increase C1/C3.
- 5) Adjust device C2 until, at ω_0 , $\text{Im}\{S_{22}\} = 0$ as follows:
 - If $\text{Im}\{S_{22} @ \omega_0\} > \text{Im}$, decrease C2. If $\text{Im}\{S_{22} @ \omega_0\} < - \text{Im}$, increase C2.

30

【 0 3 7 3 】

本発明者は、 $(\text{Re}\{S_{11}\}, \text{Im}\{S_{11}\})$ 及び $(\text{Re}\{S_{22}\}, \text{Im}\{S_{22}\})$ が、 ω_0 において、 $(Z_0 + / - \text{Re})$ 、 $(+ / - \text{Im})$ に収束するまで、ステップ 1 ~ 4 を繰り返すことにより、実際に役立つシステムを達成した。この場合、 Z_0 は所望のマッチングインピーダンスであり、 ω_0 は所望の動作周波数である。ここで、 Im は、 ω_0 において 0 の所望の値からの虚数部の最大の偏移（偏差）を表し、 Re は Z_0 の所望の値からの実数部の最大の偏移を表す。理解されるべきは、 Im と Re は、システム性能の可能なコスト（効率）において、収束までのステップの数を増減するために調整され得る。また、理解されるべきは、ステップ 1 ~ 4 は様々なシーケンスで、及び上記で概説されたもの以外の様々な方法（即ち、最初に供給源の虚数部を調整し、次いで供給源の実数部、又は最初にデバイスの実数部を調整し、次いでデバイスの虚数部など）で実行され得る。中間インピーダンス Z_1 及び Z_2 は、収束するために必要なステップの数を低減するために、ステップ 1 ~ 4 の間に調整され得る。所望の又は目標のインピーダンス値は、複素数とすることができ、時間的に、又は異なる動作状況の下で変化してもよい。

40

【 0 3 7 4 】

ステップ 1 ~ 4 は、任意の順序で、任意の組み合わせで、及び任意の回数で実行され得る。説明した上記のアルゴリズムに関して、ステップ又は説明された具現化形態に対する

50

変形形態は、当業者には明らかになるであろう。上記で概説されたアルゴリズムは、任意の同等の線形回路網のポートパラメータ測定（即ち、Zパラメータ、Yパラメータ、Tパラメータ、Hパラメータ、ABCDパラメータなど）で、又は上述された他の監視信号をもって実現されることができ、同様に代案としてインピーダンス又はアドミタンスが、同じ結果を導出するために線形回路を分析するために使用され得る。

【0375】

共振器は、供給源共振器とデバイス共振器との間の相互インダクタンスM（結合）の変化により生じる、「負荷をかけられた（ロードド）」抵抗 R_s 及び R_d の変化に起因して、再チューニングされる必要があるかもしれない。誘導性素子自体のインダクタンス L_s 及び L_d の変化は、前述したように外部物体の影響により生じる可能性があり、また補償を必要とするかもしれない。係る変動は、上述された調整アルゴリズムにより軽減され得る。

10

【0376】

方向性カプラー又はスイッチを用いて、ポートパラメータ測定回路を供給源共振器およびチューニング／調整回路に接続することができる。ポートパラメータ測定回路は、磁気共振器の特性を測定することができる限り、それは無線電力送信システムの交換電力であり、又はポートパラメータ測定回路はシステム動作中に回路から外へ切り換えられ得る。ポートパラメータ測定回路はパラメータを測定することができ、プロセッサは、起動時に、又は特定の間隔で、或いは特定のシステム動作パラメータの変化に応じて、磁気共振器の特定の調整可能な素子を制御することができる。

20

【0377】

無線電力送信システムは、供給源共振器およびデバイス共振器のインピーダンス及び／又は共振周波数を変更または調整するための回路を含むことができる。留意すべきは、チューニング回路が供給源共振器およびデバイス共振器に示されているが、回路は代わりに、供給源共振器またはデバイス共振器のみに含まれてもよく、又は回路は、供給源共振器および／またはデバイス共振器の幾つかのみに含まれてもよい。また、留意すべきは、本発明者は、回路が共振器のインピーダンス及び／又は共振周波数を「チューニング」と言っているが、このチューニング動作は、構造体のインダクタンス又はキャパシタンスのような様々な電気パラメータが変動していることを単に意味する。場合によっては、これらパラメータは、特定の所定値を達成するために変更されることができ、別の場合は、それらは、制御アルゴリズムに応答して、又は変化している目標の性能値を安定化するために変更され得る。場合によっては、パラメータは、環境の温度、領域内の他の供給源またはデバイスの温度などの関数として変更される。

30

【0378】

応用形態

各列挙される応用形態に関して、当業者には理解されるように、無線電力送信を可能にするために使用される共振器構造体が、給電している又は電力供給されている物体と接続または一体化され得る様々な態様が存在する。共振器は、供給源の物体およびデバイスの物体から物理的に分離され得る。共振器は、従来の誘導性技術を用いて、又は例えばワイヤ又はケーブルを用いた直接的な電気接続を介して、物体に給電する又は物体から電力を取り出すことができる。電気接続は、共振器出力から物体のAC又はDC電力入力ポートまでとすることができる。電気接続は、物体の出力電力ポートから共振器ユニットまでとすることができる。

40

【0379】

図49は、電源から物理的に分離されている供給源共振器4904、及びこの例においてラップトップコンピュータであるデバイス4900から物理的に分離されているデバイス共振器4902を示す。電力は、供給源共振器に供給されることができ、電力は、電気接続により、直接的にデバイス共振器から引き出され得る。当業者ならば参照により組み込まれる資料から理解されるように、上記の共振器の形状、サイズ、材料組成、構成、位置、及び位置関係が、制限しない例として提供されており、これらパラメータの任意また

50

は全てにおける幅広いバリエーションは、様々な応用形態に関して開示された技術によりサポートされ得る。

【0380】

制限せずに、ラップトップコンピュータの例を続けると、デバイス共振器は、それが電力供給する又は充電するデバイスに物理的に接続され得る。例えば、図50の(a)及び(b)に示されるように、デバイス共振器5002は、a)デバイス5000ハウジングに組み込まれ得るか、又はb)それはアダプターにより取り付けられ得る。共振器5002は、デバイス上で見ることができる(図50の(b)~(d))か、又は見ることができない(図50の(a))。共振器はデバイスに固定され得るか、デバイスに組み込まれ得るか、デバイスにプラグ接続されるなどされ得る。

10

【0381】

供給源共振器は、システムに電力を供給する供給源に物理的に接続され得る。デバイス及びデバイス共振器に関して上述されたように、共振器が電源に取り付けられ得る、接続され得る、又は一体化され得る様々な態様が存在する。当業者ならば理解されるように、共振器が無線電力送信システムに組み込まれることができ、供給源およびデバイスが類似した又は異なる組み込み技術を利用することができる様々な態様が存在する。

【0382】

制限せずに、ラップトップコンピュータの例を続けると、ラップトップコンピュータは、無線電力送信システムにより電力供給、充電、又は再充電され得る。供給源共振器は無線電力を供給するために使用され、デバイス共振器は無線電力を捕捉するために使用され得る。デバイス共振器5002は、図50の(d)に示されるように画面(ディスプレイ)の縁部に、及び/又は図50の(c)に示されるようにラップトップコンピュータの基部に組み込まれ得る。供給源共振器5002は、ラップトップコンピュータの基部に組み込まれることができ、デバイス共振器は画面の縁部に組み込まれ得る。また又は代わりとして、共振器は、電源および/またはラップトップコンピュータに取り付けられ得る。また又は代わりとして、供給源共振器およびデバイス共振器は、電源およびラップトップコンピュータから物理的に分離され、ケーブルにより電気接続され得る。また又は代わりとして、供給源共振器およびデバイス共振器は、電源およびラップトップコンピュータから物理的に分離され、従来の誘導的技術を用いて電気結合され得る。当業者には理解されるように、前述の例は、ラップトップコンピュータに対する無線電力送信に係るが、この応用形態に関して開示された方法およびシステムは、他の電気または電子デバイスと使用するために適切に適合され得る。一般に、供給源共振器は、供給源の外部にあり、デバイスに電力を供給するデバイス共振器に電力を供給することができ、又は供給源共振器は供給源に接続され、デバイスの一部に電力を供給するデバイス共振器に電力を供給することができ、又は供給源共振器は、供給源の内部にあり、デバイスの一部に電力を供給するデバイス共振器に電力を供給することができ、並びにこれらの任意の組合せである。

20

30

【0383】

本明細書で開示されたシステム又は方法は、以下に限定されないが、電話、携帯電話、コードレス電話、スマートフォン、PDA、オーディオ装置、音楽プレイヤー、MP3プレイヤー、ラジオ、携帯型ラジオ及びプレイヤー、ワイヤレスヘッドフォン、ワイヤレスヘッドセット、コンピュータ、ラップトップコンピュータ、ワイヤレスキーボード、ワイヤレスマウス、テレビ、ディスプレイ、平面ディスプレイ、コンピュータディスプレイ、家具に埋め込まれたディスプレイ、デジタルピクチャフレーム、電子書籍(例えば、Kindle(登録商標)、電子インク書籍、雑誌など)、遠隔制御ユニット(コントローラ、ゲームコントローラ、リモコン、クリッカ等とも呼ばれ、テレビ、ビデオゲーム、ディスプレイ、コンピュータ、視聴覚装置、照明などのような複数の電子機器装置の遠隔制御のために使用される)、照明装置、冷却装置、空気循環装置、浄化装置、補聴器、動力工具、セキュリティシステム、アラーム、ベル、閃光灯、サイレン、センサ、拡声器、電子ロック、電子キーパッド、照明スイッチ、他の電気スイッチなどのような電気または電子デバイスに電力を提供することができる。ここで、用語の電子ロックは、機械的なキーロックの代わり

40

50

にドアに配置される電子的に動作する（例えば、電子コンボキー、磁気カード、RFIDカードなどを用いて）ドアロックを示すために使用される。係るロックは、バッテリー動作される場合が多く、バッテリーが消耗した場合に、ロックが動作を止める可能性の危険にさらされ、ユーザが締め出されたままになる。これは、バッテリーが、本明細書で説明されたような無線電力送信の具現化形態により充電または完全に置き換えられる場合に、回避され得る。

【0384】

ここで、用語の照明スイッチ（又は他の電気スイッチ）は、部屋の別の部分のデバイス（例えば、天井の中央にある照明器具）をオン/オフする、部屋の一部の任意のスイッチ（例えば、部屋の壁上の）を示すことが意図されている。係るスイッチを直接的な接続により設置するために、デバイスからスイッチまでどこでもワイヤを延ばす必要がある。ひとたび係るスイッチが特定の場所に設置されると、それは移動するのが非常に困難である。代わりに、「ワイヤレススイッチ」を想定することができ、この場合、「ワイヤレス」は、スイッチング（オン/オフ）コマンドがワイヤレスで伝えられるが、係るスイッチが従来のように、動作のために電池（バッテリー）を必要とすることを意味する。一般に、家の周りに非常に多くの電池式スイッチを有することは、これら多くの電池が定期的に交換される必要があるので、实际的でない。そのため、ワイヤレス通信スイッチがワイヤレスで電力供給もされる場合、ワイヤレス通信スイッチが非常に好都合である。例えば、電池式である通信用ワイヤレス呼び鈴が既に存在するが、それらの電池を定期的に交換することが依然として必要とされている。遠隔の呼び鈴ボタンは、完全にワイヤレスになるように作成されることができ、この場合、電池を再び交換することは永久に必要な。留意すべきは、ここで、用語「コードレス」又は「ワイヤレス（無線）」又は「通信用ワイヤレス」は、デバイスと別の電気コンポーネント（例えば、コードレス電話の基地局、ワイヤレスキーボードのコンピュータなど）との間にコードレス又はワイヤレス通信設備が存在することを示すために使用される。当業者ならば認識されるように、任意の電気または電子機器装置は、ワイヤレス通信設備を含み、本明細書で説明されたシステム及び方法を用いて、当該装置に無線電力送信を追加することができる。本明細書で説明されたように、電気または電子機器装置への電力は、外部または内部供給源共振器から、当該装置または当該装置の一部に伝えられ得る。無線電力送信は、供給源共振器のほぼ近傍に入る装置（デバイス）のバッテリー（電池）を充電および/または交換する必要性を大幅に低減することができ、これによりバッテリーに関連することが多い休止時間、コスト、及び廃棄の問題が低減され得る。

【0385】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、有線の電源またはバッテリーを必要とせずに、照明に電力を供給することができる。即ち、本明細書で説明されたシステム及び方法は、任意の電源に対する有線接続なしで電力を照明に供給することができ、1/4メートル、1メートル、3メートルなどの距離にわたってのように、中距離にわたって非放射的に照明にエネルギーを供給することができる。本明細書で使用される「照明」は、白熱電球、蛍光電球ランプ、ハロゲンランプ、ガス放電灯、蛍光灯、ネオン放電灯、高輝度放電ランプ、ナトリウム灯、水銀灯、エレクトロルミネセントランプ、発光ダイオード（LED）ランプなどのような光源自体、又は電気スタンド、フロアランプ、天井灯、レール式可動照明、埋め込み式ライトの器具のような照明器具の一部としての照明、又はライト/天井送風器具、及び照明付き額縁などのような他の機能と一体化された照明器具を意味する。そのようなものとして、本明細書で説明されたシステム及び方法は、例えば電気配線の設置を最小限にし、ユーザが有線の電力の供給源に最小限に関連して照明を配置または取り付けを可能にすることにより、照明を設置するための複雑性を低減することができる。例えば、照明は、供給源共振器の近傍のどこにでも配置されることができ、この場合、供給源共振器は、部屋の上の床に（例えば、特に部屋の上が屋根裏部屋である場合に天井灯の場合のように）、隣の部屋の壁に、部屋の下天井に（例えば、フロアランプの場合のように）、又は本明細書で説明されたように部屋内の装置に又は部屋のインフ

10

20

30

40

50

ラになどのような、照明の場所に対して複数の異なる場所に取り付けられ得る。例えば、ライト／天井送風器の組合せは、主寝室に設置されることが多く、主寝室はその上に屋根裏部屋を有することが多い。この場合、ユーザは、例えばライト／天井送風器の組合せを単に天井に取り付け、取り付けられた器具の上の屋根裏部屋に供給源コイル（家の有線ＡＣ電源にプラグ接続された）を配置することにより、主寝室にライト／天井送風器の組合せをより容易に設置することができる。別の例において、照明は、フラッドライト又は保安灯のような外部ライトとすることができ、供給源共振器は、構造体の内部に取り付けられる。この照明の設置の態様は特に、家を賃借するユーザに有用であり、その理由は、今ユーザが新たな電気配線を設置する必要なしに照明および係る他の電気装置を取り付けることができるからである。また、照明の制御は、本明細書で説明されたような近接場通信により、又は従来のワイヤレス通信方法により伝えられ得る。

10

【０３８６】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、デバイスの構成要素に組み込まれた、又はデバイスの構成要素の外側にあるデバイス共振器に供給源共振器から電力を供給することができ、そのため、デバイスの構成要素は、従来の電気構成要素または取付具とすることができる。例えば、天井灯は、デバイス共振器が取付具に組み込まれた状態で設計または係る状態に改造されることができ、或いは天井灯は、従来の配線された取付具とすることができ、デバイス共振器を備えた別個の電気設備にプラグ接続され得る。一例において、電気設備は、例えば部屋の上（例えば、屋根裏部屋）の床に配置された供給源共振器から無線電力を受け取るためにデバイス共振器を有するように設計されたワイヤレス接続箱とすることができ、係る箱は、デバイス共振器から電力供給される多数の従来のコンセントを含む。これで、天井の上に取り付けられたワイヤレス接続箱は、天井の従来の配線された電気構成要素（例えば、天井灯、レール式可動照明、天井ファン）に電力を供給することができる。かくして、天井灯は、建物のインフラを介してワイヤを延ばす必要なしに、天井に取り付けられ得る。従来のコンセント接続箱用のこのタイプのデバイス共振器は、建物の室内または外装のために設計される、携帯型にするために設計される、車両のために作成されることなどを含む、複数の応用形態で使用され得る。無線電力は、木材、板壁、断熱材、ガラス、レンガ、石、コンクリートなどのような一般的な建築材料を通して伝送され得る。低減された設置コスト、再構成の可能性、及び増大した適用の柔軟性の利点は、従来の配線による設置よりも優れた顕著な利点をユーザに提供することができる。従来のコンセント接続箱用のデバイス共振器は、効率的な電力伝送を実現するのに必要な特定の周波数を線間電圧に変換する電源電子機器、高い周波数のＡＣを使用可能な電圧および周波数（ＡＣ及び／又はＤＣ）に変換することができる電力捕捉電子機器、電力捕捉装置と電力出力を同期させ且つ一貫性、安全性、及び最大の効率的な電力伝送などを保証する制御装置のような、デバイス共振器から従来のコンセントへの電力伝送を容易にするための複数の電気構成要素を含むことができる。

20

30

【０３８７】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、屋外にあり雨にさらされる、プール／サウナ／シャワーにおいて、海事用途において、気密封止された構成要素内において、防爆室内において、屋外看板に、揮発性な環境における苛酷な産業環境（例えば、穀物サイロ又は製パン所においてのような、揮発性蒸気または空中の有機体から）などのような、濡れる、苛酷な、管理されるなどの環境において動作する照明または電気構成要素に利点を提供することができる。例えば、プールの水位の下に取り付けられた照明は一般に、配線をつなぐことが困難であり、外部ワイヤの必要性にも関わらず、水で密閉される必要がある。しかし、本明細書で開示された原理を使用するプール照明は、外部ワイヤが必要とされないの、より容易に水で密閉され得る。別の例において、揮発性蒸気を含むような、防爆室は、気密封止される必要があることのみならず、全ての電気コンタクト（火花を生じる可能性がある）もシールされる必要がある。やはり、本明細書で開示された原理は、係る応用形態に対してシールされた電気構成要素を供給するための好都合な方法を提供することができる。

40

50

【0388】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、遠隔の手持ち式ゲームコントローラのような、ゲームコントローラの応用形態に電力を供給することができる。これらゲームコントローラは従来、バッテリーだけにより電力供給されており、この場合、延長されたゲームプレイ中のように、バッテリー、バッテリーパック、再充電可能バッテリーなどの頻繁な交換により生じるゲームコントローラの使用状態および電力プロファイルは、ゲームコントローラに対する一貫した使用に理想的でないかもしれない。デバイス共振器がゲームコントローラ内に配置されることができ、電源に接続された供給源共振器が近傍に配置され得る。更に、ゲームコントローラ内のデバイス共振器は、バッテリーを使用せずにゲームコントローラの電子機器に直接的に電力を供給し、又はバッテリー、バッテリーパック、再充電可能なバッテリーなどに電力を供給し、次いでゲームコントローラの電子機器に電力が供給されるなどである。ゲームコントローラは、複数のバッテリーパックを利用することができ、この場合、各バッテリーパックは、デバイス共振器を備え、かくしてゲームコントローラにプラグ接続されるか否かに関わらず、供給源共振器の近傍にいる間に常に再充電され得る。供給源共振器は、ゲームの主ゲームコントローラ設備に存在することができ、この場合、主ゲームコントローラ設備および供給源共振器は、AC「家庭用」電力から電力を供給される、又は供給源共振器は、「延長コード」に組み込まれた供給源共振器においてのような、AC電力を発生する延長設備に存在する、又は供給源共振器はゲームの椅子に存在し、係る椅子は、壁のACにプラグ接続される、主ゲームコントローラ設備にプラグ接続される、ゲームの椅子のバッテリーパックにより電力供給されるなどの少なくとも1つである。供給源共振器は、本明細書で説明された任意の構成に配置および実現され得る。

10

20

【0389】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、他のバッテリーパックと取り換え可能なバッテリーパックのような、バッテリーパックにデバイス共振器を組み込むことができる。例えば、幾つかの携帯機器は、ユーザが複数の取り換え可能なバッテリーパックを使用するために手元に持っている必要がある、又は動力工具、携帯型ライト、遠隔制御車両などのように、ユーザが供給源共振器の範囲外でデバイスを動作させて、動作を続けるために追加のバッテリーパックを必要とするような、高速で電気エネルギーを使い尽くす可能性がある。本明細書で開示された原理を使用することにより、使用中および範囲内にある間に、バッテリーパックが再充電されることを可能にするデバイス共振器の方法が提供されることのみならず、供給源共振器の範囲内に配置されて、現在使用中でないバッテリーパックの再充電の方法も提供する。このように、使用されているバッテリーパックの充電を、ユーザが使い切る場合に、バッテリーパックは常に、すぐに使用できる。例えば、ユーザは、ワイヤレス動力工具で作業していることができ、この場合、電流要件は、供給源共振器からの直接的な電力供給を通じて実現され得るものよりも大きい可能性がある。この場合、本明細書で説明されたシステム及び方法が、範囲内にある間に使用中のバッテリーパックに充電電力を提供することができるという事実にも関わらず、電力使用率が再充電率を超えているので、バッテリーパックを依然として使い切る可能性がある。更に、ユーザは、単に範囲の内外に移動することができ、又はデバイスを使用している間に、完全に範囲の外にいるかもしれない。しかしながら、ユーザは、使用中でない間に再充電される、追加のバッテリーパックを供給源共振器の近傍に配置しておくことができ、係る追加のバッテリーパックは現在、使用のために十分に充電されている。別の例において、ユーザは、供給源共振器の近傍から離れて動力工具で作業していることができるが、携帯型供給源共振器または延長コード供給源共振器を有する部屋に、ユーザの車両に、ユーザの工具箱などにののように、充電するための追加のバッテリーパックを供給源共振器の近傍に残しておくことができる。このように、ユーザは、今後の利用のためにバッテリーパックにプラグ接続する時間を取ること及び/又は係るプラグ接続することを覚えていることを心配する必要はない。ユーザは、使用済みバッテリーパックを充電済みバッテリーパックに交換し、使用済みバッテリーパックを再充電のために供給源共振器の近傍に配置するだけで

30

40

50

よい。デバイス共振器は、既知のバッテリーのフォームファクタ及び底面積を有する筐体に組み込まれ、既知のデバイス及び用途における従来の化学電池に取って代わることができる。例えば、デバイス共振器は、単三バッテリー、単四バッテリー、単一バッテリー、9Vバッテリー、ラップトップコンピュータのバッテリー、携帯電話のバッテリーなどに等しい機械的寸法を有する筐体に組み込まれ得る。筐体は、時間または距離に関して、充電を記憶し且つ延長動作を提供するために、デバイス共振器に加えてより小さい「ボタン電池」を含むことができる。ボタン電池に加えて又はその代わりに、他のエネルギー蓄積デバイスが、デバイス共振器および任意の関連した電力変換回路と一体化され得る。これらの新しいエネルギーパックは、従来のバッテリーにより提供されるような類似の電圧および電流レベルを提供するが、デバイス共振器、電力変換回路、小さいバッテリーなどから構成され得る。これらの新しいエネルギーパックは、それらがより容易に再充電されることができ、それらが無線電力区域に位置する場合に常に再充電され得るので、従来のバッテリーよりも長く存続することができる。更に、係るエネルギーパックは、従来のバッテリーよりも軽くでき、使用および保管するのにより安全であり、より広い温度および湿度の範囲にわたって動作でき、廃棄される場合に環境にあまり有害でないなどである。本明細書で説明されたように、これらエネルギーパックは、本明細書で説明されたように無線電力区域で使用される場合に、製品寿命を超えて存続することができる。

10

20

30

40

50

【0390】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、ラップトップコンピュータの画面においてのような、しかしより一般的には、テレビ、コンピュータのモニタ、デスクトップコンピュータのモニタ、ラップトップコンピュータのディスプレイ、デジタルフォトフレーム、電子書籍、携帯機器のディスプレイ（例えば、電話、PDA、ゲーム、ナビゲーション機器、DVDプレイヤー）などにおいてのような、今日の電気および電子機器の構成要素で利用される多種多様のディスプレイを含む、視覚ディスプレイに電力供給するために使用され得る。また、本明細書で説明された1つ又は複数の無線電力送信システムを介して電力供給され得るディスプレイは、電子構成要素（例えば、音響機器、家庭用電気製品、自動車用ディスプレイ、娯楽端末、レジ、リモコン装置）、家具、建物のインフラ、車両、物体の表面（例えば、車両、建物、衣類、看板、移動体の表面）などに埋め込まれるような、埋め込み式ディスプレイを含むことができる。ディスプレイは、本明細書で説明されたようなスマートカードにおいてのような極めて小さい共振デバイスでもって非常に小さくすることができ、又は広告看板においてのように非常に大きくすることができる。また、本明細書で開示された原理を用いて電力供給されるディスプレイは、液晶ディスプレイ（LCD）、薄膜トランジスタLCD、受動型LCD、ブラウン管（CRT）、プラズマディスプレイ、プロジェクターディスプレイ（例えば、LCD、DLP、LCOS）、表面電界ディスプレイ（SED）、有機発光ダイオード（OLED）などのような、複数のイメージング技術の任意の1つとすることができる。供給源のコイル構成は、本明細書で説明されたような無線延長コードなどから、建物の電力、車両の電力のような主電源に取り付けること、電気構成要素の基部（例えば、コンピュータの基部、TV用のケーブル箱）のような構成要素の電源に取り付けること、中間の中継供給源コイルなどを含むことができる。例えば、壁にデジタルディスプレイを掛けることは、ワイヤレスで又は携帯型メモリ装置を介して情報信号を受信するデジタルフォトフレームの場合のように、非常に魅力的とすることができるが、目障りな電源コードの必要性が、それを美的に不愉快にさせる可能性がある。しかしながら、フレーム部分内に包まれるように、デバイスコイルがデジタルフォトフレームに埋め込まれていることにより、デジタルフォトフレームは、全くワイヤを備えずに掛けられることが可能になる。そして、例えば、壁の向こう側の隣の部屋において、従来の電源コンセントに直接的にプラグ接続される、本明細書で説明されたような無線延長コードからの、部屋の中央供給源共振器などからの、供給源共振器が、デジタルフォトフレームの近傍に配置され得る。

【0391】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、電子機器設備の異なる部分間で無線電力送

信を行うことができる。制限せずに、ラップトップコンピュータの例を続けると、ラップトップコンピュータの画面は、ラップトップコンピュータの基部からの電力を必要とする。この場合、電力は従来、画面と基部との間のラップトップコンピュータのヒンジ部分を介したラップトップコンピュータの基部から画面までの直接的な電気接続を介して送られていた。有線接続が利用される場合、有線接続は、擦り切れる及び切断する傾向があり、ラップトップコンピュータの設計の機能性は、必要な直接的な電気接続（直接電気接続と称す）により制限され、ラップトップコンピュータの設計美学は、必要な直接電気接続などにより制限され得る。しかしながら、無線接続が基部と画面との間で行われ得る。この場合、デバイス共振器は、ディスプレイに電力供給するために画面部分に配置され、基部は、第2のデバイス共振器により、従来の有線接続により、共振器 - バッテリー - 直接電気接続のハイブリッドなどにより、電力供給され得る。これは、物理的な有線接続の除去によって電力接続の信頼性を改善するだけでなく、設計者が、ヒンジに関連した物理的なワイヤの無いことを考慮して、ラップトップコンピュータのヒンジ部分の機能性および／または美観設計を改善することも可能にする。やはり、ラップトップコンピュータは、本明細書で開示された原理が電気または電子デバイスの設計を如何にして改善することができるかを示すために使用されたが、決して制限として解釈されるべきでない。例えば、ドアに電氣的機能（製氷器、センサシステム、ライトなどを含む）を備えた冷蔵庫、ジョイント（関節）により分離された可動部分を有するロボット、車の電力システム及び車のドア内の構成要素などのような、分離した物理的な部分を有する多くの他の電気装置が、本明細書で説明されたシステム及び方法から利益を得ることができる。外部供給源共振器からデバイス共振器を介してデバイスに、或いは外部または内部の供給源共振器からデバイス共振器を介してデバイスの一部に電力を供給するための能力が、電気および電子デバイスの範囲にわたって幅広く適用可能であることは、当業者には認識されるであろう。

10

20

30

40

50

【0392】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、充電済みのデバイスと充電されていないデバイスとの間のような、デバイス間の電力の共用を提供することができる。例えば、充電されるデバイス又は電化製品は、供給源のように作動し、所定の量のエネルギー、ダイヤル調整された量のエネルギー、要求および承認された量のエネルギーなどを近くのデバイス又は電化製品に送ることができる。例えば、ユーザは、埋め込まれた供給源共振器およびデバイス共振器を介して電力を送受信することができる携帯電話およびデジタルカメラを有することができ、デバイスの一方、例えば携帯電話は、充電が低いレベルであると判明している。次いで、ユーザはデジタルカメラから携帯電話に電荷を移すことができる。これらデバイスの供給源供給源およびデバイス共振器は、送受信のために同じ物理的共振器を利用することができる、別個の供給源共振器およびデバイス共振器を利用することができる、一方のデバイスが送受信するように設計され得るが、他方が受信だけするように設計される、一方のデバイスが送信だけするように設計され、他方が受信だけするように設計され得るなどである。

【0393】

デバイスのバッテリーを完全に枯渇させることを防止するために、受け取るデバイスがどれぐらいのバッテリー容量の権利を与えられるかを指定することをユーザに可能にする設定を有することができる。例えば、外部デバイスに利用可能な電力量を制限する、及びバッテリー電力が閾値を下回る場合に電力送信を停止する能力を有することは有用であるかもしれない。

【0394】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、電気設備に関連して、近くの電気または電子機器構成要素に対する無線電力伝送を行うことができ、この場合、供給源共振器は、電気設備内にあり、デバイス共振器は、電子機器構成要素内にある。また、供給源共振器は、例えば、電気設備の万能インターフェース（例えば、USBインターフェース、PCカードインターフェース）、追加の電気コンセント、万能接続ポイントなどを介して、電気設備に対して接続、プラグ接続、取り付けられ得る。例えば、供給源共振器は、机の上の

コンピュータの構造体の内部にあるか、又はコンピュータに、例えばコンピュータのUSBインターフェースの1つへ接続される何からの物体、パッドなどに組み込まれ得る。物体、パッドなどに埋め込まれ、USBインターフェースを介して電力供給される供給源共振器の例において、供給源共振器は、任意の他の電子機器デバイスに組み込まれる必要なしに、ユーザのデスクトップに容易に追加されることができ、かくして複数の電気および/または電子機器デバイスが電力供給され得る無線エネルギー区域が、好都合に提供される。電気設備は、コンピュータ、照明器具、専用供給源共振器の電気設備などとしてことができ、近くの構成要素は、コンピュータ周辺機器、周囲の電子機器構成要素、インフラ装置などとしてことができ、例えば、コンピュータのキーボード、コンピュータのマウス、ファクシミリ、プリンタ、スピーカシステム、携帯電話、オーディオ装置、インターコム、音楽プレイヤー、PDA、照明、電気鉛筆削り、送風機、デジタルピクチャフレーム、計算機、コンピュータゲームなどである。例えば、コンピュータシステムは、「ワイヤレスキーボード」及び「ワイヤレスマウス」を利用する、組み込まれた供給源共振器を備える電気設備としてことができ、この場合、用語のワイヤレスの使用は、各デバイスとコンピュータとの間に無線通信設備が存在することを示すことが意図されており、各デバイスは依然として別個のバッテリー電源を含む必要がある。この結果、バッテリーは周期的に交換される必要があり、大企業では、バッテリー交換のサポート要員、バッテリーのコスト、及び適切なバッテリーの廃棄にかなりの負担という結果になる。代わりに、本明細書で説明されたシステム及び方法は、コンピュータの本体からこれら周辺装置のそれぞれへの無線電力送信を行うことができ、本明細書で説明されるように、キーボード及びマウスに電力供給するだけでなく、ファクシミリ、プリンタ、スピーカシステムなどのような他の周辺機器の構成要素にも電力供給することを含む。電気設備に組み込まれた供給源共振器は、複数の周辺装置、ユーザデバイスなどに対する無線電力送信を行うことができ、そのため電気設備に組み込まれた供給源共振器の近傍にあるデバイスのバッテリーを充電および/または交換する必要性が大幅に低減される。また、電気設備は、電気設備と無線電力供給デバイスとの間の電力伝送パラメータを調整するために、チューニング又は自動チューニングのソフトウェア、アルゴリズム、機能などを提供することもできる。例えば、電気設備は、ユーザのデスクトップ上のコンピュータとしてことができ、供給源共振器は、コンピュータに組み込まれ得るか、又はコンピュータにプラグ接続されることができ(USB接続を介して)、この場合、コンピュータはチューニングアルゴリズムを提供するための機能を提供する(例えば、コンピュータで実行されているソフトウェアプログラムを介して)。

【0395】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、設備のインフラの構成要素に関連して近くの電気または電子機器構成要素に対する無線電力伝送を行うことができ、この場合、供給源共振器は、設備のインフラの構成要素内にあるか、又は係る構成要素に装着され、デバイス共振器は電子機器構成要素内にある。例えば、設備のインフラの構成要素は、1個の家具、固定壁、可動式間仕切り又はパーティション、天井、床、及びテーブル又は机に取り付けられた又は組み込まれた供給源共振器(例えば、その表面の直ぐ下/上に、側面に、テーブルの上面またはテーブルの脚に組み込まれた)、床の上に配置されたマット(例えば、机の下、机の上に配置された)、ガレージの床のマット(例えば、車および/または車内のデバイスを充電するために)、駐車場/ガレージ内のもの(例えば、駐車される場所の近くの支柱に)、テレビ(例えば、リモコンを充電するために)、コンピュータのモニター(例えば、ワイヤレスキーボード、ワイヤレスマウス、携帯電話に対する電力供給/充電のために)、椅子(例えば、電気毛布、医療機器、個人の健康監視装置に電力供給するために)、絵画、オフィス家具、一般的な家庭電化製品などとしてことができる。例えば、設備のインフラの構成要素は、立方体のオフィスの照明器具としてことができ、この場合、照明器具内の供給源共振器およびライトは、設備の有線電源に直接的に接続される。しかしながら、ここで照明器具に供給源共振器が設けられた場合、デバイス共振器に接続される又はデバイス共振器と一体化されるこれら近くの電気または電子機器構成要素

10

20

30

40

50

に対する任意の追加の有線接続を備える必要はない。更に、本明細書で説明されたように、デバイス共振器を備えるデバイスのバッテリーを交換する必要性も低減され得る。

【0396】

中心の位置から、例えば電気設備の供給源共振器から、設備のインフラの構成要素などから、電気および電子デバイスに電力を供給するために、本明細書で説明されたシステム及び方法を使用することは、周囲の作業領域の電気配線インフラを最小限にすることができる。例えば、企業のオフィス空間には、有線接続により電力供給される必要がある電気および電子デバイスが一般に非常に多く存在する。本明細書で説明されたシステム及び方法を利用することにより、これら配線の大部分が取り除かれ、企業の出費が減じられ、設置コストが節約され、電気配線を有するオフィスの壁に関連した物理的な制限が低減され、電源コンセント及び電源コードなどの必要性が最小限にされる。本明細書で説明されたシステム及び方法は、設置、再設置（例えば、オフィス空間の再構成）、メンテナンスなどに関連した電気インフラの低減を通じて企業のコストを削減することができる。別の例において、本明細書で開示された原理は、部屋の中央に電気コンセントをワイヤレスで配置することを可能にする。ここで、供給源は、コンセントを置くことを望む床の場所の下にある地下室の天井に配置され得る。デバイス共振器は、そのすぐ上の部屋の床に配置され得る。天井の中央に新しい照明器具（又は、その事項に関して任意の他の電気デバイス、例えばカメラ、センサなど）を設置することは、今や同じ理由で著しく容易になる。

10

【0397】

別の例において、本明細書で説明されたシステム及び方法は、壁を「通して」電力を供給することができる。例えば、1つの部屋に（例えば、壁に）電気コンセントを有するが、電気技術者を呼ぶ、又は壁にドリルで穴を開ける、又は壁の周りにワイヤを引くなどする必要なしに、隣の部屋にコンセントを設けたいことを仮定する。1つの部屋の壁に供給源共振器を置き、壁の向こう側にデバイス共振器のコンセント/ピックアップを置くことができる。これは、平面型TVまたはステレオシステムなどに電力供給することができる（例えば、リビングルームの壁をはう醜いワイヤを設けることを望まないが、隣の部屋、例えば収納室またはクローゼット、又は壁に沿って延びているワイヤを見えないようにする家具を備えた部屋の壁を類似したワイヤがはうことを気にしないかもしれない）。本明細書で説明されたシステム及び方法は、屋内の供給源から家または建物の外の様々な電気デバイスに、これら外壁を貫通してドリル開けされた穴、又はこれら外壁に設置されたコンジットを必要とせずに、電力を伝送するために使用され得る。この場合、デバイスは、壁およびサイディングを貫通するドリル穴に関連した美的または構造的損傷または危険性なしに、建物の外でワイヤレスで電力供給され得る。更に、本明細書で説明されたシステム及び方法は、電気構成要素を備えた屋外用のデバイス共振器に対して、屋内の供給源共振器を配置することに役立つ配置センサを提供することができる。例えば、自宅の所有者は、無線デバイス共振器を含む保安灯をその家の外に配置することができ、そして今、家の内部に供給源共振器を適切に又は最適に配置する必要がある。供給源共振器とデバイス共振器との間で働く配置センサは、配置が良好、又は或る程度まで良好になる時に、例えば視覚表示、音声指示、ディスプレイ表示などで示すことにより、その配置をより良好に可能にすることができる。別の例において、同様に、本明細書で説明されたシステム及び方法は、家または建物の屋根に、機器、例えば無線送信器および受信器、太陽電池パネルなどを設置することを行うことができる。太陽電池パネルの場合、供給源共振器は、パネルに関連付けられることができ、電力は、屋根に穴を開ける必要なしに、建物の内部の配電パネルにワイヤレスで伝送され得る。本明細書で説明されたシステム及び方法は、車両、例えば自動車、船、飛行機、列車などの壁の向こう側に（例えば、屋根などを介して）、ドリルで穴を開ける必要性なしに、電気または電子構成要素の装着を可能にすることができる。このように、車両の壁は、ドリルで開けられた穴を備えずに、損傷を受けていないままとすることができ、かくして車両の価値が維持され、水密性が維持され、ワイヤを配線する必要性などが取り除かれる。例えば、サイレン又はライトを警察車の屋根に取り付けることは、車の将来的な転売価格を低減させるが、本明細書で説明されたシステム

20

30

40

50

及び方法を用いる場合、任意のライト、ホーン、サイレンなどは、ドリルで穴を開ける必要性なしに屋根に取り付けられ得る。

【 0 3 9 8 】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、太陽光発電（P V）パネルからの電力の無線伝送に使用され得る。無線電力伝送能力を備えるP Vパネルは、より簡単な取り付け、より大きな柔軟性、信頼性、及び全天候型設計を含む幾つかの利点を有することができる。無線電力伝送は、P Vパネルからデバイス、家、車両などへ電力を伝送するために使用され得る。太陽P Vパネルは、そのP Vパネルが無線電力を受け取れることを可能にされたデバイスに直接的に電力供給することを可能にする無線供給源共振器を有することができる。例えば、太陽P Vパネルは、車両、建物などの屋根の上へ直接的に取り付けられ得る。P Vパネルにより捕捉されたエネルギーは、車両の内側または建物の屋根の下にデバイスに直接的にワイヤレスで伝送され得る。共振器を有するデバイスは、P Vパネルからの電力をワイヤレスで受け取ることができる。P Vパネルからの無線電力伝送は、家、車両などの有線電気システムに結合された共振器にエネルギーを伝送するために使用され、外部のP Vパネルと内部の電気システムとの間の任意の直接的な接触を必要とせずに、従来の配電および従来のデバイスの電力供給を可能にする。

10

【 0 3 9 9 】

無線電力伝送を用いることにより、P Vパネルの屋根の取り付けを著しく簡単に行うことができ、その理由は、電力がパネルから家の捕捉共振器にワイヤレスで送信されることができ、全ての外部の配線、コネクタ及びコンジット、及び構造体の屋根または壁を貫通する任意の穴が除外されるからである。太陽電池で使用する無線電力伝送は、パネル、ひも状のもの、及び接続箱を相互接続するために、電気技術者が屋根で作業する必要性をなくすので、屋根の危険性を低減できるという利益を有することができる。無線電力伝送と一体化された太陽電池パネルの取り付けは、電気接触が行われる必要性がほとんどないので、熟練労働者をさほど必要としない。場所の詳細な設計は、無線電力伝送であまり必要とされず、その理由は、当該技術が、各太陽P Vパネルを別個に最適化および配置するための能力を設置者に与え、高価なエンジニアリング及びパネルレイアウトの点検の必要性が著しく低減されるからである。全てのパネルで太陽の負荷を入念に平衡させる必要はなく、特殊化したD C配線レイアウト及び相互接続も必要ない。

20

【 0 4 0 0 】

P Vパネルの屋根または壁上の設置に関して、捕捉共振器は、屋根の下側、壁の内側、或いは1フィート（30 . 48 c m）又は2つの太陽P Vパネル以内の容易にアクセス可能な任意の他の内部空間に取り付けられ得る。一般的な屋根の上面のP Vパネルの可能な設置を示す図が、図5 1に示される。様々なP Vソーラーコレクターが、屋根の下に建物の内部に取り付けられた無線電力捕捉コイルと共に、屋根の上に取り付けられ得る。P Vパネルの共振器コイルは、屋根を介して無線捕捉コイルにワイヤレスでそれらのエネルギーを伝送することができる。P Vセルからの捕捉されたエネルギーは、集められ、家の電気システムに結合されて電気および電子デバイスに電力供給するか、又は必要とされるものよりも多くの電力が生成される場合には、電力網に結合される。エネルギーは、建物の屋根または壁を貫通する穴またはワイヤを必要とせずに、P Vセルから捕捉される。各P Vパネルは、車両または建物の内部の対応する共振器に結合される共振器を有することができる。複数のパネルは、互いの間で無線電力伝送を利用し、車両または家の内部の共振器に結合される1つ又は2つの指定パネルに電力を伝送または集めることができる。パネルは、他の同様のパネルに配置された共振器に結合することができる無線電力共振器をそれらの側面または周辺部に有することができ、それによりパネル間の電力の伝送を可能にする。建物または車両の外部の複数のパネルからの電力をワイヤレスで結合する、及び建物または車両の内部の1つ以上の共振器に電力を伝送する追加のバス又は接続構造が、設けられてもよい。

30

40

【 0 4 0 1 】

例えば、図5 1に示されるように、供給源共振器5 1 0 2は、建物の屋根5 1 0 4の上

50

に取り付けられた P V セル 5 1 0 0 に結合され得る。対応する捕捉共振器 5 1 0 6 が、建物の内部に配置される。次いで、P V セルにより捕捉された太陽エネルギーは、建物を貫通する真っ直ぐな穴および接続を備えていない建物の外部の供給源共振器 5 1 0 2 と係る建物の内部のデバイス共振器 5 1 0 6 との間で伝送され得る。

【0402】

無線電力伝送を備える各太陽 P V パネルは、それ自体のインバータを有することができ、各パネルの電力生成効率を別個に最適化すること、1 回の設置においてパネルのサイズとタイプの混合をサポートすること、単一のパネルの「成長に合わせて投資」のシステム拡張を含むことにより、これらソーラーシステムの経済性が著しく改善される。設置コストの低減は、設置に関して単一パネルを安価にする。パネルの一続きの設計および複数のパネルの慎重な配置と配向の必要性が除去され、システムの単一点障害が除去される。

10

【0403】

P V ソーラーパネルにおける無線電力伝送は、より多くのソーラーの配置の計画を可能にすることができ、その理由は、防塵防滴 (weather-sealed) のソーラー P V パネルが、車の屋根や船の甲板のようなシールされた表面を通して配線するためにドリルで穴を開ける必要性を無くし、パネルが固定場所に設置される要件を無くすからである。無線電力伝送を用いることにより、P V パネルは、一時的に配置され、その後、周囲の構造体に永久的な変更を残さずに移動され又は除去されることができる。例えば、それらは、明るく晴れた日に構内の外に配置されて、太陽に追従するようにあちこち移動され、或いは掃除または保管のために中へ運ばれ得る。裏庭または移動できるソーラー P V の応用形態の場合、無線エネルギー捕捉デバイスを備えた延長コードが地面に投げられるか、又はソーラーユニットの近くに配置され得る。捕捉延長コードは、完全に素子から密封されて絶縁されており、そのためそれは、任意の屋内または屋外の環境で使用され得る。

20

【0404】

無線電力伝送を用いることにより、ワイヤ又は外部接続の必要性がなく、P V ソーラーパネルは、完全に防塵防滴とすることができる。ソーラー P V 発電および送信回路における電気構成要素の著しく改善された信頼性と寿命は、防塵防滴の筐体が U V 放射、湿度、風雨などから構成要素を保護することができるので、期待され得る。無線電力伝送および防塵防滴の筐体を用いることにより、構成要素がもはや外部要因および気象要素に直接的にさらされないの、安価な構成要素を使用することが可能であり、P V パネルのコスト

30

【0405】

P V パネルと建物または車両の内部の捕捉共振器との間の電力伝送は、双方向性とすることができる。エネルギーは、P V パネルが特定の仕事 (タスク) を行うための十分なエネルギーを備えていない場合に電力を供給するために、家の配電網から P V パネルに伝えられ得る。電力の逆の流れは、パネルから雪を溶かすために、又は太陽エネルギーに対してより好適な位置にパネルを配置するモーターに電力供給するために使用され得る。ひとたび雪が溶ければ、又はパネルが再配置されれば、P V パネルはそれ自体のエネルギーを生成することができ、電力伝送の方向は、P V パネルから建物、車両、又はデバイスへ電力を伝える正常に戻され得る。

40

【0406】

無線電力伝送を備える P V パネルは、無線コレクターへの最大の及び効率的な電力伝送を保証するために、設置の自動チューニングを含むことができる。様々な設置における屋根材の違い又は P V パネルと無線電力コレクターとの間の距離のばらつきは、性能に影響を及ぼし、無線電力伝送の共振器の特性に摂動を与える可能性がある。設置の複雑性を低減するために、無線電力伝送の構成要素は、材料または距離に起因した任意の影響を補償するために、それらの動作点を自動的に調整するためのチューニング能力を含むことができる。周波数、インピーダンス、キャパシタンス、インダクタンス、デューティサイクル、電圧レベルなどは、効率的で安全な電力伝送を確実にするために調整され得る。

【0407】

50

本明細書で説明されたシステム及び方法は、一時的に無線電力区域を提供するために、又は従来の電気コンセントを無線電力区域まで延長するために使用され得る（例えば、無線電力延長コードの使用を通じて）。例えば、無線電力延長コードは、従来の電源コンセントに接続するためのプラグ、従来の電源延長コードのような長いワイヤ、及び他方の端部の共振器供給源コイル（例えば、従来の延長コードのソケット端部の代わりに、又は係るソケットに加えて）として構成され得る。また、無線延長コードに沿って複数の場所に供給源共振器が存在する無線延長コードも構成され得る。この構成は、便利な電源コンセントが存在しない場所（例えば、コンセントの無いリビングルームの場所）に無線電力を供給する、並びに配線された電源インフラが存在しない所（例えば、工事現場）で、及びコンセントが存在しない構内（例えば、パーティのために、又は従来の電気コードを切断する可能性を低減するためにワイヤレスで電力供給される庭手入れ用道具のために）に出て一時的に無線電力を供給するなどのような、無線電力供給の構成されたデバイスが存在する場合に、任意の従来の延長コードを置き換えることができる。また、無線延長コードは、壁または構造体内の引き込み線としても使用され、当該引き込み線の近傍内に無線電力区域を提供することができる。例えば、無線延長コードは、新しい又はリフォームされた部屋の壁内に引かれて、従来の電気配線およびコンセントの設置を必要とせずに、無線電力区域を提供することができる。

10

20

30

40

50

【0408】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、車両の可動部品または回転組立体、ロボット、機械装置、風力タービン、或いはロボットアーム、建設車両、可動プラットフォームなどのような可動部品を備える任意の他のタイプの回転装置または構造体の間で、電力を供給するために利用され得る。従来、係るシステムの電力は、例えば、スリップリングにより、又はロータリージョイントにより提供されていた。本明細書で説明されたような無線電力伝送を使用することにより、これらデバイスの設計の簡略化、信頼性、及び寿命が著しく改善されることができ、その理由は、時間の経過につれてすり減る又は摩滅する可能性がある任意の物理的接続または接点を用いずに、或る距離範囲にわたって電力が伝送され得るからである。特に、供給源コイル及びデバイスコイルの好適な同軸および平行の位置合わせは、2つのコイルの相対的な回転運動により激しく変調されない無線電力伝送を行うことができる。

【0409】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、一連の供給源共振器 - デバイス共振器 - 供給源共振器 - デバイス共振器を提供することにより、単一の供給源共振器の届く距離を超えて、電力ニーズを広げるために利用され得る。例えば、既存の一戸建てのガレージが電力を備えておらず、所有者が今、新しい電力サービスを設置することを望んでいると仮定する。しかしながら、所有者は、ガレージの全体にわたってワイヤを引くことを望まないかもしれないし、又は構造体の全体にわたって電気コンセントを配線するために壁に侵入する必要があるかもしれない。この場合、所有者は、供給源共振器を新しい電力サービスに接続することを選択することができ、それにより、無線電力が、ガレージの裏の全体にわたるデバイス共振器コンセントに供給されることが可能になる。次いで、所有者は、デバイス - 供給源「中継器」を設置して、ガレージの表のデバイス共振器コンセントに無線電力を供給することができる。即ち、電力中継器は今、主供給源共振器から無線電力を受け取り、次いで利用可能な電力を、ガレージの表の第2の組のデバイス共振器に電力を供給するために第2の供給源共振器に供給する。この構成は、何度も繰り返されて、供給される無線電力の有効範囲を延ばすことができる。

【0410】

複数の共振器を用いて、エネルギー遮断材料の周りに電力ニーズを広げることができる。例えば、供給源共振器をコンピュータ又はコンピュータのモニタに組み込むことが望ましく、そのため当該共振器は、モニタ又はコンピュータの周りに、特に前に配置されたデバイス、例えば、キーボード、コンピュータのマウス、電話などに電力を供給することができる。美観、スペースの制約などに起因して、供給源共振器に使用され得るエネルギー

供給源は、モニタ又はコンピュータの後ろのみに配置または接続され得る。コンピュータ又はモニタの多くの設計において、金属構成要素および金属を含む回路が、設計およびパッケージングに使用され、それらは、モニタ又はコンピュータの後ろの供給源共振器からモニタ又はコンピュータの前への電力伝送を制限および妨げる可能性がある。追加の中継器共振器は、モニタ又はコンピュータの基部または台に組み込まれ、モニタ又はコンピュータの裏の供給源共振器に結合し、モニタ又はコンピュータの前の空間への電力伝送を可能にする。モニタ又はコンピュータの基部または台に組み込まれた中間共振器は、追加の電源を必要とせず、供給源共振器からの電力を捕捉して、モニタ又はコンピュータの遮断または電力遮蔽する金属構成要素の周りの前面まで電力を伝送する。

【0411】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、車両、オフィス、家、部屋、建物、屋外構築物、道路施設などのような、空間の構造部分に内蔵され、配置され、つり下げられ、埋め込まれ、組み込まれるなどされ得る。例えば、1つ又は複数の供給源は、壁、天井または天井パネル、床、仕切り、戸口、階段の吹き抜け、小部屋（コンパートメント）、路面、歩道、（高速道路への）出入道路、フェンス、屋外構築物などに内蔵され、配置され、つり下げられ、埋め込まれ、又は組み込まれ得る。1つ又は複数の供給源は、構造体の内部または周りの実在物、例えばベッド、机、椅子、ラグマット、鏡、時計、ディスプレイ、テレビ、電子デバイス、カウンター（調理台）、テーブル、1個の家具、1個の芸術作品、囲い込むもの、小部屋、天井パネル、床またはドアパネル、ダッシュボード、トランク、ホイールウエル、支柱、ビーム、支持体、又は任意の同様な実在物に組み込まれ得る。例えば、供給源共振器は、ユーザの車のダッシュボードに組み込まれ、そのため、デバイス共振器を備えた又はデバイス共振器に接続された任意のデバイスが、ダッシュボードの供給源共振器から電力を供給され得る。このように、車に持ち込まれた又は組み込まれたデバイスは、車の中にある間に、常に充電または電力供給され得る。

【0412】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、車両、例えばボート、車、トラック、バス、列車、飛行機、人工衛星などの壁を通して電力を供給することができる。例えば、ユーザは、車両の外の電子デバイスに電力を供給するために、車両の壁に穴を開けることを望まないかもしれない。供給源共振器は車両の内側に配置されることができ、デバイス共振器は、車両の外側に配置され得る（例えば、窓、壁または構造体の両側に）。このように、ユーザは、車両に対する外部デバイスの配置、位置決め、及び取り付けを最適化することにより大きな柔軟性を達成することができる（例えば、デバイスに対する電気接続を与える又は配線することを気にせずに）。更に、ワイヤレスで供給される電力を使用することにより、外部デバイスは、防水であるように密封絶縁され、その外部デバイスが風雨（例えば、雨）にさらされる場合に、又は水面下に沈んでも、安全にされる。類似した技術は、様々な応用形態、例えば、ハブリッド車、ナビゲーション及び通信機器、建設機器、被遠隔制御またはロボット設備などに対する充電または電力供給（露出導体のせいで電氣的危険性が存在する）に利用され得る。本明細書で説明されたシステム及び方法は、半導体成長および処理、材料コーティングシステム、水槽、危険物処理システムなどで使用されるような、真空チャンバ又は他の密閉空間の壁を通して電力を供給することができる。電力は、並進ステージ、ロボットアーム、回転ステージ、操作および収集装置、クリーニング装置などに供給され得る。

【0413】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、台所環境に、例えば、ミキサー、コーヒーメーカー、トースター、オーブントースター、ホットプレート、グリドル、電気フライパン、電気ポット、電気動作装置、ワッフルメーカー、ブレンダー、フードプロセッサ、クロックポット、加温トレイ、誘導式レンジ台、ライト、コンピュータ、ディスプレイなどを含むカウンタ上面の電化製品に、無線電力を供給することができる。この技術は、デバイスの移動性および/または配置の柔軟性を改善し、カウンタ上面に蓄積およびカウンタ上面にわたって散乱した多数の電源コードを低減し、デバイスの洗浄可能性なども改善する

ことができる。例えば、電気フライパン (electric skillet) は従来、別個の部分を用意、例えば、洗うために水の中に入ることができる部分と、外部電気接続 (例えば、コード、又は取り外し可能なコード用のソケット) を含むので水の中に入ることができない部分である。しかしながら、そのユニットにデバイス共振器が組み込まれる場合、全ての電気接続は密封絶縁されることができ、そのためデバイス全体は今や清浄にするために水の中に入れられ得る。更に、外部コードが無いことは、利用可能な壁の電気コンセントの必要性を無くし、もはやカウンタを横切って配置されるべき電気コードの必要性、又は電気グリドルの場所を利用可能な壁の電気コンセントの場所に制限する必要性がなくなる。

【0414】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、デバイス共振器を備えたデバイスに対して連続的な電力供給 / 充電を行うことができ、その理由は、デバイスが、固定電気デバイス、パーソナルコンピュータ、インターコムシステム、セキュリティシステム、家庭用ロボット、照明、リモコンユニット、テレビ、コードレス電話などのように、供給源共振器の近傍を離れないからである。例えば、家庭用ロボット (例えば、ROOMBA (登録商標)) は、無線電力を介して電力供給 / 充電されることができ、ひいては再充電されずに任意の長時間、動作する。このように、家庭用ロボットに対する電源設計は、バッテリーを必要とせず供給源共振器からの電力のみを使用するようにロボットを設計する、供給源共振器からの電力を用いてロボットのバッテリーを再充電するようにロボットを設計する、供給源共振器からの電力を使用してロボットのバッテリーをトリクル充電するようにロボットを設計する、供給源共振器の電力を用いて容量性エネルギー蓄積ユニットを充電するようにロボットを設計するなどのように、無線電力のこの連続的な供給源を利用するように変更され得る。電源および電源回路の類似した最適化は、本明細書で開示された任意および全てのデバイスに対して、可能にされる、設計される、及び実現され得る。

【0415】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、電気加熱毛布、加温パッド / パッチなどに無線電力を供給することができる。これら電気加熱デバイスは、様々な屋内用途および屋外用途を見出すことができる。例えば、守衛、警察官、建設作業員などのような屋外労働者に支給される手足の加温器は、車両、建物、電柱、信号機、ポータブル電源ユニットなどの近くに関連付けられた又は組み込まれた供給源共振器から遠隔的に電力供給され得る。

【0416】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、デバイス共振器を含む携帯型情報デバイスに電力供給するために使用されることができ、係る携帯型情報デバイスは、供給源共振器を含む情報供給源の近くにいる場合に、電源を入れられ得る。例えば、情報デバイスは、ユーザのポケット、財布、ハンドバック、車両、バイクなどに保持されたカード (例えば、クレジットカード、スマートカード、電子カードなど) とすることができる。携帯型情報デバイスは、情報供給源の近傍にいる場合に電源を入れられることができ、次いで電子ロジック、電子プロセッサ、メモリ、ディスプレイ、LCDディスプレイ、LED、RFIDタグなどを含むことができる携帯型情報デバイスに、情報が送信される。例えば、携帯型情報デバイスは、それが情報供給源の近くにいる場合に「オン」になるディスプレイを備えたクレジットカードとすることができ、「You just received a coupon for 50% off your next Coca Cola purchase」のような何らかの情報をユーザに提供することができる。情報デバイスは、その後の購入で使用され得るクーポン又は値引き情報のような情報を格納することができる。携帯型情報デバイスは、タスク、スケジュール表、やることリスト、アラーム及びリマインダーなどを含むように、ユーザによりプログラムされ得る。情報デバイスは、最新の価格情報を受け取り、以前に選択または特定された商品の場所および価格の情報をユーザに知らせることができる。

【0417】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、構造体の内部に取り付けられ得る、構造体の外部に取り付けられ得る、地中に埋設され得る、壁に取り付けられ得るなどの環境セン

サ、セキュリティセンサ、農業センサ、機器センサ、食品損傷センサ、電力センサなどのようなセンサのバッテリーに直接的に電力供給または係るバッテリーを再充電するために無線電力伝送を行うことができる。例えば、この能力は、バッテリーを物理的に交換するために古いセンサを掘り出す必要性、又は古いセンサの充電が切れて、もはや動作しないので新しいセンサを埋める必要性に取って代わることができる。これらセンサは、ユニットを充電する携帯型センサ供給源共振器の使用を通じて、周期的に充電され得る。例えば、電源（例えば～kWの電力を供給する）を備えた、供給源共振器を携えるトラックは、～mWセンサに数分で十分な電力を提供し、センサの動作の持続時間を1年以上にわたって延ばすことができる。また、センサは直接的に電力供給されることもでき、例えば、ワイヤで接続することが困難であるが、供給源共振器の近傍内に依然としてある所定位置のセンサ（例えば、家の外のデバイス（セキュリティカメラ）、壁の向こう側にあるデバイス、ドアの電気ロック上のデバイスなど）に電力供給する。別の例において、そうでなければ有線電力接続で供給される必要があるセンサが、本明細書で説明されたシステム及び方法を通じて電力供給され得る。例えば、漏電ブレーカは、配電盤への設置のために、残留電流および過電流保護を1つのデバイスに組み合わせる。しかしながら、センサは従来、電源のために別個に配線される必要があり、これは設置を複雑にする可能性がある。しかしながら、本明細書で説明されたシステム及び方法を用いることにより、センサは、デバイス共振器で電力供給されることができ、この場合、単一の供給源共振器は配電盤内に設けられ、かくして配電盤内の設置と配線条件が簡略化される。更に、単一の供給源共振器は、配電盤内に取り付けられた供給源共振器の両側に取り付けられたデバイス共振器に、配電盤の全体にわたって取り付けられたデバイス共振器に、近くの追加の配電盤に取り付けられたデバイス共振器などに電力供給することができる。本明細書で説明されたシステム及び方法は、電気配電盤、分電盤、回路遮断器、変圧器、予備バッテリー、火災警報制御パネルなどにおいてのように、電気パネル、電気室、配電などに関連した任意の電気構成要素に無線電力を供給するために利用され得る。本明細書で説明されたシステム及び方法の使用を通じて、配電および保護構成要素およびシステム設備を設置、維持、及び変更することが、より容易になる。

【0418】

別の例において、バッテリーで動くセンサは、無線電力が周期的に又は連続的にバッテリーを再充電またはトリクル充電するために供給され得るので、バッテリーを充電する必要なしに連続的に動作することができる。係る用途において、電力レベルが低くても、バッテリーの電荷を適切に再充電または維持することができ、バッテリーの寿命および有用性が著しく延ばされる。場合によっては、バッテリー寿命は、それが電力供給されているデバイスの寿命よりも長くするように延ばされることができ、本質的に「永遠に続く」バッテリーにする。

【0419】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、人工心臓、ペースメーカー、心臓ポンプ、インスリンポンプ、神経または指圧療法／針治療のつぼ刺激などのための埋め込まれたコイルなどのような埋込み型医療装置のバッテリーを充電するために使用され得る。例えば、ワイヤが考えられる一定の感染源であり、一般に患者にとって非常に不愉快になるので、患者にワイヤを突き刺しておくことは好都合ではなく、又は安全ではない。また、本明細書で説明されたシステム及び方法は、供給源共振器を有するベッド又は病院の壁または天井のような、外部供給源から患者の医療装置に対して充電または電力供給するためにも使用され得る。係る医療装置は、患者に対する取り付け、読み出し、使用、及びモニタをより容易にすることができる。本明細書で説明されたシステム及び方法は、患者および患者のベッド又はベッドのそばにワイヤを取り付ける必要性を容易化し、患者が、不注意による医療装置の切断という危険を冒さずに、ベッドの周りに移動またはベッドから出ることをより便利にすることができる。例えば、これは、脈、血圧、ブドウ糖などの測定のような、患者をモニタする複数のセンサを有する患者と共に有用に利用され得る。バッテリーを利用する医療装置およびモニタ装置の場合、バッテリーは極めて頻繁に、恐らく週に

数回、交換される必要があるかもしれない。これは、バッテリーを交換することを忘れて
いる人々に関連して、バッテリーが消耗したことにより装置またはモニタが動作してい
ないことに気付かないこと、並びにバッテリーカバー及びバッテリー室などの不適切なク
リーニングに関連した感染症などの危険を与える可能性がある。

【0420】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、医療装置の埋め込み方法の危険性および複
雑性を低減することができる。今日、心室補助装置、ペースメーカー、除細動器などのよ
うな多くの埋込み型医療装置は、当該装置に組み込まれる長寿命バッテリーの体積および
形状によりかなり影響を受ける、それら装置のフォームファクタに起因して、外科的な埋
め込みを必要とする。一態様において、本明細書においてバッテリーを再充電する非侵襲
性の方法が説明され、そのためバッテリーサイズは劇的に低減され、装置全体は、例えば
カテーテルを介して、埋め込まれ得る。カテーテル埋込み型装置は、一体化された捕捉ま
たはデバイスコイルを含むことができる。カテーテル埋込み型捕捉またはデバイスコイル
は、例えば埋め込み後に、それが内部で配線され得るように設計され得る。捕捉またはデ
バイスコイルは、クルクルと巻いたフレキシブルなコイル（例えば、2つの巻物のように
巻かれ、単一のスプレッド機構で内部で容易に広げられる）として、カテーテルを介して
配置され得る。電源コイルは、電源が適切な位置に配置されるように適合するように仕立
てられたベスト又は衣類に着けられ得るか、椅子のクッション又はベッドのクッションに
配置され得るか、ベッド又は1個の家具に組み込まれるなどされ得る。

10

【0421】

本明細書で説明されたシステム及び方法により、供給源共振器の近傍にある場合に電力
供給または充電され得るデバイス共振器、及び複数の医療センサの少なくとも1つを含む
ことができる「センサベスト」、センサパッチなどを、患者が備えることを可能にする。
従来、このタイプの医療モニタ設備は、バッテリーを必要とし、それによりベスト、パッ
チなどを重くし、潜在的に実用的でなくしていた。しかし、本明細書で開示された原理を
用いることにより、バッテリー（又はより軽い再充電可能バッテリー）は必要なく、かく
して係る装置は、特にバッテリーが無いので、又はバッテリーが大幅に軽いので、ストラ
ップを用いずに、例えば接着剤により、係る医療装置が所定位置に保持され得る場合には
、より便利および実的にされる。医療設備は、発作、または心臓発作などを予想（例え
ば、それより数分前に）するために、遠隔的にセンサデータを読み取ることができる。当
該ベストが、医療設備から遠く離れた場所にいる、例えば家にいる人により使用される場
合、ベストは、携帯電話または通信装置と一体化されて、事故または医療事象の場合に救
急車を呼ぶことができる。本明細書で説明されたシステム及び方法は、当該ベストが高齢
者により使用されるべきである場合の例において特に価値が高く、この場合、従来のワイ
ヤレスでない再充電の手法（例えば、バッテリーの交換、及び夜にプラグ接続など）は要
求事項として不随されない。また、本明細書で説明されたシステム及び方法は、 batterie
の交換または再充電が困難である身体障害者により使用される又は係る身体障害者を支
援する充電装置、又は身体障害者が享受する又は頼りにする装置に電力を確実に供給す
ることが困難である充電装置に使用され得る。

20

30

【0422】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、義肢の充電および電力供給に使用され得る
。義肢は、腕、脚、手、及び足のような元の肢の機能を置き換えるという点で、非常に有
能になる。しかしながら、電動義肢は、結果として多大なバッテリーになる、かなりの電
力（例えば10～20W）を必要とする。その場合、切断手術を受けた人は、あまり長く
存続しない軽いバッテリーとかなり長く存続する重いバッテリーのどちらかを選択して帰
路に付くことができるが、「持ち歩く」ことはより困難である。本明細書で説明されたシ
ステム及び方法により、義肢は、デバイス共振器で電力供給されることが可能になり、こ
の場合、供給源共振器は、ユーザにより携えられ重量をより容易に支えることができる体
の一部に取り付けられるか（例えば、腰の周りのベルトに）、又はデバイスが充電または
電力供給される状態を保つように適切な時間をユーザが過ごす外部場所（例えば、ユーザ

40

50

の机に、ユーザの車内に、及びユーザのベッドの中など)に配置される。

【0423】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、工業的および軍事的応用形態で、及び高齢者/弱者/病人に使用されるような、電動エグゾスケルトン(exo-skeleton:外骨格)の充電および電力供給に使用され得る。電動エグゾスケルトンは、人に10~20倍までの「強さ」の増加を提供し、それにより人が、大きな疲れを伴わずに身体的に非常に骨が折れる作業を繰り返し行うことが可能になる。しかしながら、エグゾスケルトンは、特定の使用状況の下で100Wを超える電力を必要とし、そのためバッテリー駆動動作は、30分以下に制限され得る。本明細書で説明された無線電力の供給により、エグゾスケルトンのユーザに、エグゾスケルトンの構造運動に電力供給する、及び構造体の全体にわたって分散された様々なモータ及びセンサに電力供給するための電力の連続的な供給を行うことができる。例えば、埋め込まれたデバイス共振器(単数または複数)を有するエグゾスケルトンは、局所的な供給源共振器から電力を供給され得る。工業用エグゾスケルトンの場合、供給源共振器は、施設の壁に配置され得る。軍用エグゾスケルトンの場合、供給源共振器は、装甲車両により備えられ得る。高齢者のヘルパーを助けるために利用されるエグゾスケルトンの場合、供給源共振器(単数または複数)は、人の家の部屋(単数または複数)に設置または配置され得る。

10

【0424】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、酸素システム、人工呼吸器、投薬ポンプ、モータ、及び救急車の機器または携帯型医療ユニットなどのような、携帯型医療機器の電力供給/充電に使用され得る。患者を事故現場から病院に輸送できること、又はベッドの患者を他の部屋または領域に移動し、且つ患者に取り付けられて常に電力供給されている全機器を持っていくことができることは、患者の健康に大きな利益をもたらす、結果として幸せをもたらす。確かに、医療機器のバッテリーが消耗することにより、又は患者が多少なりとも輸送または移動される間に医療機器のプラグが抜かれる必要があることにより、動作を停止する医療機器によって生じる危険性および問題は理解され得る。例えば、自動車事故の現場の緊急医療チームは、現場での患者の救急治療で携帯型医療機器を利用する必要がある。係る携帯型医療機器は、緊急事態の持続期間に機器に電力供給するために十分なバッテリー寿命が存在するように適切に維持されなければならない。しかしながら、バッテリーが完全に充電されていない、場合によっては必要な機器が初動要員に利用可能でないように、機器が適切に維持されていない場合があまりにも頻繁にある。本明細書で説明されたシステム及び方法は、バッテリー及び電源パックの充電および維持が人間の介入なしで自動的に行われるように、携帯型医療機器(及び患者の関連したセンサ入力)に無線電力を供給することができる。また、係るシステムは、治療で利用される多くの医療モータ及び装置に取り付けられた様々な電源コードによる邪魔を取り除いた、患者の改善された動きやすさから恩恵を受ける。

20

30

【0425】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、個人の補聴器の電力供給/充電に使用され得る。個人の補聴器は、人の耳に嵌る又は当該耳の周りに装着するように小さくて軽い必要がある。サイズ及び重量の制約は、使用され得るバッテリーのサイズを制限する。同様に、デバイスのサイズ及び重量の制約は、構成要素の精巧さに起因してバッテリー交換を困難にする。デバイスの寸法および衛生状態の懸念事項は、バッテリーの再充電を可能にする追加の充電ポートを組み込むことを困難にする。本明細書で説明されたシステム及び方法は、補聴器に組み込まれることができ、必要なバッテリーのサイズを低減して更に小さい補聴器を可能にすることができる。本明細書で開示された原理を使用することにより、補聴器のバッテリーは、外部接続または充電ポートを必要とせずに再充電され得る。充電およびデバイス回路および小さい再充電可能バッテリーは、既存の補聴器に組み込むことを可能にする従来の補聴器のバッテリーのフォームファクタに組み込まれ得る。補聴器は、人により使用および着用されている間に再充電され得る。エネルギー供給源は、パッド又はカップに組み込まれることができ、それにより補聴器に係る構造体に配置された場

40

50

合に再充電されることが可能になる。充電供給源は、補聴器が乾燥または殺菌されている間にワイヤレス再充電を可能にする補聴器乾燥箱に組み込まれ得る。また、供給源共振器およびデバイス共振器はデバイスを加熱するためにも使用されることができ、追加の加熱素子の必要性を低減または取り除く。バッテリー又はＡＣアダプターにより電力供給される携帯型充電ケースは、保管および充電ステーションとして使用され得る。

【０４２６】

上記で説明された医療システム用の供給源共振器は、患者のセンサ及びデバイスのデバイス共振器と共に、医療機器の一部または全ての本体にあることができ、又は供給源共振器は、患者のセンサ及び機器の一部または全ての本体のデバイス共振器と共に、救急車内にあることができ、又は医療機器が救急車内にある間に、第一の供給源共振器が医療機器のデバイス共振器に無線電力を送送するために救急車内にあり、医療機器が救急車から離れる場合に、患者のセンサの第２のデバイス共振器に無線電力を送送するために第二の供給源共振器が医療機器の本体にあるなどである。本明細書で説明されたシステム及び方法は、医療関係者が患者を或る場所から別の場所に輸送することができる容易さを大幅に改善することができ、この場合、電源ワイヤ、及び関連したバッテリーを交換または手動で充電する必要性が直ちに低減され得る。

【０４２７】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、戦車、装甲輸送車、可動式シェルターなどのような軍用車両または軍事施設内のデバイスの充電のために使用され得る。例えば、兵士が「戦闘」または作戦の後で車両に戻る場合、彼らは一般に電子デバイスを充電し始める。彼らの電子デバイスがデバイス共振器を備えており、供給源共振器が車両の内部にある場合（例えば、車両の座席または天井に組み込まれた）、彼らのデバイスは即座に充電を始める。実際には、同じ車両が、車両の外に立っている又は車両のそばを歩いている兵士／ロボット（iRobot（登録商標）からのPackBot（登録商標））に電力を供給することができる。この能力は、他の誰かとの偶発的なバッテリー交換を最小限にすることに（これは、兵士が自分のバッテリーだけを信用する傾向があるので、重要な問題である）、又は攻撃を受ける車両からのより迅速な退去を可能にすることに、又は「困難な状況」および／または減少した可視性の場合に、速くあちこち移動するための能力が低減されるという点で、戦車内の非常に多くのワイヤは危険を及ぼす可能性があるので、戦車の内部でラップトップコンピュータ又は他の電子デバイスに対して電力供給または充電することなどに有用である。本明細書で説明されたシステム及び方法は、軍事環境において携帯型電力機器に電力供給することに関連して著しい改善を提供することができる。

【０４２８】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、ゴルフカート又は他のタイプのカート、オフロード車両、電気バイク、スクーター、車、芝刈り機、Bobcat（登録商標）及び建設および造園に一般に使用される他の車両などのような移動車両に、無線電力供給または充電の能力を提供することができる。本明細書で説明されたシステム及び方法は、小型のヘリコプター、空中の無人飛行機、遠隔制御飛行機、遠隔制御ボート、遠隔制御またはロボット探査車、遠隔制御またはロボット芝刈り機または機器、爆弾検出ロボットなどのような小型移動車両に、無線電力供給または充電の能力を提供することができる。例えば、視界を増加させるために軍用車両の上を飛行する小型のヘリコプターは、標準のバッテリーで数分間、飛行することができる。これら小型のヘリコプターがデバイス共振器を取り付けられ、制御車両が供給源共振器を有する場合、小型のヘリコプターは、いつまでも飛行することができる。本明細書で説明されたシステム及び方法は、小型の移動車両で使用するためのバッテリーを再充電または交換するための有効な代替案を提供することができる。更に、本明細書で説明されたシステム及び方法は、微小電気機械システム（MEMS）、ナノロボット、ナノデバイスなどのような更に小さいデバイスに電力供給／充電を行うことができる。更に、本明細書で説明されたシステム及び方法は、デバイス共振器を備えた移動車両の近傍に自発的に自身を配置することができる、出張または飛行中再充電器としての機能を果たすことを可能にするために移動車両または飛行するデバイスに供給源共振器

を設置することにより、実現され得る。

【0429】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、電力発生装置のような電源が必要とされ、電源ケーブルが一般に仮設設備のあちこちに引かれる、軍事キャンプ、石油採掘設備、人里離れた映画撮影の場所などのような仮設設備に電力網を提供するために使用され得る。電力を必要とする仮設設備を設ける必要がある場合の多くの例が存在する。本明細書で説明されたシステム及び方法は、これら設備を迅速に設けて解体するためのより効率的な方法を可能にすることができ、施設の全体にわたって電源まで引かれる必要があるワイヤの数を低減することができる。例えば、特殊部隊が或る領域に移る場合、彼らはテントを建てて、必要な電力を提供するためにキャンプのあちこちに多くのワイヤを引く。代わりに、本明細書で説明されたシステム及び方法により、電源および供給源共振器を取り付けた軍用車両がキャンプの中央に駐車して、近くのテントに全ての電力を供給することが可能になり、この場合、デバイス共振器はテントに、又は各テント又は領域に関連した何らかの他の機器の一部に組み込まれ得る。一連の供給源共振器 - デバイス共振器 - 供給源共振器 - デバイス共振器を用いて、更に遠くに離れたテントに電力を延ばすことができる。即ち、車両に最も近いテントが、それらの背後のテントに電力を供給することができる。本明細書で説明されたシステム及び方法は、仮設物が設けられて解体され得る効率性に著しい改善を提供することができ、かくして関連した設備の動きやすさが改善される。

10

【0430】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、車両で使用されることができ、例えば、ワイヤの交換のために、新しい機器の設置に、車両に持ち込まれるデバイスの電力供給に、車両（例えば、従来のガソリンエンジン、ハイブリッド車、電気自動車など）のバッテリーの充電に、車両の室内または室外に取り付けられたデバイスの電力供給に、車両の近傍にあるデバイスの電力供給などに使用され得る。例えば、本明細書で説明されたシステム及び方法は、車両の全体にわたって分散されたライト、送風機、及びセンサに電力供給するために使用されるようなワイヤを置き換えるために使用され得る。一例として、一般的な車は、それに関連した50Kgのワイヤを有する場合があります。本明細書で説明されたシステム及び方法を使用することにより、この配線のかんりの量を取り除くことを可能にすることができる。飛行機または人工衛星のような、より大きくてより重量に敏感な車両の性能は、車両の全体にわたって引かれる必要があるケーブルの数を低減することから著しく恩恵を受けることができる。本明細書で説明されたシステム及び方法は、電気ハーネスを必要とせずに、車両の取り外し可能な又は追加の部分を電気および電子デバイスと適合させることを可能にすることができる。例えば、オートバイは、長旅を続ける場合に一時的なトランク空間としての役割を果たす取り外し可能なサイドボックスを有することができる。これらサイドボックスは、外部ライト、内部ライト、センサ、自動車用品などを有することができ、本明細書で説明されたシステム及び方法を備えていない場合には、電気接続およびハーネスを必要とする。

20

30

【0431】

車載の無線電力送信システムは、車で使用される1つ又は複数のモバイル機器、即ち携帯電話機、Bluetoothヘッドセット、Bluetoothのハンズフリースピーカーフォン、GPS、MP3プレイヤー、FMおよびBluetoothを介したカーステレオを通してMP3オーディオをストリーミングするための無線オーディオトランシーバなどに対して充電または電力供給を行うことができる。車載の無線電力供給源は、ダッシュボード上のパッドを充電、もしそうでなければ床、又はシートとセンターコンソールの間に装着されたパッドを充電、及びカップホルダー内に又はダッシュボード上に適合する「カップ」又はレセプタクルを充電することを含む、任意の幾つかの可能な構成で構成され得る供給源共振器を利用することができる。

40

【0432】

無線電力送信供給源は、再充電可能なバッテリーシステムを利用することができ、そのため当該供給バッテリーは、車両の電源がオンであるときはいつでも充電され、そのため

50

車両がオフにされた場合に、無線電源が供給バッテリーから電力を引き出すことができ、車内に依然としてあるモバイル機器に対してワイヤレスで充電または電力供給すること続けることができる。

【0433】

未来のプラグイン電気自動車、及びハイブリッド車などは、充電される必要があり、ユーザは、ユーザが家または充電ステーションに着く場合に、電源にプラグ接続する必要がある。単一の夜間の再充電に基づいて、ユーザは、翌日、80.45 Km (50 マイル) まで運転することができる。従って、ハイブリッド車の例において、人が大半の日において80.45 Km (50 マイル) 未満を運転する場合、それは主として電気で駆動されている。しかしながら、人が夜に車のプラグ接続を行うことを記憶に留める必要がない場合には、有益になるであろう。即ち、車を単にガレージに入れるだけで良く、車自体の充電の面倒を車に見させる。この目的を達成するために、供給源共振器は、ガレージの床および/またはガレージの側壁に組み込まれ、デバイス共振器は車の底面(又は側面)に組み込まれ得る。数kWの伝送でも夜間の車の再充電には十分とすることができる。車載のデバイス共振器は、固定された共振供給源に対する車両(又は任意の類似したデバイス)の位置合わせを支援するように、フィードバックを提供するために磁界特性を測定することができる。車両は、この位置のフィードバックを用いて、自動的にそれ自体を位置決めし、最適な位置合わせを達成し、かくして最適な電力送信効率を達成することができる。別の方法は、車両が良好に位置決めされた場合に、例えばLEDを点灯させる、ノイズを提供するなどにより、車両またはデバイスを適切に位置決めするように人間の操作者を支援するために当該位置のフィードバックを使用することとすることができる。そのような場合に、送信されている電力量が活性領域の体積に侵入する人または動物に対して安全上の問題をもたらす可能性がある場合、供給源または受信器デバイスは、活性光のカーテン、又は当該活性領域の体積への侵入を検知することができ、且つ供給源デバイスを止めることができる何からの他の外部デバイスを備えて、人間の操作者に警告することができる。更に、供給源デバイスは、自己検知能力を備えることができ、そのためそれは、その予想される電力送信率が侵入要素により妨害されているかを検知し、その場合は供給源デバイスを止めて人間の操作者に警告することができる。開き戸または空気注入式ブラダー保護物のような物理的または機械的構造体が、望まれていない侵入を防止するために物理的なバリアとして組み込まれ得る。また、光学的、磁氣的、容量性、誘導的などのようなセンサは、無関係な構造体、又は供給源共振器とデバイス共振器との間の干渉を検出するために使用され得る。供給源共振器の形状は、水またはゴミの蓄積を防ぐように形作られ得る。供給源共振器は、円錐形の筐体内に配置され得るか、或いは水およびゴミが転がって落ちることを可能にするように傾斜した上面を備える筐体を有することができる。システムの供給源は、車両のバッテリー電力またはそれ自体のバッテリー電力を使用して、その存在を供給源に伝え、電力送信を開始することができる。

【0434】

供給源共振器は、電気自動車のバンパー、ボンネット、車体パネルなどに取り付けられたデバイス共振器に結合するために、壁、台などに埋め込まれた又はぶら下がったポスト(柱)に取り付けられ得る。供給源共振器は、クッション、パッド、ベロー、パネで留められた筐体などのようなフレキシブルな筐体に収容される又は埋め込まれることができ、そのため電気自動車は、決して車を損傷せずに、供給源コイルを包含する構造体と接触することができる。供給源を包含する構造体は、供給源共振器とデバイス共振器との間に物体が入ることを防止することができる。無線電力伝送は、供給源コイルとデバイスコイルとの間の位置合わせ不良に比較的影響を受けないので、様々なフレキシブルな供給源構造体および駐車手順は、この応用形態に適切とすることができる。

【0435】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、電気自動車、ハイブリッド車、燃焼機関自動車のバッテリーをトリクル充電するために使用され得る。車両は、バッテリーの電力を維持または補充するために小量の電力を必要とする。電力は、車両のフロントグリル、屋

10

20

30

40

50

根、底面、又は他の部品に組み込まれ得るデバイス共振器に、供給源からワイヤレスで伝送され得る。デバイス共振器は、ラジエータを流れる空気を妨害しないように、車両の前面、又はグリルの周りのロゴの形状に適合するように設計され得る。デバイス共振器または供給源共振器は、車両から雪または氷を溶かすために使用され得る加熱素子として共振器が使用されることを可能にする追加の動作モードを有することができる。

【0436】

電気自動車またはハイブリッド車は、当該車両が充電のために供給源共振器の近傍に到達できる容易性を増加するように（即ち、より大きな数およびより大きく多様な位置のデバイス共振器は、車両が多種多様の充電ステーションに停車して、当該充電ステーションに接続して機能する可能性がより大きい）、或る時間期間に伝えられ得る電力量を増加するように（例えば、追加のデバイス共振器が許容可能なレベルまで電流を充電することに起因した局所的な加熱を防ぐために必要とされ得る）、及び充電ステーションに自動的に車両を止める（駐車）／結合させる際に支援するなどのように、多数のデバイス共振器を必要とする場合がある。例えば、車両は、最適化された充電状態（即ち、充電ステーションの供給源共振器に対する車両のデバイス共振器の最適な位置決めは、より大きな電力伝送効率を提供する）に関して運転者、又は車両の駐車場の自動駐車／結合設備に案内を提供するフィードバックシステムを備えた多数の共振器（又は単一の共振器）を有することができる。自動駐車／結合設備は、車両が如何に良く結合されるかに基づいて、車両の自動駐車を可能にすることができる。

10

【0437】

電力送信システムは、車両のデバイス及び周辺機器に電力供給するために使用され得る。周辺機器に対する電力供給は、車両が充電されている間に、又は充電されていない間に行われることができ、或いは電力は、充電をしなくてもよい従来の車両に伝えられ得る。例えば、電力は、ガレージの駐車場またはローディングドックで排ガスが蓄積するのを避けるために重要である、エンジンの動作を回避するように駐車されている間に、空調、冷凍ユニット、ヒータ、ライトなどに電力供給するために、従来の非電気自動車にワイヤレスで伝送され得る。電力は、例えば、駐車されている間にバスにワイヤレスで伝送され、搭載されたエンジン又は電源の使用を避けて、ライト、周辺機器、乗客のデバイスなどに電力供給することを可能にすることができる。電力は、駐機場またはハンガーに駐機されている間に航空機にワイヤレスで伝送され、搭載されたエンジン又は電源を使用する必要なしに、計器装備、温度調節器、防水装置などに電力供給することができる。

20

30

【0438】

車両での無線電力送信は、ピークルトゥグリッド（V2G）の概念を可能にするために使用され得る。ピークルトゥグリッドは、分散されたエネルギー蓄積デバイスとして電気自動車およびプラグインハイブリッド電気自動車（PHEV）を利用することに基づいており、当該電気自動車およびプラグインハイブリッド電気自動車（PHEV）は、配電網が活用されていない夜に充電され、昼間に生じるピーク需要の出現の間に配電網へ戻すように放電するために利用可能である。車両および個々のインフラでの無線電力伝送システムは、プラグイン接続を必要とせずに、双方向のエネルギーの流れを可能にするように（その結果、エネルギーは車両から配電網へ逆流することができる）、実現され得る。工場、オフィス、駐車場に駐車された膨大な全車両は、スマートグリッドによって「ピーク電力能力（peaking power capacity）」とみなされ得る。車両での無線電力送信は、係るV2Gビジョンを現実のものにすることができる。配電網に車両を接続するプロセスを簡略化することにより（即ち、無線充電可能な駐車場に単に車両を止めることにより）、配電網が電力を利用する必要がある場合に特定数の車両が「派遣され得る」という可能性がより高くなる。無線充電を用いない場合、電気自動車および（PHEV）の所有者は、恐らく家で車両を充電し、職場で従来の駐車場に車両を止める。充電をする必要がない場合に、だれが職場で車両をプラグ接続することを望むであろうか？3kWを取り扱うことができる無線充電システムの場合、100,000台の車両が300メガワットを配電網に戻すことができる（コスト効率の良いベースロード発電能力により、以前に夜に生成された

40

50

エネルギーを用いて)。それは、実行可能なV2Gエネルギー源にする、PHEV車両および電気自動車のコードレス自己充電の合理化された人間工学である。

【0439】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、空気圧を測定するためのタイヤ内のセンサのような車両のセンサに電力供給するために、又は携帯電話、GPS装置、ナビゲーション装置、ゲーム機、オーディオ又はビデオプレイヤー、DVDプレイヤー、無線方式ルータ、通信機器、盗難防止装置、レーダー装置などのような、車両内の周辺機器を動作させるために使用され得る。例えば、本明細書で説明された供給源共振器は、車のメインコンパートメントに組み込まれて、車のメインコンパートメントの内側と外側に位置する様々なデバイスに電力を供給することができる。車両がオートバイなどである場合、本明細書で説明されたデバイスは、オートバイの本体、例えばシートの下に組み込まれることができ、デバイス共振器は、例えば通信、娯楽、信号を発するなどのために、ユーザのヘルメットに設けられ得るか、又はデバイス共振器は、例えば安全のために他の運転者に信号を表示するなどのために、ユーザのジャケットに設けられ得る。

【0440】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、道路、列車、航空機、船舶輸送などのような交通インフラと連係して使用され得る。例えば、供給源共振器は、道路、駐車場、鉄道線路などに組み込まれ得る。供給源共振器は、信号機、標識などに組み込まれ得る。例えば、供給源共振器が道路に埋め込まれ、デバイス共振器が車両に組み込まれる場合、車両は、道路に沿って走行する際に、又は道路の区画または道路脇に駐車される際に電力を供給され得る。本明細書で説明されたシステム及び方法は、車両が道路網または道路網の一部を通過する間に電力供給および/または充電されるべき、車両の電気システムに効果的な方法を提供することができる。このように、本明細書で説明されたシステム及び方法は、自律走行車、無人搬送車などの電力供給/充電に寄与することができる。本明細書で説明されたシステム及び方法は、車両が一般にアイドリング又は停止する所々で、例えば、信号機または標識の近傍で、高速道路の出入道路で、又は駐車場などで、車両に電力を供給することができる。

【0441】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、産業環境で、例えば機械装置に電力供給するために、ロボットの電力供給/充電のために、ロボットアームの無線センサの電力供給および/または充電のために、工具の電力供給/充電などのために工場の内部で、使用され得る。例えば、ロボットのアームのデバイスに電力を供給するために本明細書で説明されたシステム及び方法を用いることは、ロボットアームのジョイント(関節)を横切る直接的なワイヤ接続を取り除くことに役立つことができる。このように、係る直接的なワイヤ接続からの摩耗が低減され、ロボットの信頼性が向上することができる。この場合、デバイス共振器はロボットのアーム上の外にあり、供給源共振器は、ロボットの基部にあることができ、ロボットの近くの中心位置にあることができ、ロボットがサービスを提供している産業施設に組み込まれ得るなどである。本明細書で説明されたシステム及び方法の使用は、産業施設内での配電に関連した配線を取り除くことに役立ち、ひいては当該施設の総合的な信頼性に利することができる。

【0442】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、掘削、採鉱、採掘などのような地下の応用形態に使用され得る。例えばボーリング又は掘削に関連した電気構成要素およびセンサは、本明細書で説明されたシステム及び方法を利用して、掘削機構、掘削ビットなどに関連したケーブル敷設をなくし、かくして掘削点の近くのケーブル敷設がなくなる又は最小限にされる。別の例において、本明細書で説明されたシステム及び方法は、採鉱の応用形態において掘削機器に電力を供給するために使用されることができ、この場合、当該機器の電力要件は高く且つ距離は大きい、関連した必要な場にさらされる人は存在しない。例えば、掘削領域は、高い電力要件を有する掘削機器に電力供給するデバイス共振器を有することができる、供給源共振器から比較的遠くで掘削することができる。結果として、供給

源共振器は、これら要件を満たすために高い磁界強度を提供する必要があるが、職員はこれら高い強度の場の外側にいるように十分に遠く離れている。職員のいないこの高電力の状況は、複数の工業的応用形態に適用可能である。

【 0 4 4 3 】

また、本明細書で説明されたシステム及び方法は、電力伝送の代わりに、又は電力伝送に加えて、情報伝送のために近接場の非放射共振方法を使用することができる。例えば、近接場の非放射共振技術により伝送されている情報は盗聴されにくく、そのため従来の無線通信方法に比べてセキュリティのレベルを上げることができる。更に、近接場の非放射共振技術により伝送されている情報は、E M放射スペクトルと干渉せず、そのためE M干渉源になることができないことにより、拡大された周波数範囲内で且つ任意の規制機関により設定された制限の十分な範囲内で通信が可能になる。通信サービスは、例えば遠く離れたセンサ間、トンネル、洞窟および井戸（例えば、油井、他の掘削地点）におけるデバイス又は車両のセクション間、及び水中または地下のデバイス間などのような、遠く離れてアクセスできない又は到達しづらい場所間で提供され得る。通信サービスは、磁界が電界より少ない損失を蒙る所々で提供され得る。

10

【 0 4 4 4 】

本明細書で説明されたシステム及び方法は、無線電力送信システムにおいて、供給源とデバイスとの間で電力および通信信号の同時送信を可能にすることができる、或いは異なる時間期間の間に又は異なる周波数で電力および通信信号の送信を可能にすることができる。共振器の性能特性は、エネルギー又は情報伝送の効率性または範囲を優先的にサポート又は制限するように制御可能に変更され得る。例えば、共振器の性能特性は、情報伝送の範囲を低減することにより、セキュリティを改善するために制御され得る。共振器の性能特性は、連続的に、周期的に、或いは所定のアルゴリズム、計算されたアルゴリズム又は自動調整されるアルゴリズムに従って変更され得る。例えば、本明細書で説明されたシステム及び方法により可能にされる電力および情報の伝送は、時分割または周波数分割の方法で行われ得る。供給源およびデバイスは、チューニング、変化、変更、ディザリングなどにより互いに信号を送ることができ、共振器のインピーダンスは、検出され得る他の共振器の反射インピーダンスに影響を及ぼすことができる。本明細書で説明されたように伝送される情報は、デバイスの識別、デバイス電力要件、ハンドシェーキングプロトコルなどに関連した情報を含むことができる。

20

30

【 0 4 4 5 】

供給源およびデバイスは、電力網において任意の他の供給源および/またはデバイスに関する位置および場所の情報を検知、送信、処理および利用することができる。供給源およびデバイスは、供給源およびデバイスに組み込まれ得る、又は供給源およびデバイスが接続する構成要素の一部とすることができる様々なセンサおよび情報源からの、高度、傾き、緯度および経度などのような情報を捕捉または使用することができる。位置決め及び方向付けの情報は、全地球測位システム（GPS）、コンパス、加速度計、圧力センサ、大気圧センサ、Wi-Fi又は携帯電話のネットワーク信号を使用する位置決めシステムなどのような情報源を含むことができる。供給源およびデバイスは、当該位置および場所の情報を使用して、近くの無線電力送信供給源を見つけることができる。供給源は一斉送信するか、或いは中央ステーション又はその場所を特定するデータベースと通信することができる。デバイスは、中央ステーション又はデータベースから、或いは局所的な放送から供給源の場所の情報を得ることができ、視覚的信号、振動的信号、又は聴覚的信号を利用して、ユーザ又は操作者を供給源に案内することができる。供給源およびデバイスは、電力網の、通信ネットワークの、センサネットワークの、ナビゲーションネットワークなどのノード、又は組み合わされた機能性ネットワークの類のノードとすることができる。

40

【 0 4 4 6 】

また、当該位置および場所の情報は、電力供給を最適化または調整するために使用され得る。供給源およびデバイスの相対位置に関する追加情報は、磁場方向および共振器の位置合わせを最適化するために使用され得る。例えば、加速度計および磁気センサなどから

50

得られることができるデバイス及び供給源の位置関係は、磁束がデバイスの回路により阻止されないように、磁界の最も好適な方向と共振器の位置関係を特定するために使用され得る。係る情報を用いて、最も好適な位置関係を有する供給源、又は供給源の組合せが使用され得る。同様に、位置および位置関係の情報は、電力送信効率を最大化するために、損失を最小限にするなどのために好適な位置関係または場所にデバイスを配置するように、デバイスのユーザ又は操作者を動かす、又はデバイスのユーザ又は操作者にフィードバックを提供するために使用され得る。

【0447】

供給源およびデバイスは、電力計量および測定 of 回路および能力を含むことができる。電力計量は、どれぐらいの量の電力がデバイスに伝えられたか、又はどれぐらいの量の電力が供給源により伝送されたかを追跡するために使用され得る。電力計量および電力使用量の情報は、課金の目的のために、有料電力供給設備で使用され得る。また、電力計量は、電力が特定の基準に従って多数のデバイスに配電されることを確実にするように電力供給方針を可能にするために使用され得る。例えば、電力計量は、デバイスが受け取った電力量、及び電力供給において最も少ない電力を受け取ったデバイスに与えられ得る優先順位に基づいて、デバイスを分類するために使用され得る。電力計量は、別個の料率で課金され得る、「保証された電力」および「ベストエフォート型電力」のような段階的供給サービスを提供するために使用され得る。電力計量は、階層的電力供給構造を実施および実行するために使用されることができ、優先デバイスが、特定の状況または使用状況下で、より多くの電力を要求および受け取ることを可能にすることができる。

【0448】

電力計量は、電力供給の効率を最適化する、並びに吸収および放射損失を最小限にするために使用され得る。デバイスにより受け取られた電力に関連している情報は、望ましくない動作環境または周波数を識別するために、供給源の電力出力に関する情報と共に供給源により使用され得る。例えば、供給源は、デバイスにより受け取られた電力量と供給源が送信した電力量を比較し、送信損失が異常に又は許容できないくらい大きいかを判定する。大きな送信損失は、供給源からの電力を受け取る許可されていないデバイスに起因する可能性があり、供給源および他のデバイスは、許可されていない使用を防止または阻止するために、共振周波数の周波数ホッピング又は他の防御的測定を開始することができる。大きな送信損失は、例えば吸収損失に起因する可能性があり、デバイス及び供給源は、係る損失を最小限にするために共振周波数を変更するように調整することができる。また、大きな送信損失は、望まれていない又は未知の物体または材料の存在を示し、供給源は、その望まれていない又は未知の物体が除去される又は特定されるまで、その電力レベルを下げる又は止めることができ、係る物体が除去される又は特定された時に、供給源は遠隔デバイスの電力供給を再開することができる。

【0449】

供給源およびデバイスは、認証能力を含むことができる。認証は、相性が良い供給源とデバイスのみが電力を送受信することができることを確実にするために使用され得る。認証は、特定のメーカー製であり且つ他のメーカーからの複製品またはデバイス及び供給源でない真のデバイスのみ、或いは特定の予約申し込み又はプランの不可欠な要素であるデバイスのみが、供給源からの電力を受け取ることができることを確実にするために使用され得る。認証は、要求と応答の暗号プロトコルに基づくことができるか、又は特定のデバイスを使用可能にする当該特定のデバイスの振動からなる一意の特徴（シグネチャ）に基づくことができ、物理的にコピー不可能な機能に類似した特性に基づいて認証される。認証は、局所的な通信を用いて各供給源とデバイスとの間で局所的に実行され得るか、又は第三者の認証方法と共に使用されることができ、この場合、供給源およびデバイスは中央権力部との通信で認証する。認証プロトコルは、位置情報を用いて、真のデバイスの局所的供給源（単数または複数）に警告することができる。

【0450】

供給源およびデバイスは、周波数ホッピング技術を用いて、無線電力供給源の許可され

ていない使用を防止することができる。供給源は、電力供給の共振周波数を連続的に調整または変更することができる。周波数の変更は、擬似ランダムの方法、又は再現可能であるが予測することが困難であると知られている所定の方法で実行され得るか、或いは許可されたデバイスに伝えられ得る。使用される周波数ホッピングのレート及び様々な周波数の数は、許可されていない使用が困難または実行不可能であることを十分に確実にするために大きく且つ頻繁にすることができる。周波数ホッピングは、インピーダンス回路網をチューニングすることにより、任意の駆動回路をチューニングすることにより、複数の共振周波数にチューニングされる又はチューナブルである複数の共振器を用いることなどにより実現され得る。

【0451】

供給源は、供給源がデバイス共振器に結合されて電力を送信しているか否か、供給源がスタンバイモードにあるか否か、又は供給源共振器が外部物体によりデチューンされている又は摂動を与えられているか否かに関して、供給源のステータスを示すためのユーザ通知能力を有することができる。当該通知能力は、視覚的方法、聴覚的方法、及び振動的方法を含むことができる。通知は、三色ライト（それぞれの色が各状態に対応）のように簡単にすることができる。オプションとして動作中のエラーの場合に通知を提供するためのスピーカとすることができる。代案として、通知能力は、供給源のステータスを示す、及びオプションとして特定された任意のエラー又は問題を如何にして修繕または解決するかに関する指示を提供する対話型ディスプレイを含むことができる。

【0452】

別の例として、無線電力伝送は、爆発物の電子雷管の安全性を改善するために使用され得る。爆破装置は、電子雷管、電気雷管、又は衝撃波管の起爆装置で爆発する。電子雷管は、導電的に又は無線により送信された低いエネルギーのトリガ信号でもって、イグナイター電荷を活性化するために、蓄電された電気エネルギー（通常、コンデンサに）を利用する。電気雷管は、イグナイター電荷を活性化するために必要な信号およびエネルギーを供給するために、高いエネルギーの導電性トリガ信号を利用する。衝撃波管は、爆発物でコーティングされた中空管を介して制御された爆発を発生器からイグナイター電荷まで送る。意図されない活性化（起動）を生じる漂遊電磁エネルギーが存在するので、電気雷管および電子雷管に関連した安全性の問題が存在する。鋭い共振磁気結合を介した無線電力伝送は、係るシステムの安全性を改善することができる。

【0453】

本明細書で開示された無線電力伝送の方法を用いることにより、局所的に蓄電されたエネルギーを備えない電子起爆システムが構築されることができ、かくして意図されない活性化の危険性が低減される。無線電力供給源は、起爆装置の近傍（数メートル以内）に配置され得る。起爆装置は、共振捕捉コイルを備えることができる。活性化エネルギーは、無線電力供給源がトリガされた場合に伝送され得る。無線電力供給源のトリガは、任意の数の機構、即ち無線、磁気近接場無線、導電性信号伝送、超音波、レーザ光により起動され得る。また、共振磁気結合に基づいた無線電力伝送は、岩、土、コンクリート、水、及び他の高密度物質のような構成物質を介して電力を伝送することができる利点を有する。受信器および供給源として、非常に狭い帯域応答を有し且つ専用周波数に鋭くチューニングされた非常に高いQのコイルを使用することは、起爆装置の回路が漂遊EMIを捕捉することができず、且つ意図していない起動を行うことができないことを更に確実にする。

【0454】

ワイヤレスで電力供給されるデバイスの共振器は、外部またはデバイスの外側にあることができ、デバイスのバッテリーに配線され得る。デバイスのバッテリーは、デバイス共振器の交流電流を受け取るために、適切な整流および制御回路を含むように変更され得る。これは、キーボード又はマウスの電池蓋、又はデジタルスチルカメラに組み込まれ得るように、或いは更に大きなコイルがデバイスに取り付けられるが、リボンケーブルでバッテリー/コンバータに戻るよう配線されるように、より大きな外部コイルを有する構成を可能にすることができる。電池蓋は、外部コイルからバッテリー/コンバータへの相互

接続（電池蓋のコンタクトに触れることができる露出されたコンタクトを必要とする）を提供するように変更され得る。

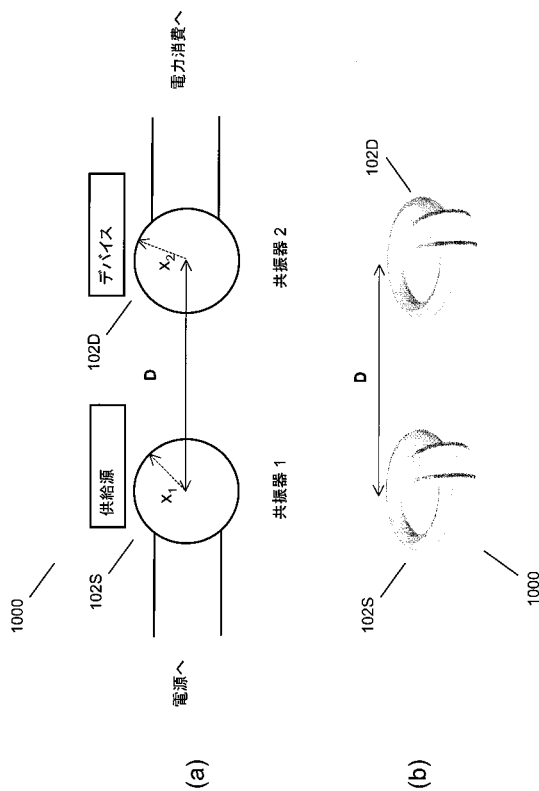
【 0 4 5 5 】

本発明は、特定の好適な実施形態に関連して説明されたが、他の実施形態は、当業者により理解され、本発明の範囲内に入ることが意図され、法律によって許容可能な最も広い意味で解釈されるべきである。

【 0 4 5 6 】

本明細書で参照された全文献は、参照により本明細書に組み込まれる。

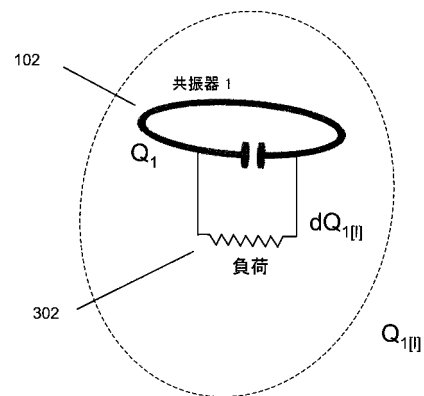
【 図 1 】



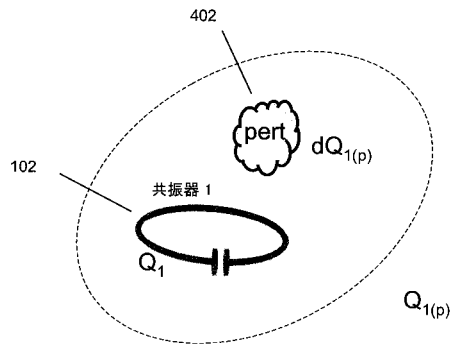
【 図 2 】



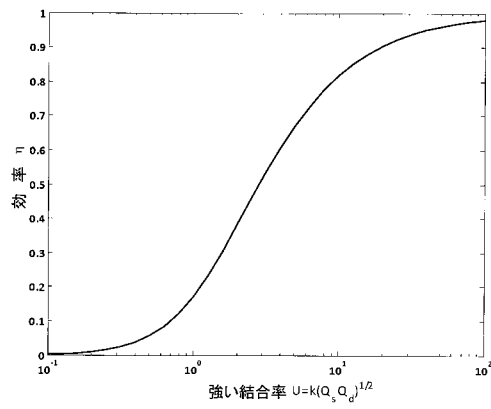
【 図 3 】



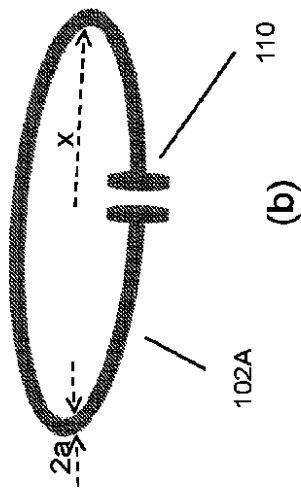
【図 4】



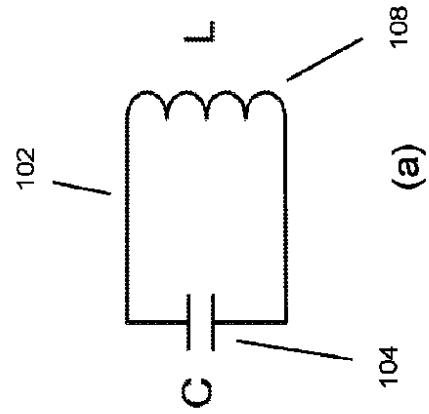
【図 5】



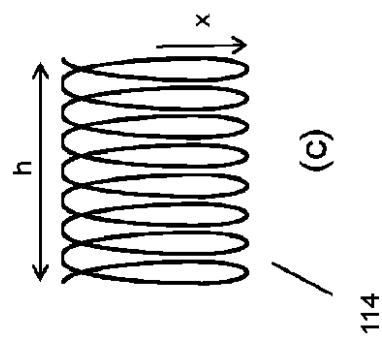
【図 6 (b)】



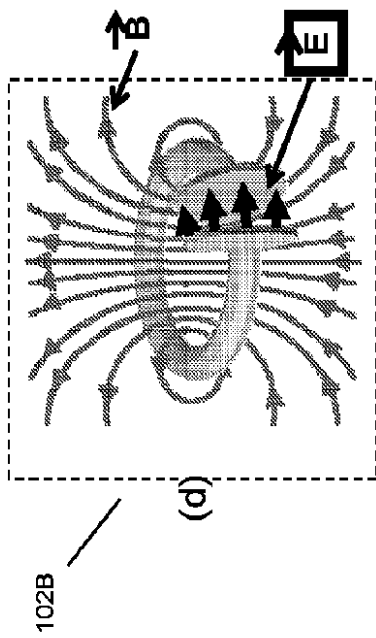
【図 6 (a)】



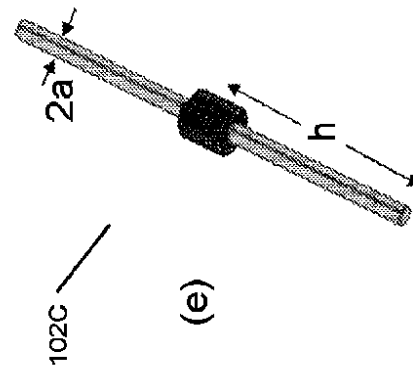
【図 6 (c)】



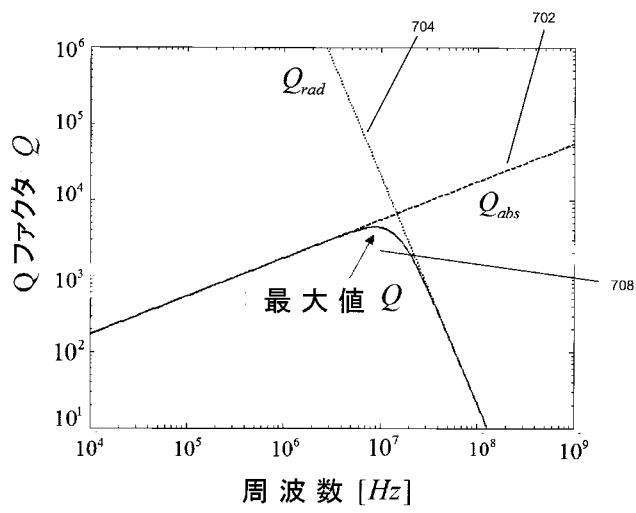
【図 6 (d)】



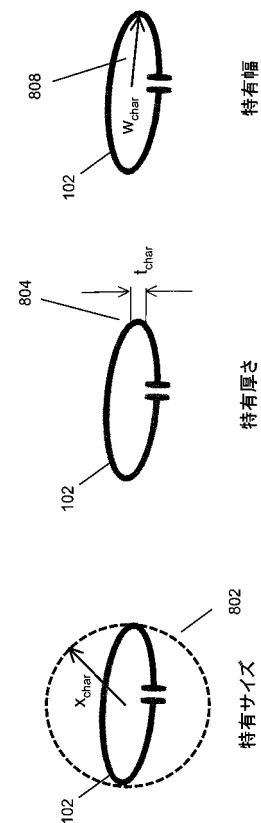
【図 6 (e)】



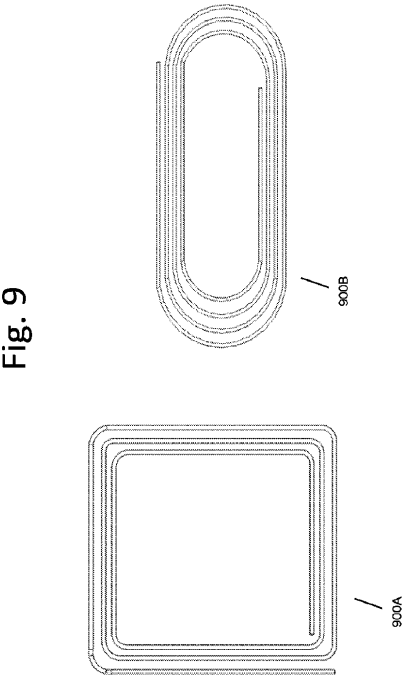
【図 7】



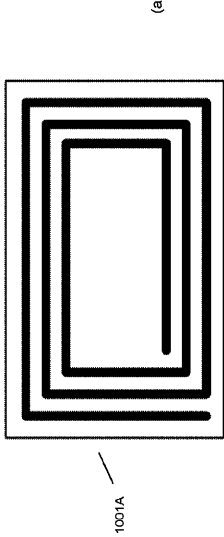
【図 8】



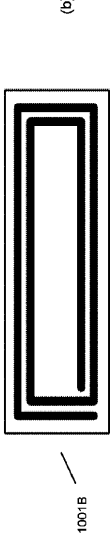
【図 9】



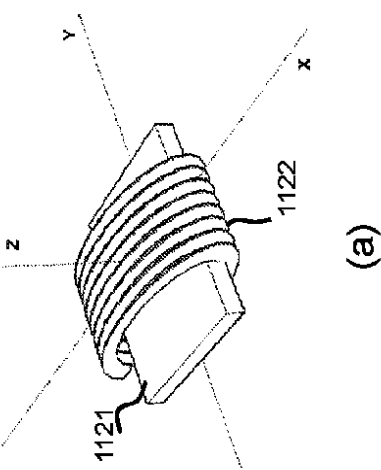
【図 10 (a)】



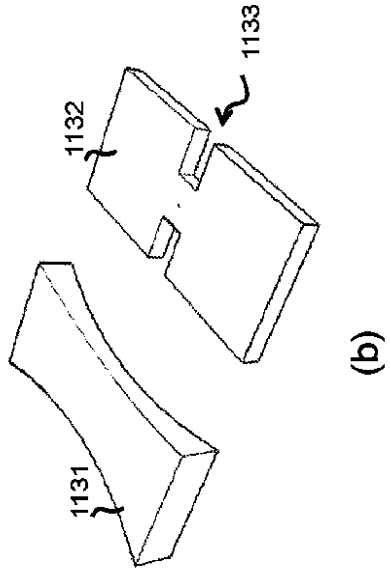
【図 10 (b)】



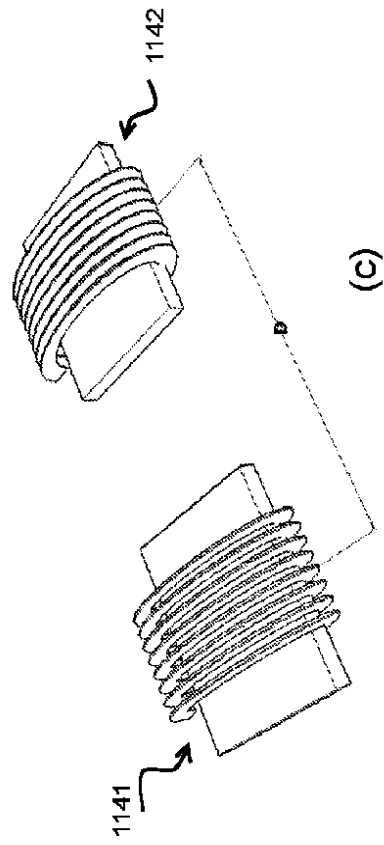
【図 11 (a)】



【図 1 1 (b)】



【図 1 1 (c)】



【図 1 2】

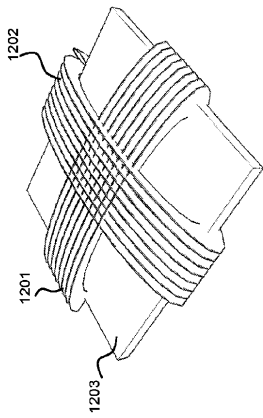


Fig. 12

【図 1 3】

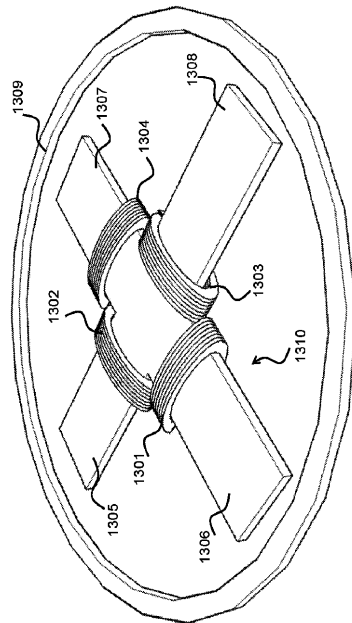


Fig. 13

【図 14】

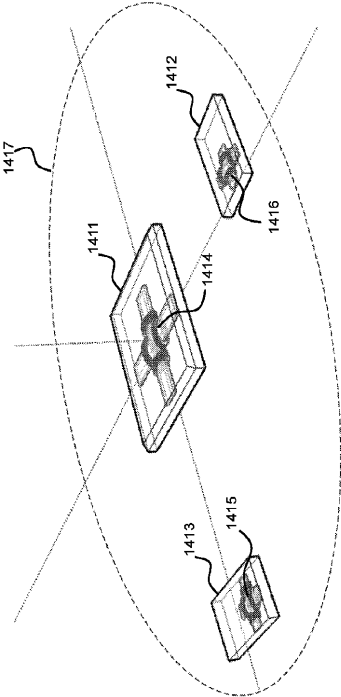


Fig. 14

【図 15】

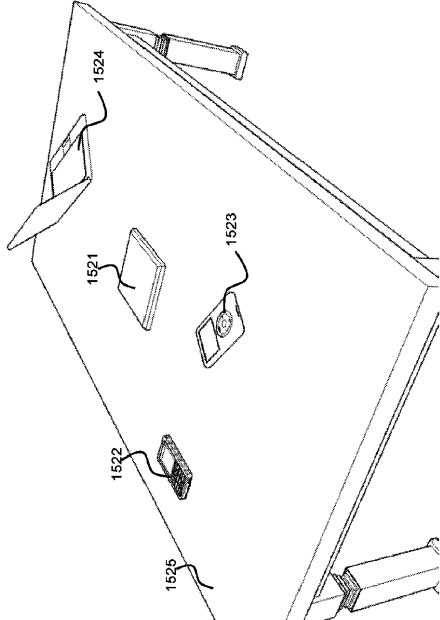
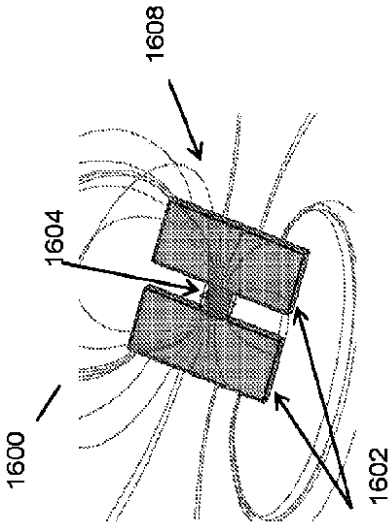
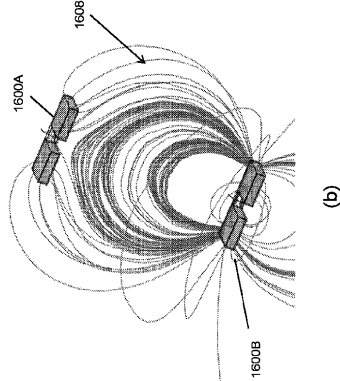


Fig. 15

【図 16 (a)】



【図 16 (b)】



(a)

【図 17】

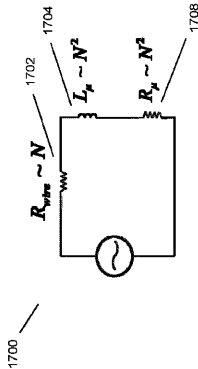
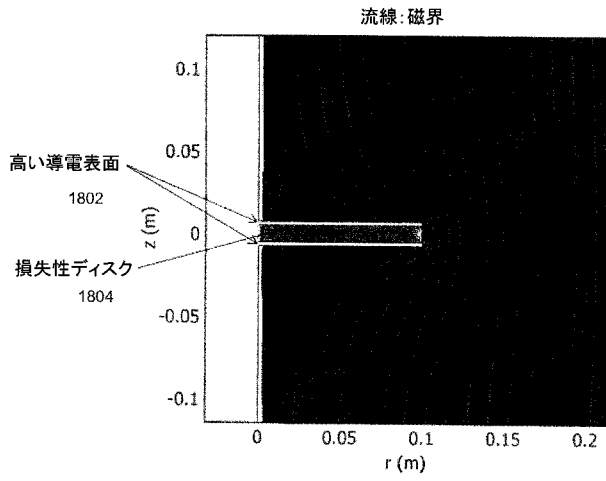


Fig. 17

【図 18】



【図 19】

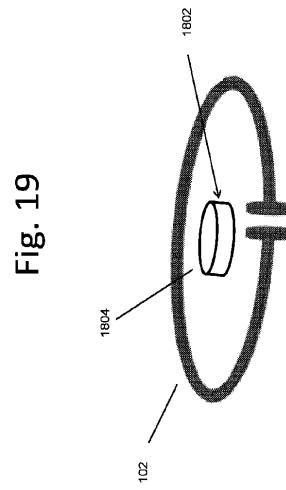


Fig. 19

【図 20】

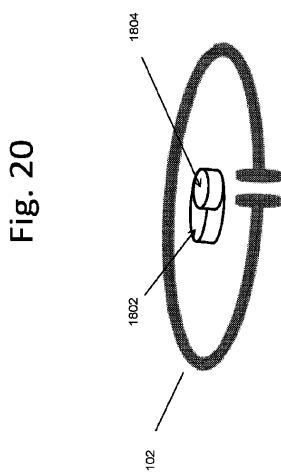


Fig. 20

【図 21】

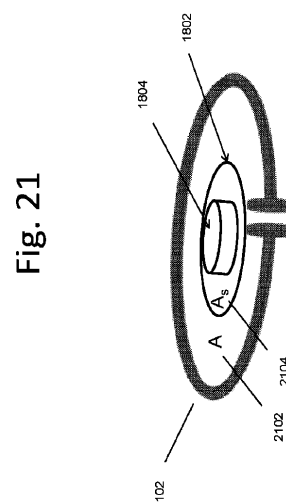
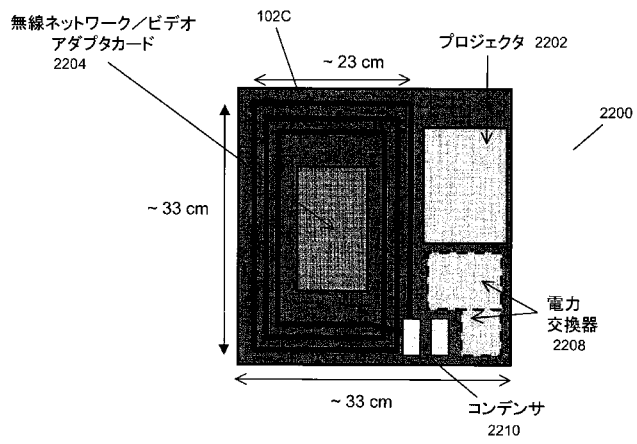
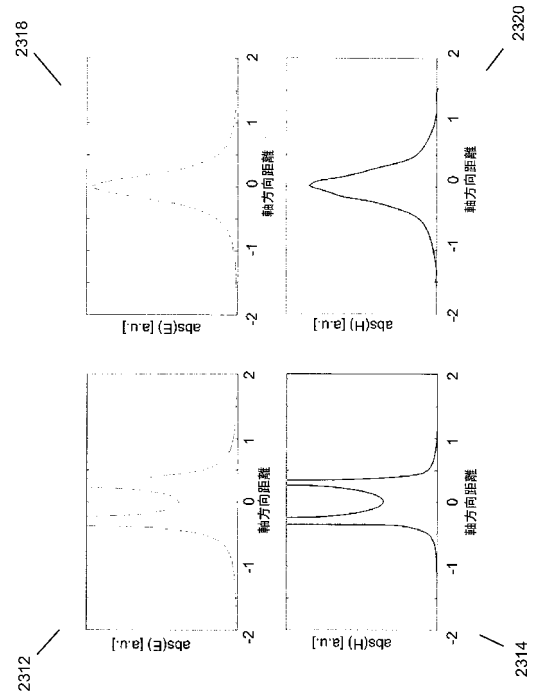


Fig. 21

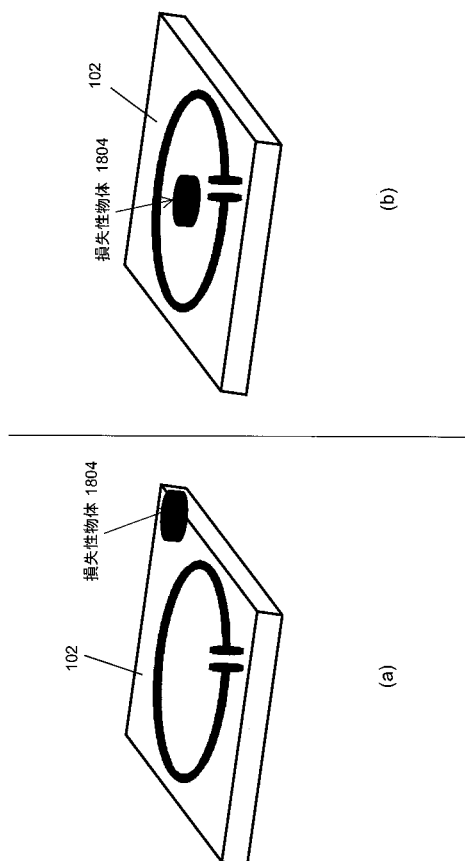
【図 2 2】



【図 2 3】

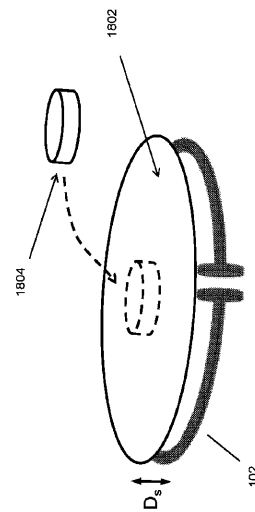


【図 2 4】

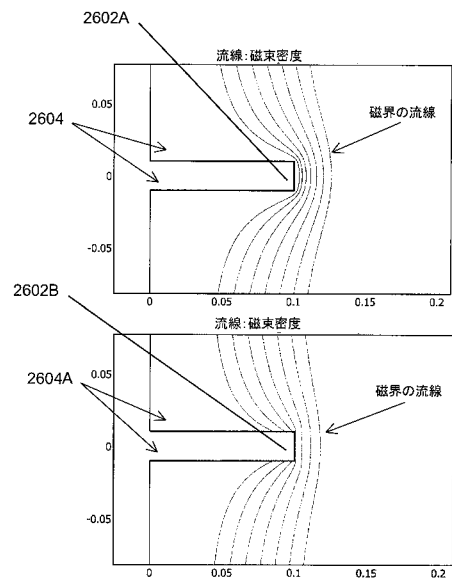


【図 2 5】

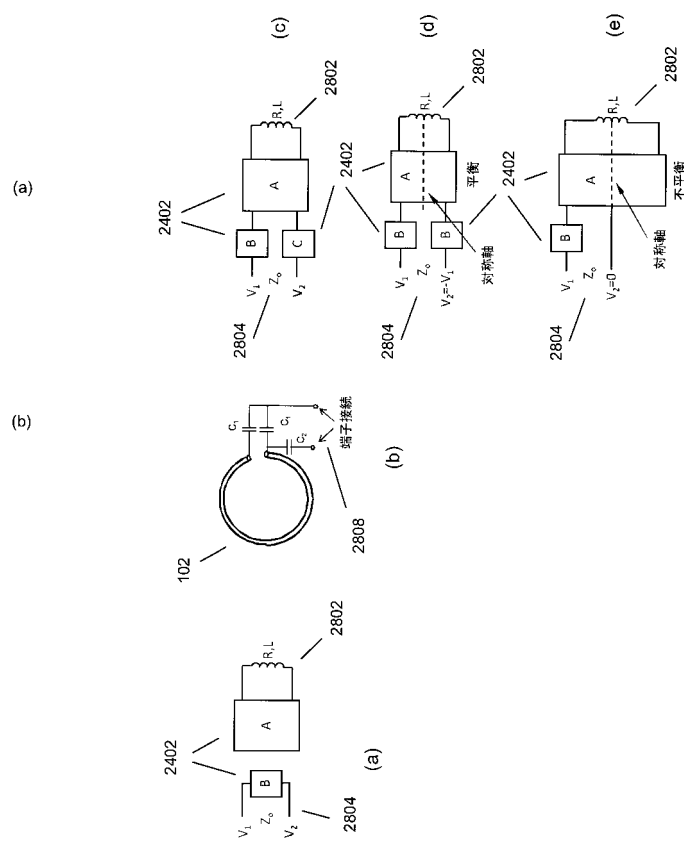
Fig. 25



【 図 2 6 】



【 図 2 8 】



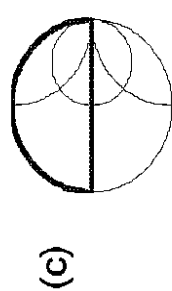
【 図 2 9 (a) 】



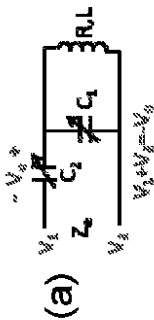
【 図 2 9 (b) 】



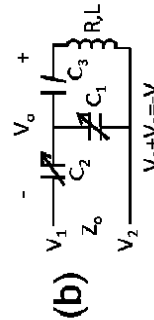
【 図 2 9 (c) 】



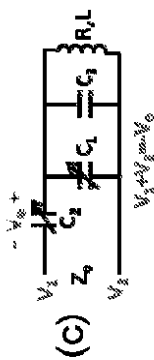
【図 30 (a)】



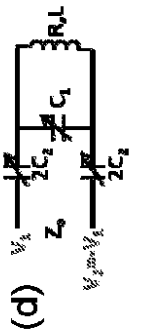
【図 30 (b)】



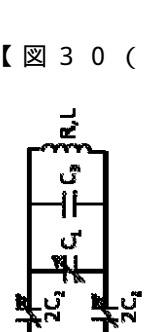
【図 30 (c)】



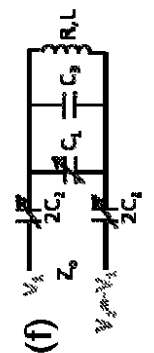
【図 30 (d)】



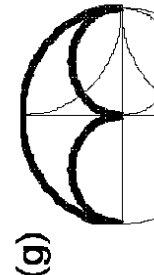
【図 30 (e)】



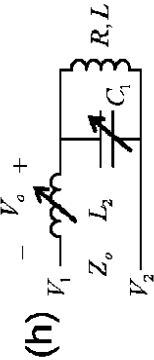
【図 30 (f)】



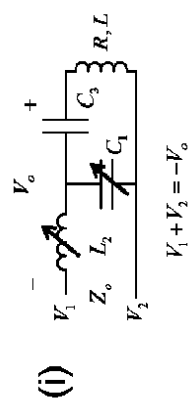
【図 30 (g)】



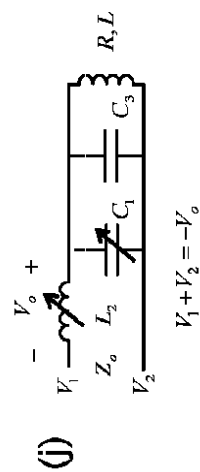
【図 30 (h)】



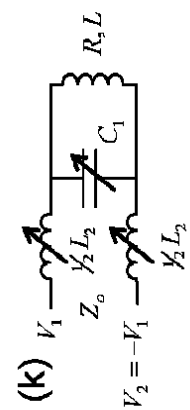
【図 30 (i)】



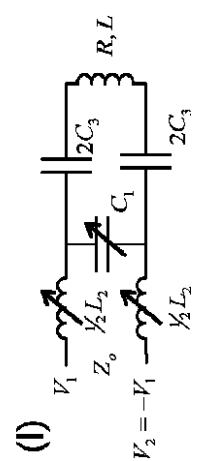
【図 30 (j)】



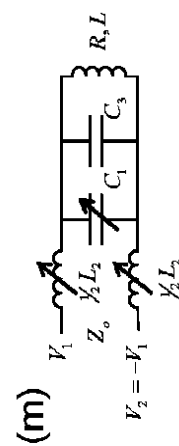
【図 30 (k)】



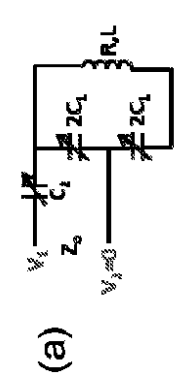
【図 30 (l)】



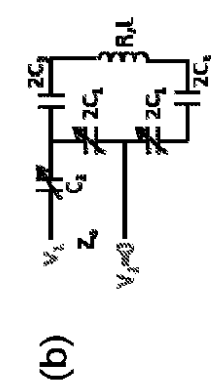
【 図 3 0 (m) 】



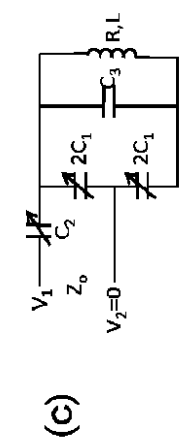
【 図 3 1 (a) 】



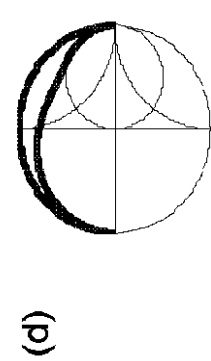
【 図 3 1 (b) 】



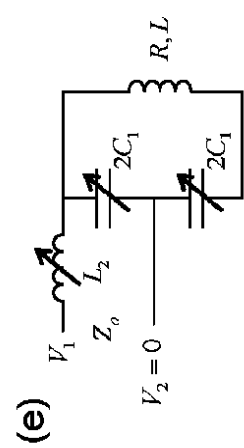
【 図 3 1 (c) 】



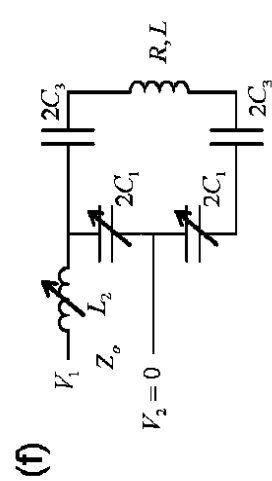
【 図 3 1 (d) 】



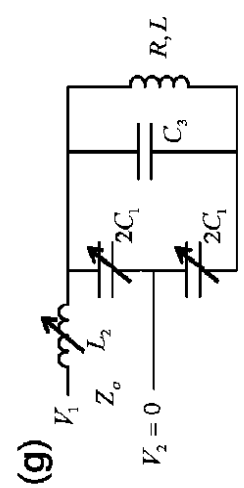
【図 3 1 (e) 】



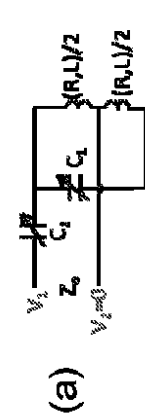
【図 3 1 (f) 】



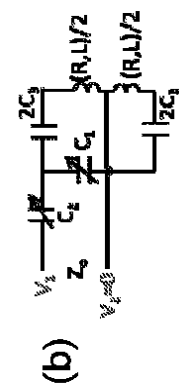
【図 3 1 (g) 】



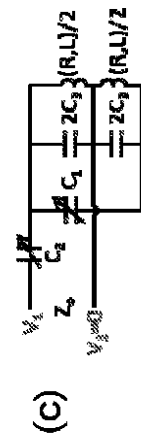
【図 3 2 (a) 】



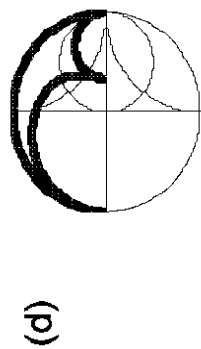
【 図 3 2 (b) 】



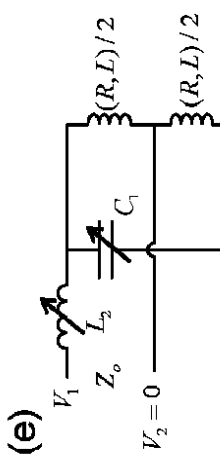
【 図 3 2 (c) 】



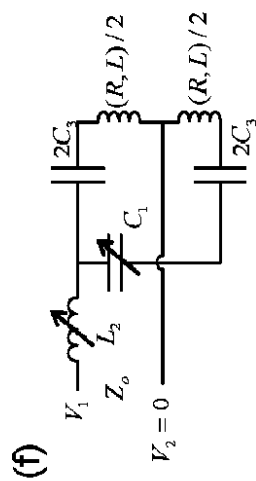
【 図 3 2 (d) 】



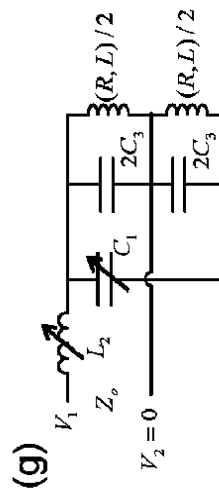
【 図 3 2 (e) 】



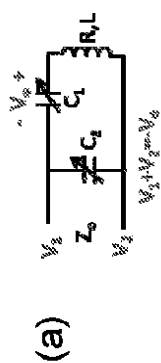
【図 3 2 (f)】



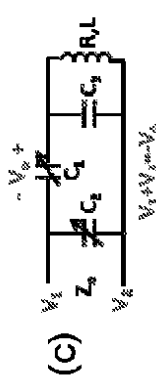
【図 3 2 (g)】



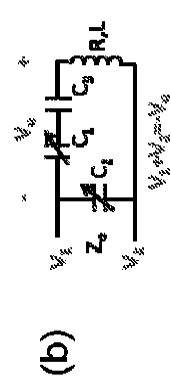
【図 3 3 (a)】



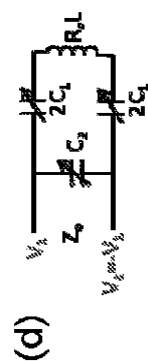
【図 3 3 (c)】



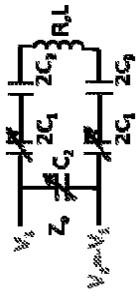
【図 3 3 (b)】



【図 3 3 (d)】

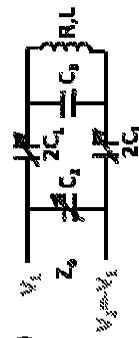


【図 3 3 (e)】



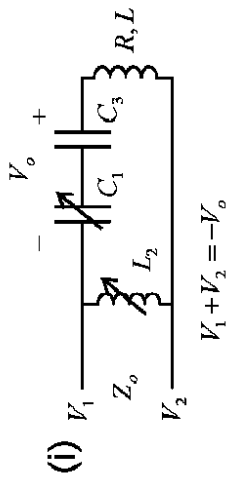
(e)

【図 3 3 (f)】



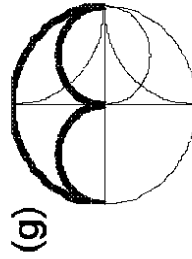
(f)

【図 3 3 (i)】



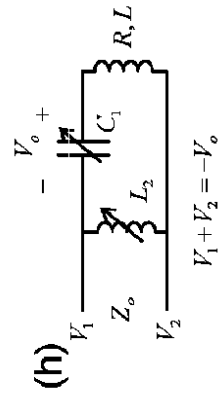
(i)

【図 3 3 (g)】



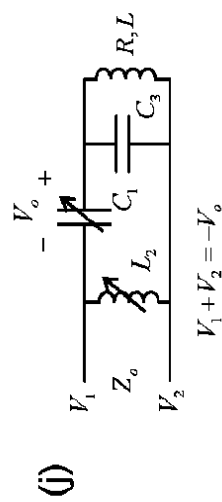
(g)

【図 3 3 (h)】



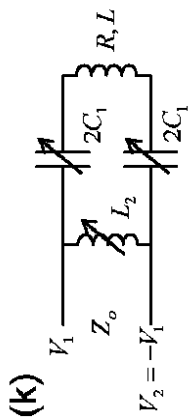
(h)

【図 3 3 (j)】

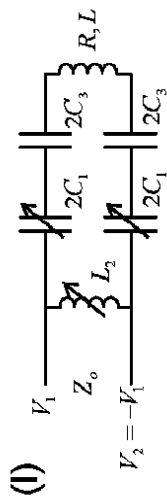


(j)

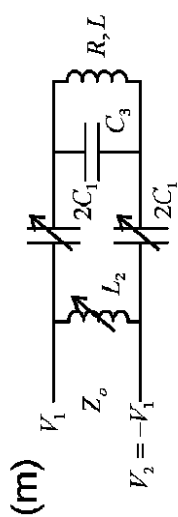
【図 3 3 (k)】



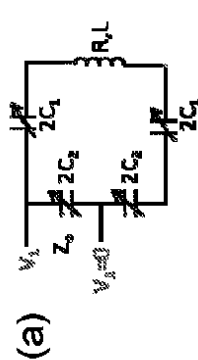
【図 3 3 (l)】



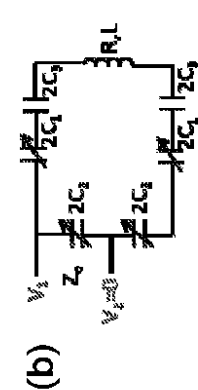
【図 3 3 (m)】



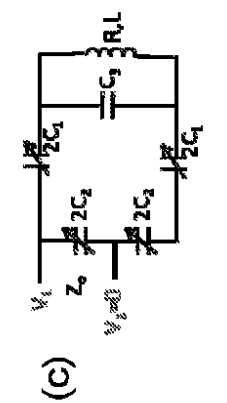
【図 3 4 (a)】



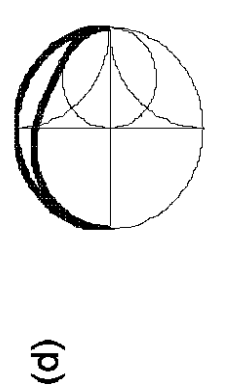
【図 3 4 (b)】



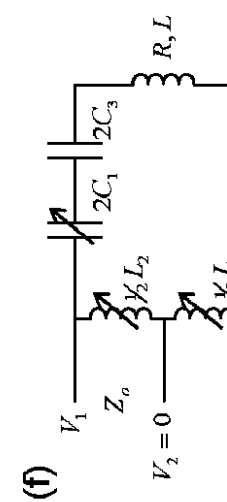
【 図 3 4 (c) 】



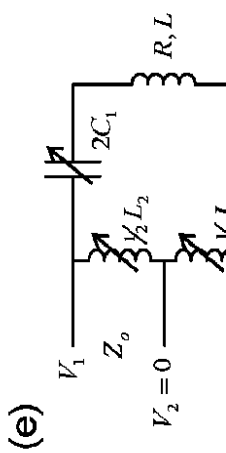
【 図 3 4 (d) 】



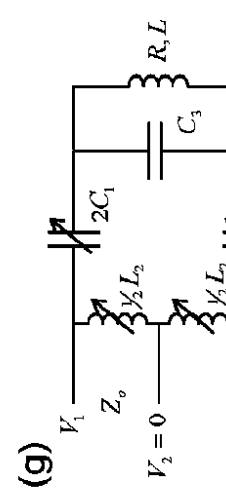
【 図 3 4 (f) 】



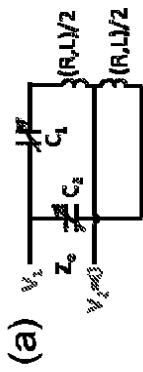
【 図 3 4 (e) 】



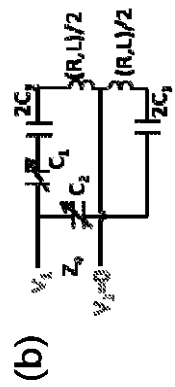
【 図 3 4 (g) 】



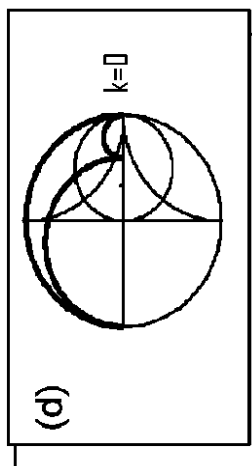
【図 3 5 (a)】



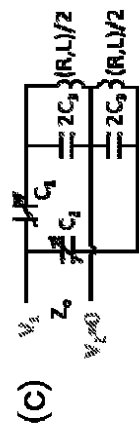
【図 3 5 (b)】



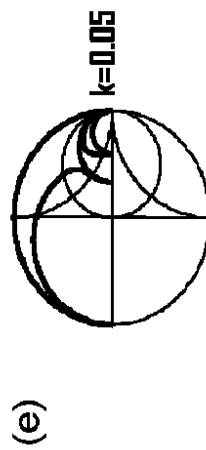
【図 3 5 (d)】



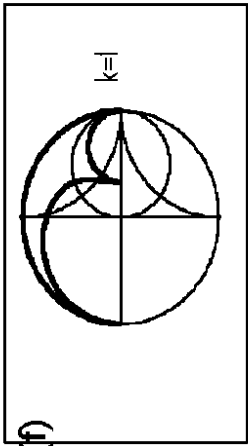
【図 3 5 (c)】



【図 3 5 (e)】



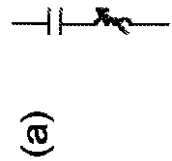
【図 3 5 (f)】



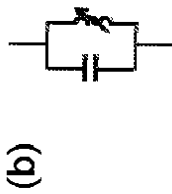
【図 3 6 (a)】



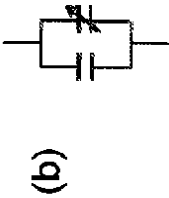
【図 3 7 (a)】



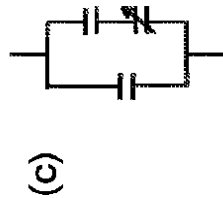
【図 3 7 (b)】



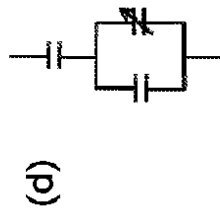
【図 3 6 (b)】



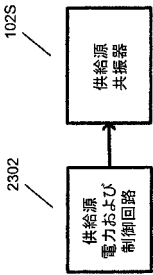
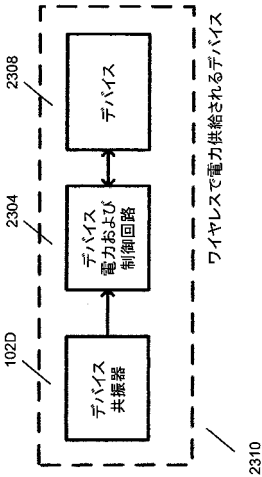
【図 3 6 (c)】



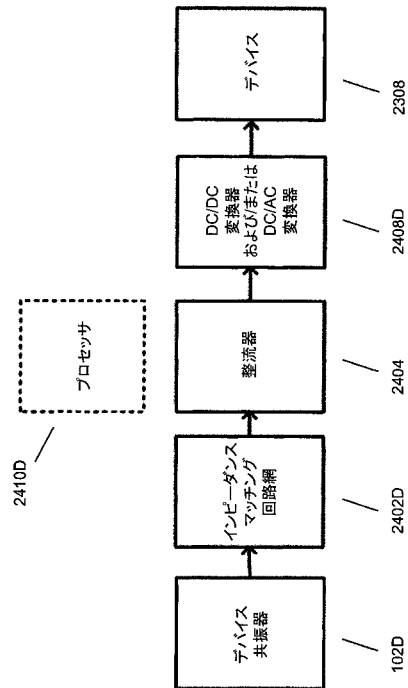
【図 3 6 (d)】



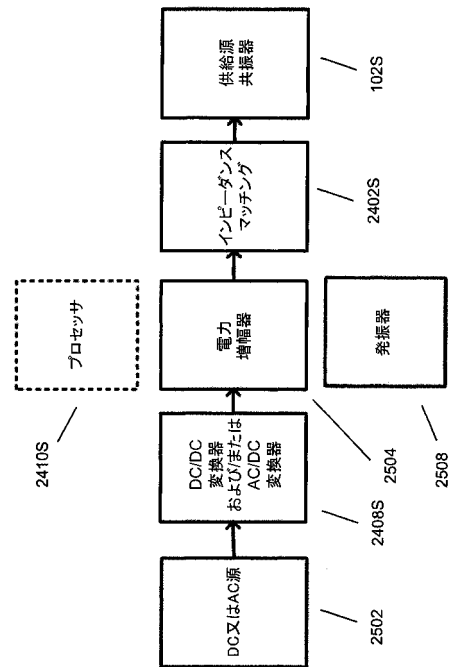
【図 3 8】



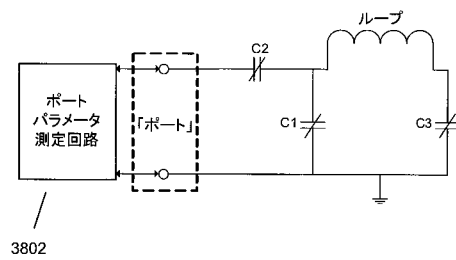
【図 39】



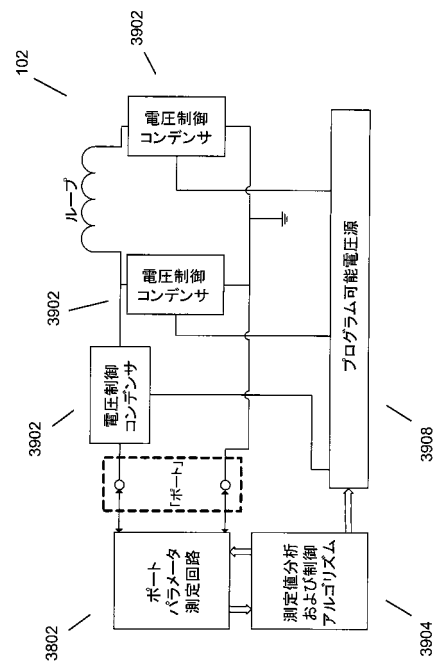
【図 40】



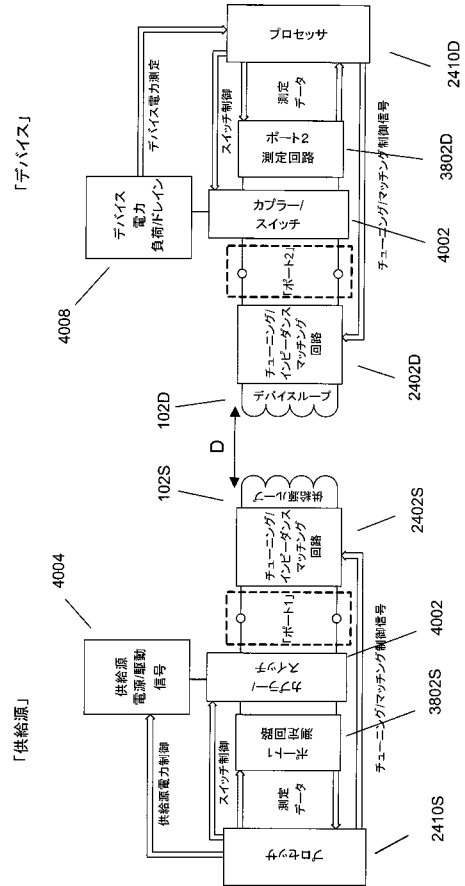
【図 41】



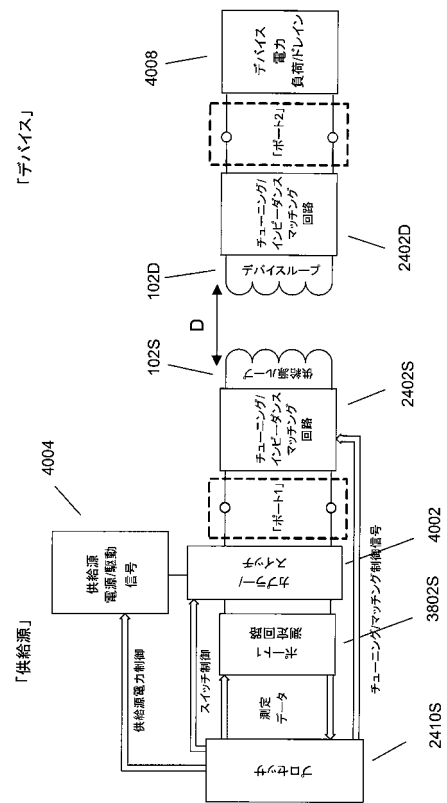
【図 42】



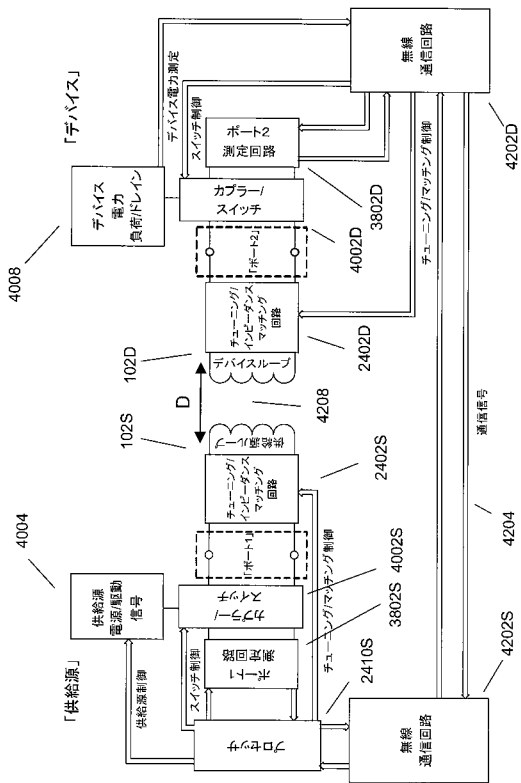
【図 4 3】



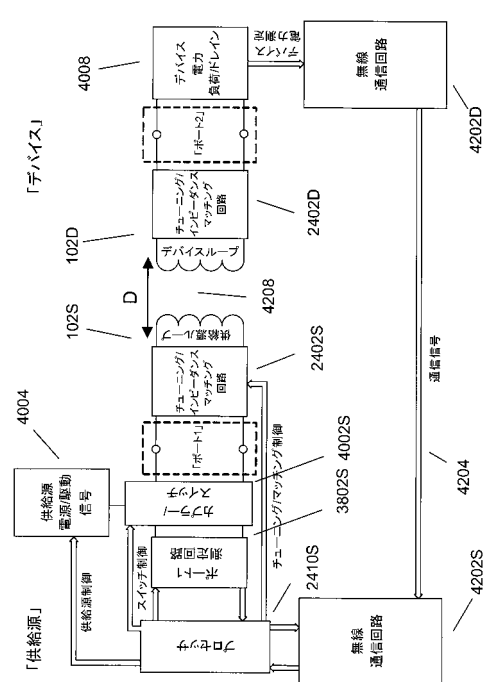
【図 4 4】



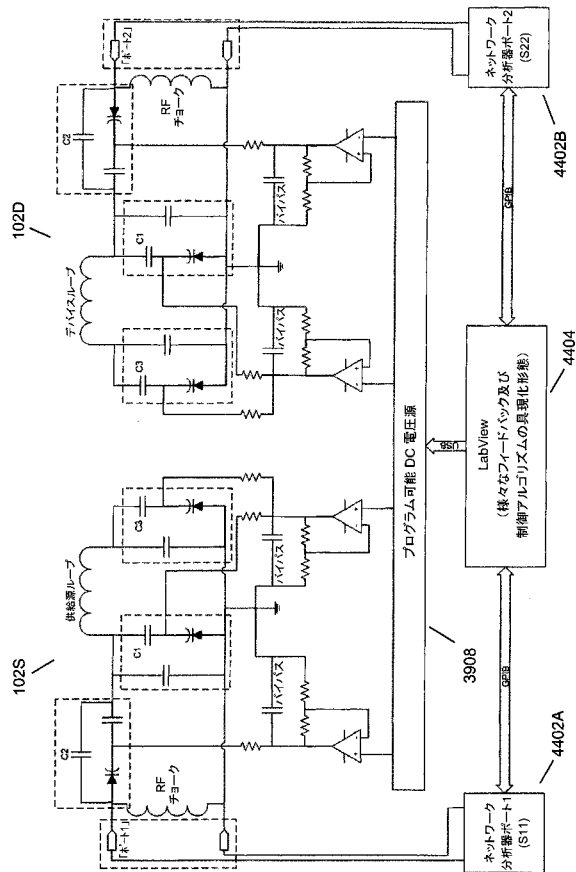
【図 4 5】



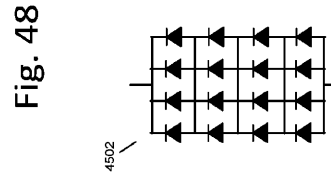
【図 4 6】



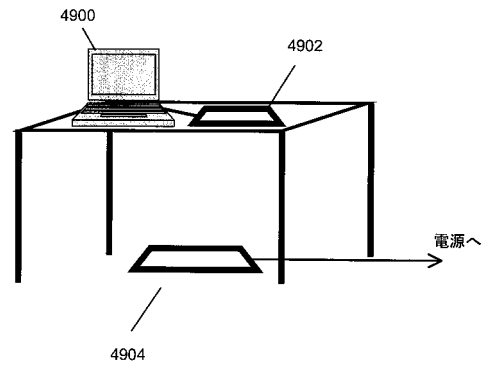
【 図 4 7 】



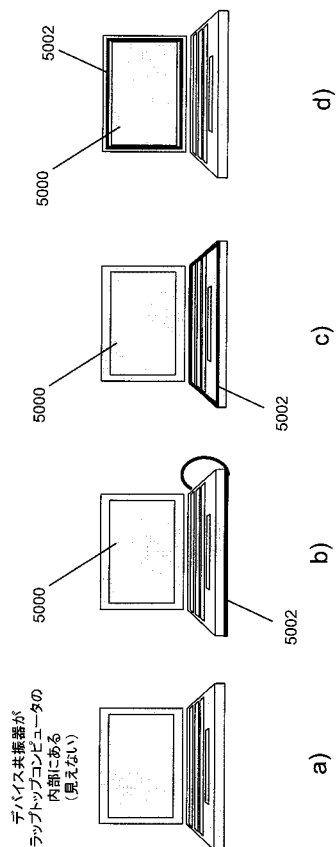
【 図 4 8 】



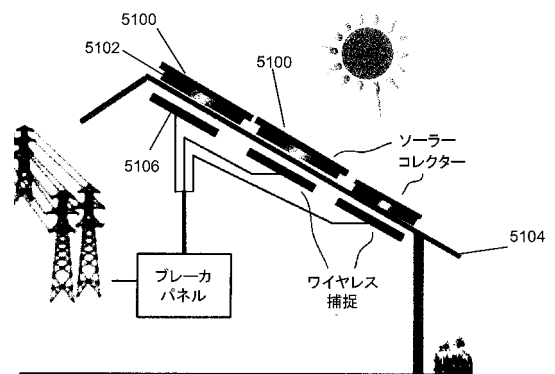
【 図 4 9 】



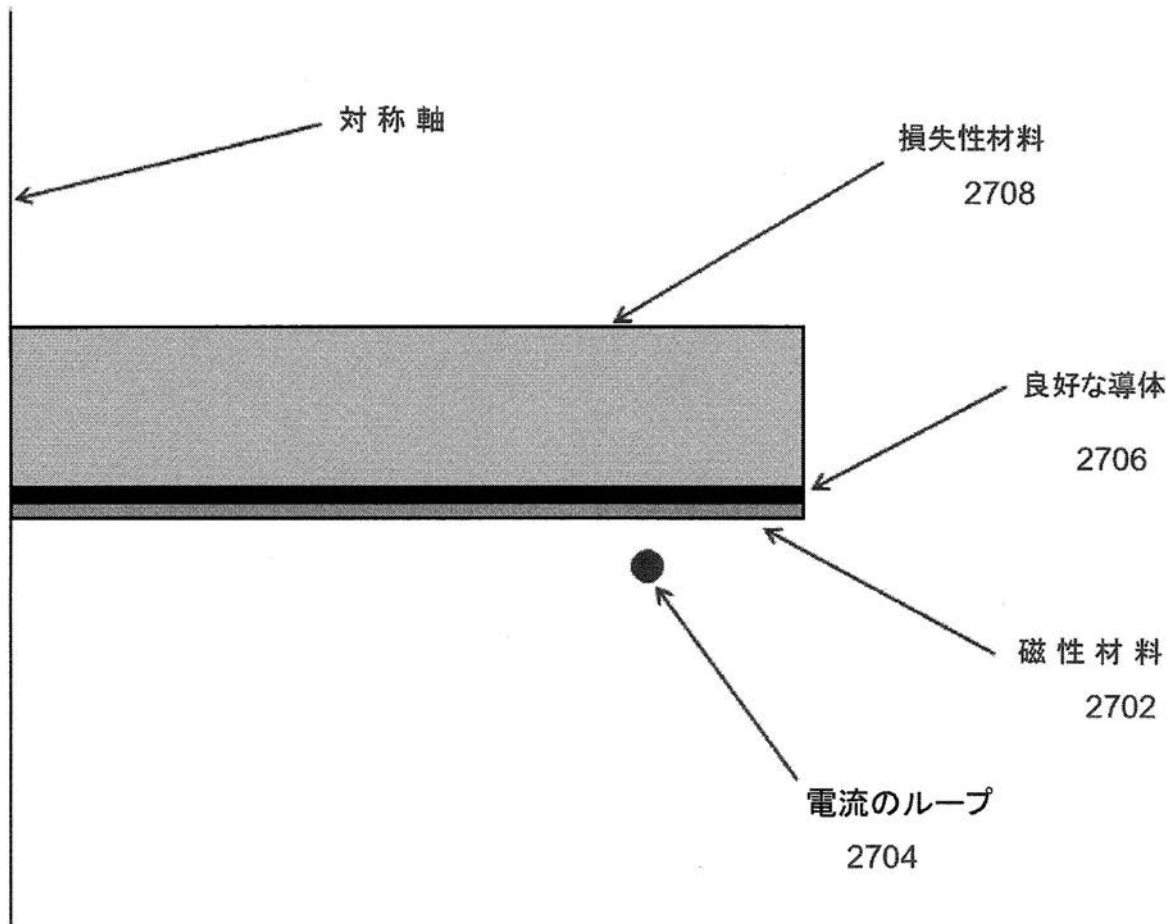
【 図 5 0 】



【 ㄨ 5 1 】



【図 27】



【手続補正書】

【提出日】平成23年5月31日(2011.5.31)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

無線電力伝送システムであって、

電力発生装置に結合された、少なくとも1つの供給源平面磁気共振器を有する供給源ユニットであって、前記少なくとも1つの供給源平面磁気共振器は、前記供給源平面磁気共振器の双極子モーメントが、前記供給源平面磁気共振器の平面に実質的に配向されるように構成されている、供給源ユニットと、

少なくとも1つのデバイス平面磁気共振器を有する少なくとも1つのデバイスユニットであって、前記少なくとも1つのデバイス平面磁気共振器は、前記デバイス平面磁気共振器の双極子モーメントが、前記デバイス平面磁気共振器の平面に実質的に配向されるように構成されている、少なくとも1つのデバイスユニットと、

前記供給源ユニットの周りの活性領域であって、前記デバイスユニットが前記少なくとも1つの供給源平面磁気共振器により生成された交番磁界の前記活性領域に配置された場合に、電流が前記デバイスユニットの前記少なくとも1つのデバイス平面磁気共振器に生じる、前記供給源ユニットの周りの活性領域とを含み、

前記電力伝送システムの前記活性領域が、前記供給源平面磁気共振器の周辺により包囲

された面積の少なくとも 2 倍である、無線電力伝送システム。

【請求項 2】

前記活性領域は、前記供給源ユニットと前記デバイスユニットとの間の電力伝送効率が 10 % を超える領域である、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記活性領域は、前記供給源ユニットと前記デバイスユニットとの間の電力伝送効率が 50 % を超える領域である、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記活性領域が、前記供給源平面磁気共振器の周辺により包囲された面積の少なくとも 5 倍である、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記システムの少なくとも 1 つの平面磁気共振器が、磁性材料のコアに巻き付けられた少なくとも 1 つの導体からなる、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 6】

少なくとも 1 つの調整可能な電気部品回路網を更に含み、前記電気部品回路網が前記少なくとも 1 つの導体に結合される、請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記少なくとも 1 つの電気部品回路網が、少なくとも 1 つのコンデンサを含む、請求項 6 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記少なくとも 1 つの電気部品回路網が、少なくとも 1 つのインダクタを含む、請求項 6 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記少なくとも 1 つの電気部品回路網が、少なくとも 1 つの調整可能な構成要素を含む、請求項 6 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記電気部品回路網が、直接的な物理的接続を用いて、少なくとも 1 つの導体に接続される、請求項 6 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記導体が磁性材料のコアに巻き付けられて、一部が同軸でないループを形成する、請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 12】

少なくとも 1 つの平面磁気共振器が、 $Q > 100$ の Q ファクタを有する、請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 13】

前記コアの最も小さい寸法が、最も大きい寸法の最大でも 30 % である、請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 14】

前記導体が、プリント導体トレースからなる、請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 15】

少なくとも 1 つの供給源平面磁気共振器が、磁性材料のコアの直交する軸に巻き付けられた 2 つの導体からなる、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 16】

前記供給源ユニットが電子デバイスと一体化されている、請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 17】

前記供給源共振器と前記デバイス共振器との間の結合を改善するように構成された中継器共振器を更に含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 18】

少なくとも 1 つの共振器が、前記共振器のパラメータに対する損失性物体の影響を低減するように配置された金属シールドを更に含む、請求項 5 に記載のシステム。

【請求項 19】

無線電力伝送の方法であって、

電力発生装置に結合された、少なくとも1つの供給源平面磁気共振器を有する供給源ユニットを設けるステップであって、前記少なくとも1つの供給源平面磁気共振器は、前記供給源平面磁気共振器の双極子モーメントが、前記供給源平面磁気共振器の平面に実質的に配向されるように構成されている、供給源ユニットを設けるステップと、

少なくとも1つのデバイス平面磁気共振器を有する少なくとも1つのデバイスユニットを設けるステップであって、前記少なくとも1つのデバイス平面磁気共振器は、前記デバイス平面磁気共振器の双極子モーメントが、前記デバイス平面磁気共振器の平面に実質的に配向されるように構成されている、少なくとも1つのデバイスユニットを設けるステップと、

前記供給源ユニットの周りに交番電磁界の活性領域を生成するために、前記電力発生装置を介して前記少なくとも1つの供給源平面磁気共振器に電力を供給するステップと、

前記供給源から有用な電力を受け取るために、前記供給源ユニットの周りの前記活性領域に前記少なくとも1つのデバイスユニットを配置するステップとを含み、

前記活性領域が、前記供給源平面磁気共振器の周辺により包囲された面積の少なくとも2倍である、方法。

【請求項 20】

前記活性領域は、前記供給源ユニットと前記デバイスユニットとの間の電力伝送効率が1%を超える領域である、請求項19に記載の方法。

【請求項 21】

前記方法の少なくとも1つの平面磁気共振器が、磁性材料のコアに巻き付けられた少なくとも1つの導体からなる、請求項19に記載の方法。

【請求項 22】

前記少なくとも1つの平面磁気共振器が、100より大きいQファクタを有する、請求項19に記載の方法。

【請求項 23】

無線電力伝送システムであって、

電力発生装置に結合された、少なくとも1つの供給源平面磁気共振器を有する供給源ユニットであって、前記少なくとも1つの供給源平面磁気共振器は、前記供給源平面磁気共振器の双極子モーメントが、前記供給源平面磁気共振器の平面に実質的に配向されるように構成されている、供給源ユニットと、

少なくとも1つのデバイス平面磁気共振器を有する少なくとも1つのデバイスユニットであって、前記少なくとも1つのデバイス平面磁気共振器は、前記デバイス平面磁気共振器の双極子モーメントが、前記デバイス平面磁気共振器の平面に実質的に配向されるように構成されている、少なくとも1つのデバイスユニットとを含み、

前記供給源共振器および前記デバイス共振器が実質的に平行な方向で前記共振器の双極子モーメントを向けるように配置され、前記供給源共振器および前記デバイス共振器が実質的に異なる平面上にある、無線電力伝送システム。

【請求項 24】

前記システムの少なくとも1つの平面磁気共振器が、磁性材料のコアに巻き付けられた少なくとも1つの導体からなる、請求項23に記載のシステム。

【請求項 25】

前記少なくとも1つの平面磁気共振器が、100より大きいQファクタを有する、請求項23に記載のシステム。

【請求項 26】

前記双極子モーメントが、有用なエネルギー伝送を達成するために位置合わせされている、請求項23に記載のシステム。

【請求項 27】

前記双極子モーメントの少なくとも1つの方向が、前記供給源ユニットの共振器と前記

デバイスユニットの共振器との間の結合を最大化するように変更され得る、請求項 23 に記載のシステム。

【請求項 28】

無線電力伝送装置であって、

第 1 の平面磁気共振器であって、その共振器の周りに活性領域を有し、前記共振器は、前記第 1 の平面磁気共振器の双極子モーメントが、前記第 1 の平面磁気共振器の平面に実質的に配向されるように構成されている、第 1 の平面磁気共振器を含み、

前記第 1 の平面磁気共振器は、第 2 の平面磁気共振器構造体が前記第 1 の平面磁気共振器の前記活性領域の内部に配置された場合に、前記第 2 の平面磁気共振器構造体とエネルギー伝送するように構成されており、

前記第 1 の平面磁気共振器の前記活性領域が、前記第 1 の平面磁気共振器の周辺により包囲された面積の少なくとも 2 倍である、無線電力伝送装置。

【請求項 29】

前記活性領域は、電力伝送効率が 1 % を超える領域である、請求項 28 に記載の装置。

【請求項 30】

前記活性領域は、電力伝送効率が 10 % を超える領域である、請求項 28 に記載の装置。

【請求項 31】

前記活性領域が、前記第 1 の平面磁気共振器の周辺により包囲された面積の少なくとも 5 倍である、請求項 29 に記載の装置。

【請求項 32】

前記第 1 の平面磁気共振器が、磁性材料のコアに巻き付けられた少なくとも 1 つの導体からなる、請求項 29 に記載の装置。

【請求項 33】

無線電力伝送の供給源であって、

供給源ユニットを含み、

前記供給源ユニットがそのユニットの周りに活性領域を有し、前記供給源ユニットが、電力発生装置に結合された少なくとも 1 つの供給源平面磁気共振器を含み、前記少なくとも 1 つの供給源平面磁気共振器は、前記供給源平面磁気共振器の双極子モーメントが、前記供給源平面磁気共振器の平面に実質的に配向されるように構成されており、

前記供給源ユニットが、少なくとも 1 つのデバイス平面磁気共振器を有する少なくとも 1 つのデバイスユニットとエネルギー伝送するように適合されており、前記少なくとも 1 つのデバイス平面磁気共振器は、前記デバイス平面磁気共振器の双極子モーメントが、前記デバイス平面磁気共振器の平面に実質的に配向されるように構成されており、

前記供給源ユニットの前記活性領域が、前記供給源ユニットの前記供給源平面磁気共振器の周辺により包囲された面積の少なくとも 2 倍である、無線電力伝送の供給源。

【請求項 34】

前記活性領域は、電力伝送効率が 1 % を超える領域である、請求項 33 に記載の供給源。

【請求項 35】

前記活性領域は、電力伝送効率が 10 % を超える領域である、請求項 33 に記載の供給源。

【請求項 36】

前記活性領域が、前記供給源平面磁気共振器の周辺により包囲された面積の少なくとも 5 倍である、請求項 33 に記載の供給源。

【請求項 37】

前記供給源平面磁気共振器が、磁性材料のコアに巻き付けられた少なくとも 1 つの導体からなる、請求項 33 に記載の供給源。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US 09/58499

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(8) - H03B 19/00 (2009.01) USPC - 327/113 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) USPC: 327/113 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched USPC: 327/113, 306, 530, 555; 375/323; 307/134 (keyword limited - see terms below) Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) PubWEST (PGPB, USPT, USOC, EPAB, JPAB); GOOGLE Search Terms: energy, power, power generator, generator, wireless, resonator, first resonator, second resonator, third resonator, Q-factor, distance, tunable, oscillating, impedance, capacitance, load		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2007/0222542 A1 (Joannopoulos et al.) 27 September 2007 (27.09.2007), entire document, especially; abstract, para. [0004], [0005], [0013], [0014], [0019], [0023], [0025], [0029], [0033]	1 - 26
Y	US 6,452,465 B1 (Brown et al.) 17 September 2002 (17.09.2002), entire document, especially; abstract, col. 2, in 4-6, col. 3, in 7-12, 66-67	1 - 26
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/>		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 24 November 2009 (24.11.2009)		Date of mailing of the international search report 10 DEC 2009
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-3201		Authorized officer: Lee W. Young PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

フロントページの続き

- (31)優先権主張番号 61/152,086
(32)優先日 平成21年2月12日(2009.2.12)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/169,240
(32)優先日 平成21年4月14日(2009.4.14)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/163,695
(32)優先日 平成21年3月26日(2009.3.26)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/142,887
(32)優先日 平成21年1月6日(2009.1.6)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/182,768
(32)優先日 平成21年6月1日(2009.6.1)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/142,796
(32)優先日 平成21年1月6日(2009.1.6)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/121,159
(32)優先日 平成20年12月9日(2008.12.9)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/152,390
(32)優先日 平成21年2月13日(2009.2.13)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/173,747
(32)優先日 平成21年4月29日(2009.4.29)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/142,889
(32)優先日 平成21年1月6日(2009.1.6)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/142,885
(32)優先日 平成21年1月6日(2009.1.6)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/172,633
(32)優先日 平成21年4月24日(2009.4.24)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/142,977
(32)優先日 平成21年1月7日(2009.1.7)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/156,764
(32)優先日 平成21年3月2日(2009.3.2)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/178,508
(32)優先日 平成21年5月15日(2009.5.15)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 61/142,880
(32)優先日 平成21年1月6日(2009.1.6)
(33)優先権主張国 米国(US)

- (31)優先権主張番号 61/142,818
 (32)優先日 平成21年1月6日(2009.1.6)
 (33)優先権主張国 米国(US)
 (31)優先権主張番号 61/143,058
 (32)優先日 平成21年1月7日(2009.1.7)
 (33)優先権主張国 米国(US)

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

- (72)発明者 カラリス, アリスティディス
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州02111, ボストン, トレモント・ストリート・151, アパートメント・トゥエンティファースト・フロアー
 (72)発明者 クルス, アンドレ, ビー.
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州02467, チェスナット・ヒル, ハモンド・ストリート・629, アパートメント・イー・ピーエイチイレブン
 (72)発明者 カンパネラ, アンドリュー, ジェイ.
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州02453, ウォルサム, オレンジ・ストリート・30
 (72)発明者 フィオレロ, ロン
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州01876, チュースクベリー, スコットランド・ドライブ・20
 (72)発明者 リ, クアン
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州02148, マルデン, メイン・ストリート・654
 (72)発明者 クリコウスキー, コンラッド ジェイ
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州02144, サマービル, ピアソン・アベニュー・91, アパートメント・ワン
 (72)発明者 ギラー, エリック, アール.
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州02482, ウェルズリー, ベンベニュー・ストリート・105
 (72)発明者 パーガル, フランク, ジェイ.
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州01930, グロセスター, ノロック・ロード・14
 (72)発明者 シャッツ, デビッド, エー.
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州02492, ニードウハム, ホワイト・パイン・ロード・37
 (72)発明者 ホール, キャサリン, エル.
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州01886, ウェストフォード, グリッフィン・ロード・21
 (72)発明者 ソルジャシク, マリン
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州02478, ベルモント, ウェストランド・ロード・44

Fターム(参考) 5K012 AA01 AB03 AC06 AE13