

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6956728号

(P6956728)

(45) 発行日 令和3年11月2日(2021.11.2)

(24) 登録日 令和3年10月7日(2021.10.7)

(51) Int.Cl.	F I	
H O 2 J 50/12 (2016.01)	H O 2 J 50/12	
H O 2 J 7/00 (2006.01)	H O 2 J 7/00	3 O 1 D
H O 2 J 50/80 (2016.01)	H O 2 J 50/80	
H O 2 M 7/48 (2007.01)	H O 2 M 7/48	E
H O 3 H 7/38 (2006.01)	H O 3 H 7/38	Z
請求項の数 18 (全 40 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2018-540157 (P2018-540157)	(73) 特許権者	513307922
(86) (22) 出願日	平成29年2月2日(2017.2.2)		ワイトリシティ コーポレーション
(65) 公表番号	特表2019-509707 (P2019-509707A)		W I T R I C I T Y C O R P O R A T I O N
(43) 公表日	平成31年4月4日(2019.4.4)		アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 O
(86) 国際出願番号	PCT/US2017/016119		2 4 7 2 ウォータータウン ウォーター
(87) 国際公開番号	W02017/136491		ストリート 5 7
(87) 国際公開日	平成29年8月10日(2017.8.10)	(74) 代理人	100147485
審査請求日	令和2年1月30日(2020.1.30)		弁理士 杉村 憲司
(31) 優先権主張番号	62/290,325	(74) 代理人	230118913
(32) 優先日	平成28年2月2日(2016.2.2)		弁理士 杉村 光嗣
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(74) 代理人	100211395
(31) 優先権主張番号	62/379,618		弁理士 鈴木 裕貴
(32) 優先日	平成28年8月25日(2016.8.25)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ワイヤレス電力伝送システムの制御

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ワイヤレス電力伝送システムであって、

送信機インピーダンスマッチングネットワーク (I M N) を有する電力送信機であって、

前記送信機の電力の特性と、目標電力の特性との第 1 の比較を実行するステップと、
 前記第 1 の比較に基づいて、前記送信機 I M N のリアクタンスを調整して、前記送信機の前記電力を調整するステップと、

を含む処理を実行するように構成された、電力送信機と、

受信機 I M N を有する電力受信機であって、

前記送信機からの電力データに基づいて、第 2 の時間における前記ワイヤレス電力伝送システムの効率を判定するステップと、

前記第 2 の時間における前記効率と、前記第 2 の時間よりも前の、第 1 の時間における前記ワイヤレス電力伝送システムの効率との第 2 の比較を実行するステップと、

前記第 2 の比較に基づいて、前記受信機 I M N のリアクタンスを調整するステップと

を含む処理を実行するように構成された、電力受信機と、
 を備える、システム。

【請求項 2】

前記受信機 I M N の前記リアクタンスを調整するステップは、可変リアクタンス調整値

10

20

で、前記受信機 I M N の前記リアクタンスを調整するステップを含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記第 1 の比較、及び前記送信機 I M N の前記リアクタンスの調整は、前記電力の前記特性が前記目標電力の前記特性の閾値内に入るまで、反復して行われる、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記受信機 I M N の前記リアクタンスを調整するステップは、前記第 2 の時間における前記効率が、前記第 1 の時間における前記効率よりも低いことに応答して、リアクタンス調整値を無効化するステップを含み、前記受信機 I M N の前記リアクタンスを調整するステップは、前記無効化されたリアクタンス調整値で、前記受信機 I M N の前記リアクタンスを調整するステップを含む、請求項 1 に記載のシステム。

10

【請求項 5】

前記送信機 I M N の前記リアクタンスを調整するステップは、前記電力が前記目標電力よりも小さいことに応答して、第 1 のリアクタンス調整値で、前記送信機 I M N の前記リアクタンスを調整するステップと、前記電力が前記目標電力よりも大きいことに応答して、別の第 2 のリアクタンス調整値で、前記送信機 I M N の前記リアクタンスを調整するステップと、を含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 6】

前記送信機は電気自動車の充電器であって、前記受信機は電気自動車の電力システムに結合されている、請求項 1 に記載のシステム。

20

【請求項 7】

前記第 1 の比較は、前記送信機の前記電力の力率と、目標力率との比較であって、前記送信機の前記処理は、更に、

前記第 1 の比較に後続する、前記電力の大きさと目標電力の大きさとの第 3 の比較と、
前記第 3 の比較に基づいて、前記送信機のバス電圧を調整して、前記送信機の前記電力を調整するステップと、
を含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記力率は、送信機電圧と送信機電流との間の位相関係によって表される、請求項 7 に記載のシステム。

30

【請求項 9】

前記第 1 の比較、及び前記第 1 の比較に基づく前記送信機 I M N の前記リアクタンスの調整は、前記電力の前記力率が前記目標力率の閾値内に入るまで、反復して行われる、請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記第 1 の比較を実行するステップ、及び前記送信機 I M N の前記リアクタンスを調整するステップは、前記第 3 の比較を実行するステップ、及び前記バス電圧を調整するステップよりも、速いレートで反復される、請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 11】

40

前記送信機の前記処理は、更に、前記目標電力をゼロに低減することによって、前記ワイヤレス電力伝送システムをシャットダウンするステップを含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 12】

前記送信機の前記処理は、更に、前記送信機 I M N の前記リアクタンスを最大値に調整することによって、前記送信機を起動するステップを含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 13】

前記送信機の前記処理は、更に、インバータの周波数を目標周波数に調整することによって、前記送信機を起動するステップを含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 14】

50

前記受信機の前記処理は、更に、前記受信機 I M N の前記リアクタンスを最小値に調整することによって、前記受信機を起動するステップを含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 1 5】

前記送信機 I M N は、インバータと、少なくとも 1 つの固定リアクタンス素子との間に電氣的に接続された、チューニング可能なリアクタンス素子を備え、前記送信機 I M N の前記リアクタンスを調整するステップは、前記チューニング可能なリアクタンス素子を調整するステップを含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 1 6】

前記受信機 I M N は、整流器と、少なくとも 1 つの固定リアクタンス素子との間に電氣的に接続された、チューニング可能なリアクタンス素子を備え、前記受信機 I M N の前記リアクタンスを調整するステップは、前記チューニング可能なリアクタンス素子を調整するステップを含む、請求項 1 に記載のシステム。

10

【請求項 1 7】

前記第 1 の比較を実行するステップ、及び前記送信機 I M N の前記リアクタンスを調整するステップは、前記第 2 の比較を実行するステップ、及び前記受信機 I M N の前記リアクタンスを調整するステップよりも速いレートで反復される、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 1 8】

前記ワイヤレス電力伝送システムの前記効率を判定するステップは、
前記送信機から電力データを受信するステップと、
前記受信機の出力電力を判定するステップと、
前記送信機からの前記電力データと、前記受信機の前記出力電力とに基づいて、前記ワイヤレス電力伝送システムの前記効率を計算するステップと、
を含む、請求項 1 に記載のシステム。

20

【発明の詳細な説明】

【関連出願の相互参照】

【0 0 0 1】

本出願は、2016 年 2 月 2 日に出願された米国仮特許出願番号 62 / 290 , 325 号、及び 2016 年 8 月 25 日に出願された米国仮特許出願番号 62 / 379 , 618 号の優先権を主張するものであり、これらの先行出願の内容は、参照により本明細書に組み込まれる。

30

【背景技術】

【0 0 0 2】

ワイヤレス電力伝送システムは、多岐に渡る結合係数 k 、負荷条件、及び環境条件において動作する。これらのパラメータの変化はワイヤレス電力伝送システムの効率に影響する。ワイヤレス電力伝送システムは、電力伝送の性能及び効率を向上させるためのインピーダンスマッチングネットワークを含むことができる。このような多岐に渡る条件において、ワイヤレス電力伝送システムの良好な性能を得ることは、従来のインピーダンスマッチングネットワークにおける課題である。

【発明の概要】

40

【0 0 0 3】

一般に、本開示は、システム、パラメータ、環境パラメータ、又はその両方の変化に適応するように、ワイヤレス電力送信機及び受信機を同期的にチューニングするワイヤレス電力伝送制御システムを特徴とする。本明細書に記載のワイヤレス電力伝送制御システムは、組み込み装置、携帯電話及び他のモバイルの電子機器の充電器、並びに電気自動車用の充電器を含む、様々な状況で使用され得る。

【0 0 0 4】

第 1 の態様では、本開示は、送信機インピーダンスマッチングネットワーク (I M N) を有するワイヤレス電力送信機を特徴とする。送信機は、送信機の電力の特性と目標電力との第 1 の比較を実行することを含む処理を実行するように構成される。第 1 の比較に基

50

づいて、送信機 I M N のリアクタンスを調整して、送信機の電力が調整される。送信機の電力を示す電力データがワイヤレス電力受信機に送信される。

【 0 0 0 5 】

第 2 の態様では、本開示は、受信機 I M N を有するワイヤレス電力受信機を特徴とする。受信機は、ワイヤレス電力送信機からの電力データに基づいて、第 2 の時間における、ワイヤレス電力伝送システムの効率を判定することを含む処理を実行するように構成される。第 2 の時間における効率と、第 2 の時間よりも前の、第 1 の時間におけるワイヤレス電力伝送システムの効率との第 2 の比較が実行される。第 2 の比較に基づいて、受信機 I M N のリアクタンスが調整される。

【 0 0 0 6 】

第 3 の態様では、本開示は、電力送信機と電力受信機とを含む、ワイヤレス電力伝送システムを特徴とする。送信機は、送信機 I M N を有する。送信機は、送信機の電力の特性と目標電力との第 1 の比較を実行することを含む処理を実行するように構成される。第 1 の比較に基づいて、送信機 I M N のリアクタンスを調整して、送信機の電力が調整される。受信機は受信機 I M N を有する。受信機は、送信機からの電力データに基づいて、第 2 の時間における、ワイヤレス電力伝送システムの効率を判定することを含む処理を実行するように構成される。第 2 の時間における効率と、第 2 の時間よりも前の、第 1 の時間におけるワイヤレス電力伝送システムの効率との第 2 の比較が実行される。第 2 の比較に基づいて、受信機 I M N のリアクタンスが調整される。

【 0 0 0 7 】

第 1 の態様及び第 2 の態様は、第 3 の態様のシステムなどのシステムにおいて、協働することができる。更に、これら及び第 4 の態様から第 7 の態様は、各々、以下の特徴の 1 つ以上を任意に含み得る。

【 0 0 0 8 】

ある実装では、受信機 I M N のリアクタンスを調整することには、可変リアクタンス調整値で、受信機 I M N のリアクタンスを調整することが含まれる。

【 0 0 0 9 】

ある実装では、第 1 の比較及び、送信機 I M N のリアクタンスに対する調整は、電力の特性が目標電力の閾値内に入るまで、反復して行われる。

【 0 0 1 0 】

ある実装では、受信機 I M N のリアクタンスを調整することには、第 2 の時間における効率が、第 1 の時間における効率よりも低いことに応答して、リアクタンス調整値を無効化することが含まれる。受信機 I M N のリアクタンスを調整することには、無効化されたリアクタンス調整値で、受信機 I M N のリアクタンスを調整することが含まれる。

【 0 0 1 1 】

ある実装では、送信機 I M N のリアクタンスを調整することには、電力が目標電力より小さいことに応答して、第 1 のリアクタンス調整値で、送信機 I M N のリアクタンスを調整することが含まれる。電力が目標電力よりも大きいことに応答して、別の第 2 のリアクタンス調整値で、送信機 I M N のリアクタンスを調整する。

【 0 0 1 2 】

ある実装では、第 1 のリアクタンス調整値は、第 2 のリアクタンス調整値と、大きさが等しく、符号が反対である。

【 0 0 1 3 】

ある実装では、第 1 の比較は、送信機の電力の力率と目標力率との比較である。送信機の処理は、電力の大きさと目標電力の大きさとの第 3 の比較を含み、第 3 の比較は第 1 の比較に後続し、第 3 の比較に基づいて、送信機のバス電圧を調整して、送信機の電力が調整される。

【 0 0 1 4 】

ある実装では、力率は、送信機電圧と送信機電流との間の位相関係によって表される。

【 0 0 1 5 】

ある実装では、第 1 の比較、及び第 1 の比較に基づく送信機 I M N のリアクタンスの調整は、電力の力率が目標力率の閾値内に入るまで、反復して行われる。

【 0 0 1 6 】

ある実装では、第 1 の比較を実行すること、及び送信機 I M N のリアクタンスを調整することは、第 3 の比較を実行すること、及びバス電圧を調整することよりも、速いレートで反復される。

【 0 0 1 7 】

ある実装では、送信機は電気自動車の充電器であって、受信機は電気自動車の電力システムに結合される。

【 0 0 1 8 】

ある実装では、送信機の処理には、目標電力をゼロに低減することによって、ワイヤレス電力伝送システムをシャットダウンすることが含まれる。

【 0 0 1 9 】

ある実装では、送信機の処理には、送信機の電力インバータをシャットダウンすることが含まれる。

【 0 0 2 0 】

ある実装では、送信機の処理には、送信機 I M N のリアクタンスを最大値に調整することによって、送信機を起動することが含まれる。

【 0 0 2 1 】

ある実装では、送信機の処理には、インバータの周波数を目標周波数に調整することによって、送信機を起動することが含まれる。

【 0 0 2 2 】

ある実装では、受信機の処理には、受信機 I M N のリアクタンスを最小値に調整することによって受信機を起動することが含まれる。

【 0 0 2 3 】

ある実装では、受信機の処理には、受信機 I M N のリアクタンスを最大値から最小値に調整することによって、受信機を起動することが含まれる。

【 0 0 2 4 】

ある実装では、送信機 I M N は、インバータと、少なくとも 1 つの固定リアクタンス素子との間に電氣的に接続された、チューニング可能なリアクタンス素子を備え、送信機 I M N のリアクタンスを調整することには、チューニング可能なリアクタンス素子を調整することが含まれる。

【 0 0 2 5 】

ある実装では、受信機 I M N は、整流器と、少なくとも 1 つの固定リアクタンス素子との間に電氣的に接続された、チューニング可能なリアクタンス素子を備え、受信機 I M N のリアクタンスを調整することには、チューニング可能なリアクタンス素子を調整することが含まれる。

【 0 0 2 6 】

ある実装では、第 1 の比較を実行すること、及び送信機 I M N のリアクタンスを調整することは、第 2 の比較を実行すること、及び受信機 I M N のリアクタンスを調整することよりも、速いレートで反復される。

【 0 0 2 7 】

ある実装では、ワイヤレス電力伝送システムの効率を判定することには、送信機から電力データを受信すること、受信機の実出力電力を判定すること、及び送信機からの電力データと、受信機の実出力電力とに基づいて、ワイヤレス電力伝送システムの効率を計算することが含まれる。

【 0 0 2 8 】

ある実装では、送信機の処理には、電力の大きさのチェック、電力の力率のチェック、及び、送信機のインバータの周波数のチェックを含み得る、複数のチェックを実行することと、複数のチェックに回答して、選択的にインバータの周波数を調整して、送信機の電

10

20

30

40

50

力を調整することが、含まれる。

【 0 0 2 9 】

ある実装では、送信機の処理には、電力の大きさのチェック、及び送信機のインバータの位相シフトのチェックを含み得る、複数のチェックを実行することと、複数のチェックに応答して、選択的にインバータの位相シフトを調整して、送信機の電力を調整することが、含まれる。

【 0 0 3 0 】

ある実装では、送信機の処理には、バス電圧を調整する前に、バス電圧が最小バス電圧よりも大きいことを検証することが含まれる。

【 0 0 3 1 】

ある実装では、第 1 の比較は、送信機の電力の力率と目標力率との比較である。送信機の処理には、電力の大きさと目標電力の大きさとの第 3 の比較を実行することと、第 3 の比較に基づいて、送信機の I M N のリアクタンスを調整して、送信機の電力を低減することが、含まれ得る。

【 0 0 3 2 】

ある実装では、第 1 の比較は、送信機の電力の力率と目標力率との比較である。送信機の処理には、電力の大きさと目標電力の大きさとの第 3 の比較を実行することと、第 3 の比較に基づいて、送信機のインバータの周波数を調整して、送信機の電力を低減することが、含まれ得る。

【 0 0 3 3 】

ある実装では、第 1 の比較は、送信機の電力の力率と目標力率との比較である。送信機の処理には、電力の大きさと目標電力の大きさとの第 3 の比較を実行することと、第 3 の比較に基づいて、送信機のインバータの位相シフトを調整して、送信機の電力を低減することが、含まれ得る。

【 0 0 3 4 】

ある実装では、送信機は、送信機インピーダンスマッチングネットワークの少なくとも一部に結合されて、送信機の共振器を形成する、誘導コイルを備える。

【 0 0 3 5 】

ある実装では、受信機は、受信機インピーダンスマッチングネットワークの少なくとも一部に結合されて、受信機の共振器を形成する、誘導コイルを備える。

【 0 0 3 6 】

第 4 の態様では、本開示は、本明細書に記載された主題が方法として実装され得ることを特徴とし、方法には、ワイヤレス電力送信機によって、ワイヤレス電力送信機の送信機 I M N をチューニングして、目標送信機電力特性を達成する処理が含まれる。ワイヤレス電力送信機によって、送信機の電力を示す電力データが、ワイヤレス電力受信機に送信される。ワイヤレス電力受信機によって、電力データに基づいて、受信機 I M N をチューニングして、ワイヤレス電力伝送システムの効率が向上させる。

【 0 0 3 7 】

第 5 の態様では、本開示は、送信機 I M N を備える、ワイヤレス電力送信機を特徴とする。送信機は、送信機 I M N をチューニングして、目標送信機電力特性を達成することと、送信機の電力を示す電力データをワイヤレス電力受信機に送信することが含まれる処理を実行するように構成される。

【 0 0 3 8 】

第 6 の態様では、本開示は、受信機 I M N を備える、ワイヤレス電力受信機を特徴とする。受信機は、受信機 I M N をチューニングして、ワイヤレス電力送信機から受信した電力データに基づいて、ワイヤレス電力伝送システムの効率を向上させることが含まれる処理を実行するように構成される。

【 0 0 3 9 】

第 7 の態様では、本開示は、電力送信機及び電力受信機を含む、ワイヤレス電力伝送システムを特徴とする。送信機は、送信機 I M N をチューニングして、目標送信機電力特性

10

20

30

40

50

を達成することと、送信機の電力を示す電力データを、ワイヤレス電力受信機に送信することを含む処理を実行するように構成される。受信機は、受信機 I M N を備える。受信機は、ワイヤレス電力送信機から受信した電力データに基づいて、受信機 I M N をチューニングして、ワイヤレス電力伝送システムの効率を向上させることを含む処理を実行するように構成される。

【 0 0 4 0 】

第 5 の態様及び第 6 の態様は、第 7 の態様のシステムなどのシステムにおいて、協働することができる。更に、これら及び第 1 の態様から第 3 の態様は、各々、以下の特徴の 1 つ以上を任意に含み得る。

【 0 0 4 1 】

ある実装では、目標送信機電力特性は目標電力係数であり、目標送信機電力特性は目標電力係数である。

【 0 0 4 2 】

ある実装では、力率は、送信機電圧と送信機電流との間の位相差によって表され、目標力率は目標位相差である。

【 0 0 4 3 】

ある実装では、処理には、送信機によって、インバータのバス電圧を調整して、目標電力の大きさを達成することが含まれる。

【 0 0 4 4 】

ある実装では、処理には、送信機によって、インバータのバス電圧を調整して、目標電力の大きさを達成することが含まれる。

【 0 0 4 5 】

ある実装では、処理には、送信機 I M N を調整する前に、安全チェックを実行することが含まれる。また、ある実装では、安全チェックは、過電圧チェック又は過電流チェックである。

【 0 0 4 6 】

ある実装では、処理には、送信機によって、送信機電力の大きさのチェック、送信機力率のチェック、及びインバータの周波数のチェックを含み得る、複数のチェックを実行することと、複数のチェックに応答して、選択的にインバータの周波数を調整して、送信機の電力を調整することが、含まれる。

【 0 0 4 7 】

ある実装では、処理には、送信機電力の大きさのチェック、及び送信機のインバータの位相シフトのチェックを含み得る、複数のチェックを実行することと、複数のチェックに応答して、選択的にインバータの位相シフトを調整して、送信機の電力を調整することが、含まれる。

【 0 0 4 8 】

ある実装では、送信機は電気自動車の充電器であって、受信機は電気自動車の電力システムに結合されている。

【 0 0 4 9 】

ある実装では、処理には、送信機の起動中に、送信機 I M N のリアクタンスを最大値に調整することが含まれる。

【 0 0 5 0 】

ある実装では、処理には、受信機の起動中に、受信機 I M N のリアクタンスを最小値に調整することが含まれる。

【 0 0 5 1 】

ある実装では、送信機は、送信機インピーダンスマッチングネットワークの少なくとも一部に結合されて送信機の共振器を形成する、誘導コイルを含む。

【 0 0 5 2 】

ある実装では、受信機は、受信機インピーダンスマッチングネットワークの少なくとも一部に結合されて受信機の共振器を形成する、誘導コイルを含む。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 3 】

第 8 の態様では、本開示は、電力伝送をチューニングするための制御ループを実施するように構成された、バス電圧制御を有さないワイヤレス電力伝送システムを特徴とする。制御ループは、ワイヤレス電力伝送システムの送信機の出力電力を制御する第 1 のサブループと、タンク回路をワイヤレス電力伝送システムの受信機の整流器に結合する、インダクタとキャパシタとの、合成リアクタンスをチューニングする第 2 のサブループとを含み、第 2 のサブループは、ワイヤレス電力伝送の効率を監視することによって、合成リアクタンスをチューニングする。更に、本実装及び他の実装は、それぞれ、以下の特徴の 1 つ以上を任意に含み得る。

【 0 0 5 4 】

10

ある実装では、第 2 のサブループは、摂動観測 (perturb-and-observe) ストラテジを使用して、タンク回路をワイヤレス電力伝送システムの受信機の整流器に結合する、インダクタとキャパシタとの、合成リアクタンスをチューニングすることによって、前のポイントに基づいて効率を向上させる。

【 0 0 5 5 】

ある実装では、第 2 のサブループは、出力電力が制御ループの開始時点の目標電力と比較される、電力比較に依存する。

【 0 0 5 6 】

ある実装では、第 2 のサブループは、例えば 4 0 H z の通信速度で動作する。

【 0 0 5 7 】

20

ある実装では、制御ループは、

【 数 1 】

$$P_{inv} = \frac{\frac{8}{\pi^2} V_{bus}^2}{R_{inv}^2 + X_{inv}^2} R_{inv}$$

式 (1)

で特徴付けられる。ここで、 P_{inv} は、ワイヤレス電力伝送システムの送信機のインバータからの電力で、 V_{bus} は、バス電圧で、 R_{inv} は、インバータから見た抵抗で、 X_{inv} は、インバータから見たリアクタンスであって、チューニングは、 X_{inv} が、インダクタとキャパシタとの合成リアクタンスと等しい場合に、行われる。

30

【 0 0 5 8 】

ある実装では、第 1 のサブループは、ワイヤレス電力伝送システムの他の部分と通信しないローカルループである。

【 0 0 5 9 】

ある実装では、第 1 のサブループは、第 2 のサブループよりも速く、第 1 のサブループは、1 ~ 1 0 k H z のオーダーである。

【 0 0 6 0 】

40

ある実装では、制御ループには、送信機リアクタンスを最大値に設定することと、受信機リアクタンスを最小値に設定することを含む、入力を準備することが含まれ、時間ゼロでのワイヤレス電力送信の効率は 0 であって、受信機リアクタンスは定数値又は変数値で変更され得る。

【 0 0 6 1 】

ある実装では、制御ループは、出力電力を目標電力と比較することによって開始する。また、ある実装では、出力電力が目標電力の許容誤差の範囲内にある場合に、時間 n において効率が測定され、時間 n における効率は、前の時間 $n - 1$ における効率と比較され、時間 n における効率が前の時間 $n - 1$ における効率よりも大きいとき、受信機リアクタンスの変化が受信機リアクタンスに加えられ、出力電力は目標電力と比較される。時間 n に

50

おける効率が前の時間 $n - 1$ における効率よりも小さい又は等しいとき、受信機のリアクタンスの変化は無効化され、無効化された変化は受信機のリアクタンスに加えられ、出力電力は目標電力と比較される。

【 0 0 6 2 】

ある実装では、出力電力が目標電力の許容誤差の範囲内にない場合、出力電力が目標電力よりも小さいか否かが判定され、出力電力が目標電力よりも小さいとき、送信機リアクタンスの変化は $-\delta$ に設定され、送信機リアクタンスの変化が送信機リアクタンスに加えられ、出力電力は目標電力と比較される。出力電力が目標電力よりも大きいとき、送信機リアクタンスの変化は δ に設定され、送信機リアクタンスの変化が送信機リアクタンスに加えられ、出力電力が目標電力と比較される。

10

【 0 0 6 3 】

第 9 の態様では、本開示は、電力伝送をチューニングするための制御ループを実装するように構成された、バス電圧制御を有するワイヤレス電力伝送システムを特徴とする。制御ループは、

【 数 2 】

$$\varphi = \arctan(X_{inverter}/R_{inverter})$$

式 (2)

20

で定義されるように位相を制御する、第 1 のサブループと、出力電力を制御する、第 2 のサブループと、効率を監視することによって、タンク回路をワイヤレス電力伝送システムの受信機の整流器に結合する、インダクタとキャパシタとの、合成リアクタンスをチューニングする、第 3 のサブループと、を含む。

更に、本実装及び他の実装は、それぞれ、以下の特徴の 1 つ以上を任意に含み得る。

【 0 0 6 4 】

ある実装では、第 3 のサブループは、摂動観測ストラテジを使用して、インダクタとキャパシタとの合成リアクタンスをチューニングすることによって、前のポイントに基づいて効率を向上させる。

【 0 0 6 5 】

30

ある実装では、第 3 のサブループは、電力比較に依存し、第 2 のサブループに依存する。

【 0 0 6 6 】

ある実装では、第 3 のサブループは、例えば 4 0 H z の通信速度 (W i F i の速度) で動作する。

【 0 0 6 7 】

ある実装では、制御ループは、

【 数 3 】

$$P_{inv} = \frac{\frac{8}{\pi^2} V_{bus}^2}{R_{inv}^2 + X_{inv}^2} R_{inv}$$

40

式 (3)

で特徴付けられる。ここで、 P_{inv} は、ワイヤレス電力伝送システムの送信機のインバータからの電力の出力で、 V_{bus} は、バス電圧で、 R_{inv} は、インバータから見た抵抗で、 X_{inv} は、インバータから見たリアクタンスであって、チューニングは、 V_{bus} 及び $X_3 = X_{inv}$ において、行われる。

【 0 0 6 8 】

50

ある実装では、第1のサブグループがまず調整され、第2のサブグループが次に調整され、第3のサブグループが続いて調整される。

【0069】

ある実装では、第1のサブグループは、1 ~ 10 kHz のオーダーで動作する。

【0070】

ある実装では、第1のサブグループはローカルグループであって、ワイヤレス電力伝送システムの他の部分と通信しない。

【0071】

ある実装では、第2のサブグループはローカルグループであり、ワイヤレス電力伝送システムの他の部分と通信しない。

【0072】

ある実装では、第2のサブグループは、1 ~ 10 kHz のオーダーで動作する。

【0073】

ある実装では、制御グループには、送信機リアクタンスを最大値に設定することと、受信機リアクタンスを最小値に設定することを含む、入力を準備することが含まれ、時間ゼロでのワイヤレス電力送信の効率は0であって、受信機リアクタンスは増加し、送信機リアクタンスは増加し、バス電圧は増加し、位相は増加する。

【0074】

ある実装では、制御グループには、インバータで測定された位相を目標位相と比較することが含まれ、インバータで測定された位相が目標位相と等しい場合、出力電力が目標電力と比較される。

【0075】

ある実装では、第3のサブグループは、出力電力が目標電力に等しい場合に発生し、時間nにおける効率を測定することと、時間nにおける効率を前の時間n - 1における効率と比較することを含み、時間nにおける効率が前の時間n - 1における効率よりも大きいとき、受信機リアクタンスが増加される。時間nにおける効率が前の時間n - 1における効率よりも小さい又は等しいとき、受信機リアクタンスの変化は無効化され、無効化された値は、受信機リアクタンスに加えられる。

【0076】

ある実装では、第2のサブグループは、出力電力が目標電力と等しくない場合に発生し、出力電力が目標電力よりも小さいとき、バス電圧を増加させることと、出力電力が目標電力よりも大きいとき、バス電力を低減させることを含む。

【0077】

ある実装では、第1のサブグループは、インバータで測定された位相が目標位相と等しくない場合に発生し、インバータで測定された位相が目標位相よりも大きいとき、受信機リアクタンスを最小受信機リアクタンスと比較すること、受信機リアクタンスが最小受信機リアクタンスと等しければ、出力電力を目標電力と比較すること、受信機リアクタンスが最小受信機リアクタンスと等しくなければ、送信機リアクタンスを減少させること、インバータで測定された位相が目標位相よりも小さいとき、受信機リアクタンスを最大受信機リアクタンスと比較すること、受信機リアクタンスが最大受信機リアクタンスと等しければ、出力電力を目標電力と比較すること、及び受信機リアクタンスが最大受信機リアクタンスと等しくなければ、送信機リアクタンスを増加させることを含む。

【0078】

本明細書に記載された主題の特定の実装は、以下の利点のうちの1つ以上を実現するように実装され得る。実装は、ワイヤレス電力伝送システムの処理効率を向上させ得る。実装は、ワイヤレス電力伝送システムの信頼性を向上させ得る。実装は、多岐に渡る条件において動作するワイヤレス電力伝送システムのロバスト性を向上させ得る。実装は、多くの条件において高い電力伝送レベルを達成するように性能を向上させ得る。

【0079】

開示された装置、回路、及びシステムの実施形態は、他の実施形態との組み合わせ、及

10

20

30

40

50

び適切な任意の組み合わせによって開示された特徴を含む、本明細書で開示された他の特徴のいずれかを含み得る。

【 0 0 8 0 】

本明細書に記載された主題の 1 つ以上の実装の詳細は、添付の図面及び以下の詳細な説明に記載されている。本主題の他の特徴、態様、及び利点は、詳細な説明、図面、及び特許請求の範囲から明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 8 1 】

【図 1】図 1 A 及び図 1 B は、例示的なワイヤレス電力伝送システムの図を示す。

【図 2】図 2 A ~ 図 2 D は、例示的なワイヤレス電力伝送システムにおける受信機 X 3 のチューニングの影響に関するプロットを示す。

【図 3】図 3 は、ワイヤレス電力伝送システムを制御するための例示的な制御プロセスのフローチャートを示す。

【図 4】図 4 は、ワイヤレス電力送信システムを制御するための他の例示的な制御プロセスのフローチャートを示す。

【図 5】図 5 A ~ 図 5 C は、ワイヤレス電力伝送システムをチューニングするための制御ループを制御させるための例示的な制御プロセスの、更に詳細なフローチャートを示す。

【図 6】図 6 A は、ワイヤレス電力伝送制御システムのための例示的な起動プロセスのフローチャートを示す。図 6 B は、ワイヤレス電力伝送制御システムのための例示的なシャットダウンプロセスのフローチャートを示す。

【 0 0 8 2 】

様々な図面における同様の参照番号及び名称は、同様の要素を示す。

【 0 0 8 3 】

(発明の詳細な説明)

本明細書に記載されたワイヤレス電力伝送システムは、多岐に渡る様々な共振器及び共振物体を使用して実施され得る。当業者であれば分かるように、共振器ベースの電力伝送のための重要な考察には、共振器の品質係数及び共振器結合が含まれる。

結合モード理論 (C M T、coupled mode theory)、結合係数及び結合要素、品質係数 (Q 値ともよばれる)、並びにインピーダンスマッチングなどの、上述した論点の広範な議論は、例えば、2012 年 7 月 19 日に米国特許出願公開 2012 / 0184338 号として公開された米国特許出願第 13 / 428, 142 号、2013 年 2 月 7 日に米国特許出願公開 2013 / 0033118 号として公開された米国特許出願第 13 / 567, 893 号、2014 年 4 月 24 日に米国特許出願公開 2014 / 0111019 号として公開された米国特許出願第 14 / 059, 094 号に記載されている。これらの出願の各々の全内容は、参照により本明細書に組み込まれるものとする。

【 0 0 8 4 】

ワイヤレス電力伝送などのいくつかの適用例では、ワイヤレス電力供給源及び装置によって見られるインピーダンスは動的に変化し得る。これらの適用例では、不必要な電力損失及び過剰な熱を防止するために、装置共振器コイルと負荷との間の、及びソース共振器コイルと電源との間のインピーダンスマッチングが求められ得る。共振器コイルが受けるインピーダンスは動的となるような場合には、変化するインピーダンスをマッチングして、システムの性能を向上させる、動的インピーダンスマッチングネットワークが設けられ得る。ワイヤレス電力システムにおける電力供給の場合、電力供給によって見られるインピーダンスは、電力を受ける負荷 (例えば、バッテリー又はバッテリー充電回路) の変化、及び (例えば、ソース共振器と装置共振器との相対的位置の変化によって生じる) 供給源と装置との間の結合の変化によって、大きく変化し得る。同様に、装置共振器が受けるインピーダンスも、電力を受ける負荷の変化によって動的に変化し得る。更に、装置共振器に対する所望のインピーダンスマッチングは、異なる結合条件及び / 又は電源条件に応じて異なり得る。従って、高度共振ワイヤレス電力伝送を介して電力を転送及び / 又は受信する電力伝送システムが、例えばインピーダンスマッチングネットワークを構成又は変更し

て、効率的な電力伝送を維持するために、求められ得る。本開示の実装は、高出力車両充電システムなどの、高度共振無線電力伝送(HRWP T、highly-resonant wireless power transfer)システムにおいて起こり得る条件の全範囲にわたって効率的な制御を可能にする、起動、シャットダウン、及び定常状態の制御処理を提供する。

【0085】

図1A及び図1Bは、例示的なワイヤレス電力伝送システム100の図を示す。図1Aを参照して、システム100は、ワイヤレス電力送信機102及びワイヤレス電力受信機104を含む。ワイヤレスで電力を供給され、或いはワイヤレスで充電される装置112が、受信機104に結合される。ワイヤレスで電力を供給され、或いはワイヤレスで充電される装置112には、例えば、電気自動車などの高電力装置、或いはラップトップパソコン、スマートフォン、タブレット、並びにデスクトップ、テーブルトップ、パートップ、及びその他の種類の表面上に一般に設置される他のモバイル電子装置などの電子機器が、含まれ得る。

10

【0086】

説明のために、ワイヤレス電力伝送システム100は、電気自動車のためのワイヤレス充電システムに関するものとして説明する。例えば、システム100は、広範囲の結合係数 k 、負荷条件(電池電圧など)、及び共振器のインダクタンスを狂わせる環境条件(例えば、空間的な変化、干渉物)において動作することが求められるHRWP Tシステムであってもよい。更に、電気自動車のワイヤレス充電を実行するために、システム100は、高電圧(例えば360Vから800Vの間)及び高電流(例えば26Aから40Aの間)にて動作して、適切な電力の範囲(例えば、0から3.7kW、0から7.7kW、0から11kW、或いは0から22kW)を達成することが求められ得る。

20

【0087】

ワイヤレス電力送信機102は、外部電源(例えば、電力網又は発電機)からの電力を、共振器108T及び108Rの間でワイヤレス電力受信機104に送信される、電磁エネルギーに変換する。受信機104は、共振器108Rにて受信した振動エネルギーを、装置112による使用(例えば、電気自動車のバッテリーの充電)のために適切な形態に変換する。より具体的には、受信機の電力制御回路110は、装置112に対して適切な電圧及び電流のパラメータを用いて、共振器108RからのAC電圧及び電流を、DC電力に変換し得る。

30

【0088】

送信機の電力制御回路106は、ソース電子機器を電源から絶縁するための回路及び構成要素を含むことができるので、反射された電力又は信号はソース入力端子を介して外部と結合されない。ソース電力制御回路106は、10kHzより大きく100MHzより小さい(例えば、85kHz)の周波数などで、交流電流でソース共振器108Sを駆動させ得る。ソース電力制御回路106は、例えば、力率補正(PFC)回路、送信機コントローラ、インピーダンスマッチング回路、電力インバータ、DC/DCコンバータ、AC/DCコンバータ、電力増幅器、又はそれらの任意の組み合わせを含み得る。

【0089】

受信機の電力制御回路110は、受信機の共振器108Rからの交流電力を、1つ以上の装置112に給電又は充電するのに適した、安定した直流電力に変換するように設計され得る。例えば、受信機の電力制御回路110は、共振器108Rからの1つの周波数(例えば、85kHz)の交流電力を、1つ以上の装置112に給電又は充電するのに適した、異なる周波数の交流電力に変換するように設計され得る。受信機の電力制御回路110は、例えば、受信機コントローラ、インピーダンスマッチング回路、整流回路、電圧制限回路、電流制限回路、AC/DCコンバータ回路、DC/DCコンバータ回路、DC/AC回路、AC/AC変換回路、及びバッテリー充電制御回路を含み得る。

40

【0090】

送信機102及び受信機104は、例えば動的インピーダンスマッチング回路などの、ソース及び装置共振器の処理、並びに電力移動の効率に影響を及ぼす可能性のある、可変

50

の環境条件、摂動及び負荷条件を補償するために処理点の調整を可能にする、チューニング能力を有し得る。チューニング能力は自動的に制御されることができ、連続的に、定期的に、断続的に、又はスケジューリングされた時間若しくは間隔で、実行されることができる。ある実施形態では、チューニングは、以下でより詳細に説明するように、送信機 102 と受信機 104 との間で同期して実行される。

【0091】

図 1 B に、送信機 102 及び受信機 104 の電力制御回路 106 及び 110 をより詳細に示す。図 1 A 及び図 1 B に示すように、送信機 102 は、送信機インピーダンスマッチングネットワーク (IMN) 124 に電力を供給するインバータ 122 と、インバータ 122 の処理を制御し、送信機 IMN 124 をチューニングするコントローラ 125 とを備える。送信機 IMN 124 は、共振器コイル 108 T と結合される。受信機 104 は、共振器 108 R に結合される受信機 IMN 126、整流器 128、及び受信機 IMN 126 をチューニングすることができるコントローラ 129 を備える。処理中、インバータ 122 は送信機 IMN 124 を介して共振器 108 T に電力を供給する。共振器 108 T は、結合定数 k を用いて振動電磁エネルギーを共振器 108 R に結合する。共振器 108 R によって受信された電力は、受信機 IMN 126 を介して整流器 108 に送信され、整流器 108 は、電力を装置 112 による使用のための適切な形式に変換する。

【0092】

送信機コントローラ 125 及び受信機コントローラ 129 は、プロセッサ又はマイクロコントローラとして実装され得る。ある実施形態では、送信機コントローラ 125 及び受信機コントローラ 129 は、ASIC 又は FPGA コントローラとして実装されてもよい。送信機コントローラ 125 及び受信機コントローラ 129 は、同じ形式で実装される必要はない。例えば、送信機コントローラ 125 は、マイクロコントローラとして実装され、受信機コントローラ 129 は、ASIC コントローラとして実装されてもよい。

【0093】

送信機 102 はまた、送信機処理パラメータを測定するための電圧、電流、及び電力センサなどの複数のセンサを含む。送信機コントローラ 125 は、センサからの測定値を使用して、送信機 102 の処理を制御し、送信機 IMN 124 をチューニングし得る。センサによって測定される送信機処理パラメータには、インバータのバス電圧 (V_{bus})、送信機入力電力、インバータの AC 電圧 (V_{AC})、インバータの AC 電流 (I_{AC})、送信機力率 (pf)、並びに安全チェック (safety check) に用いられる他の電圧及び電流、が含まれ得るが、これらに限定されない。ある実施形態では、送信機入力電力は、送信機 PFC 回路への AC 入力で測定される。また、ある実施形態では、図 1 B に示すように、送信機入力電力は、インバータ電力 (P_{in}) として測定される。ある実施形態では、インバータ電力 (P_{in}) は、インバータ 122 の DC 入力で測定される。また、ある実施形態では、インバータ電力 (P_{in}) は、インバータ 122 の AC 出力で測定される。送信機電力係数は、インバータの AC 電圧 (V_{AC}) とインバータの AC 電流 (I_{AC}) との間の位相差 (φ) として測定され、力率は位相差 (φ) のコサインとなる。ある実施形態では、位相差 (φ) は、力率の代理として使用され得る。すなわち、送信機コントローラ 125 は、実際の力率値を計算する代わりに、位相差 (φ) に基づいて処理を実行し得る。ある実施形態では、送信機力率 (pf) は、インバータの出力に見られる等価抵抗値及びリアクタンス値に基づいて計算できます。例えば、位相差 (φ) は、

【数 4】

$$\varphi = \arctan(X_{inverter}/R_{inverter}).$$

式 (4)

で表される。

【0094】

10

20

30

40

50

受信機 104 はまた、受信機処理パラメータを測定するための電圧、電流、及び電力センサなどの複数のセンサを含む。受信機コントローラ 129 は、センサからの測定値を使用して、受信機 104 の処理を制御し、受信機 IMN 126 をチューニングし得る。センサによって測定される受信機処理パラメータには、受信機出力電力 (P_{out})、整流器の AC 電圧、整流器の AC 電流、整流器の DC 電圧、整流器の DC 電流、並びに安全チェックに用いられる他の電圧及び電流、が含まれ得るが、これらに限定されない。

【0095】

送信機 IMN 124 及び受信機 IMN 126 は、それぞれ、抵抗器、キャパシタ、インダクタ、又はそれらの組み合わせなどの、複数の固定及び可変のインピーダンスマッチングの構成要素を含み得る。可変インピーダンス構成要素は、可変でリアクティブなインピーダンス構成要素であって、PWM スイッチングキャパシタ、無線周波数 (RF) における実効キャパシタンスが DC バイアス電場によって制御される無線周波数 (RF) 制御キャパシタ、温度制御キャパシタ、PWM スイッチングインダクタ、実効インダクタンスがバイアス DC 電界 (例えば、可飽和コア) によって制御される DC 制御インダクタ、温度制御インダクタ、スイッチによって回路の内外にスイッチングされるリアクタンス素子のアレイ、又はそれらの組み合わせを含み得るが、これらに限定されない、チューニング可能なリアクタンスインピーダンス構成要素であってもよい。

【0096】

図示の例では、送信機 IMN 124 は、直列キャパシタ 132、並列キャパシタ 134、及びキャパシタ 136 とインダクタ 138 との組み合わせを、インバータ 122 の出力部分に備える。キャパシタ 136 は可変キャパシタであって、1 つ以上の可変キャパシタを含み得る。トランジスタ共振器コイル 108 T の抵抗成分は、抵抗 140 によって表される。

【0097】

受信機 IMN 126 は、直列キャパシタ 144、並列キャパシタ 146、及びキャパシタ 148 とインダクタ 150 との組み合わせを、整流器 128 の入力部分に備える。キャパシタ 148 は可変キャパシタであって、1 つ以上の可変キャパシタを含み得る。受信機共振器コイル 108 R の抵抗成分は、抵抗 152 によって表される。

【0098】

IMN 124 及び IMN 126 は、特定のアプリケーションのニーズを満たすインピーダンスを有する様々な構成要素を用いた、広い範囲の回路実装を有し得る。例えば、Kesler 氏等による米国特許第 8,461,719 号は、その全体が参照により本明細書に組み込まれ、図 28a ~ 図 37b 等に、様々なチューニング可能なインピーダンスネットワーク構成が開示される。ある実施形態では、図 1B に示される各構成要素は、ネットワーク又は構成要素のグループを表し得る。

【0099】

IMN 124 及び IMN 126 の各々は、直列リアクタンス X1 (例えば、キャパシタ 132 又は 144)、並列リアクタンス X2 (例えば、キャパシタ 134 又は 146)、及びインバータ出力 / 整流器入力リアクタンス X3 (インダクタ 138 又は 150 とキャパシタ 136 又は 148 との間の合成リアクタンス) の 3 つのリアクタンスを含む。受信機 IMN 126 のリアクタンス X1 ~ X3 は、送信機 IMN 124 の対応するリアクタンス X1 ~ X3 を反映する。リアクタンス X3 は、チューニング可能なリアクタンスの構成要素、すなわちキャパシタ 136 及び 148 を含むものとして示されている唯一のリアクタンスであるが、他の実施形態では、リアクタンス X1 及び X2 も、リアクタンス X3 のチューニング可能なリアクタンス構成要素に加えて、又はその代わりにチューニング可能なリアクタンス構成要素を含み得る。言い換えれば、IMN 124 及び IMN 126 は、リアクタンス X1 ~ X3 のいずれか 1 つ以上をチューニングすることによって、チューニングされ得る。ある実施形態では、リアクタンス X1 及び X3 を構成する構成要素のバランスを取り得る。

【0100】

10

20

30

40

50

リアクタンス X_1 、 X_2 、 X_3 、又はそれらの組み合わせの何れもがチューニング可能であるが、ある実施形態では、リアクタンス X_3 をチューニングすることが有利となり得る。例えば、リアクタンス X_3 をチューニングすることによって、IMN内の単一の構成要素をチューニングするだけで十分であれば、システムの複雑さ及びコストを低減することができる。リアクタンス X_3 をチューニングすることにより、 X_3 素子を流れる電流を、 X_1 、 X_2 、及び共振器コイルによって形成されるタンク回路を流れる電流よりも大幅に少なくすることができる。このように電流が少なくなることによって、例えば、それらの構成要素に必要とされる電流定格を低減させて、チューニング可能な構成要素の実装をより費用対効果の高いものにすることができる。更に、電流が少なくなることによって、 X_3 における素子のチューニングによる、損失を低減することができる。

10

【0101】

ある実施形態では、チューニング可能なリアクタンス素子（例えば、PWM制御キャパシタ）は、調波ノイズ（harmonic noise）をHRWPTシステムに注入することができる。EMIコンプライアンスを助けるために、この調波ノイズを主なHRWPT共振器コイル（例えば、108T及び108R）から遠ざけることが望ましい場合がある。 X_3 でチューニング可能な素子によって注入された高調波は、インバータ及び整流器によって生成されるものよりも抑制され、共振器コイル108T又は108Rに達する前に、残りのHRWPT回路によって著しく抑制され得る。

【0102】

X_3 にチューニング可能な素子（例えば、PWM制御キャパシタ）を有する、ある実施形態では、チューニング可能な素子は、システムの残りの部分の全体的な効率が最も低い場合には、最小量の電力（理論的にはゼロ）を散逸させ、残りの部分の全体的な効率が最も高い場合には、最大量の電力を散逸させる。これは、最大効率にわずかにしか影響を与えずに、システムの最小及び平均効率を最適化する望ましい効果を有する。しかし、 X_1 又は X_2 の素子をチューニングすることは、反対の、あまり望ましくない効果を生じ得る。

20

【0103】

X_1 及び X_2 の固定リアクタンスと X_3 のベースリアクタンス値は、図2A～図2Dに示す結果を達成するために選択されることができ、これを以下に説明する。例えば、 X_1 と X_2 の値は、次のようにして判定され得る。1) X_3 を含む回路分岐を流れる最大電流と、チューニング可能なリアクタンス素子の実装にて使用される構成要素の電流定格及び電圧定格とに基づいて達成できるリアクティブ・チューニングの最大範囲を判定する。例えば、単一段階のリアクタンス素子が20Ωのリアクティブ・チューニングに影響を与え得ると結論づけてもよい。2) 受信機側IMNに対して、 X_1 、 X_2 、及び X_3 のベース値を最適化して、共振器の相対的な位置（及び負荷条件）の範囲にわたってコイル-コイル間の効率を最適化し、及び/又は、共振器内で消費される電力の量がステップ1で判定されたリアクタンスの範囲に基づいて指定された制限値より下に留まるようにする。3) 送信機側IMNに対して、 X_1 、 X_2 、及び X_3 のベース値を最適化して、インバータに望ましい実効インピーダンスを与える（例えば、クラスDインバータのゼロ電圧スイッチングを実現するには十分に誘導性であるが、過大な無効電流が存在する場合でも過度に導電性ではなく、実際に達成され得るバス電圧の範囲内に入る大きさを有する）。

30

40

【0104】

図2A～図2Dは、受信機 X_3 のチューニングの影響に関するプロットを示す。図2Aは、（負荷に対してW/kWで示される）ソース（送信機）共振器電力損失を、品質係数比

【数5】

$$Q_d^U/Q_d^L$$

であって、ここで、

【数 6】

$$Q_d^U$$

式 (6)

は、無装荷 (unloaded) の装置 (受信機) の共振器の品質係数であり、

【数 7】

$$Q_d^L$$

10

式 (7)

は、装荷 (loaded) の装置の共振器 (装荷は、残りの装置回路及び負荷の装荷を含む) の品質係数である品質係数比と、性能指数

【数 8】

$$F_{oM} = U = k\sqrt{Q_s Q_d}$$

20

式 (8)

との関数で示す。図 2 A は、性能指数が送信機共振器での損失において、支配的な役割を果たすことを示している。

【 0 1 0 5】

図 2 B は、(負荷に対して W / k W で示される) 装置共振器電力損失を、品質係数比

【数 9】

$$Q_d^U / Q_d^L$$

30

式 (9)

であって、ここで、

【数 1 0】

$$Q_d^U$$

式 (1 0)

は、無装荷の装置の共振器の品質係数であり、

【数 1 1】

$$Q_d^L$$

40

式 (1 1)

は、装荷の装置の共振器 (装荷は、残りの装置回路及び負荷の装荷を含む) の品質係数である品質係数比と、性能指数

【数 1 2】

$$F_{oM} = U = k\sqrt{Q_s Q_d}$$

式 (1 2)

との関数で示す。図 2 B は、品質係数比が受信機共振器での損失において、支配的な役割を果たすことを示している。

【 0 1 0 6】

図 2 C は、動作周波数 8 4 k H z における装置性能指数 U_d を、位置 X 3 でのリアクタンス dX (単位はオーム) 及び負荷抵抗 R_L (単位はオーム) の変化の関数として示す。性能指数 U_d は、

10

【数 1 3】

$$\frac{R_{L,eq}}{R_d} = \sqrt{1 + U_d^2}$$

式 (1 3)

で定義される。ここで、 $R_{L,eq}$ は、装置の共振器の (整流器、及びバッテリーなどの、装置の電子回路による) 装荷の等価直列抵抗 (ESR) であって、 R_d は、装置の共振器の無装荷の ESR である。 U_d がシステムの性能指数 U と等しく設定されると、コイル対コイルの効率が最大となり得る。

20

【 0 1 0 7】

図 2 D は、8 4 k H z の動作周波数における位相 ψ (単位は度) を、リアクタンス (単位はオーム) 及び負荷抵抗 (単位はオーム) の変化の関数として示す。位相 ψ は、

【数 1 4】

$$\psi = \arctan\left(\frac{\Delta X_L}{R_{L,eq}}\right)$$

30

式 (1 4)

で定義される。ここで、

【数 1 5】

$$\Delta X_L$$

式 (1 5)

40

は、動作周波数で装荷の装置共振器の残留リアクタンスである。位相 $\psi = 0$ は、装荷の装置共振器が共振状態にあることを意味する。

【 0 1 0 8】

図 2 C 及び図 2 D の台形の点線の輪郭 2 0 2 は、ワイヤレス電力伝送受信機の動作範囲を示す。図 2 D の輪郭 2 0 2 は、1 1 k W の出力で動作するワイヤレス電力伝送システムで見られる R_L の範囲を示す。例えば、 $R_L = 1 0 \Omega$ の場合、図 2 C に示すように、 $R_L = 1 0 \Omega$ での dX の範囲で、X 3 をチューニングする重要な能力があり、 $\psi = 0$ の曲線の $R_L = 1 0 \Omega$ への近似によって図 2 D に示されるように、ほぼ共振を維持している (又は共振器の離調を回避している)。

【 0 1 0 9】

50

再び図 1 B を参照すると、コントローラ 1 2 5 及び 1 2 9 は、I M N 1 2 4 及び 1 2 6 を同期的にチューニングして、それぞれ、システム 1 0 0 が輪郭 2 0 2 のような好ましい動作範囲で動作するように維持する。例示的な実施形態では、コントローラ 1 2 5 及び 1 2 9 は、電気自動車などの装置 1 1 2 に安全かつ効率的に電力を転送するために、以下に説明するプロセスを実行して、送信機及び受信機の I M N 1 2 4 及び 1 2 6 のリアクタンス X 3 を同期的にチューニングする。例えば、コントローラ 1 2 5 及び 1 2 9 は、帯域外通信チャネルで電子通信を行うためにワイヤレス通信インタフェースを含み得る。コントローラ 1 2 5 と 1 2 9 との間の通信には、R F 通信（例えば、W i F i、B l u e t o o t h、Z i g b e e）、光通信、赤外線通信、超音波通信、又はそれらの組み合わせが含まれ得るが、これらに限定されない。

10

【 0 1 1 0 】

例えば、図 3 ~ 図 5 C を参照して以下でより詳細に説明するように、コントローラ 1 2 5 は、送信機 I M N 1 2 4 をチューニングして、送信機 1 0 2 の目標電力特性を達成することができ、コントローラ 1 2 9 は、受信機 I M N 1 2 6 をチューニングして、目標システム効率を達成することができる。送信機コントローラ 1 2 5 は、I M N 1 2 4 を調整して、送信機 1 0 2 の目標電力特性を達成して維持する。送信機コントローラ 1 2 5 は、入力電力データを受信機コントローラ 1 2 9 に送信する。受信機コントローラ 1 2 9 は、受信機 1 0 4 の出力電力を測定して、入力電力データと共に、システム 1 0 0 の効率を算出する。受信機コントローラ 1 2 9 は、受信機 I M N 1 2 6 をチューニングして、システム効率を最大にする。例えば、受信機コントローラ 1 2 9 は、2 つの異なる時間において計算された効率値の比較に基づいて、受信機 I M N 1 2 6 に対する適切な調整を判定する。

20

【 0 1 1 1 】

ある実施形態では、送信機コントローラ 1 2 5 は、受信機コントローラ 1 2 9 よりも早い速度で動作する。つまり、送信機コントローラ 1 2 5 は、受信機コントローラ 1 2 9 が受信機 I M N 1 2 6 をチューニングするよりも速い速度で送信機 I M N 1 2 4 をチューニングすることができる。例えば、受信機コントローラ 1 2 9 は、送信機コントローラ 1 2 5 からの新しい入力電力データを受信するのと同じ速度で受信機 I M N 1 2 6 をチューニングすることのみを許可されてもよい。

【 0 1 1 2 】

図 3 は、ワイヤレス電力伝送システムを動作させるための例示的な制御プロセス 3 0 0 のフローチャートを示す。ある例では、例示的なプロセス 3 0 0 は、1 つ以上の処理装置（例えば、プロセッサ又はマイクロコントローラ）又は計算装置を使用して実行されるコンピュータ実行可能命令として提供され得る。ある例では、プロセス 3 0 0 は、ハードウェアとして組み込まれた電気回路によって、例えば A S I C 又は F P G A コントローラとして実行されてもよい。

30

【 0 1 1 3 】

プロセス 3 0 0 の一部は、ワイヤレス電力送信機 1 0 2（例えば、送信機コントローラ 1 2 5）によって実行され、プロセス 3 0 0 の一部は、ワイヤレス電力受信機 1 0 4（例えば、受信機コントローラ 1 2 9）によって実行される。プロセス 3 0 0 は、2 つの制御ループ 3 0 3 及び 3 0 5 を含む。ループ 3 0 3 は、送信機 1 0 2 によって実行され、リアクタンス X 3 を調整することによって送信機 I M N 1 2 4 をチューニングして、送信機電力を制御する。ある実施形態では、ループ 3 0 3 は、実行されるべき他の装置（例えば、受信機 1 0 4）との通信を必要としないローカルループである。また、ある実施形態では、ループ 3 0 3 は、送信機によって 1 ~ 1 0 k H z で実行される。ループ 3 0 3 は、

40

【 数 1 6 】

$$P_{in} = \frac{\frac{8}{\pi^2} V_{bus}^2}{R_{inv}^2 + X_{inv}^2} R_{inv}$$

50

式(16)

で特徴付けることができる。ここで、 P_i は、インバータの電力、 V_{bus} は、インバータ122のDCバス電圧、 R_{inv} は、インバータから見た実効抵抗、 X_{inv} は、インバータから見た実効リアクタンスである。

【0114】

ループ305は、システム効率に基づいて受信機IMN126をチューニングするために受信機104によって実行される。例えば、ループ305は、「摂動観測(perturb-and-observe)」ストラテジを使用して、受信機IMN126のリアクタンス X_3 を調整することによって効率を向上し、連続するイテレーションにわたって効率を継続的に向上することができる。ループ305は、各イテレーションにおいて、送信機102からの入力電力データに依存して、システム効率を計算する。ある実施形態では、ループ305は、例えば40Hzの、送信機102と受信機104との間の通信速度で処理する。

【0115】

ブロック302は、最大リアクタンス値 $X_{tx, max}$ を設定された、可変送信機リアクタンス X_{tx} (例えば、送信機IMN124の X_3)と、最小リアクタンス値 $X_{rx, min}$ を設定された、可変受信機リアクタンス X_{rx} (例えば、受信機IMN126の X_3)と、最初にゼロを設定されたシステム効率 η と、 δ の調整値を設定された、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} と、 ε の調整値を設定された、受信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{rx} と、を含むプロセス300の入力及び初期条件を列挙している。ある実施形態では、リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} 及び ΔX_{rx} は定数値である。また、ある実施形態では、リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} 及び ΔX_{rx} は変数である。例えば、コントローラ125又はコントローラ129は、プロセス300の間に、それぞれのステップサイズの大きさを動的に増加又は減少させ得る。

【0116】

プロセス300は、ステップ304で開始する。ステップ306では、送信機102の電力が測定される。送信機コントローラ125は、入力電力 P_{in} を測定し、ステップ306において、入力電力 P_{in} を目標電力レベル P_{target} と比較する。 P_{in} が P_{target} に等しい場合、プロセス300はループ305のステップ308に進む。 P_{in} が P_{target} に等しくない場合、プロセス300はループ303のステップ316に進む。ある実施形態又はある処理モードでは、目標電力レベルは、送信機102によって設定される。ある実施形態又はある処理モードでは、目標電力レベルは、受信機104によって設定される。例えば、定常状態の処理(例えば、起動シーケンス又はシャットダウンシーケンス以外の通常の処理)において、システム100は、要求ベースシステムとして処理することができる。例えば、受信機104は、送信機102からの電力レベルを要求することができる。送信機コントローラ125は、受信機104からの要求電力レベルに基づいて、目標入力電力レベルを計算することができる。例えば、送信機コントローラ125は、要求電力を、(IMN損失及びインバータ損失等の)送信機における予想損失を考慮した、要求電力レベルを送信するために必要とされる、目標入力電力レベルに変換することができる。

【0117】

最初に送信機側ループである、ループ303を参照すると、送信機の入力電力(例えば、インバータ電力)が目標電力と等しくない場合、ステップ316において、送信機コントローラ125は、入力電力を目標電力レベルと比較して、入力電力が目標電力レベルよりも小さいか否かを判定する。 P_{in} が P_{target} よりも小さい場合、ステップ318において、送信機コントローラ125は、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} を、負の調整値に設定して、ステップ320において、可変送信機リアクタンス X_{tx} を減少させる。 P_{in} が P_{target} より小さくない場合、ステップ322において、送信機コントローラ125は、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} を正の調整値に設定して、ステップ320において、可変送信機リアクタンス X_{tx} を増加させる。ある

実施形態では、リアクタンス調整値 δ の大きさは可変である。例えば、 P_{in} と P_{target} との差が大きい場合、例えば、粗調整閾値よりも大きい場合、送信機コントローラ125は、リアクタンス調整値 δ の大きさを増加させ得る。これに対応して、 P_{in} と P_{target} との間の差が小さい場合、例えば微調整閾値よりも小さい場合、送信機コントローラ125は、リアクタンス調整値 δ の大きさを減少させ得る。可変送信機リアクタンス X_{tx} がステップ320で調整された後、ループ303はステップ306に戻り、そこで入力電力は目標電力レベルと再び比較される。

【0118】

受信機側ループである、ループ305を参照すると、ステップ308において、送信機の入力電力が目標電力と等しい場合、受信機コントローラ129は、システム100の効率を測定する。例えば、 P_{in} が P_{target} と等しい場合、送信機は、 P_{in} の測定値を示すデータを受信機104に送信することができる。(測定された送信機電力は、浮動小数点数で表すことができるため、目標電力と厳密には等しくないこともあるが、予め設定された許容誤差の範囲内で同等であってもよい。)受信機コントローラ129は、受信機の出力電力を測定し、受信した送信機電力データ及び測定された受信機出力電力値に基づいて、時間 n におけるシステム効率 $\eta(n)$ を計算する。

【0119】

ステップ310において、受信機コントローラ129は、時間 n において計算されたシステム効率を、前の時間 $n-1$ において計算されたシステム効率と比較する。時間 n における効率が時間 $n-1$ における効率よりも大きい場合、ステップ312において、可変受信機リアクタンス X_{rx} は、受信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{rx} によって調整される。例えば、受信機リアクタンスの変化 ΔX_{rx} が可変受信機リアクタンス X_{rx} に加えられる。時間 n における効率が時間 $n-1$ における効率よりも大きくない場合、ステップ314において、受信機コントローラ129は、ステップ312において可変受信機リアクタンス X_{rx} を調整する前に、受信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{rx} の符号を変更する。例えば、受信機リアクタンスの変化値 ε は無効にされ得る。例えば、可変受信機リアクタンス X_{rx} の調整の方向は、効率がもはやループ305の後続のイテレーションと間で増加しなくなったときに交換される。ループ305によって示されるように、可変受信機リアクタンス X_{rx} の調整の方向は、効率が再び低下し、それにより、略最大システム効率が維持されるまで、ループ305の後続のイテレーションで維持される。

【0120】

ある実施形態では、リアクタンス調整値 ε の大きさを変えることができる。例えば、時間 n における効率が粗調整閾値より小さい場合(例えば、システム起動直後)、受信機コントローラ129は、リアクタンス調整値 ε の大きさを増加させることができる。これに対応して、時間 n における効率が、例えば推定された最大値の微調整閾値内である等、推定された最大値に近い場合、受信機コントローラ129は、リアクタンス調整値 ε の大きさを減少させることができる。

【0121】

図4は、ワイヤレス電力伝送システムを動作させるための例示的な制御プロセス400のフローチャートを示す。ある例では、例示的なプロセス400は、1つ以上の処理装置(例えば、プロセッサ又はマイクロコントローラ)又は計算装置を使用して実行されるコンピュータ実行可能命令として提供され得る。ある例では、プロセス400は、ハードウェアとして組み込まれた電気回路によって、例えばASIC又はFPGAコントローラとして実行されてもよい。

【0122】

プロセス400は、プロセス300と同様であるが、送信機電力 P_{in} を調整するためのインバータのバス電圧 V_{bus} の制御と、インバータ力率(例えば、インバータAC電圧 V_{AC} 及びインバータAC電流 I_{AC} 、位相差 ϕ)の測定及び使用とを含み、送信機IMN124をチューニングする。

【0123】

10

20

30

40

50

プロセス 400 の一部は、ワイヤレス電力送信機 102（例えば、送信機コントローラ 125）によって実行され、プロセス 400 の一部は、ワイヤレス電力受信機 104（例えば、受信機コントローラ 129）によって実行される。プロセス 400 は、3つの制御ループ 401、403 及び 405 を含む。ループ 401 及び 403 は、送信機 102 によって実行され、送信機 IMN 124 をチューニングし、送信機電力を制御する。ループ 401 は、インバータ AC 出力電圧とインバータ AC 出力電流との間の目標位相 ϕ 関係（例えば、インバータ力率）を達成するために、リアクタンス X_3 を調整することによって、送信機 IMN 124 を調整する位相ループである。以下、「インバータ出力位相 ϕ_{inv} 」及び「目標インバータ出力位相 ϕ_{target} 」ともいう。ループ 403 は、インバータのバス電圧 V_{bus} を調整することによって、目標電力 P_{target} 又はその近傍における送信機電力の大きさ P_{in} を制御及び維持する電力制御ループである。ある実施形態では、ループ 401 及び 403 は、実行されるべき他の装置（例えば、受信機 104）との通信を必要としないローカルループである。また、ある実施形態では、ループ 401 及び 403 は、送信機によって 1 ~ 10 kHz で実行される。ループ 401 及び 403 は、

10

【数 17】

$$P_{in} = \frac{\frac{8}{\pi^2} V_{bus}^2}{R_{inv}^2 + X_{inv}^2} R_{inv}$$

20

式 (17)

で特徴付けることができる。ここで、 P_{in} は、インバータの電力、 V_{bus} は、インバータ 122 の DC バス電圧、 R_{inv} は、インバータから見た実効抵抗、 X_{inv} は、インバータから見た実効リアクタンスである。

【0124】

ループ 405 は、システム効率に基づいて受信機 IMN 126 をチューニングするために、受信機 104 によって実行される。ループ 405 は、プロセス 300 のループ 305 と同様である。例えば、ループ 405 は、「摂動観測」ストラテジを使用して、受信機 IMN 126 のリアクタンス X_3 を調整することによって効率を向上し、連続するイテレーションにわたって効率を継続的に向上することができる。ループ 405 は、各イテレーションにおいて、送信機 102 からの入力電力データに依存して、システム効率を計算する。ある実施形態では、ループ 405 は、例えば 40 Hz の、送信機 102 と受信機 104 との間の通信速度で処理する。

30

【0125】

ブロック 402 は、最大リアクタンス値 $X_{tx, max}$ を設定される可変送信機リアクタンス X_{tx} （例えば、送信機 IMN 124 の X_3 ）と、最小リアクタンス値 $X_{rx, min}$ を設定される可変受信機リアクタンス X_{rx} （例えば、受信機 IMN 126 の X_3 ）と、最初にゼロに設定されるシステム効率 η と、0 より大きい調整値を設定される送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} と、0 より大きい調整値を設定される受信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{rx} と、0 より大きい調整値を設定されるバス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} と、を含む、プロセス 400 の入力及び初期条件を列挙する。ある実施形態では、リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} 及び ΔX_{rx} とバス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} とは定数値である。ある実施形態では、リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} 及び ΔX_{rx} とバス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} は変数である。例えば、コントローラ 125 又はコントローラ 129 は、プロセス 400 の間に、それぞれのステップサイズの大きさを動的に増加又は減少させ得る。

40

【0126】

プロセス 400 は、ステップ 404 にて開始する。ステップ 406 において、送信機コントローラ 125 は、インバータ出力位相 ϕ_{inv} を測定し、測定されたインバータ出力

50

位相 $\varphi_{in v}$ を目標インバータ出力位相 φ_{target} と比較する。 $\varphi_{in v}$ が φ_{target} に等しい場合、プロセス 400 はループ 403 のステップ 408 に進む。 $\varphi_{in v}$ が φ_{target} に等しくない場合、プロセス 400 はループ 401 のステップ 424 に進む。ある実施形態では、 φ_{target} は 0 よりわずかに大きいので、インバータはわずかな誘導負荷のままであるとみられる。

【0127】

最初に位相ループである、ループ 401 を参照すると、インバータ出力位相が目標インバータ出力位相と等しくない場合、ステップ 406 において、送信機コントローラ 125 は、インバータ出力位相を目標インバータ出力位相と比較して、ステップ 424 において、インバータ出力位相が目標インバータ出力位相よりも大きいか否かを判定する。 $\varphi_{in v}$ が φ_{target} より大きい場合、ステップ 426 において、送信機コントローラ 125 は、可変送信機リアクタンス X_{tx} が既に最小値 $X_{tx, min}$ であるか否かをチェックする。可変送信機リアクタンス X_{tx} が既に最小値 $X_{tx, min}$ である場合、ループ 401 は、可変送信機リアクタンス X_{tx} に対する調整を行わずに、ステップ 408 に進む。可変送信機リアクタンス X_{tx} が最小値 $X_{tx, min}$ でない場合、ステップ 438 において、送信機コントローラ 125 は、可変送信機リアクタンス X_{tx} を、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} だけデクリメントし、ループ 401 は、ステップ 406 に戻り、インバータ出力位相を再評価する。

【0128】

ステップ 424 において、 $\varphi_{in v}$ が φ_{target} よりも大きくない場合、ステップ 430 において、送信機コントローラ 125 は、可変送信機リアクタンス X_{tx} が既に最大値 $X_{tx, max}$ であるか否かをチェックする。可変送信機リアクタンス X_{tx} が既に最大値 $X_{tx, max}$ である場合、ループ 401 は、可変送信機リアクタンス X_{tx} に対する調整を行わずに、ステップ 408 に進む。可変送信機リアクタンス X_{tx} が最大値 $X_{tx, max}$ でない場合、ステップ 432 において、送信機コントローラ 125 は、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} だけ可変送信機リアクタンス X_{tx} をインクリメントし、ループ 401 は、ステップ 406 に戻り、インバータ出力位相を再評価する。

【0129】

電力ループである、ループ 403 を参照すると、ステップ 408 において、送信機コントローラ 125 は、入力電力 P_{in} を測定し、測定された入力電力 P_{in} を目標電力レベル P_{target} と比較する。 P_{in} が P_{target} に等しい場合、プロセス 400 はループ 401 のステップ 406 に戻る。更に、送信機コントローラ 125 は、 P_{in} の測定値を示すデータを受信機 104 に送信することができる。 P_{in} が P_{target} と等しくない場合、プロセス 400 はステップ 418 に進む。ある実施形態又はある処理モードでは、目標電力レベルは、送信機 102 によって設定される。また、ある実施形態又はある処理モードでは、目標電力レベルは、受信機 104 によって設定される。例えば、定常状態の処理（例えば、起動シーケンス又はシャットダウンシーケンス以外の通常の処理）、システム 100 は、要求ベースシステムとして処理することができる。例えば、受信機 104 は、送信機 102 からの電力レベルを要求することができる。送信機コントローラ 125 は、受信機 104 からの要求電力レベルに基づいて、目標入力電力レベルを計算することができる。例えば、送信機コントローラ 125 は、要求電力を、（IMN 損失及びインバータ損失等の）送信機における予想損失を考慮した、要求電力レベルを送信するために必要とされる、目標入力電力レベルに変換することができる。

【0130】

送信機の電力が目標電力と等しくない場合、ステップ 418 において、送信機コントローラ 125 は入力電力を目標電力レベルと比較して、入力電力が目標電力レベルより小さいか否かを判定する。 P_{in} が P_{target} よりも小さい場合、ステップ 420 において、送信機コントローラ 125 は、インバータ電圧 V_{bus} をバス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} だけインクリメントし、ループ 403 はステップ 408 に戻り、送信機の電力を再評価する。 P_{in} が P_{target} よりも小さくない場合、ステップ 422 において、

送信機コントローラ 125 は、インバータバス電圧 V_{bus} をバス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} だけデクリメントし、ループ 403 はステップ 408 に戻り、送信機の電力を再評価する。

【0131】

ある実施形態では、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} の大きさは変更可能である。例えば、 ϕ_{inv} と ϕ_{target} の差が大きい場合、例えば、粗調整閾値よりも大きい場合、送信機コントローラ 125 は、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} を増加させ得る。これに対して、 ϕ_{inv} と ϕ_{target} の差が小さい場合、例えば、微調整閾値よりも小さい場合、送信機コントローラ 125 は送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} の大きさを減少させ得る。

10

【0132】

ある実施形態では、バス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} の大きさは変更可能である。例えば、 P_{in} と P_{target} の差が大きい場合、例えば粗調整閾値よりも大きい場合、送信機コントローラ 125 はバス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} を増加させ得る。これに対応して、 P_{in} と P_{target} との間の差が小さい場合、例えば微調整閾値よりも小さい場合、送信機コントローラ 125 はバス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} の大きさを減少させ得る。

【0133】

受信機側ループである、ループ 405 を参照すると、ステップ 409 において、受信機 104 は送信機電力データを受信する。例えば、ステップ 408 において P_{in} が P_{target} と等しい場合、送信機 102 は、 P_{in} の測定値を示すデータを受信機 104 に送信することができる。ステップ 410 において、受信機コントローラ 129 は、システム 100 の効率を測定する。受信機コントローラ 129 は、受信機 104 の出力電力を測定し、受信した送信機電力データ及び測定された受信機出力電力値に基づいて、時間 n におけるシステム効率 $\eta(n)$ を計算する。

20

【0134】

ステップ 412 において、受信機コントローラ 129 は、時間 n において計算されたシステム効率を、前の時間 $n-1$ において計算されたシステム効率と比較する。時間 n における効率が時間 $n-1$ における効率よりも大きい場合、ステップ 414 において、可変受信機リアクタンス X_{rx} は、受信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{rx} だけ調整される。例えば、受信機リアクタンスの変化 ΔX_{rx} は、可変受信機リアクタンス X_{rx} に加えられる。時間 n における効率が時間 $n-1$ における効率よりも大きくない場合、ステップ 416 において、受信機コントローラ 129 は、受信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{rx} の符号を変更して、ステップ 414 において、可変受信機リアクタンス X_{rx} を調整する。例えば、受信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{rx} の値は無効化され得る。例えば、可変受信機リアクタンス X_{rx} の調整の方向は、効率がもはやループ 405 の後続のイテレーションと間で増加しなくなったときに交換される。ループ 405 によって示されるように、可変受信機リアクタンス X_{rx} の調整の方向は、効率が再び低下し、それにより、略最大システム効率が維持されるまで、ループ 405 の後続のイテレーションで維持される。

30

40

【0135】

ある実施形態では、受信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{rx} の大きさは変更可能である。例えば、時間 n における効率が粗調整閾値よりも小さい場合（例えば、システム起動直後）、受信機コントローラ 129 は、受信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{rx} の大きさを増加させることができる。これに対して、時間 n における効率が、例えば推定された最大値の微調整閾値内である等、推定された最大値に近い場合、受信機コントローラ 129 は、受信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{rx} の大きさを減少させることができる。

【0136】

図 5A ~ 図 5C は、ワイヤレス電力伝送システムを動作させるための例示的な制御プロ

50

セス 500 a、500 b 及び 500 c のフローチャートを示す。ある例では、プロセス 500 a、500 b 及び 500 c は、1 つ以上の処理装置（たとえば、プロセッサ又はマイクロコントローラ）又は計算装置を使用して実行されるコンピュータ実行可能命令として提供され得る。ある例では、プロセス 500 a、500 b 及び 500 c は、ハードウェアとして組み込まれた電気回路によって、たとえば ASIC 又は FPGA コントローラとして実行されてもよい。プロセス 500 a、500 b 及び 500 c は、プロセス 300 及び 400 に関連するが、追加のシステムパラメータを評価及び制御してワイヤレス電力伝送システムを処理させる追加のステップを含む。

【0137】

図 5 A に示すように、プロセス 500 a は、ワイヤレス電力送信機 102（例えば、送信機コントローラ 125）によって実行される部分と、ワイヤレス電力受信機 104（例えば、受信機コントローラ 129）によって実行される部分とを含む。プロセス 500 a は、3 つの制御ループ 501 a、503 a 及び 505 を含む。ループ 501 a 及び 503 a は、送信機 102 によって実行され、送信機 IMN 124 をチューニングして、送信機電力を制御する。ループ 501 a は、リアクタンス X_3 を調整することによって送信機 IMN 124 をチューニングして、目標インバータ出力位相 ϕ_{target} を達成する、位相ループである。ループ 501 a はまた、電流、電圧、又は他の装置の限界を超えないことを保証する安全チェックを含む。ループ 503 a は、インバータのバス電圧 V_{bus} を調整することによって、目標電力 P_{target} 又はその近傍に送信機電力の大きさ P_{in} を制御及び維持する電力制御ループである。ループ 503 a はまた、送信機電力を制御するための、インバータ周波数 f_{inv} の調整を組み込んでいる。ある実施形態では、ループ 501 a 及び 503 a は、実行されるのに、他の装置（たとえば、受信機 104）との通信を必要としないローカルループである。ある実施形態では、ループ 501 a 及び 503 a は、送信機によって 1 ~ 10 kHz で実行される。

【0138】

ループ 505 は、受信機 104 によって実行され、システム効率に基づいて受信機 IMN 126 をチューニングする。ループ 505 は、その処理が上述されている、プロセス 400 のループ 405 と同様である。

【0139】

ブロック 502 は、最大リアクタンス値 $X_{tx, max}$ を設定された可変送信機リアクタンス X_{tx} （例えば、送信機 IMN 124 の X_3 ）と、最小リアクタンス値 $X_{rx, min}$ を設定された可変受信機リアクタンス X_{rx} （例えば、受信機 IMN 126 の X_3 ）と、最大周波数 $f_{inv, max}$ を設定されたインバータ周波数 f_{inv} と、最初にゼロを設定されたシステム効率 η と、0 より大きい調整値を設定された送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} と、0 より大きい調整値を設定された受信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{rx} と、0 より大きい調整値を設定されたインバータ周波数ステップサイズ Δf_{inv} と、0 より大きい調整値を設定されたバス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} と、を含む、プロセス 500 a の入力及び初期条件を列挙する。ある実施形態では、リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} 並びに ΔX_{rx} 、バス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} 、及びインバータ周波数ステップサイズ Δf_{inv} は定数値である。また、ある実施形態では、リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} 及び ΔX_{rx} 、バス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} 、並びにインバータ周波数ステップサイズ Δf_{inv} は、変数である。例えば、コントローラ 125 又はコントローラ 129 は、プロセス 500 a の間に、それぞれのステップサイズの大きさを動的に増加又は減少させ得る。

【0140】

プロセス 500 a は、ステップ 504 で開始する。送信機コントローラ 125 は、ステップ 506 で、いくつかのチェックを行い、ステップ 508 でインバータ周波数をチューニングする。送信機コントローラ 125 は、測定された入力電力 P_{in} を目標電力レベル P_{target} と比較し、測定されたインバータ出力位相 ϕ_{inv} をインバータ出力位相限界値 ϕ_{limit} （例えば、45 度）と比較し、インバータ周波数 f_{inv} を最小イン

10

20

30

40

50

バータ周波数 $f_{i n v, m i n}$ と比較する。ステップ 506 の比較の全てが真である場合、送信機コントローラ 125 は、ステップ 508 で、インバータ周波数ステップサイズ $\Delta f_{i n v}$ だけ、インバータ周波数 $f_{i n v}$ をデクリメントする。比較のいずれかが偽である場合、プロセス 500a はループ 501a のステップ 510 に進む。

【0141】

位相ループである、ループ 501a を参照すると、インバータ出力位相が目標インバータ出力位相と等しくない場合、送信機コントローラ 125 は、ステップ 510 において、インバータ出力位相を目標インバータ出力位相と比較して、ステップ 536 において、インバータ出力位相が目標インバータ出力位相よりも大きいかなかを判定する。 $\phi_{i n v}$ が $\phi_{t a r g e t}$ よりも大きい場合、ステップ 538 において、送信機コントローラ 125 は、いくつかの追加のチェックを行う。ステップ 538 において、送信機コントローラ 125 は、可変送信機リアクタンス $X_{t x}$ が既に最小値 $X_{t x, m i n}$ であるかなかをチェックし、 $P_{i n}$ が $P_{t a r g e t}$ よりも大きいかなかをチェックし、或いは安全チェックが失敗したかなかをチェックする。安全チェックは、例えば、電圧超過又は電流超過チェックであってもよい。いずれかのチェックが真である場合、ループ 501a は、ステップ 540 における追加の安全チェックに進む。ステップ 540 における安全チェックは、ステップ 538 で実行される安全チェックと同一の安全チェックであってもよく、例えば、ステップ 538 での安全チェックが、送信機コントローラ 125 をステップ 540 へ進ませたチェックであったかなかを判定してもよい。そうである場合、コントローラ 125 は、送信機リアクタンスステップサイズ $\Delta X_{t x}$ だけ、可変送信機リアクタンス $X_{t x}$ をインクリメントして、ループ 501a はステップ 506 に戻る。そうでない場合、ループ 501a はループ 503a のステップ 512 に進み、送信機力を調整する。ステップ 538 の全てのチェックが偽である場合、送信機コントローラ 125 は、送信機リアクタンスステップサイズ $\Delta X_{t x}$ だけ、可変送信機リアクタンス $X_{t x}$ をデクリメントして、ループ 501a はステップ 506 に戻る。

【0142】

再びステップ 536 を参照して、 $\phi_{i n v}$ が $\phi_{t a r g e t}$ よりも大きくない場合、ステップ 546 において、送信機コントローラ 125 は、可変送信機リアクタンス $X_{t x}$ が既に最大値 $X_{t x, m a x}$ であるかなかをチェックする。可変送信機リアクタンス $X_{t x}$ が既に最大値 $X_{t x, m a x}$ である場合、ループ 501a は、故障状態 548 を発行する。可変送信機リアクタンス $X_{t x}$ が最大値 $X_{t x, m a x}$ でない場合、ステップ 550 で、送信機コントローラ 125 は、可変送信機リアクタンス $X_{t x}$ を、送信機リアクタンスステップサイズ $\Delta X_{t x}$ だけインクリメントして、ループ 501a はステップ 506 に戻る。

【0143】

電力ループである、ループ 503a を参照すると、ステップ 512 において、送信機コントローラ 125 は、入力電力 $P_{i n}$ を測定し、測定された入力電力 $P_{i n}$ を目標電力レベル $P_{t a r g e t}$ と比較する。 $P_{i n}$ が $P_{t a r g e t}$ と等しい場合、プロセス 503a はステップ 506 に戻る。更に、送信機コントローラ 125 は、 $P_{i n}$ の測定値を示すデータを受信機 104 に送信することができる。 $P_{i n}$ が $P_{t a r g e t}$ と等しくない場合、プロセス 500a はステップ 522 に進む。送信機コントローラ 125 は、ステップ 522 において、入力電力を目標電力レベルと比較して、入力電力が目標電力レベルよりも大きいかなかを判定する。 $P_{i n}$ が $P_{t a r g e t}$ よりも大きくない場合、ステップ 534 において、送信機コントローラ 125 は、インバータバス電圧 $V_{b u s}$ をバス電圧ステップサイズ $\Delta V_{b u s}$ だけインクリメントし、ループ 503a は、ステップ 506 に戻る。 $P_{i n}$ が $P_{t a r g e t}$ より大きい場合、ステップ 524 において、送信機コントローラ 125 はバス電圧をチェックする。バス電圧 $V_{b u s}$ が最小バス電圧 $V_{b u s, m i n}$ より大きい場合、ステップ 532 において、送信機コントローラ 125 は、インバータバス電圧 $V_{b u s}$ をバス電圧ステップサイズ $\Delta V_{b u s}$ だけデクリメントし、ループ 503a はステップ 506 に戻る。

【 0 1 4 4 】

ステップ 5 2 4 において、バス電圧 V_{bus} が最小バス電圧 $V_{bus, min}$ である場合、送信機コントローラ 1 2 5 は、可変送信機リアクタンス X_{tx} 又はインバータ周波数 f_{inv} のいずれかを調整することによって送信機電力を低減する。ステップ 5 2 6 において、送信機コントローラ 1 2 5 は、可変送信機リアクタンス X_{tx} が既に最大値 $X_{tx, max}$ であるか否かをチェックする。可変送信機リアクタンス X_{tx} が最大値 $X_{tx, max}$ でない場合、ステップ 5 3 0 において、送信機コントローラ 1 2 5 は、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} によって可変送信機リアクタンス X_{tx} をインクリメントして、ループ 5 0 1 は、ステップ 5 0 6 に戻る。可変送信機リアクタンス X_{tx} が既に最大値 $X_{tx, max}$ である場合、送信機コントローラ 1 2 5 は、ステップ 5 2 7 にて、インバータ周波数 f_{inv} が最大インバータ周波数 $f_{inv, max}$ よりも小さいか否かをチェックする。インバータ周波数 f_{inv} が既に最大値 $f_{inv, max}$ である場合、ループ 5 0 3 a は、バス電圧 V_{bus} 、可変送信機リアクタンス X_{tx} 、又はインバータ周波数 f_{inv} に対する調整を行わずに、ステップ 5 0 6 に戻る。インバータ周波数 f_{inv} がまだ最大値 $f_{inv, max}$ でない場合、ステップ 5 2 8 において、送信機コントローラ 1 2 5 はインバータ周波数 f_{inv} を周波数ステップサイズ Δf_{inv} だけインクリメントし、ループ 5 0 3 a はステップ 5 0 6 に戻る。

10

【 0 1 4 5 】

図 5 B を参照して、プロセス 5 0 0 b は、インバータ周波数 f_{inv} の代わりにインバータの位相シフト θ_{inv} を監視して制御する点で、プロセス 5 0 0 a と異なる。例えば、ある実施形態では、インバータ電力は、インバータ内のブリッジ回路間の内部位相シフト θ_{inv} を調整することによって制御され得る。そのような実施態様では、0 度の位相シフト θ_{inv} は最小インバータ電力（例えばゼロ）を生成し、180 度の位相シフト θ_{inv} は、所与のバス電圧 V_{bus} に対して最大インバータ電力を生成し得る。より具体的には、プロセス 5 0 0 b では、ステップ 5 6 0、5 6 2、5 6 4、5 6 6、及び 5 6 8 が、プロセス 5 0 0 a のステップ 5 0 2、5 0 6、5 0 8、5 2 7、及び 5 2 8 とそれぞれ置き換わる。

20

【 0 1 4 6 】

プロセス 5 0 0 b は、ワイヤレス電力送信機 1 0 2（例えば、送信機コントローラ 1 2 5）によって実行される部分と、ワイヤレス電力受信機 1 0 4（例えば、受信機コントローラ 1 2 9）によって実行される部分とを含む。プロセス 5 0 0 b は、3 つの制御ループ 5 0 1 b、5 0 3 b 及び 5 0 5 を含む。ループ 5 0 1 b 及び 5 0 3 b は、送信機 1 0 2 によって実行され、送信機 IMN 1 2 4 をチューニングして、送信機電力を制御する。ループ 5 0 1 b は、目標インバータ出力位相 ϕ_{target} を達成するために、リアクタンス X_3 を調整することによって送信機 IMN 1 2 4 を調整する、位相ループである。ループ 5 0 1 b は、電流、電圧、又は他の装置の限界を超えないことを保証する安全チェックも含む。ループ 5 0 3 b は、インバータバス電圧 V_{bus} を調整することによって、目標電力 P_{target} 又はその近傍に送信機電力の大きさ P_{in} を制御及び維持する電力制御ループである。ループ 5 0 3 b はまた、送信機電力を制御するために、インバータの位相シフト θ_{inv} の調整を組み込んでいる。ある実施形態では、ループ 5 0 1 b 及び 5 0 3 b は、実行されるのに、他の装置（例えば、受信機 1 0 4）との通信を必要としないローカルループである。ある実施形態では、ループ 5 0 1 b 及び 5 0 3 b は、送信機によって 1 ~ 10 kHz で実行される。

30

40

【 0 1 4 7 】

ループ 5 0 5 は、受信機 1 0 4 によって実行され、システム効率に基づいて、受信機 IMN 1 2 6 をチューニングする。ループ 5 0 5 は、上述されているプロセス 4 0 0 のループ 4 0 5 とその処理が同一である。

【 0 1 4 8 】

ブロック 5 6 0 は、最大リアクタンス値 $X_{tx, max}$ を設定された可変送信機リアクタンス X_{tx} （例えば、送信機 IMN 1 2 4 の X_3 ）と、最小リアクタンス値 $X_{rx, m}$

50

i_n を設定された可変受信機リアクタンス X_{rx} （例えば、受信機IMN126の X_3 ）と、最小位相シフト $\theta_{inv, min}$ を設定されたインバータ位相シフト θ_{inv} と、最初にゼロを設定されたシステム効率 η と、0より大きい調整値を設定された送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} と、0より大きい調整値を設定された受信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{rx} と、0より大きい調整値を設定されたインバータ位相シフトステップサイズ $\Delta \theta_{inv}$ と、0より大きい調整値を設定されたバス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} と、を含む、プロセス500bの入力及び初期条件を列挙する。ある実施形態では、リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} 並びに ΔX_{rx} 、バス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} 、及びインバータ位相シフトステップサイズ $\Delta \theta_{inv}$ は定数値である。また、ある実施形態では、リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} 並びに ΔX_{rx} 、バス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} 、及びインバータ位相シフトステップサイズ $\Delta \theta_{inv}$ は変数である。例えば、コントローラ125又はコントローラ129は、プロセス500bの間に、それぞれのステップサイズの大きさを動的に増加又は減少させ得る。

【0149】

プロセス500bは、ステップ504で開始する。送信機コントローラ125は、ステップ562にて、いくつかのチェックを行い、ステップ564にて、インバータ位相シフトをチューニングする。送信機コントローラ125は、測定された入力電力 P_{in} を目標電力レベル P_{target} と比較し、インバータ位相シフト θ_{inv} を位相シフト限界 θ_{limit} （例えば、180度）と比較する。ステップ564における全ての比較が真である場合、送信機コントローラ125は、ステップ564において、インバータ位相シフト θ_{inv} を、インバータ位相シフトステップサイズ $\Delta \theta_{inv}$ だけインクリメントする。比較のいずれかが偽である場合、ステップ582において、送信機コントローラ125は、インバータ位相シフト θ_{inv} が位相シフト限界 θ_{limit} よりも小さいか否かをチェックする。そうである場合、プロセス500bはステップ566に進む。そうでない場合、プロセス500bはループ501bのステップ510に進む。

【0150】

位相ループである、ループ501bを参照すると、インバータ出力位相が目標インバータ出力位相等しくない場合、送信機コントローラ125は、ステップ510にて、インバータ出力位相を目標インバータ出力位相と比較して、ステップ536にて、インバータ出力位相が目標インバータ出力位相よりも大きいかなかを判定する。 ϕ_{inv} が ϕ_{target} より大きい場合、ステップ538において、送信機コントローラ125は、いくつかの追加のチェックを行う。ステップ538において、送信機コントローラ125は、可変送信機リアクタンス X_{tx} が既に最小値 $X_{tx, min}$ であるかなかをチェックし、 P_{in} が P_{target} より大きいかなかをチェックし、或いは安全チェックが失敗したかなかをチェックする。安全チェックは、例えば、電圧超過又は電流超過チェックであってもよい。いずれかのチェックが真であれば、ループ501bは、ステップ540で追加の安全チェックに進む。ステップ540における安全チェックは、ステップ538で実行される安全チェックと同一の安全チェックであってもよく、例えば、ステップ538での安全チェックが、送信機コントローラ125をステップ540へ進ませたチェックであったかなかを判定してもよい。そうである場合、送信機コントローラ125は、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} だけ、可変送信機リアクタンス X_{tx} をインクリメントし、ループ501bはステップ562に戻る。そうでない場合、ループ501bはループ503bのステップ512に進み、送信機電力を調整する。ステップ538のチェックの全てが偽である場合、送信機コントローラ125は、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} だけ可変送信機リアクタンス X_{tx} をデクリメントし、ループ501bはステップ562に戻る。

【0151】

再びステップ536を参照して、 ϕ_{inv} が ϕ_{target} より大きくない場合、送信機コントローラ125は、ステップ546にて、可変送信機リアクタンス X_{tx} が既に最大値 $X_{tx, max}$ であるかなかをチェックする。可変送信機リアクタンス X_{tx} が既に

最大値 $X_{tx, max}$ である場合、ループ 501b は故障状態 548 を発行する。可変送信機リアクタンス X_{tx} が最大値 $X_{tx, max}$ でない場合、ステップ 550 において、送信機コントローラ 125 は、可変送信機リアクタンス X_{tx} を、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} だけインクリメントし、ループ 501b はステップ 562 に戻る。

【0152】

電力ループである、ループ 503b を参照すると、ステップ 512 において、送信機コントローラ 125 は、入力電力 P_{in} を測定し、測定された入力電力 P_{in} を目標電力レベル P_{target} と比較する。 P_{in} が P_{target} と等しい場合、プロセス 500b は、ステップ 562 に戻る。更に、送信機コントローラ 125 は、 P_{in} の測定値を示すデータを受信機 104 に送信することができる。 P_{in} が P_{target} と等しくない場合、プロセス 500b は、ステップ 522 に進む。ステップ 522 において、送信機コントローラ 125 は、入力電力を目標電力レベルと比較して、入力電力が目標電力レベルよりも大きいかなかを判定する。 P_{in} が P_{target} よりも大きくない場合、ステップ 534 において、送信機コントローラ 125 は、インバータバス電圧 V_{bus} を、バス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} だけインクリメントし、ループ 503b はステップ 562 に戻る。 P_{in} が P_{target} より大きい場合、ステップ 524 において、送信機コントローラ 125 はバス電圧をチェックする。バス電圧 V_{bus} が最小バス電圧 $V_{bus, min}$ より大きい場合、ステップ 532 において、送信機コントローラ 125 は、インバータバス電圧 V_{bus} を、バス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} だけデクリメントし、ループ 503b はステップ 562 に戻る。

【0153】

ステップ 524 において、バス電圧 V_{bus} が最小バス電圧 $V_{bus, min}$ である場合、送信機コントローラ 125 は、可変送信機リアクタンス X_{tx} 又はインバータ位相シフト θ_{inv} を調整することによって、送信機電力を低減する。ステップ 526 において、送信機コントローラ 125 は、可変送信機リアクタンス X_{tx} が既に最大値 $X_{tx, max}$ であるかなかをチェックする。可変送信機リアクタンス X_{tx} が最大値 $X_{tx, max}$ でない場合、ステップ 530 において、送信機コントローラ 125 は、可変送信機リアクタンス X_{tx} を、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} だけインクリメントし、ループ 501b はステップ 562 に戻る。可変送信機リアクタンス X_{tx} が既に最大値 $X_{tx, max}$ である場合、送信機コントローラ 125 は、ステップ 566 にて、インバータ位相シフト θ_{inv} が最小インバータ位相シフト $\theta_{inv, min}$ より大きいかなかをチェックする。インバータ位相シフト θ_{inv} が既に最小インバータ位相シフト $\theta_{inv, min}$ である場合、ループ 503b は、バス電圧 V_{bus} 、可変送信機リアクタンス X_{tx} 、又はインバータ位相シフト θ_{inv} の調整を実行せずに、ステップ 562 に戻る。インバータの位相シフト θ_{inv} がまだ最小値 $\theta_{inv, min}$ に達していない場合、ステップ 568 において、送信機コントローラ 125 は、インバータ位相シフト θ_{inv} を、位相シフトステップサイズ $\Delta \theta_{inv}$ だけデクリメントし、ループ 503b は、ステップ 562 に戻る。

【0154】

図 5C を参照して、プロセス 500c は、プロセス 500a 及び 500b の態様を組み合わせる。プロセス 500c は、ワイヤレス電力送信機 102 (例えば、送信機コントローラ 125) によって実行される部分と、ワイヤレス電力受信機 104 (例えば、受信機コントローラ 129) によって実行される部分とを含む。プロセス 500c は、3つの制御ループ 501c、503c 及び 505 を含む。ループ 501c 及び 503c は、送信機 102 によって実行され、送信機 IMN 124 をチューニングし、送信機電力を制御する。ループ 501c は、目標インバータ出力位相 ϕ_{target} を達成するために、リアクタンス X_3 を調整することによって送信機 IMN 124 を調整する、位相ループである。ループ 501b は、電流、電圧、又は他の装置の限界を超えないことを保証する安全チェックをも含む。ループ 503c は、インバータのバス電圧 V_{bus} を調整することによって、目標電力 P_{target} 又はその近傍に送信機電力の大きさ P_{in} を制御及び維持す

る電力制御ループである。ループ503cは、送信機電力を制御するために、インバータ周波数 f_{inv} 及びインバータ位相シフト θ_{inv} の両方の調整を組み込んでいる。ある実施形態では、ループ501c及び503cは、実行されるのに、他の装置（例えば、受信機104）との通信を必要としないローカルループである。ある実施形態では、ループ501c及び503cは、送信機によって1～10kHzで実行される。ループ501c及び503cは、実行される他の装置（例えば、受信機104）との通信を必要としないローカルループである。ある実施形態では、ループ501c及び503cは、送信機によって1～10kHzで実行される。

【0155】

ループ505は、受信機104によって実行され、システム効率に基づいて、受信機IMN126をチューニングする。ループ505は、その処理が上述されているプロセス400のループ405と同一である。

【0156】

ブロック580は、最大リアクタンス値 $X_{tx, max}$ を設定された可変送信機リアクタンス X_{tx} （例えば、送信機IMN124のX3）と、最小リアクタンス値 $X_{rx, min}$ を設定された可変受信機リアクタンス X_{rx} （例えば、受信機IMN126のX3）と、最大周波数 $f_{inv, max}$ を設定されたインバータ周波数 f_{inv} と、最小位相シフト $\theta_{inv, min}$ を設定されたインバータ位相シフト θ_{inv} と、最初にゼロを設定されたシステム効率 η と、0より大きい調整値を設定された送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} と、0より大きい調整値を設定された受信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{rx} と、0より大きい調整値を設定されたインバータ周波数ステップサイズ Δf_{inv} と、0より大きい調整値を設定されたインバータ位相シフトステップサイズ $\Delta \theta_{inv}$ と、0より大きい調整値を設定されたバス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} と、を含む、プロセス500cの入力及び初期条件を表す。ある実施形態では、リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} 並びに ΔX_{rx} 、バス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} 、インバータ周波数ステップサイズ Δf_{inv} 、及びインバータ位相シフトステップサイズ $\Delta \theta_{inv}$ は定数値である。また、ある実施形態では、リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} 並びに ΔX_{rx} 、バス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} 、インバータ周波数ステップサイズ Δf_{inv} 、及びインバータ位相シフトステップサイズ $\Delta \theta_{inv}$ は変数である。例えば、コントローラ125又はコントローラ129は、プロセス500cの間に、それぞれのステップサイズの大きさを動的に増加又は減少させ得る。

【0157】

プロセス500cは、ステップ504で開始する。送信機コントローラ125は、ステップ562にて、いくつかのチェックを行い、ステップ564にて、インバータ位相シフトをチューニングする。送信機コントローラ125は、測定された入力電力 P_{in} を目標電力レベル P_{target} と比較し、インバータ位相シフト θ_{inv} を位相シフト限界 θ_{limit} （例えば、180度）と比較する。ステップ562における全ての比較が真である場合、送信機コントローラ125は、ステップ564において、インバータ位相シフト θ_{inv} を、インバータ位相シフトステップサイズ $\Delta \theta_{inv}$ だけインクリメントする。比較のいずれかが偽である場合、送信機コントローラ125は、ステップ582において、インバータ位相シフト θ_{inv} が位相シフト限界 θ_{limit} より小さいか否かをチェックする。そうである場合、プロセス500cはステップ566に進む。そうでない場合、プロセス500cはステップ506に進む。

【0158】

送信機コントローラ125は、ステップ506にて、いくつかのチェックを行い、ステップ508にて、インバータ周波数をチューニングする。送信機コントローラ125は、測定された入力電力 P_{in} を目標電力レベル P_{target} と比較し、測定されたインバータ出力位相 ϕ_{inv} をインバータ出力位相限界 ϕ_{limit} （例えば、45度）と比較し、インバータ周波数 f_{inv} を最小インバータ周波数 $f_{inv, min}$ と比較する。ステップ506における全ての比較が真である場合、送信機コントローラ125は、ステッ

10

20

30

40

50

プ508にて、インバータ周波数 f_{inv} を、インバータ周波数ステップサイズ Δf_{inv} だけデクリメントする。比較のいずれかが偽である場合、プロセス500aは、ループ501cのステップ510に進む。

【0159】

位相ループである、ループ501cを参照すると、インバータ出力位相が目標インバータ出力位相と等しくない場合、送信機コントローラ125は、ステップ510にて、インバータ出力位相を目標インバータ出力位相と比較して、ステップ536にて、インバータ出力位相が目標インバータ出力位相よりも大きいかなかを判定する。 ϕ_{inv} が ϕ_{target} より大きい場合、ステップ538において、送信機コントローラ125は、いくつかの追加のチェックを実行する。ステップ538において、送信機コントローラ125は、可変送信機リアクタンス X_{tx} が既に最小値 $X_{tx, min}$ であるかなかをチェックし、 P_{in} が P_{target} より大きいかなかをチェックし、或いは安全チェックが失敗したかなかをチェックする。安全チェックは、例えば、電圧超過又は電流超過チェックであってもよい。いずれかのチェックが真である場合、ループ501cは、ステップ540において追加の安全チェックに進む。ステップ540における安全チェックは、ステップ538で実行される安全チェックと同一の安全チェックであってもよく、例えば、ステップ538での安全チェックが、送信機コントローラ125をステップ540へ進ませたチェックであったかなかを判定してもよい。そうである場合、送信機コントローラ125は、可変送信機リアクタンス X_{tx} を、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} だけインクリメントし、ループ501cはステップ562に戻る。そうでない場合、ループ501cはループ503cのステップ512に進み、送信機電力を調整する。ステップ538の全てのチェックが偽である場合、送信機コントローラ125は、可変送信機リアクタンス X_{tx} を、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} だけデクリメントし、ループ501cはステップ562に戻る。

【0160】

再びステップ536を参照して、 ϕ_{inv} が ϕ_{target} よりも大きくない場合、ステップ546において、送信機コントローラ125は、可変送信機リアクタンス X_{tx} が既に最大値 $X_{tx, max}$ であるかなかをチェックする。可変送信機リアクタンス X_{tx} が既に最大値 $X_{tx, max}$ である場合、ループ501cは、故障状態548を発行する。可変送信機リアクタンス X_{tx} が最大値 $X_{tx, max}$ でない場合、ステップ550にて、送信機コントローラ125は、可変送信機リアクタンス X_{tx} を、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} だけインクリメントし、ループ501cはステップ562に戻る。

【0161】

電力ループである、ループ503cを参照して、送信機コントローラ125は、ステップ512において、入力電力 P_{in} を測定し、測定された入力電力 P_{in} を目標電力レベル P_{target} と比較する。 P_{in} が P_{target} と等しい場合、プロセス500cはステップ562に戻る。更に、送信機コントローラ125は、 P_{in} の測定値を示すデータを受信機104に送信することができる。 P_{in} が P_{target} と等しくない場合、プロセス500cはステップ522に進む。ステップ522において、送信機コントローラ125は、入力電力を目標電力レベルと比較して、入力電力が目標電力レベルよりも大きいかなかを判定する。 P_{in} が P_{target} よりも大きくない場合、ステップ534において、送信機コントローラ125は、インバータバス電圧 V_{bus} を、バス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} だけインクリメントし、ループ503cは、ステップ562に戻る。 P_{in} が P_{target} より大きい場合、ステップ524において、送信機コントローラ125はバス電圧をチェックする。バス電圧 V_{bus} が最小バス電圧 $V_{bus, min}$ より大きい場合、ステップ532において、送信機コントローラ125は、インバータバス電圧 V_{bus} を、バス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} だけデクリメントし、ループ503cはステップ562に戻る。

【0162】

10

20

30

40

50

ステップ524において、バス電圧 V_{bus} が最小バス電圧 $V_{bus, min}$ である場合、送信機コントローラ125は、可変送信機リアクタンス X_{tx} 、インバータ周波数 f_{inv} 、又はインバータ位相シフト θ_{inv} のいずれかを調整することによって、送信機電力を低減する。ステップ526において、送信機コントローラ125は、可変送信機リアクタンス X_{tx} が既に最大値 $X_{tx, max}$ であるか否かをチェックする。可変送信機リアクタンス X_{tx} が最大値 $X_{tx, max}$ でない場合、ステップ530において、送信機コントローラ125は、可変送信機リアクタンス X_{tx} を、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} だけインクリメントし、ループ501cはステップ562に戻る。

【0163】

可変送信機リアクタンス X_{tx} が既に最大値 $X_{tx, max}$ である場合、送信機コントローラ125は、ステップ527にて、インバータ周波数 f_{inv} が最大インバータ周波数 $f_{inv, max}$ よりも小さいか否かをチェックする。可変送信機リアクタンス X_{tx} がまだ最大値 $X_{tx, max}$ でない場合、ステップ528にて、送信機コントローラ125は、インバータ周波数 f_{inv} を、周波数ステップサイズ Δf_{inv} だけインクリメントし、ループ503cは、ステップ562に戻る。インバータ周波数 f_{inv} が既に最大値 $f_{inv, max}$ である場合、送信機コントローラ125は、ステップ566にて、インバータ位相シフト θ_{inv} が最小インバータ位相シフト $\theta_{inv, min}$ より大きい場合、ループ503cは、バス電圧 V_{bus} 、可変送信機リアクタンス X_{tx} 、又はインバータ位相シフト θ_{inv} の調整を実行せずに、ステップ562に戻る。インバータ位相シフト θ_{inv} がまだ最小値 $\theta_{inv, min}$ でない場合、ステップ568において、送信機コントローラ125は、インバータ位相シフト θ_{inv} を、位相シフトステップサイズ $\Delta \theta_{inv}$ だけデクリメントし、ループ503cはステップ562に戻る。

【0164】

ある実施形態では、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} の大きさは変更可能である。例えば、 ϕ_{inv} と ϕ_{target} との差が大きい場合、例えば粗調整閾値より大きい場合、送信機コントローラ125は、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} を増加させ得る。これに対して、 ϕ_{inv} と ϕ_{target} との差が小さい場合、例えば微調整閾値よりも小さい場合、送信機コントローラ125は、送信機リアクタンスステップサイズ ΔX_{tx} の大きさを減少させ得る。

【0165】

ある実施形態では、バス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} の大きさは変更可能である。例えば、 P_{in} と P_{target} との差が大きい場合、例えば粗調整閾値よりも大きい場合、送信機コントローラ125は、バス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} を増加させ得る。これに対して、 P_{in} と P_{target} との差が小さい場合、例えば微調整閾値よりも小さい場合、送信機コントローラ125は、バス電圧ステップサイズ ΔV_{bus} の大きさを減少させ得る。

【0166】

ある実施形態では、インバータ周波数ステップサイズ Δf_{inv} の大きさは変更可能である。例えば、ステップ506において、 P_{in} と P_{target} との差が大きい場合、例えば粗調整閾値よりも大きい場合、送信機コントローラ125は、インバータ周波数ステップサイズ Δf_{inv} を増加させ得る。これに対して、 P_{in} と P_{target} との差が小さい場合、例えば微調整閾値よりも小さい場合、送信機コントローラ125は、インバータ周波数ステップサイズ Δf_{inv} の大きさを減少させ得る。

【0167】

ある実施形態では、インバータの位相シフトステップサイズ $\Delta \theta_{inv}$ の大きさは変更可能である。例えば、ステップ562において、 P_{in} と P_{target} との差が大きい場合、例えば、粗調整閾値よりも大きい場合、送信機コントローラ125は、インバータ位相シフトステップサイズ $\Delta \theta_{inv}$ を増加させ得る。これに対して、 P_{in} と P_{target} との差が小さい場合、例えば微調整閾値よりも小さい場合、送信機コントローラ1

10

20

30

40

50

25は、インバータ位相シフトステップサイズ $\Delta\theta_{inv}$ の大きさを減少させ得る。

【0168】

以下の表(表1)は、本明細書に記載のプロセスに従って動作する電気自動車を充電するための、ワイヤレス電力送信機と受信機の相対的位置間の変化に関する、出力電圧及び効率(Eff)の実験測定値を示す。位置Xは、X軸に沿った送信機共振器コイルに対する受信機共振器コイルの位置であって、ここで、X軸は車両の幅に沿って(例えば、運転席のドアから助手席のドアへ)走り、 $X=0$ は送信機共振器コイルの中心である。位置Yは、Y軸に沿った送信機共振器コイルに対する受信機共振器コイルの位置であって、ここで、Y軸は車両の長さに沿って(例えば、車両のフロントからリアへ)走り、 $Y=0$ は送信機共振器コイルの中心である。位置Zは、垂直のZ軸に沿った受信機共振器コイルと送信機共振器コイルとの分離距離である。

【表1】

表1

Z (mm)	X (mm)	Y (mm)	Vout (V)	Eff (%)
160	0	0	280	94.01
160	0	0	350	94.46
160	0	0	420	94.42
160	100	75	280	94.03
160	100	75	350	94.32
160	100	75	420	93.84
160	150	75	280	93.74
160	150	75	350	94.08
160	150	75	420	93.56
190	0	0	280	94.14
190	0	0	350	94.50
190	0	0	420	94.19
190	100	75	280	93.81
190	100	75	350	93.75
190	100	75	420	93.11
190	150	75	280	93.10
190	150	75	350	93.10
190	150	75	420	91.86
220	0	0	280	93.97
220	0	0	350	94.03
220	0	0	420	93.27
220	100	75	280	92.82
220	100	75	350	92.52

【0169】

図6Aは、ワイヤレス電力伝送制御システムの例示的な起動プロセス600のフローチャートを示す。ある例では、プロセス600は、1つ以上の処理装置(たとえば、プロセッサ又はマイクロコントローラ)又は計算装置を使用して実行される、コンピュータ実行可能命令として提供され得る。また、ある例では、プロセス600は、ハードウェアとして組み込まれた電気回路によって、例えばASIC又はFPGAコントローラとして実行されてもよい。プロセス600の一部は、ワイヤレス電力送信機102(例えば、送信機コントローラ125)によって実行されてもよく、プロセス600の一部は、ワイヤレス電力受信機104(例えば、受信機コントローラ129)によって実行されてもよい。

【0170】

ブロック602は、オフに設定された送信機の力率補正(PFC)段階と、オフに設定されたインバータパルス幅変調(PWM)と、最大周波数 $f_{inv,max}$ を設定されたインバータ周波数 f_{inv} と、最大リアクタンス値 $X_{tx,max}$ を設定された可変送信機リアクタンス X_{tx} (例えば、送信機IMN124の X_3)と、そして、最大リアクタ

ンス値 $X_{rx, max}$ を設定された可変受信機リアクタンス X_{rx} (例えば、受信機 I M N 1 2 6 の X_3) と、を含む、システム起動プロセス 600 の入力及び初期条件を列挙する。起動プロセス 600 は、ステップ 604 で開始し、PFC がオンにされ、バス電圧 V_{bus} が最小バス電圧 $V_{bus, min}$ にされる。ステップ 606 において、インバータ PWM がオンにされる。ステップ 608 において、可変受信機リアクタンス X_{rx} が、最小受信機リアクタンス $X_{rx, min}$ に調整される。ステップ 610 において、インバータ周波数 f_{inv} は、目標インバータ周波数 $f_{inv, target}$ に調整される。ステップ 612 において、システムは、例えば、プロセス 300、400、500 a、500 b、又は 500 c のうちの 1 つに従って、定常状態処理を開始する。

【0171】

10

図 6 B は、ワイヤレス電力伝送制御システムの例示的なシャットダウンプロセス 601 のフローチャートを示す。ある例では、プロセス 601 は、1 つ以上の処理装置 (たとえば、プロセッサ又はマイクロコントローラ) 又は計算装置を使用して実行される、コンピュータ実行可能命令として提供され得る。ある例では、プロセス 601 は、ハードウェアとして組み込まれた電気回路によって、例えば ASIC 又は FPGA コントローラとして実行されてもよい。プロセス 601 の一部は、ワイヤレス電力送信機 102 (例えば、送信機コントローラ 125) によって実行されてもよく、プロセス 601 の一部は、ワイヤレス電力受信機 104 (例えば、受信機コントローラ 129) によって実行されてもよい。

【0172】

20

シャットダウンプロセス 601 は、例えばプロセス 300、400、500 a、500 b、又は 500 c のうちの 1 つに従って定常状態にあるシステムにおいて、ステップ 612 で開始する。ステップ 614 にて、可変受信機リアクタンス X_{rx} は、最小受信機リアクタンス $X_{rx, min}$ にされる。ステップ 616 にて、可変送信機リアクタンス X_{tx} は、最大送信機リアクタンス $X_{tx, max}$ にされ、ステップ 618 にて、バス電圧 V_{bus} は、最小バス電圧 $V_{bus, min}$ にされる。ある実施形態では、ステップ 616 及び 618 は、送信機によって直接実行され得る。また、ある実施形態では、ステップ 616 及び 618 は、間接的に実行され得る。例えば、ステップ 616 及び 618 は、プロセス 500 a、500 b 及び 500 c の定常状態処理の一部として自動的に実行され (ステップ 524、532、526、及び 530)、目標電力 P_{target} を単にシャットダウン値 $P_{shutdown}$ に調整するステップである。たとえば、 $P_{shutdown}$ はゼロ又はゼロの近傍であってもよい。 P_{target} が減少すると、定常状態送信機処理プロセスによって、可変送信機リアクタンス X_{tx} は最大送信機リアクタンス $X_{tx, max}$ にされ、バス電圧 V_{bus} は最小バス電圧 $V_{bus, min}$ にされる。ステップ 620 では、PFC がオフにされ、 V_{bus} が 0 V にされる。ステップ 622 で、インバータ PWM がオフにされる。ある実施形態では、受信機と送信機との間のワイヤレス通信は、電力伝送が確保された後も、オンのままであってもよく、或いはオフにされてもよい。

【0173】

30

開示された技術は、特定の好ましい実施形態に関連して記載されているが、他の実施形態についても、当業者によって理解され、本開示の範囲内に入ることが意図される。例えば、設計、方法、構成要素の構成など、ワイヤレス電力伝送に関するものを、様々な具体的な用途及びその例とともに、上述した。当業者であれば、本明細書に記載された設計、方法、構成、又は構成要素が組み合わせて、或いは交換して用いられ得ること、及び、上記の説明は、そのような構成要素の交換又は組合せを、本明細書に記載されているもの

40

みに限定するものではないことを理解されたい。

【0174】

説明のために、前述の説明は、例えば電気自動車を充電するための動力伝送などの、高出力ワイヤレス電力伝送用途における装置、構成要素、及び方法の使用に焦点を当てている。

【0175】

50

しかしながら、より一般的には、本明細書で開示された装置、構成要素、及び方法を使用して電力を受け取ることができる装置は、広範囲の電気装置を含むことができ、本明細書において説明のために記載された装置に限定されないことを理解されたい。

一般に、携帯電話、キーボード、マウス、ラジオ、カメラ、モバイルハンドセット、ヘッドセット、腕時計、ヘッドフォン、 dongle)、多機能カード、食品及び飲料のアクセサリなどの、任意のポータブル電子装置と、プリンタ、時計、ランプ、ヘッドフォン、外部ドライブ、プロジェクタ、デジタルフォトフレーム、追加のディスプレイなどの、任意の作業場用電子装置とが、本明細書に開示された装置、構成要素及び方法を用いて、ワイヤレスで電力を受け取ることができる。更に、電気又はハイブリッド車両、電動車椅子、スクーター、動力工具などの、任意の電気装置は、本明細書に開示された装置、構成要素及び方法を用いて、ワイヤレスで電力を受け取ることができる。更に、本明細書に開示された装置、構成要素及び方法は、ワイヤレス電力伝送以外の用途に使用されてもよい。

10

【0176】

本開示では、キャパシタ、インダクタ、抵抗器などの、特定の回路又はシステムの構成要素は、回路の「構成要素」、「要素」又は「素子」と呼ばれる。本開示はまた、これらの構成要素又は素子の直列及び並列の組み合わせを、素子、ネットワーク、トポロジー、回路などとも呼ぶ。しかしながら、より一般的には、単一の構成要素又は特定の構成要素のネットワークが本明細書で開示されている場合、代替の実施形態は、素子のためのネットワーク、代替ネットワークなどを含み得ることを理解されたい。

20

【0177】

本明細書において、均等物及び不等式は、送信機処理パラメータ又は受信機処理パラメータにおける比較を指す場合、値の正確な等価性を要求することを意図するものではなく、代わりに閾値又は互いに許容差内にある値の等価性を指す。例えば、電力、電圧、電流、及び位相などの測定値は、浮動小数点数として表現して、格納してもよい。このように、正確な等価性は、測定の精度を高める可能性は高くない。したがって、これらの数値と目標値との等価性は、閾値範囲内の等価性、例えば目標値の $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 5\%$ 、又は $\pm 10\%$ の許容差内の等価性を指す。同様に、不等式は、測定値が、目標値の $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 5\%$ 、又は $\pm 10\%$ だけ追加して、目標値より大きく又は低くなることを要求するものであってもよい。

30

【0178】

本明細書において、「結合された」という用語は、回路又はシステムの構成要素を指す場合、情報又は信号がある構成要素から他の構成要素に伝達され得る1つ以上の構成要素の間における、適切な、有線又はワイヤレスの、直接的又は間接的な、接続を記述するために使用される。

【0179】

本明細書において、「直接接続」又は「直接接続された」という用語は、途中に能動的な要素を介さずに接続される、2つの要素間の直接的な接続を指す。「電氣的に接続される」又は「電氣的接続」という用語は、それぞれの要素が共通の電位を有するように接続される、2つの要素間の電氣的な接続を指す。更に、第1の構成要素と第2の構成要素の端子との間の接続は、第1の構成要素と端子との間に、第2の構成要素を通過しない経路が存在することを意味する。

40

【0180】

本明細書に記載された主題の実施形態及び処理の実施は、本明細書に開示された構造及びそれらの構造的均等物を含む、デジタル電子回路、又はコンピュータソフトウェア、ファームウェア、又はハードウェア、或いは、これらのうち1つ以上の組合せによって、実現されてもよい。本明細書に記載された主題の実施形態は、データ処理装置によって実行され、或いはデータ処理装置の動作を制御するために、コンピュータ記憶媒体上に符号化された、1つ以上のコンピュータプログラム、すなわち、コンピュータプログラム命令の1つ以上のモジュールを使用して実現することができる。これに代えて、又はこれに加え

50

て、プログラム命令は、適切な受信装置に送信され、データ処理装置により処理される、情報を符号化するために生成される、例えば、機械によって生成された、電氣的、光学的、又は電磁氣的な信号などの、人工的に生成された伝播信号に符号化されてもよい。コンピュータ記憶媒体は、コンピュータ可読記憶装置、コンピュータ可読記憶基板、ランダム又はシリアルアクセスメモリアレイ又は装置、或いはそれらの1つ以上の組み合わせであってもよく、或いはそれらに含まれてもよい。更に、コンピュータ記憶媒体は伝播信号ではないが、コンピュータ記憶媒体は、人工的に生成された伝播信号に符号化されたコンピュータプログラム命令の送信元又は宛先となり得る。コンピュータ記憶媒体は、1つ以上の別個の物理的構成要素又は媒体（例えば、複数のCD、ディスク、又は他の記憶装置）であってもよく、或いはそれらに含まれてもよい。

10

【0181】

本明細書で説明される処理は、1つ以上のコンピュータ可読記憶装置に格納されたデータ又は他のソースから受信したデータに対して、データ処理装置によって実行される処理として実装されてもよい。

【0182】

「データ処理装置」という用語は、例えば、プログラム可能なプロセッサ、コンピュータ、システムオンチップ、或いは複数又はこれらの組み合わせを含む、データを処理するためのあらゆる種類の機器、装置、及び機械を包含する。当該装置には、専用論理回路、例えば、FPGA（フィールドプログラマブルゲートアレイ）又はASIC（特定用途向け集積回路）が含まれてもよい。当該装置には、ハードウェアに加えて、対象となるコンピュータプログラムの実行環境を生成するコード、例えば、プロセッサファームウェア、プロトコルスタック、データベース管理システム、オペレーティングシステム、クロスプラットフォームランタイム環境、仮想マシン、又はそれらのうちの1つ以上の組み合わせ、を構成するコードが含まれてもよい。装置及び実行環境は、ウェブサービス、分散コンピューティング及びグリッドコンピューティングのインフラストラクチャなど、様々な異なるコンピューティングモデルのインフラストラクチャを実現することができる。

20

【0183】

コンピュータプログラム（プログラム、ソフトウェア、ソフトウェアアプリケーション、スクリプト、又はコードとしても知られている）は、コンパイル又はインタプリタされた言語、宣言型言語又は手続型言語を含む、任意の形式のプログラミング言語で記述されてもよく、スタンドアロンプログラムとして、又はモジュール、構成要素、サブルーチン、オブジェクト、又はコンピューティング環境での使用に適した他のユニットとして、配置されてもよい。コンピュータプログラムは、ファイルシステム内のファイルに対応してもよいが、必ずしも対応する必要はない。プログラムは、他のプログラム又はデータを保持するファイルの一部（例えば、マークアップ言語の文書に格納された1つ以上のスクリプト）、対象とするプログラム専用の単一ファイル、又は複数のコーディネートされたファイル（例えば、1つ以上のモジュール、サブプログラム、又はコードの一部を格納するファイル）に格納されてもよい。を含む。コンピュータプログラムは、1つのコンピュータ上で、或いは1つの場所に位置する、又は複数の場所に分散され、通信ネットワークによって相互接続される、複数のコンピュータ上で、実行されるように配置されてもよい。

30

40

【0184】

本明細書で説明するプロセス及び論理フローは、入力データを制御して出力を生成することによってアクションを実行する1つ以上のコンピュータプログラムを実行する1つ以上のプログラム可能なプロセッサによって実行されてもよい。プロセス及び論理フローはまた、FPGA（フィールドプログラマブルゲートアレイ）又はASIC（特定用途向け集積回路）などの専用論理回路によっても実行されてもよく、装置は、専用論理回路として実装されてもよい。

【0185】

コンピュータプログラムの実行に適したプロセッサは、一例として、汎用マイクロプロセッサ及び専用マイクロプロセッサ、及び任意の種類のデジタルコンピュータの任意の1

50

つ以上のプロセッサを含む。一般に、プロセッサは、読み出し専用メモリ又はランダムアクセスメモリ、或いはその両方から命令及びデータを受信する。コンピュータの要素は、命令に従ってアクションを実行するためのプロセッサと、命令及びデータを記憶するための1つ以上のメモリ装置とを含むことができる。一般に、コンピュータは、例えば磁気、光磁気ディスク又は光ディスクなどのデータを格納する1つ以上の大容量記憶装置を、データを受信するため、送信するため、或いはその両方のために、含んでもよく、或いは、処理可能に結合されてもよい。しかしながら、コンピュータは必ずしもそれらの装置を有する必要はない。更に、コンピュータは、別の装置、例えば、一例として、自動車、携帯電話、携帯情報端末(PDA)、携帯オーディオ又はビデオプレーヤ、ゲームコンソール、又は全地球測位システム(GPS)受信機などの、ワイヤレス電力送信機又は受信機、或いはワイヤレス充電又は受電装置に組み込まれてもよい。コンピュータプログラム命令及びデータを格納するのに適した装置には、例えば、EPROM、EEPROM、及びフラッシュメモリ装置などの半導体メモリ装置、例えば内部ハードディスク又はリムーバブルディスク等の、磁気ディスク、光磁気ディスク、並びにCD-ROM及びDVD-ROMディスクを含む、すべての形態の不揮発性メモリ、メディア及びメモリ装置が含まれてもよい。プロセッサ及びメモリは、専用論理回路によって補完又は組み込まれてもよい。

10

【0186】

本明細書は多くの具体的な実施の詳細を含むが、これらは本開示のいかなる実施の範囲又は特許請求される可能性のある範囲の限定として解釈されるべきではなく、例示的な実施形態に特有の特徴の説明として解釈されるべきである。本明細書において異なる実装の文脈で説明される特定の特徴は、単一実装で組み合わせて実装され得る。逆に、単一の実装の文脈で説明されている様々な機能は、別々に複数の実装形態で又は任意の適切なサブコンビネーションで実装されてもよい。更に、特徴は、特定の組み合わせで作用するものとして上述されており、当初はそうのように特許請求されているものであっても、場合によっては、特許請求された組み合わせからの1つまたは複数の特徴が切り出されることもあり、特許請求された組み合わせは、サブコンビネーション、またはサブコンビネーションのバリエーションを含むこともある。

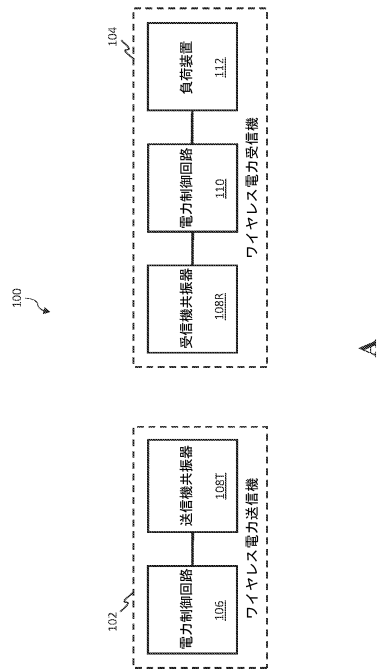
20

【0187】

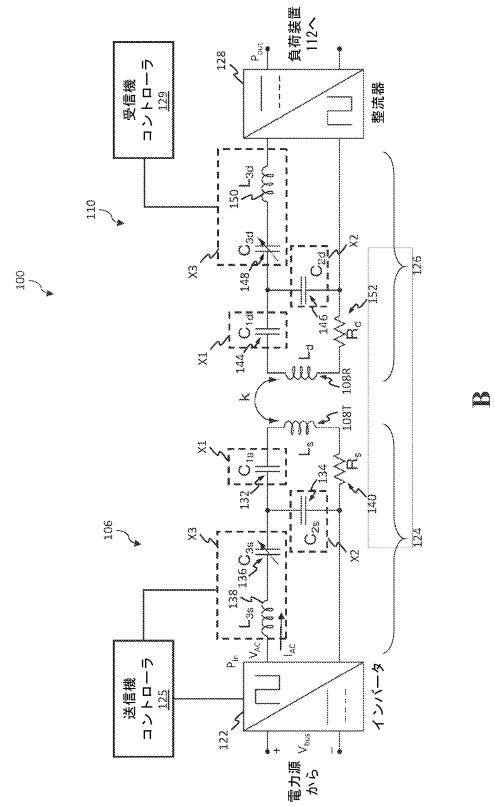
同様に、処理が特定の順序で図面に示されているが、望ましい動作を達成するために、それらの処理が示された特定の順序で又は順番で実行される必要がある、或いはすべての処理が実行される必要があると理解されるべきではない。特定の状況では、マルチタスク処理と並列処理が有利な場合がある。更に、上述の実装における様々なシステムの構成要素の分離は、すべての実装においてそのような分離を必要とするものとして理解されるべきではなく、記載されたプログラム構成要素及びシステムは、一般に、単一のソフトウェア製品内に一体化され、複数のソフトウェア製品にパッケージされうるものとして理解されるべきである。

30

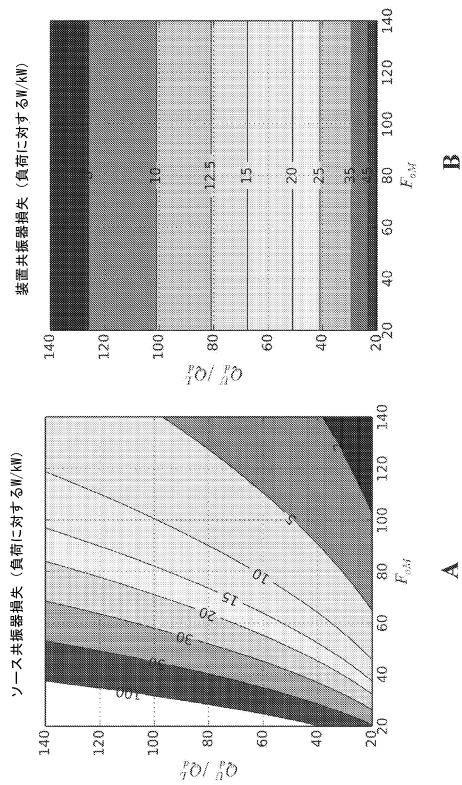
【図 1 A】



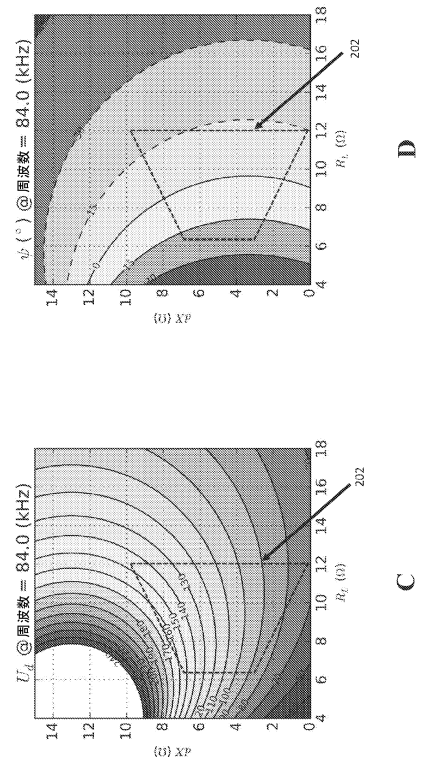
【図 1 B】



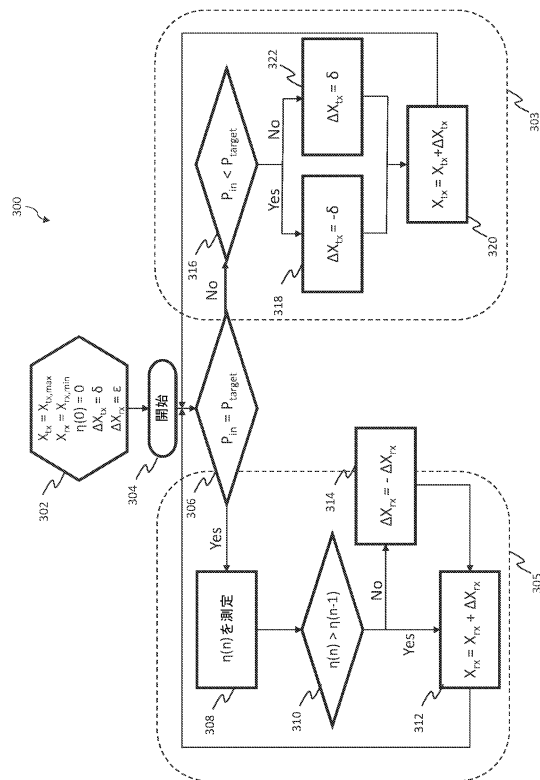
【図 2 - 1】



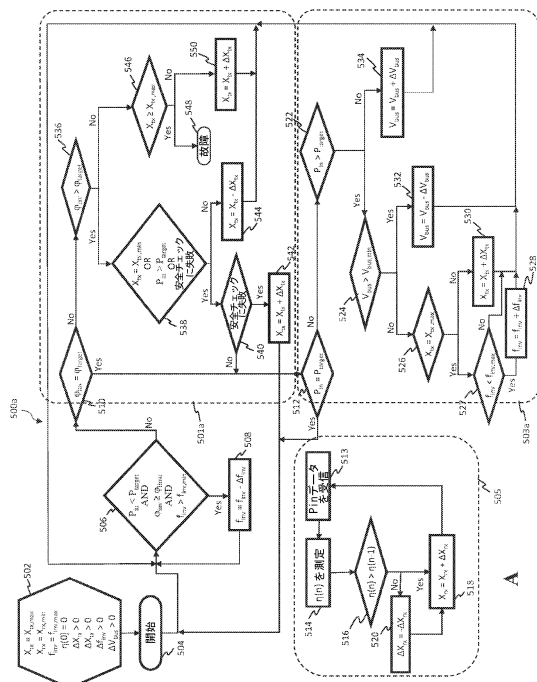
【図 2 - 2】



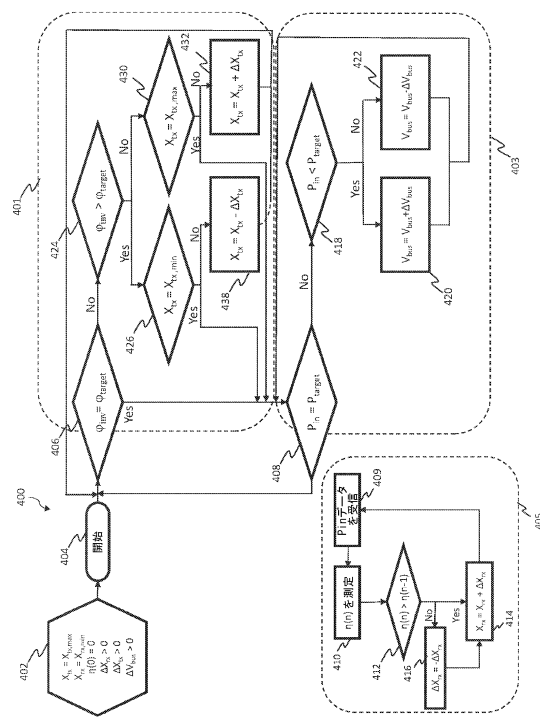
【 図 3 】



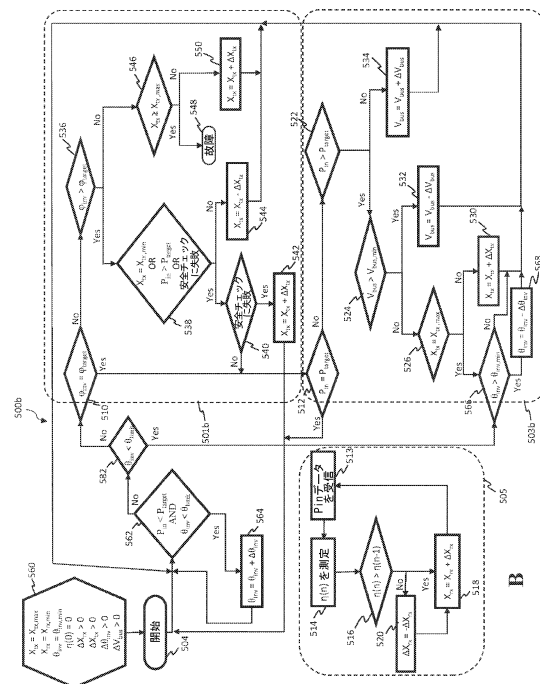
【 図 5 A 】



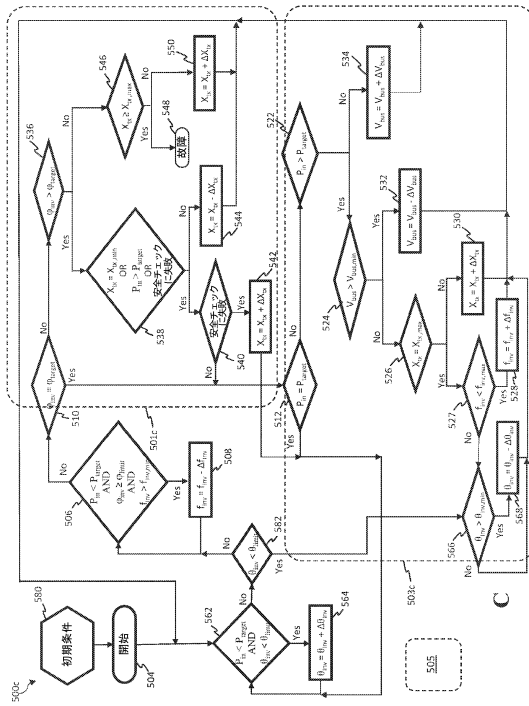
【 図 4 】



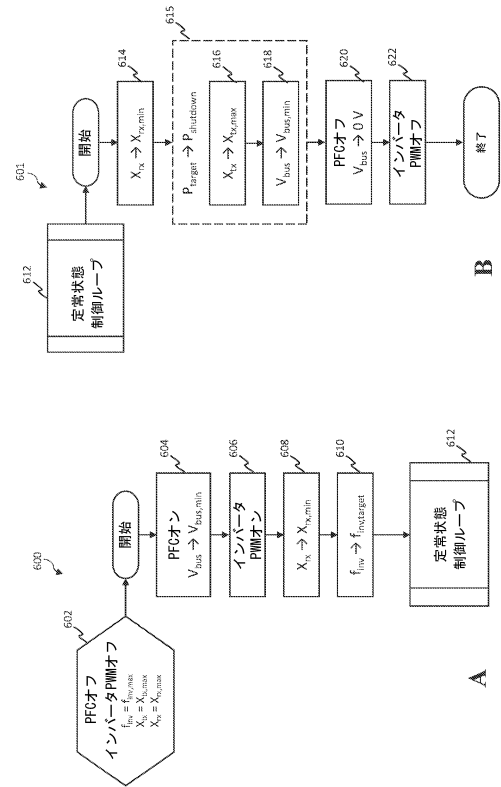
【 図 5 B 】



【図5C】



【図6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 3 H 7/40 (2006.01) H 0 3 H 7/40

(72)発明者 アンドレ ビー クルス
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 0 2 4 6 7 チェスナット ヒル ハモンド ストリート
6 2 9 アpartment イー - ピーエイチ 1 1
(72)発明者 デビッド アール デブローン
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 0 1 8 0 1 ウォーバン キルビー ストリート 7 6

審査官 辻丸 詔

(56)参考文献 特開 2 0 1 3 - 1 2 3 3 0 6 (J P , A)
特開 2 0 1 5 - 0 3 5 9 4 4 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 1 4 7 6 5 7 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 4 / 0 1 5 9 5 0 0 (U S , A 1)
特開 2 0 1 2 - 1 3 0 1 7 3 (J P , A)
特開 2 0 1 5 - 1 9 4 5 0 (J P , A)
特開 2 0 1 4 - 3 8 4 9 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 2 J 5 0 / 1 2
H 0 2 J 7 / 0 0
H 0 2 J 5 0 / 8 0
H 0 2 M 7 / 4 8
H 0 3 H 7 / 3 8
H 0 3 H 7 / 4 0