

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 12 月 13 日(13.12.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/169014 A1

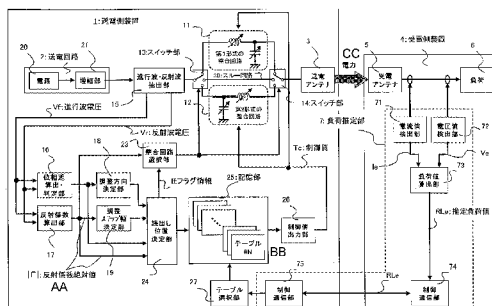
- (51) 国際特許分類:
H03H 7/40 (2006.01) **H02J 17/00** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/063069 (74) 代理人: 中村 聡延, 外(NAKAMURA, Toshinobu et al.); 〒1040031 東京都中央区京橋一丁目 1 6 番 10 号 オークビル京橋 3 階 東京セントラル特許事務所内 Tokyo (JP).
- (22) 国際出願日: 2011 年 6 月 7 日(07.06.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語 (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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,
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): パイオニア株式会社 (PIONEER CORPORATION) [JP/JP]; 〒2120031 神奈川県川崎市幸区新小倉 1 番 1 号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 鈴木 雅美 (SUZUKI, Masami) [JP/JP]; 〒2120031 神奈川県川崎

[続葉有]

(54) Title: IMPEDANCE MATCHING DEVICE AND CONTROL METHOD

(54) 発明の名称: インピーダンス整合装置、制御方法

【図12】



- 1 Power transmission-side device
- 2 Power transmission circuit
- 3 Power transmission antenna
- 4 Power reception-side device
- 5 Power reception antenna
- 6 Load
- 7 Load estimation unit
- 11 First mode matching circuit
- 12 Second mode matching circuit
- 13 Switch unit
- 14 Progressive wave/reflection wave extraction unit
- 15 Phase difference calculation/determination unit
- 16 Reflection coefficient calculation unit
- 17 Adjustment direction determination unit
- 18 Adjustment step width determination unit
- 19 Power source
- 20 Matching circuit selection unit
- 21 Read position determination unit
- 22 Storage unit
- 23 Control value output unit
- 24 Table selection unit
- 25 Through circuit
- 26 Current value detection unit
- 27 Voltage value detection unit
- 28 Load value calculation unit
- 29 Control communications unit
- 71 Flag information
- 72 Estimated load value
- 73 Control value
- 74 Progressive wave voltage
- 75 Reflection wave voltage
- AA Reflection coefficient absolute value
- BB Table #N
- CC Power

(57) Abstract: An impedance matching device is arranged between a power transmission circuit and a power transmission antenna. A storage unit associates a control value to a load value and a value equivalent to input impedance and stores same beforehand, said control value corresponding to an inductance value and a capacitance value that are required for matching to a prescribed impedance value using a first or a second matching circuit. An impedance estimation means estimates a value equivalent to input impedance for the power transmission antenna. A load value estimation means estimates the load value for a circuit connected to a power reception antenna and consuming transmitted power. A circuit selection means electrically connects to one among a first matching circuit, a second matching circuit, and a through circuit, on the basis of the load value and the value equivalent to input impedance. A control value output means reads the control value stored by the storage unit and outputs the control value to the circuit selected by the circuit selection means, on the basis of the load value and the value equivalent to input impedance.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2012/169014 A1



TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

インピーダンス整合装置は、送電回路と送電アンテナとの間に設置される。記憶部は、第 1 または第 2 の整合回路を用いて所定のインピーダンス値に整合させるために必要なインダクタンス値およびキャパシタンス値に対応した制御値を、負荷の値と入力インピーダンス相当値とに対応させて予め記憶する。インピーダンス推定手段は、送電アンテナの入力インピーダンス相当値を推定する。負荷値推定手段は、受電アンテナに接続され伝送された電力が消費される回路の負荷の値を推定する。回路選択手段は、負荷の値と入力インピーダンス相当値とに基づいて、第 1 の整合回路と第 2 の整合回路とスルー回路とのいずれか 1 つを電氣的に接続する。制御値出力手段は、負荷の値と入力インピーダンス相当値とに基づいて、記憶部に記憶された制御値を読み出し、当該制御値を回路選択手段によって選択された回路に出力する。

明 細 書

発明の名称：インピーダンス整合装置、制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、無線による非接触電力伝送システム、特に電磁界共振結合（磁界共鳴、電界共鳴とも言われる。）の原理に基づく無線電力伝送システムに有用なインピーダンス整合装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、家電機器や産業用装置、電気自動車等に対して電力を供給する際に、AC（A l t e r n a t i n g C u r r e n t）ケーブル等の接続を必要としない無線による非接触電力伝送技術が利用され始めている。家庭においては、電動歯ブラシ、シェーバなど水周りの小型機器や、携帯電話などポータブル機器への非接触充電装置が普及している。また電気自動車に対しては駐車場やバス停などで停車した自動車に対して、車体の下に置かれた給電装置から非接触で充電もしくは給電するシステムが実用化されている。

[0003] 無線（電磁波）を用いた電力伝送技術は大きく分けて3つの方式がある。それらは電磁誘導方式、電磁界共振結合方式、及びマイクロ波電力伝送方式である。このうち前記の家庭用、産業用、電気自動車用として普及しているのは電磁誘導方式であり、数Wという小さな電力から数10kWという大電力の領域まで幅広く製品化されている。しかし、電磁誘導方式は、電力送信側コイル（一次側コイル）と受信側コイル（二次側コイル）との間隔（エアギャップ、以降「ギャップ」と呼ぶ。）を極力小さくする必要があること、及び送受信コイル間の位置ずれに弱いことが大きな課題となっており、応用できる領域が限定されている。また、マイクロ波電力伝送方式を採用したシステムとして、人工衛星に取り付けた太陽電池パネルによって発電した電力を、ビーム幅を非常に細く絞った電波を用いて地上の受信アンテナに送信するSPS（S o l a r P o w e r S a t e l l i t e）システムが研究されているが、かなり大規模な設備を必要とする。電気自動車用には、送信

部に導波管スロットアンテナを用い、受信部にパッチアンテナと整流器を組み合わせた試作も報告されているが、現状では効率が低いことが課題となっている。

[0004] そのような中で近年注目されているのが電磁界共振結合方式による無線電力伝送である（例えば、非特許文献1、非特許文献2、特許文献1を参照）。この方式は送信・受信アンテナ間のギャップを大きくとれ（数10cm～数m）、位置ずれにも強いという特徴を持っており、家庭内機器、産業用機器、電気自動車など幅広い領域での応用が期待されている。また、電磁界共振結合方式には、電磁誘導では不可能な領域として移動体へ無線で電力を供給することに関しても大きな期待が寄せられている。

[0005] また、特許文献3には、アンテナ間の距離もしくは負荷に基づいて、インピーダンスを調整する技術が開示されている。また、非特許文献3には、磁界共鳴方式の有用性などについての記載があり、非特許文献4には、直並列型等価回路の電磁共鳴方式に基づく送電・受電アンテナのモデルとしての正当性などについての記載がある。その他、出願人は、本出願に関連する出願として、国際出願番号PCT/JP2010/063569及び国際出願番号PCT/JP2010/063570の出願を行っている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特表2009-501510号公報

特許文献2：特許第4225953号公報

特許文献3：特開2010-141976号公報

非特許文献

[0007] 非特許文献1：A.Kurs, A.Karalis, et al. “Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances”, Science, Vol. 317, 6 July 2007

非特許文献2：居村，堀，“電磁界共振結合による伝送技術”，IEEE J

ournal, Vol. 129, No. 7, 2009

非特許文献3：居村，岡部，内田，堀，“共振時の電磁界結合を利用した位置ずれに強いワイヤレス電力伝送”，社団法人電気学会産業応用部門，130巻1号，2010，p. 78～83

非特許文献4：倉田，河村，“磁気結合等価回路を利用した非接触給電の高効率化に関する研究”，電気学会研究会資料・産業計測制御研究会，IIC-10-15

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 電磁共鳴方式（電磁界共振結合）に基づくワイヤレス電力伝送システムは、（A）送電・受電アンテナ間の結合状態が変化すると、送電アンテナ端における入力インピーダンスの値が変化する、（B）受電アンテナ側に接続された負荷の値が変動した場合も、送電アンテナ端における入力インピーダンスの値が変化する、という特性を持つ。そのため、上述の結合状態が変化した場合や負荷の値が変化した場合には、送電回路（電源）の出力インピーダンスと送電アンテナ入力端との間でインピーダンスの不整合が起こり、反射損が発生する。その結果、伝送効率の悪化を招く。インピーダンスの不整合による反射損を抑制するために、一般にインピーダンス整合回路が使用される。しかし、上記した電磁共鳴方式特有の入力インピーダンスの変化に対して効率的に、かつ高速に対応可能なインピーダンス整合装置は存在していない。

[0009] 本発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、効率的かつ高速にインピーダンスの整合が可能なインピーダンス整合装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] 請求項1に記載の発明は、送電アンテナと受電アンテナとを電磁界によって結合させて電力を伝送する無線電力伝送システムにおいて、送電回路と前記送電アンテナとの間に設置されるインピーダンス整合装置であって、前記

送電アンテナの入力インピーダンスもしくは当該入力インピーダンスに相当する入力インピーダンス相当値を推定する入力インピーダンス推定手段と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電アンテナ側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第1の整合回路と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電回路側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第2の整合回路と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入されるスルー回路と、前記受電アンテナに接続され前記伝送された電力が消費される回路の負荷の値を推定する負荷値推定手段と、前記第1または前記第2の整合回路を用いて所定のインピーダンス値に整合させるために必要なインダクタンス値およびキャパシタンス値に対応した制御値を、前記負荷の値と前記入力インピーダンス相当値とに対応させて予め記憶する記憶部と、前記負荷の値と前記入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記第1の整合回路と前記第2の整合回路と前記スルー回路とのいずれか1つを電氣的に接続する回路選択手段と、前記負荷の値と前記入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記記憶部に記憶された前記制御値を読み出し、当該制御値を前記回路選択手段によって選択された回路に出力する制御値出力手段と、を有することを特徴とする。

[0011] 請求項4に記載の発明は、送電アンテナと受電アンテナとを電磁界によって結合させて電力を伝送する無線電力伝送システムにおいて、送電回路と前記送電アンテナとの間に設置されるインピーダンス整合装置であって、前記送電アンテナの入力インピーダンスもしくは当該入力インピーダンスに相当する入力インピーダンス相当値を推定する入力インピーダンス推定手段と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電アンテナ側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第1の整合回路と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変

インダクタ要素よりも前記送電回路側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第2の整合回路と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入されるスルー回路と、前記送電アンテナと前記受電アンテナとの間の結合係数を推定する結合係数推定手段と、前記第1または前記第2の整合回路を用いて所定のインピーダンス値に整合させるために必要なインダクタンス値およびキャパシタンス値に対応した制御値を、前記結合係数と前記入カインピーダンス相当値とに対応させて予め記憶する記憶部と、前記結合係数と前記入カインピーダンス相当値とに基づいて、前記第1の整合回路と前記第2の整合回路と前記スルー回路とのいずれか1つを電氣的に接続する回路選択手段と、前記結合係数と前記入カインピーダンス相当値とに基づいて、前記記憶部に記憶された前記制御値を読み出し、当該制御値を前記回路選択手段によって選択された回路に出力する制御値出力手段と、を有することを特徴とする。

[0012] 請求項10に記載の発明は、送電アンテナと受電アンテナとを電磁界によって結合させて電力を伝送する無線電力伝送システムにおいて、送電回路と前記送電アンテナとの間に設置され、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電アンテナ側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第1の整合回路と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電回路側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第2の整合回路と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入されるスルー回路と、前記第1または前記第2の整合回路を用いて所定のインピーダンス値に整合させるために必要なインダクタンス値およびキャパシタンス値に対応した制御値を、前記受電アンテナに接続され前記伝送された電力が消費される回路の負荷の値と前記入カインピーダンス相当値とに対応させて予め記憶する記憶部と、を備えるインピーダンス整合装置が実行する制御方法であって、前記送電アンテナの入カインピーダンスもしくは当該入カインピーダンスに相当

する入力インピーダンス相当値を推定する入力インピーダンス推定工程と、前記負荷の値を推定する負荷値推定工程と、前記負荷の値と前記入入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記第1の整合回路と前記第2の整合回路と前記スルー回路とのいずれか1つを電氣的に接続する回路選択工程と、前記負荷の値と前記入入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記記憶部に記憶された前記制御値を読み出し、当該制御値を前記回路選択工程によって選択された回路に出力する制御値出力工程と、を有することを特徴とする。

[0013] 請求項11に記載の発明は、送電アンテナと受電アンテナとを電磁界によって結合させて電力を伝送する無線電力伝送システムにおいて、送電回路と前記送電アンテナとの間に設置され、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電アンテナ側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第1の整合回路と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電回路側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第2の整合回路と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入されるスルー回路と、前記第1または前記第2の整合回路を用いて所定のインピーダンス値に整合させるために必要なインダクタンス値およびキャパシタンス値に対応した制御値を、前記送電アンテナと前記受電アンテナとの間の結合係数と前記入入力インピーダンス相当値とに対応させて予め記憶する記憶部と、を備えるインピーダンス整合装置が実行する制御方法であって、前記送電アンテナの入力インピーダンスもしくは当該入力インピーダンスに相当する入力インピーダンス相当値を推定する入力インピーダンス推定工程と、前記結合係数を推定する結合状態推定工程と、前記結合係数と前記入入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記第1の整合回路と前記第2の整合回路と前記スルー回路とのいずれか1つを電氣的に接続する回路選択工程と、前記結合係数と前記入入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記記憶部に記憶された前記制御値を読み出し、当該制御値を前記回路選択工程によって選択された回路に出力する

制御値出力工程と、を有することを特徴とする。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]電磁共鳴方式に基づく送電・受電アンテナの一例を示す。

[図2]直列共振回路部分に並列に接続するコンデンサを有する直並列型等価回路を示す。

[図3]送電アンテナと、受電アンテナとを対向配置させた電力伝送システムを示す。

[図4]電力伝送システムを、直並列型等価回路表現を用いて表した例を示す。

[図5]負荷の値を固定し、送電・受電アンテナ間の結合係数を「0.311～0.021」の範囲で変化させた場合の入力インピーダンスの軌跡をスミスチャート上にプロットした図である。

[図6]送電・受電アンテナ間の結合係数 k を固定し、負荷の値を「5Ω」～「500Ω」の範囲で変化させた場合の入力インピーダンスの軌跡をスミスチャート上にプロットした図である。

[図7]電源からの供給電力に対する送電アンテナに入った電力の比率のグラフを示す。

[図8]送電アンテナの端での入力インピーダンスを50Ωに整合させるための整合回路を示す。

[図9]図8の整合回路を追加した状態での電源20からの供給電力に対する送電アンテナ3に入った電力の比率を示す図である。

[図10] (a) は、図9に示す整合状態から結合係数が「0.1」のままで負荷の値が「10Ω」に低下した場合での、電源からの供給電力に対する送電アンテナに入った電力の比率を示す。(b) は、図9に示す整合状態から結合係数 k が「0.1」のままで負荷の値が「200Ω」に増加した場合での、電源からの供給電力に対する送電アンテナに入った電力の比率を示す。

[図11] (a) は、整合状態から負荷の値を「50Ω」のままで結合係数が「0.05」に低下した場合での、電源からの供給電力に対する送電アンテナに入った電力の比率を示す。(b) は、整合状態から負荷の値を「50Ω」

のままで結合係数が「0.15」に増加した場合での、電源からの供給電力に対する送電アンテナに入った電力の比率を示す。

[図12]第1実施例に係る電力伝送システムの概略構成図である。

[図13]第1実施例に係る整合補正值テーブルの一例を示す。

[図14]実施例に好適な整合回路の一例である。

[図15]スミスチャートを大きく領域A及び領域B 2つの領域に分けた図である

[図16]領域Aまたは領域Bに存在するインピーダンス軌跡上の各ポイントから整合ポイントまで遷移させる例を示す。

[図17] (a) 第1形式の整合回路の例である。(b) 第2形式の整合回路の例である。

[図18]理論計算によって整合補正量を求める方法を概略的に示した図である。

[図19]第1実施例に係る整合補正テーブルの例である。

[図20]整合補正量テーブルを使用して、インピーダンス整合処理を実施した場合の反射損低減の一例である。

[図21]結合が強くなる方向にずれる場合の進行波電圧波形及び反射波電圧波形の関係を示すグラフの一例である。

[図22]結合が弱くなる方向にずれる場合の進行波電圧波形及び反射波電圧波形の関係について示す。

[図23] (a) は、結合係数が「0.064」の状態で整合を取った直後の「 $1 - |S_{11}|^2$ 」のグラフを示し、(b) は、この場合での駆動周波数における進行波電圧波形及び反射波電圧波形のグラフを示す。

[図24] (a) は、整合後に結合係数が「0.064」から「0.1」に変化した場合の「 $1 - |S_{11}|^2$ 」のグラフを示し、(b) は、この場合での駆動周波数における進行波電圧波形及び反射波電圧波形のグラフを示す。

[図25] (a) は、整合追従動作の実行後の「 $1 - |S_{11}|^2$ 」のグラフを示し、(b) は、この場合での駆動周波数における進行波電圧波形及び反射波電

圧波形のグラフを示す。

[図26]第1実施例において、フロー1の処理手順を示すフローチャートである。

[図27]第1実施例において、フロー2の処理手順を示すフローチャートである。

[図28]第1実施例において、フロー3の処理手順を示すフローチャートである。

[図29]第1実施例において、フロー4の処理手順を示すフローチャートである。

[図30]第2実施例に係る電力伝送システムの概略構成図である。

[図31]送電アンテナと受電アンテナとの距離と、結合係数との関係を示すグラフを示す。

[図32]結合係数が「0.07」の場合に対応する整合補正量テーブルの一例を示す。

[図33]実施例に好適な整合回路の一例を示す。

[図34]第2実施例において、理論計算で求めた整合補正量テーブルを示す。

[図35]整合補正量テーブルを使用して、インピーダンス整合処理を実施した場合の反射損低減の一例である。

[図36]負荷が大きくなる方向にずれる場合の進行波電圧波形及び反射波電圧波形の関係について示したグラフである。

[図37]負荷が小さくなる方向にずれる場合の進行波電圧波形及び反射波電圧波形の関係について示したグラフである。

[図38] (a) は、負荷の値が「30Ω」の状態で整合を取った直後の「 $1 - |S_{11}|^2$ 」のグラフを示し、(b) は、(a) での駆動周波数における進行波電圧波形及び反射波電圧波形のグラフを示す。

[図39] (a) は、整合後に負荷の値が「30Ω」から「10Ω」に変化した場合の「 $1 - |S_{11}|^2$ 」のグラフを示し、(b) は、(a) での駆動周波数における進行波電圧波形及び反射波電圧波形のグラフを示す。

[図40] (a) は、整合追従動作の実行後の「 $1 - |S_{11}|^2$ 」のグラフを示し、図24 (b) は、(a) での駆動周波数における進行波電圧波形及び反射波電圧波形のグラフを示す。

[図41] 第2実施例において、フロー5の処理手順を示すフローチャートである。

[図42] 第2実施例において、フロー6の処理手順を示すフローチャートである。

[図43] 第2実施例において、フロー7の処理手順を示すフローチャートである。

[図44] 変形例に係る整合回路の構成を示す図である。

発明を実施するための形態

[0015] 本発明の好適な実施形態によれば、送電アンテナと受電アンテナとを電磁界によって結合させて電力を伝送する無線電力伝送システムにおいて、送電回路と前記送電アンテナとの間に設置されるインピーダンス整合装置であって、前記送電アンテナの入力インピーダンスもしくは当該入力インピーダンスに相当する入力インピーダンス相当値を推定する入力インピーダンス推定手段と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電アンテナ側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第1の整合回路と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電回路側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第2の整合回路と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入されるスルー回路と、前記受電アンテナに接続され前記伝送された電力が消費される回路の負荷の値を推定する負荷値推定手段と、前記第1または前記第2の整合回路を用いて所定のインピーダンス値に整合させるために必要なインダクタンス値およびキャパシタンス値に対応した制御値を、前記負荷の値と前記入力インピーダンス相当値とに対応させて予め記憶する記憶部と、前記負荷の値と前記入力インピーダンス相当値とに基

づいて、前記第1の整合回路と前記第2の整合回路と前記スルー回路とのいずれか1つを電氣的に接続する回路選択手段と、前記負荷の値と前記入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記記憶部に記憶された前記制御値を読み出し、当該制御値を前記回路選択手段によって選択された回路に出力する制御値出力手段と、を有する。

[0016] 上記のインピーダンス整合装置は、送電アンテナと受電アンテナとを電磁界によって結合させて電力を伝送する無線電力伝送システムにおいて、送電回路と送電アンテナとの間に設置される。インピーダンス整合装置は、入力インピーダンス推定手段と、第1及び第2の整合回路と、スルー回路と、負荷値推定手段と、記憶部と、回路選択手段と、制御値出力手段と、を備える。記憶部は、第1または第2の整合回路を用いて所定のインピーダンス値に整合させるために必要なインダクタンス値およびキャパシタンス値に対応した制御値を、負荷の値と入力インピーダンス相当値とに対応させて予め記憶する。ここで、「制御値」とは、インダクタンス値及びキャパシタンス値の他、インダクタンス値及びキャパシタンス値を電氣的もしくはモータ等の機械的機構を用いて変化させるための制御電圧値、複数の微小インダクタ要素、微小キャパシタ要素から成るLCネットワーク回路に含まれるリレーやMEMS (Micro Electro Mechanical System) 等スイッチ部のON/OFFを制御するためのビットパターンなどが該当する。インピーダンス推定手段は、入力インピーダンス相当値を推定する。また、「入力インピーダンス相当値」とは、送電アンテナの入力インピーダンスの他、当該入力インピーダンスと一意な関係にある値等の入力インピーダンスに相当する値を指す。負荷値推定手段は、受電アンテナに接続され伝送された電力が消費される回路の負荷の値を推定する。回路選択手段は、負荷の値と入力インピーダンス相当値とに基づいて、第1の整合回路と第2の整合回路とスルー回路とのいずれか1つを電氣的に接続する。制御値出力手段は、負荷の値と入力インピーダンス相当値とに基づいて、記憶部に記憶された制御値を読み出し、当該制御値を回路選択手段によって選択された回路

に出力する。このようにすることで、インピーダンス整合装置は、送電アンテナと受電アンテナとを電磁界によって結合させて電力伝送を行う場合に、受電側の負荷の値及び送電アンテナと受電アンテナとの間の結合状態に応じて送電回路と送電アンテナとの間のインピーダンス整合を行い、送電側から入力した電力を損失することなく受電側に伝送することができる。

[0017] 上記インピーダンス整合装置の一態様では、前記記憶部は、前記制御値と、当該制御値を反映させる前記第1または前記第2の整合回路を示すフラグ情報とを、前記負荷の値と前記入力インピーダンス相当値とに対応させて予め記憶し、前記回路選択手段は、前記負荷の値と前記入力インピーダンス相当値とから決定される前記フラグ情報に基づいて、前記第1の整合回路と前記第2の整合回路とのいずれか1つを電氣的に接続する。この態様では、インピーダンス整合装置は、使用すべき整合回路を示すフラグ情報を負荷の値と入力インピーダンス相当値とに関連付けて記憶部に予め記憶しておくことで、推定した負荷の値と入力インピーダンス相当値とに基づき、的確かつ容易に使用すべき整合回路を選択することが可能となる。

[0018] 上記インピーダンス整合装置の他の一態様では、前記制御値は、前記回路の負荷の値を固定した上で、前記送電アンテナと前記受電アンテナとの間の結合状態を変更させた際の、前記送電回路から前記送電アンテナへの入力インピーダンスの変化の軌跡に基づいて設定される。インピーダンス整合装置は、このように設定された制御値を予め記憶部に記憶しておき、インピーダンス整合を行うことで、処理工程を削減することができ、回路規模及び必要なメモリ容量を削減することができる。

[0019] 本発明の他の好適な実施形態によれば、送電アンテナと受電アンテナとを電磁界によって結合させて電力を伝送する無線電力伝送システムにおいて、送電回路と前記送電アンテナとの間に設置されるインピーダンス整合装置であって、前記送電アンテナの入力インピーダンスもしくは当該入力インピーダンスに相当する入力インピーダンス相当値を推定する入力インピーダンス推定手段と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可

変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電アンテナ側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第1の整合回路と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電回路側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第2の整合回路と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入されるスルー回路と、前記送電アンテナと前記受電アンテナとの間の結合係数を推定する結合係数推定手段と、前記第1または前記第2の整合回路を用いて所定のインピーダンス値に整合させるために必要なインダクタンス値およびキャパシタンス値に対応した制御値を、前記結合係数と前記入力インピーダンス相当値とに対応させて予め記憶する記憶部と、前記結合係数と前記入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記第1の整合回路と前記第2の整合回路と前記スルー回路とのいずれか1つを電氣的に接続する回路選択手段と、前記結合係数と前記入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記記憶部に記憶された前記制御値を読み出し、当該制御値を前記回路選択手段によって選択された回路に出力する制御値出力手段と、を有する。

[0020] 上記のインピーダンス整合装置は、送電アンテナと受電アンテナとを電磁界によって結合させて電力を伝送する無線電力伝送システムにおいて、送電回路と送電アンテナとの間に設置される。インピーダンス整合装置は、入力インピーダンス推定手段と、第1及び第2の整合回路と、スルー回路と、結合係数推定手段と、記憶部と、回路選択手段と、制御値出力手段と、を備える。記憶部は、第1または第2の整合回路を用いて所定のインピーダンス値に整合させるために必要なインダクタンス値およびキャパシタンス値に対応した制御値を、結合係数と入力インピーダンス相当値とに対応させて予め記憶する。インピーダンス推定手段は、送電アンテナのインピーダンスもしくはインピーダンスに相当する入力インピーダンス相当値を推定する。結合係数推定手段は、送電アンテナと受電アンテナとの間の結合係数を推定する。回路選択手段は、結合係数と入力インピーダンス相当値とに基づいて、第1

の整合回路と第2の整合回路とスルー回路とのいずれか1つを電氣的に接続する。制御値出力手段は、結合係数と入力インピーダンス相当値とに基づいて、記憶部に記憶された制御値を読み出し、当該制御値を回路選択手段によって選択された回路に出力する。このようにすることで、インピーダンス整合装置は、送電アンテナと受電アンテナとを電磁界によって結合させて電力伝送を行う場合に、送電アンテナと受電アンテナとの間の結合係数及び受電側の負荷の値に応じて送電回路と送電アンテナとの間のインピーダンス整合を行い、送電側から入力した電力を損失することなく受電側に伝送することができる。

[0021] 上記インピーダンス整合装置の一態様では、前記記憶部は、前記制御値と、当該制御値を反映させる前記第1または前記第2の整合回路を示すフラグ情報とを、前記結合係数と前記入カインピーダンス相当値とに対応させて予め記憶し、前記回路選択手段は、前記結合係数と前記入カインピーダンス相当値とから決定される前記フラグ情報に基づいて、前記第1の整合回路と前記第2の整合回路とのいずれか1つを電氣的に接続する。この態様では、インピーダンス整合装置は、使用すべき整合回路を示すフラグ情報を結合係数と入力インピーダンス相当値とに関連付けて記憶部に予め記憶しておくことで、推定した結合係数と入力インピーダンス相当値とに基づき、的確かつ容易に使用すべき整合回路を選択することが可能となる。

[0022] 上記インピーダンス整合装置の他の一態様では、前記制御値は、前記送電アンテナと前記受電アンテナとの間の結合状態を固定した上で、前記回路の負荷の値を変更させた際の、前記送電回路から前記送電アンテナへの入力インピーダンスの変化の軌跡に基づいて設定される。このように設定された制御値を予め記憶部に記憶しておき、インピーダンス整合を行うことで、処理工程を削減することができ、回路規模及び必要なメモリ容量を削減することができる。

[0023] 上記インピーダンス整合装置の他の一態様では、前記送電回路からの出力信号に対応する進行波電圧と、前記送電アンテナからの反射信号に対応する

反射波電圧と、を取り出す進行波・反射波抽出手段と、前記進行波電圧と前記反射波電圧とに基づき、反射係数の絶対値または当該絶対値に対応する値である反射係数絶対値相当値を算出する反射係数算出手段と、前記進行波電圧の位相と前記反射波電圧の位相とを比較し、当該位相間の位相差を算出する位相差算出手段とを更に有し、前記入力インピーダンス推定手段は、前記入力インピーダンス相当値として前記反射係数絶対値相当値と前記位相差とを推定する。ここで、「反射係数絶対値相当値」とは、反射係数の絶対値、又はこれと一意な関係にある値等、反射係数の絶対値に相当する値であり、例えば反射係数の絶対値やインピーダンスの絶対値などが該当する。インピーダンス整合装置は、このように反射係数絶対値相当値と上述の位相差を推定することで、入力インピーダンスを特定することが可能となり、使用すべき整合回路及び適用する制御値を好適に決定することができる。

[0024] 上記インピーダンス整合装置の他の一態様では、前記送電回路からの出力信号に対応する進行波電圧と、前記送電アンテナからの反射信号に対応する反射波電圧と、を取り出す進行波・反射波抽出手段と、前記進行波電圧の位相と前記反射波電圧の位相とを比較し、当該位相間の位相差を算出する位相差算出手段とを有し、前記回路選択手段は、前記反射係数の絶対値が所定値以下である場合は、前記スルー回路を選択する。このようにすることで、インピーダンス整合装置は、反射による電力の損失が所定の許容値を超えた場合にのみ、好適にインピーダンス整合を実行することができる。

[0025] 上記インピーダンス整合装置の他の一態様では、前記制御値は、反射係数の絶対値が大きくなるほど、量子化間隔が小さくなるように量子化される。インピーダンス整合装置は、当該制御値に基づきインピーダンス整合を行うことで、整合後の反射による損失を、常に所定の閾値以下にすることが可能となる。

[0026] 本発明のさらに別の好適な実施形態によれば、送電アンテナと受電アンテナとを電磁界によって結合させて電力を伝送する無線電力伝送システムにおいて、送電回路と前記送電アンテナとの間に設置され、前記送電回路と前記

送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電アンテナ側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第1の整合回路と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電回路側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第2の整合回路と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入されるスルー回路と、前記第1または前記第2の整合回路を用いて所定のインピーダンス値に整合させるために必要なインダクタンス値およびキャパシタンス値に対応した制御値を、前記受電アンテナに接続され前記伝送された電力が消費される回路の負荷の値と前記入力インピーダンス相当値とに対応させて予め記憶する記憶部と、を備えるインピーダンス整合装置が実行する制御方法であって、前記送電アンテナの入力インピーダンスもしくは当該入力インピーダンスに相当する入力インピーダンス相当値を推定する入力インピーダンス推定工程と、前記負荷の値を推定する負荷値推定工程と、前記負荷の値と前記入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記第1の整合回路と前記第2の整合回路と前記スルー回路とのいずれか1つを電氣的に接続する回路選択工程と、前記負荷の値と前記入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記記憶部に記憶された前記制御値を読み出し、当該制御値を前記回路選択工程によって選択された回路に出力する制御値出力工程と、を有する。

[0027] 本発明のさらに別の好適な実施形態によれば、送電アンテナと受電アンテナとを電磁界によって結合させて電力を伝送する無線電力伝送システムにおいて、送電回路と前記送電アンテナとの間に設置され、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電アンテナ側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第1の整合回路と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電回路側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第2の整合回路と、前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される

スルー回路と、前記第 1 または前記第 2 の整合回路を用いて所定のインピーダンス値に整合させるために必要なインダクタンス値およびキャパシタンス値に対応した制御値を、前記送電アンテナと前記受電アンテナとの間の結合係数と前記入力インピーダンス相当値とに対応させて予め記憶する記憶部と、を備えるインピーダンス整合装置が実行する制御方法であって、前記送電アンテナの入力インピーダンスもしくは当該入力インピーダンスに相当する入力インピーダンス相当値を推定する入力インピーダンス推定工程と、前記結合係数を推定する結合状態推定工程と、前記結合係数と前記入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記第 1 の整合回路と前記第 2 の整合回路と前記スルー回路とのいずれか 1 つを電氣的に接続する回路選択工程と、前記結合係数と前記入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記記憶部に記憶された前記制御値を読み出し、当該制御値を前記回路選択工程によって選択された回路に出力する制御値出力工程と、を有する。

実施例

[0028] 以下では、まず、本願発明の基礎となる技術及びその課題などの基本説明を行った後、図面を参照して本発明の好適な各実施例について説明する。

[0029] <基本説明>

図 1 は、電磁共鳴方式に基づく送電アンテナ及び受電アンテナとして用いられるアンテナ（送電・受電アンテナ）の一例を示す。図 1 に示す送電・受電アンテナは、上下 2 つの平面に巻線を螺旋形状に形成されたアンテナであり、上面の巻線 101、図示しない下面の巻線、給電点 102、支持材（誘電体）103などを有する。この送電・受電アンテナの直径は 30 cm、上下面合わせての巻数は 5.2 巻、巻線間のピッチは 7 mm、上下面の間隔は 15 mm であり、送電・受電アンテナの各面の先端は開放されており、送電・受電アンテナは、上下面巻線の中央に位置する給電点 102 から給電する。

[0030] ここで、電磁界解析により、図 1 のアンテナの電気回路的なパラメータを求めると、インダクタンス「L」は「8.64 μ H」、コンデンサ「C」は

、「 17.49 pF 」、損失抵抗「 R 」は、「 1.0Ω 」であった。送電・受電アンテナはこれらの定数を持つ直列共振回路として動作する。この場合、共振周波数「 f_0 」は、「 $1 / (2\pi\sqrt{LC}) = 12.947 \text{ MHz}$ 」である。

[0031] 図2は、図1の送電・受電アンテナの正確な等価回路モデルである、直列共振回路部分に並列に接続するコンデンサを有する直並列型等価回路を示す。図1の送電・受電アンテナの場合、並列コンデンサ「 C_t 」は「 10.08 pF 」であった。

[0032] 電磁共鳴方式に基づくワイヤレス電力伝送では、一般に図1に示すアンテナを、それぞれ送電側と受電側とに対向配置させる。送電アンテナには送電回路（電源）、受電アンテナには負荷が同軸ケーブル等で接続されている。その様子を図3に示す。図3は、図1に示すアンテナを送電アンテナ及び受電アンテナとして対向配置させた電力伝送システムを示す。図3に示すように、送電アンテナには電源が接続され、受電アンテナには負荷が接続されている。

[0033] 図4は、図3に示す電力伝送システムを、直並列型等価回路表現を用いて表した例を示す。図4の「 L_m 」は、送電アンテナと受電アンテナとが磁気的に結合された状態の相互インダクタンスを表している。送電アンテナと受電アンテナに同じアンテナを使用した場合には（各アンテナの共振周波数が同じであれば、必ずしもそのようにする必要はない）、その結合係数を「 k 」とすれば、「 $L_m = kL$ 」と表される。結合係数 k の値は送電アンテナと受電アンテナとの間のギャップ（隔たり幅）や、位置ずれの量など、送電アンテナと受電アンテナとの位置関係によって決まる。ギャップや位置ずれの量を変更することは結合係数 k の値を変更することと置き換えて考えて良い。

[0034] ここで、図4の等価回路表現を用いて、

（1）負荷の値「 R_L 」を決め、送電・受電アンテナ間の結合係数 k を変化させた場合

(2) 結合係数 k の値を決め、受電側の負荷の値を変化させた場合について、送電アンテナの電力が入る側の端（単に、「送電アンテナ端」とも呼ぶ。）における入力インピーダンス「 Z_{in} 」を調べる。なお、送電回路の周波数（以降では「駆動周波数」と呼ぶ。）は、送電アンテナと受電アンテナとの共振周波数「 12.947 MHz 」とする。

[0035] 図5は、負荷の値 R_L を (a) では $10\ \Omega$ 、(b) では $50\ \Omega$ 、(c) では $200\ \Omega$ にそれぞれ固定し、送電アンテナと受電アンテナとの間の結合係数 k を「 $0.311 \sim 0.021$ 」の範囲で変化させた場合の入力インピーダンス Z_{in} の軌跡をスミスチャート上にプロットした図である。なお、図1に示すアンテナを送電アンテナ及び受電アンテナとし、水平方向の位置ずれ量をゼロとすると、結合係数「 $k = 0.311$ 」は送電アンテナと受電アンテナとの間のギャップが「 5 cm 」の状態に対応し、「 $k = 0.021$ 」はギャップが「 35 cm 」の状態に対応している。また、図6は、結合係数 k を (a) では 0.030 、(b) では 0.064 、(c) では 0.120 にそれぞれ固定し、負荷の値 R_L を「 $5\ \Omega$ 」～「 $500\ \Omega$ 」の範囲で変化させた場合の入力インピーダンス Z_{in} の軌跡をスミスチャート上にプロットした図である。なお、図1に示すアンテナを送電アンテナ及び受電アンテナとし、水平方向の位置ずれ量をゼロとすると、結合係数「 $k = 0.030$ 」は、送電・受電アンテナ間のギャップが「 29 cm 」の状態に対応し、結合係数「 $k = 0.12$ 」は、送電・受電アンテナ間のギャップが「 13 cm 」の状態に対応している。

[0036] 送電アンテナ端における入力インピーダンス Z_{in} は、図5に示すように、負荷の値 R_L の値を固定して結合係数 k を変化させると、スミスチャート上の「 $X = 0\ \Omega$ 」（「 X 」は、リアクタンス成分）の軸の付近で大きく水平方向に変化する軌跡を描く。また、その軌跡のスミスチャート上における相対的な位置は、負荷の値 R_L が小さいほど右寄りになり、負荷の値 R_L が大きいほど左寄りになる。従って、負荷の値 R_L が「 $10\ \Omega$ 」のように比較的小さい値の場合には、入力インピーダンス Z_{in} の軌跡は右寄りに位置し（

図5（a）参照）、負荷の値 R_L が「 200Ω 」のように比較的大きい値の場合には、入力インピーダンス Z_{in} の軌跡は左寄りに位置し（図5（c）参照）、負荷の値 R_L が「 50Ω 」などの中間値の場合には、入力インピーダンス Z_{in} の軌跡は左右ほとんど偏らずに分布する。

[0037] 一方、図6に示すように、結合係数 k を固定して負荷の値 R_L を変化させた場合も、入力インピーダンス Z_{in} は、スミスチャート上の「 $X=0\Omega$ 」の軸の付近で大きく水平方向に変化する軌跡を描く。また、その軌跡のスミスチャート上における相対的な位置は、結合係数 k が小さいほど左寄りになり、結合係数 k が大きいほど右寄りになる。従って、結合係数 k が「 0.030 」のように比較的小さい値の場合には、入力インピーダンス Z_{in} の軌跡は右寄りに位置し（図6（a）参照）、結合係数 k が「 0.12 」のように比較的大きい値の場合には、入力インピーダンス Z_{in} の軌跡は左寄りに位置し（図6（c）参照）、結合係数 k が「 0.064 」のように中間値の場合には、入力インピーダンス Z_{in} の軌跡は左右ほとんど偏らずに分布する。

[0038] このように、送電アンテナ端における入力インピーダンス Z_{in} の軌跡は、

- （1）送電アンテナと受電アンテナとの間の結合係数 k
- （2）受電側の負荷の値 R_L

の何れが変化した場合も、スミスチャート上に異なる軌跡を描く。また、これらが変化した場合の入力インピーダンス Z_{in} の軌跡は、スミスチャート上の「 $X=0\Omega$ 」の軸の付近で大きく水平方向に変化する形状を持つ。

[0039] 以上を勘案すると、これら複数の異なるインピーダンス軌跡を描く送電アンテナ端のインピーダンスポイントを、自動的に、かつ高速に送電回路の出力インピーダンス（即ち、整合ポイント）に整合させる処理（「自動整合動作」又は「自動整合処理」とも呼ぶ。）が必要とされる。自動整合動作については、後述する第1実施例及び第2実施例で詳しく説明する。

[0040] 次に、送電アンテナ端の入力インピーダンス Z_{in} を送電回路の出力イン

ピーダンスに整合させることの効果について説明する。図7は、「電源からの供給電力」に対する「送電アンテナに入った電力」の比率（ $1 - |S_{11}|^2$ ：「 S_{11} 」は反射係数に等しく、従って $|S_{11}|^2$ は電源からの供給電力のうち、反射して戻ってくる反射比率に等しい）のグラフを示す。なお、図7では、図4に示すように送電アンテナと受電アンテナとを対向させ、送電アンテナ及び受電アンテナに図1に示したアンテナを使用し、負荷の値 R_L を「 50Ω 」とし、結合係数 k を0.1、即ち、位置ずれ無しでギャップが「 15 cm 」に対応する値としている。

[0041] 図7では、駆動周波数 12.947 MHz における上述の比率は、89.4%である。このとき、駆動周波数 12.947 MHz における送電アンテナ端での入力インピーダンス Z_{in} は「 $97.86 - 3.98j (\Omega)$ 」となっている。従って、この場合、入力インピーダンス Z_{in} は送電回路の出力インピーダンスに相当する「 50Ω 」となっていないため、10%ほどの不整合損が発生している。

[0042] 図8は、送電アンテナ端での入力インピーダンス Z_{in} を「 50Ω 」に整合させるための整合回路を示す。また、図9は、図8の整合回路を追加した状態での電源からの供給電力に対する送電アンテナに入った電力の比率のグラフを示す。図9に示すように、図8の整合回路を追加した状態では、駆動周波数「 12.947 MHz 」における上述の比率は100%となる。この場合、送電アンテナ端の入力インピーダンス Z_{in} は、送電回路の出力インピーダンスに整合されており、不整合損が発生していない。

[0043] ここで、整合後に負荷の値 R_L が変化した場合の影響について説明する。図10(a)は、図9に示す整合状態から結合係数 k が「0.1」のままで負荷の値 R_L が「 10Ω 」に低下した場合での、電源からの供給電力に対する送電アンテナに入った電力の比率を示し、図10(b)は、図9に示す整合状態から結合係数 k が「0.1」のままで負荷の値 R_L が「 200Ω 」に増加した場合での、電源からの供給電力に対する送電アンテナに入った電力の比率を示す。このように整合状態から負荷の値 R_L が変化した場合、駆動

周波数「12.947MHz」における比率 $(1 - |S_{11}|^2)$ は、図10(a)の場合では58.7%に低下し、図10(b)の場合では65.7%に低下している。

[0044] 次に、整合後に結合係数 k の値が変化した場合の影響について説明する。

図11(a)は、図9に示す整合状態から負荷の値 R_L を「50Ω」のままで結合係数 k が「0.05」に低下した場合での、電源からの供給電力に対する送電アンテナに入った電力の比率を示し、図11(b)は、図9に示す整合状態から負荷の値 R_L を「50Ω」のままで結合係数 k が「0.15」に増加した場合での、電源からの供給電力に対する送電アンテナに入った電力の比率を示す。このように整合状態から結合係数 k が変化した場合、駆動周波数「12.947MHz」における比率 $(1 - |S_{11}|^2)$ は、図11(a)の場合では65.1%に低下し、図11(b)の場合では85.4%に低下している。

[0045] このように、送電アンテナ端における入力インピーダンス Z_{in} は、所定の

- (1) 送電・受電アンテナ間の結合係数 k
- (2) 受電側の負荷の値 R_L

に対して最適となる整合回路を送電回路と送電アンテナとの間に追加したとしても、その後、負荷の値 R_L が何らかの理由によって変動したり、送電・受電アンテナ間のギャップが変化して結合係数 k が変化したりする場合には、整合ポイントからずれる。その結果、送電回路から送電アンテナに電力を供給する際の反射損が大きくなり、伝送効率の悪化が生じてしまう。

[0046] 以上を勘案すると、一度ある条件で整合を取った後に、負荷の値 R_L が変動した場合や、送電・受電アンテナ間の結合係数 k が変化した場合で整合がずれたとしても、そのずれを出来るだけ早く検出し、整合回路に設定した定数を適切に変更する等して、常に高速に整合状態を追従し続ける処理（「整合追従動作」又は「整合追従処理」とも呼ぶ。）が必要となる。整合追従動作の具体的内容については、後述する第1実施例及び第2実施例で詳しく説

明する。

[0047] ここで、上述の条件を満たす電力伝送システムの応用例について説明する。電磁共鳴方式によるワイヤレス電力伝送方式の有力なアプリケーションの一つとして、電気自動車への非接触充電が考えられている。電気自動車のバッテリーへの充電においては、定電流モードによる充電と定電圧モードによる充電を時系列で変更したり、バッテリーの蓄電量によって負荷としての値が変わったり等、負荷変動を想定する必要がある。また、走行時の給電など、送電・受電アンテナ間のギャップ、位置ずれ量が時間と共に連続的に変化する場合も想定される。これらの場合に対して、常に高速に整合追従する電力伝送システムを提供することにより、高効率な非接触充電システムを実現することが可能である。

[0048] <第1実施例>

次に、本発明に好適な第1実施例について説明する。第1実施例では、負荷の値 R_L が変化せず、送電アンテナ及び受電アンテナ間の結合状態（結合係数 k ）が変化する場合について説明する。概略的には、電力伝送システムは、負荷の値 R_L 及び送電アンテナ端の入力インピーダンス Z_{in} を推定し、これらの推定値に基づき、所定のテーブル（「整合補正量テーブル」とも呼ぶ。）を参照して、使用すべき整合回路及び当該整合回路へ適用する制御値を決定する。これにより、電力伝送システムは、送電アンテナの入力インピーダンス Z_{in} を、送電回路の出力インピーダンスと整合させる。また、電力伝送システムは、一度整合状態になった後に整合状態を維持し続ける整合追従動作を行うことで、整合状態を保つ。

[0049] [概略構成]

図12は、第1実施例に係る電力伝送システムの概略構成図である。図12に示すように、電力伝送システムは、送電回路2及び送電アンテナ3を有する送電側装置1と、受電アンテナ5及び負荷6を有する受電側装置4とを備える。

[0050] 送電回路2は、電源20と増幅部21とを備える。増幅部21は、電源2

0から伝送する電力の大きさを調整すると共に、電源20から電力を伝送する際の開始動作及び停止動作などを制御する制御回路として機能する。

[0051] 第1形式の整合回路11は、送電回路2と送電アンテナ3との間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、送電アンテナ3側の端に並列に接続される可変キャパシタ要素とを備える。第2形式の整合回路12は、送電回路2と送電アンテナ3との間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、送電回路2側の端に並列に接続される可変キャパシタ要素とを備える。以後では、第1形式の整合回路11及び第2形式の整合回路12を、単に「整合回路」とも総称する。

[0052] 記憶部25は、第1形式の整合回路11又は第2形式の整合回路12のいずれの整合回路を使用すべきかを示すフラグ情報「I f」及び当該整合回路に適用すべき制御値「T c」を定めた整合補正量テーブルを、負荷の値ごとに複数記憶する。ここで、整合補正量テーブルの各行には、通し番号であるインデックス（「インデックス I d x」とも呼ぶ。）が付され、対応する結合係数kの小さい順に制御値T cが規定されている。整合補正量テーブルの具体例については、図13を用いて後述する。なお、制御値T cは、第1形式又は第2形式の整合回路11、12に設定するインダクタンス値（「インダクタンス値L」とも呼ぶ。）及びキャパシタンス値（「キャパシタンス値C」とも呼ぶ。）を指す。制御値T cは、後述するように、電磁界共振結合方式の送電アンテナ3及び受電アンテナ5を対向させてこれらのギャップを変更した際の、送電回路2から送電アンテナ3側を見た時の入力インピーダンス Z_{in} の変化の軌跡に基づいて設定される。

[0053] スイッチ部13、14は、第1形式の整合回路11又は第2形式の整合回路12若しくは電線のみからなるスルー回路30のいずれかを、送電回路2及び送電アンテナ3と電氣的に接続させる。

[0054] 負荷推定部7は、電流値検出部71と、電圧値検出部72と、負荷値算出部73と、制御通信部74、75とを有し、定格電力（即ち、本来伝送したい電力）の伝送に先立ち、受電側装置4の負荷6の値 R_L の推定値（「推定

負荷値 R_{Le} 」とも呼ぶ。)を算出する処理を行う。具体的には、定格電力の伝送の前に、送電アンテナ 3 が微小な電力を伝送すると、電流値検出部 7 1 は、負荷 6 に流れる電流を検出し、検出した電流値(「検出電流値 I_e 」とも呼ぶ。)を負荷値算出部 7 3 に供給する。また、電圧値検出部 7 2 は、負荷 6 に掛かる電圧値を検出し、検出した電圧値(「検出電圧値 V_e 」とも呼ぶ。)を負荷値算出部 7 3 に供給する。そして、負荷値算出部 7 3 は、電流値検出部 7 1 から供給された検出電流値 I_e と、電圧値検出部 7 2 から供給された検出電圧値 V_e とに基づき、推定負荷値 R_{Le} を算出する。具体的には、負荷値算出部 7 3 は、検出電圧値 V_e を検出電流値 I_e で除することで算出したインピーダンス値を推定負荷値 R_{Le} とする。そして、受電側装置 4 内の制御通信部 7 4 は、負荷値算出部 7 3 が算出した推定負荷値 R_{Le} を、電力伝送の無線部とは独立して用意される制御用無線通信を介して送電側装置 1 内の制御通信部 7 5 に伝送する。その後、推定負荷値 R_{Le} は、テーブル選択部 2 7 に供給される。

[0055] テーブル選択部 2 7 は、記憶部 2 5 により負荷の値ごとに記憶された複数の整合補正量テーブルの中から、供給された推定負荷値 R_{Le} と最も近い負荷の値に対応する整合補正量テーブルを選択する。整合補正量テーブルの内容については後述する。

[0056] 進行波・反射波抽出部 1 5、位相差算出・判定部 1 6、及び反射係数算出部 1 7 は、同じく定格電力の伝送に先立って送電アンテナ 3 から微小な電力が伝送された場合に、現在の負荷 6 の値 R_L に対応する送電アンテナ端での入力インピーダンス Z_{in} を算出するための処理を行う。具体的には、進行波・反射波抽出部 1 5 は、送電回路 2 から出力された信号に対応する進行波電圧「 V_f 」($V_f = |V_f| \exp(j\theta_1)$: 「 θ_1 」は V_f の位相)と、インピーダンスの不整合によって送電アンテナ 3 から反射されて戻ってくる信号に対応する反射波電圧「 V_r 」($V_r = |V_r| \exp(j\theta_2)$: 「 θ_2 」は V_r の位相)とを分離して取り出す。進行波・反射波抽出部 1 5 は、好適には、方向性結合器である。反射係数算出部 1 7 は、進行波電圧

V_fの振幅値 | V_f | と反射波電圧 V_rの振幅値 | V_r | を用いて反射係数「Γ」の絶対値（大きさ） | Γ | を、

[0057] [数1]

$$|\Gamma| = \frac{|V_r|}{|V_f|} \quad \text{式(1)}$$

により算出する。位相差算出・判定部 16 は、進行波電圧 V_f の位相 θ₁ と反射波電圧 V_r の位相 θ₂ との位相差「θ」を、

[0058] [数2]

$$\theta = \theta_2 - \theta_1 \quad \text{式(2)}$$

のように算出する。そして、位相差算出・判定部 16 又は反射係数算出部 17 は、これらの結果から送電アンテナ端の入力インピーダンス Z_{in} に対応する複素反射係数 Γ（Γ = | Γ | exp（j θ））を求め、その値を下式（3）によって変換して入力インピーダンス Z_{in} を算出する。ここで、「Z₀」は、整合目標のインピーダンスを表す。

[0059] [数3]

$$Z_{in} = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} Z_0 \quad \text{式(3)}$$

読出し位置決定部 24 は、テーブル選択部 27 によって選択された整合補正值テーブルを参照し、算出された入力インピーダンス Z_{in} に最も近いインピーダンス値を有する整合補正值テーブルの行から、使用すべき整合回路を示すフラグ情報 I_f 及び当該整合回路に適用すべき制御値 T_c を読出す。そして、整合回路選択部 23 は、読出し位置決定部 24 から供給されるフラグ情報 I_f に基づき、第 1 形式の整合回路 11 又は第 2 形式の整合回路 12 若しくは電線のみからなるスルー回路 30 のいずれかが送電回路 2 及び送電アンテナ 3 と電氣的に接続されるようにスイッチ部 13、14 を制御する。制御値出力部 26 は、整合回路選択部 23 によって選択された第 1 形式の整合回路 11 又は第 2 形式の整合回路 12 に、読出し位置決定部 24 によって

読出された制御値 T_c を反映させる。

[0060] ここで、読出し位置決定部 24、整合回路選択部 23、及び制御値出力部 26 が実行する処理について具体例を用いて説明する。図 13 は、負荷の値が「 50Ω 」の場合に相当する整合補正值テーブルの一例を示す。この整合補正テーブルは、送電アンテナ 3 及び受電アンテナ 5 間の結合係数 k が「 $0.01 \sim 0.3$ 」の範囲における入力インピーダンス Z_{in} を「 50Ω 」に整合させるために必要なキャパシタンス値「 C 」及びインダクタンス値「 L 」と、使用すべき整合回路を示すフラグ情報 I_f とを有する。ここでは、フラグ情報 I_f が「1」の場合には、フラグ情報 I_f は第 1 形式の整合回路 11 を使用すべき旨を示し、フラグ情報 I_f が「2」の場合には、フラグ情報 I_f は第 2 形式の整合回路 12 を使用すべき旨を示す。

[0061] 例えば、読出し位置決定部 24 に入力された入力インピーダンス Z_{in} が「 $27 + j0\Omega$ 」であったとする。この場合、読出し位置決定部 24 は、整合補正值テーブルに記憶された「 R_i 」及び「 X_i 」（「 i 」はインデックス idx とする）と、算出した入力インピーダンス Z_{in} の実部「 R 」と虚部「 X 」とを用いて、「 $(R - R_i)^2 + (X - X_i)^2$ 」が最小となるインデックス idx を有する行を選択する。その結果、図 13 に示すように、インデックス idx が「5」、実部 R_i が「 25.248Ω 」、虚部 X_i が「 0.451Ω 」の行が選択される。そして、読出し位置決定部 24 は、選択した行から、整合回路の形式に関する情報であるフラグ情報 I_f （ここでは「2」）を読出して整合回路選択部 23 に供給し、かつ、キャパシタンス値 C 「 243.431pF 」、インダクタンス値 L 「 301.756nH 」を読出して制御値出力部 26 に供給する。この場合、整合回路選択部 23 は、送電回路 2 と送電アンテナ 3 との間に第 2 形式の整合回路 12 が接続されるようにスイッチ部 13、14 を動作させる。また、制御値出力部 26 は、選択された第 2 形式の整合回路 12 の可変コンデンサ部、可変インダクタ部に、読出し位置決定部 24 から供給されたキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L を設定する。以上のようにして決定された整合回路を図 14 に示す

。

[0062] このように、送電アンテナ端の入力インピーダンス Z_{in} を調べることで、送電側装置 1 は、選択された整合補正量テーブルを参照して、直ちに送電回路 2 及び送電アンテナ 3 間のインピーダンス整合を実行することが出来る。例えば、将来電気自動車が普及して、交差点で停止した時に路面に設置された充電器から電気自動車を充電するような場合を考えると、車が停車してから出来るだけ早く充電動作を開始することが必要となる。その際に、インピーダンスの整合を自動的かつ出来るだけ迅速に済ませることで、定格での電力伝送に迅速に移行することが出来るようになる。

[0063] 次に、初期状態から整合状態となった後の整合追従動作時に処理を行う位相差算出・判定部 16、調整方向決定部 18、及び調整ステップ幅決定部 19 について説明する。なお、これらの詳細な説明は「整合追従動作」のセクションで後述する。

[0064] 位相差算出・判定部 16 は、初期状態から整合状態となった後に、進行波電圧 V_f と反射波電圧 V_r との位相関係を特定する。そして、調整方向決定部 18 は、位相差算出・判定部 16 が特定した進行波電圧 V_f と反射波電圧 V_r の位相関係に基づき、直前に使用した整合補正量テーブルの行（インデックス I_{dx} ）を基準として、次に制御値 T_c 等を読み出す行の方向を決定する。

[0065] 調整ステップ幅決定部 19 は、初期状態から整合状態となった後に、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ に基づき、使用する制御値 T_c を現在の制御値 T_c から変更する必要があるか否かの判断をすると共に、新たな制御値 T_c を読み出す場合の整合補正テーブル中のインデックス I_{dx} のステップ（移動）幅（「ステップ幅 W_{idx} 」と呼ぶ。）を決定する。

[0066] そして、読み出し位置決定部 24 は、調整方向決定部 18 が決定した読み出し方向及びステップ幅 W_{idx} に基づき、制御値 T_c を読み出す整合補正量テーブルの行を決定する。

[0067] [整合補正量テーブル]

次に、記憶部 25 が記憶する整合補正量テーブルについて具体的に説明する。本実施例で使用する整合補正量テーブルは、図 5、図 6 に示した送電アンテナ端での入力インピーダンス Z_{in} の変化の軌跡に基づいて設定することを特徴とする。なお図 5 は、負荷 6 の値をある値に固定した上で送電・受電アンテナ間の結合状態（即ち、結合係数 k ）を変化させた時の入力インピーダンス Z_{in} の軌跡を示している。一方、図 6 は、送電・受電アンテナ間の結合状態をある値に固定した上で受電側装置 4 の負荷 6 の値 R_L を変化させた時の入力インピーダンス Z_{in} の軌跡を示している。第 1 実施例では、負荷 6 の値 R_L は固定で送電アンテナ 3 及び受電アンテナ 5 間の結合状態を変化させた時の動作について説明しているので、以下では図 5 に示した軌跡を基にして整合補正量テーブルを構成する場合について説明する。

[0068] 図 5 に示すように、送電アンテナ端での入力インピーダンス Z_{in} は、負荷 6 の値 R_L を固定して結合係数 k を変化させると、スミスチャート上の「 $X = 0 \Omega$ 」の軸の付近で大きく水平方向に変化する軌跡を描く。また、上述したように、その軌跡のスミスチャート上における相対的な位置は、負荷 6 の値 R_L が小さいと（例えば $R_L = 10 \Omega$ の場合）右寄りに、負荷 6 の値 R_L が大きいと（例えば $R_L = 200 \Omega$ の場合）左寄りに、負荷 6 の値 R_L がこれらの中間値であると（例えば $R_L = 50 \Omega$ の場合）左右殆ど偏らずに分布するという傾向がある。

[0069] なお、第 2 実施例の説明で用いる図 6 では、入力インピーダンス Z_{in} の軌跡上のポイントがスミスチャートの右側に寄るほど送電アンテナ 3 と受電アンテナ 5 との結合が強まっている（例えば、送電・受電アンテナ間のギャップが小さくなる）ことに対応し、逆に左側に寄るほどこれらの結合が弱まっている（例えば、ギャップが大きくなる）ことに対応している。

[0070] 図 5 に示すように、想定する負荷 6 の値 R_L が違ってても、送電アンテナ 3 と受電アンテナ 5 との結合係数 k が変わったときの送電アンテナ端における入力インピーダンス Z_{in} の変化の軌跡はスミスチャート上の「 $X = 0 \Omega$ 」の軸の付近で大きく水平方向に変化するという共通の形状を示す。以上を勘

案し、そのインピーダンス軌跡上の任意のポイントを整合させるためには、図 1 5 に示すようにスミスチャートを大きく「領域 A」及び「領域 B」の 2 つの領域に分け、それぞれの領域に適した整合回路を用いるようにすれば良い。

[0071] 図 1 6 に、領域 A または領域 B に存在するインピーダンス軌跡上の各ポイントから整合ポイント「P」まで遷移させる例を示す。図 1 6 (a) に示すように、領域 A に含まれるインピーダンス軌跡上のポイントの場合は、まず送電アンテナ 3 に並列に接続した可変コンデンサの値を補正量「A 1」だけ増やして点「R」まで移動させ、次に送電回路 2 と送電アンテナ 3 との間に直列に接続した可変インダクタの値を補正量「A 2」だけ増やして、整合ポイント P まで移動させれば良い。また、図 1 6 (b) に示すように、領域 B に含まれるインピーダンス軌跡上のポイントの場合は、まず送電回路 2 と送電アンテナ 3 との間に直列に接続した可変インダクタの値を補正量「B 1」だけ増やして点「Q」まで移動させ、次に送電回路 2 側に並列に接続した可変コンデンサの値を補正量「B 2」だけ増やして、整合ポイント P まで移動させれば良い。

[0072] 以上より、領域 A にあるインピーダンス軌跡上のポイントを整合させるための整合回路は図 1 7 (a)、領域 B にあるインピーダンス軌跡上のポイントを整合させるための整合回路は図 1 7 (b) のように表される。本実施例では、図 1 7 (a) に示す回路が第 1 形式の整合回路 1 1 に相当し、図 1 7 (b) に示す回路が第 2 形式の整合回路 1 2 に相当する。整合回路としては、この 2 種類のパターンを用意しておけばよい。

[0073] 従って、送電側装置 1 は、領域 A にあるインピーダンス軌跡上のポイントを図 1 7 (a) に相当する第 1 形式の整合回路 1 1 を用いて整合させるために必要な補正量 A 1、A 2、及び、領域 B にあるインピーダンス軌跡上のポイントを図 1 7 (b) に相当する第 2 形式の整合回路 1 2 を用いて整合させるために必要な補正量 B 1、B 2 を、予め理論計算または測定等の手段によって求めておき、それらの値を例えばインピーダンス値と対応させたルック

アップテーブルを、整合補正量テーブルとして記憶部 25 に記憶しておく。このようにしておくことで、送電側装置 1 は、送電アンテナ端のインピーダンス Z_{in} を求めることにより整合のために必要な補正量を一回で求めることが出来る。

[0074] 図 18 (a)、(b) に、理論計算によって上述の補正量を求める方法を概略的に示した図である。図 18 (a) はインピーダンス軌跡上のポイントが領域 A にある場合に対応し、図 18 (b) はインピーダンス軌跡上のポイントが領域 B にある場合に対応する。

[0075] 図 18 (a) では、所定のインピーダンス軌跡上のポイント「 Z_{in} 」を時計回りに回転させて「 $r = 1$ 」の等レジスタンス円との交点「A」を求め、そこまで移動させるために必要な補正量「 Δb 」を求める。次に、点 A を「 $r = 1$ 」の等レジスタンス円に沿って回転させて整合ポイントまで移動させるために必要な補正量「 Δx 」を求める。この補正量 Δb 及び補正量 Δx が、図 16 (a) における補正量 A 1、A 2 にそれぞれ対応する。この補正量 A 1、A 2 に基づき、制御値 T_c として用いるキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L が一意に定まる。

[0076] 図 18 (b) では、インピーダンスポイント Z_{in} を時計回りに回転させて「 $g = 1$ 」の等コンダクタンス円との交点「D」を求め、そこまで移動させるために必要な補正量「 Δx 」を求める。次に、点 D を「 $g = 1$ 」の等コンダクタンス円に沿って回転させて整合ポイントまで移動させるために必要な補正量「 Δb 」を求める。この補正量 Δx 及び補正量 Δb が、図 16 (b) における補正量 B 1、B 2 にそれぞれ対応する。そして、補正量 B 1、B 2 に基づき、制御値 T_c として用いるキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L が一意に定まる。

[0077] また、入力インピーダンス軌跡上のインピーダンスポイント Z_{in} は、以下の式 (4) に示すように、領域 A のみを考えた場合と領域 B のみを考えた場合とでは、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ と一対一に対応する。

[0078]

[数4]

$$|\Gamma| = \left| \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \right| \quad \text{式(4)}$$

従って、入力インピーダンス軌跡上の各インピーダンスポイント Z_{in} を式(4)に従って反射係数絶対値 $|\Gamma|$ に変換し、その各々の値に対して、予め理論計算により求めたキャパシタンス値 C 、インダクタンス値 L の値の組を対応させた整合補正量テーブルを予め作成しておく。

[0079] また、整合補正量テーブルの作成する際、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ に対応するキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L を、アプリケーションで必要な分解能で量子化する。ここで、「量子化」とは、ある範囲の反射係数絶対値 $|\Gamma|$ に対し、同じインダクタンス値 L 及びキャパシタンス値 C が使用される反射係数絶対値 $|\Gamma|$ の範囲（値域）を区切ること、及び、区切られた反射係数絶対値 $|\Gamma|$ の各値域で使用するインダクタンス値 L 及びキャパシタンス値 C の代表値（「量子化代表値」とも呼ぶ。）を決めることを指す。以後では、上述の反射係数絶対値 $|\Gamma|$ の各範囲（値域）の境界を「量子化境界」と呼ぶ。量子化は反復処理を用いて実行される。

[0080] 具体的には、量子化は、量子化境界付近においても反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が予め設定された閾値「 $|\Gamma|_{thr}$ 」以下となるように、量子化境界と量子化代表値を交互に求めることで実行される。ここで、閾値 $|\Gamma|_{thr}$ は、好適には、反射による損失を 0.5% に抑えることができる値、即ち他に損失を生じる部分が無ければ効率 99.5% を達成できる値に相当する 0.0707 に設定されるとよい。このように量子化して、整合補正量テーブルに記憶させるキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L を定めた場合、キャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が大きくなるほど、これらの量子化間隔が小さくように量子化されることになる。このようにキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L を量子化した整合補正量テーブルを参照して整合回路を設定することで、送電側装置 1 は、入力インピーダンス Z_{in} の値によらず、整合後の反射による損失を、常に所定

の閾値以下にすることができる。

[0081] 図19(a)～(c)に、負荷6の値 R_L を「 10Ω 」、「 50Ω 」、「 200Ω 」として、本実施例の送電アンテナ3及び受電アンテナ5（インダクタンス $L=8.64\mu\text{H}$ 、コンデンサ $C=17.49\text{pF}$ 、損失抵抗 $R=1.0\Omega$ 、並列コンデンサ $C_t=10.08\text{pF}$ ）を対向させ、結合係数 k を「 0.01 」から「 0.3 」まで変化させた場合に求めた整合補正量テーブルを示す。なお、これらのテーブルでは、整合回路のキャパシタンス値 C 、インダクタンス値 L に加えて、整合回路の形式を指定するフラグ情報 I_f が合わせて記憶させている。また、インデックス I_{dx} は、通し番号であり、かつ、結合係数 k が大きい行ほど、大きいインデックス I_{dx} が割り振られている。そして、記憶部25は、このようにして作成された負荷6の値 R_L ごとの整合補正量テーブル群を記憶する。

[0082] このような構成の整合補正量テーブルを記憶部25に記憶しておくことで、送電側装置1は、推定負荷値 R_{Le} に基づき、どの整合補正量テーブルを使用するかを決定でき、さらに送電アンテナ端での入力インピーダンス Z_{in} に基づき、選択した整合補正量テーブルを参照して使用すべき整合回路及び当該整合回路に設定する制御値 T_c を一回の動作で決定することが出来る。

[0083] [自動整合動作による効果]

以下では、自動整合動作の効果について例を挙げて説明する。

[0084] 図20(a)、(b)は、負荷6の値 R_L が「 10Ω 」の場合に、図19(a)に示す整合補正量テーブルを使用して、インピーダンス整合処理を実施した場合の反射損低減の一例である。図20(a)は、送電アンテナ3と受電アンテナ5との結合係数 k が「 0.064 」の場合（ギャップ 20cm 、水平方向の位置ずれ 0cm ）を示し、図20(b)は、結合係数 k が「 0.021 」（ギャップ 35cm 、位置ずれ 0cm ）の場合について示す。

[0085] ここで、図20(a)の場合では、送電アンテナ端の入力インピーダンス Z_{in} は、「 $181.1-j26.1\Omega$ 」となる。従って、図19(a)に

示す整合補正量テーブルで最もこれに近いインピーダンス値を有する行を探索すると、インデックス idx が「6」の行が選ばれる。この行の整合回路の形式を示すフラグ情報 lf は「1」、キャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L はそれぞれ「93.2 pF」、「1136.6 nH」となっている。図20(a)に示すように、整合回路を追加しない場合（グラフG2参照）と、第1形式の整合回路11を選択してキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L を上述のように設定した場合（グラフG1参照）とで、駆動周波数「12.947 MHz」での「 $1 - |S_{11}|^2$ 」の値を比較すると、それぞれ67.0%、99.2%である。従って、整合回路を追加することにより32.2%改善、即ち反射損を低減出来た。

[0086] 次に、図20(b)の場合では、送電アンテナ端の入力インピーダンス Z_{in} は、「20.8 - j 0.2 Ω 」となる。従って、図19(a)に示す整合補正量テーブルで最もこれに近いインピーダンス値を示す行を探索すると、インデックス idx が「3」の行が選ばれる。この行の整合回路の形式を示すフラグ情報 lf は「2」、キャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L はそれぞれ「314.6 pF」、「300.2 nH」となる。図20(b)に示すように、整合回路を追加しない場合（グラフG4参照）と、第2形式の整合回路12を選択してキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L を上述のように設定した場合（グラフG3参照）とで、駆動周波数12.947 MHzでの「 $1 - |S_{11}|^2$ 」の値を比較すると、それぞれ83.0%、99.8%である。従って、整合回路を追加することにより16.8%改善、即ち反射損を低減出来た。

[0087] このように、第1実施例の送電側装置1は、記憶部25に受信側装置4の負荷6の値 R_L ごとの整合補正量テーブルを記憶しておくことにより、推定負荷値 R_{Le} を求めて使用する整合補正量テーブルを選択し、続いて送電アンテナ端の入力インピーダンス Z_{in} を求めれば、一回の動作で適切な整合回路を自動的かつ高速に構成することが可能である。

[0088] [整合追従動作]

次に、第1実施例に係る整合追従動作について説明する。この動作は、一度インピーダンス整合を取った後に、整合状態を維持し続けるための動作である。

[0089] まず、整合追従動作の必要性等について説明する。送電アンテナ3及び受電アンテナ5を対向させて定格の電力伝送を行うために、自動整合動作を行い（一般にこの動作は出力を絞った状態で行われる）、受電側装置4の負荷6の値 R_L 及び送電アンテナ3と受電アンテナ5との間の結合状態によって決まる入力インピーダンス Z_{in} に対して最適な整合回路が構成されたとする。この場合、送電回路2は、定格での電力伝送に移行する。しかし、整合が取れた状態で電力伝送を行っている最中に送電側装置1と受電側装置4との相対的な位置関係が変化したとする。なお、電気自動車など移動中の物体に電力伝送を行おうとする場合にこのような状況が発生し得る。そして、送電側装置1と受電側装置4との相対的な位置関係が変化すると、送電アンテナ端での入力インピーダンス Z_{in} が先ほど自動整合動作で整合を取ったときの値と異なってしまい、整合が再びずれてしまう。この場合、整合状態からずれたことを出来るだけ早く検出し、変化した入力インピーダンス Z_{in} に対して再び整合させる処理が必要である。以上を勘案し、第1実施例の整合追従動作は、送電アンテナ3及び受電アンテナ5間の結合状態の変化に追従し、整合回路の形式及び整合回路に適用する制御値 T_c を適切に設定することで、整合状態を維持し続けるものである。

[0090] 次に、整合追従動作の処理について説明する。整合追従動作も、自動整合動作で使用した送電アンテナ3と受電アンテナ5との結合状態（ギャップなど）を変化させたときの送電アンテナ端の入力インピーダンス軌跡（図5参照）を使用する。図5に示した入力インピーダンス軌跡は、受電側装置4の負荷6の値 R_L を固定した上で結合状態を変化させて求めたものであり、第1実施例ではこのインピーダンス軌跡を用いる。

[0091] 受電側装置4の負荷6の値 R_L は変化しないとすると、送電アンテナ端での入力インピーダンス Z_{in} は図5に示したインピーダンス軌跡上に存在す

る。このインピーダンス軌跡上にある任意のインピーダンスポイントを整合させるために必要な整合回路の形式及び当該整合回路に適用する制御値 T_c は、図 19 に例示するような負荷の値ごとに生成された整合補正量テーブルに記憶されている。従って、一度整合状態となった後に行う整合追従動作では、送電側装置 1 は、自動整合動作で用いた整合補正量テーブルを引き続き参照して、適用すべき整合補正量テーブルの行（即ち、インデックス Idx ）を変更すればよい。

[0092] 以上を勘案し、整合追従動作では、送電側装置 1 は、あるインピーダンス値に対する整合状態からずれた状態が、図 5 に示すインピーダンス軌跡上の左右どちら側にずれたのか（左側は結合が弱まる方向、右側は強まる方向）、換言すると、現在使用している整合補正量テーブルの行から上下どちら側にずれたのか（上側は結合が弱まる方向、下側は強まる方向）を検出して、適切な方向へ整合回路の構成を変更する。なお、上述したように、記憶部 25 が記憶する整合補正量テーブルでは、図 19 に示すように、インデックス Idx は、通し番号であり、かつ、結合係数 k が大きい行ほど、大きいインデックス Idx が割り振られている。

[0093] （読出し方向決定方法）

以下では、整合状態からのずれが、結合が強まる方向又は結合が弱まる方向のいずれの方向に生じているのかを判断する方法を説明する。この処理は、位相差算出・判定部 16 及び調整方向決定部 18 により実行される。

[0094] まず、図 21 (a) ~ (c) に、結合が強くなる方向にずれる場合の進行波電圧波形及び反射波電圧波形の関係について示す。

[0095] 具体的には、図 21 (a) は、負荷 6 の値 R_L が「 10Ω 」の場合において、送電アンテナ 3 及び受電アンテナ 5 間の結合係数 k が「 0.064 」の状態では整合を取った後、結合係数 k を「 0.08 」、「 0.12 」、「 0.2 」のように順次強めた場合における進行波電圧波形及び反射波電圧波形を示す。

[0096] 図 21 (b) は、負荷 6 の値 R_L が「 50Ω 」の場合において、送電アン

テナ 3 及び受電アンテナ 5 間の結合係数 k が「0.064」の状態では整合を取った後、結合係数 k を「0.08」、「0.12」、「0.2」のように順次強めた場合における進行波電圧波形及び反射波電圧波形を示す。

[0097] 図 21 (c) は、負荷 6 の値 R_L が「200 Ω 」の場合において、送電アンテナ 3 及び受電アンテナ 5 間の結合係数 k が「0.064」の状態では整合を取った後、結合係数 k を「0.08」、「0.12」、「0.2」のように順次強めた場合における進行波電圧波形及び反射波電圧波形を示す。

[0098] 次に、図 22 (a) ~ (c) に、結合が弱くなる方向にずれる場合の進行波電圧波形及び反射波電圧波形の関係について示す。

[0099] 具体的には、図 22 (a) は、負荷 6 の値 R_L が「10 Ω 」の場合において、送電アンテナ 3 及び受電アンテナ 5 間の結合係数 k が「0.064」の状態では整合を取った後、結合係数 k を「0.055」、「0.04」、「0.02」のように順次弱めた場合における進行波電圧波形及び反射波電圧波形を示す。

[0100] 図 22 (b) は、負荷 6 の値 R_L が「50 Ω 」の場合において、送電アンテナ 3 及び受電アンテナ 5 間の結合係数 k が「0.064」の状態では整合を取った後、結合係数 k を「0.055」、「0.04」、「0.02」のように順次弱めた場合における進行波電圧波形及び反射波電圧波形を示す。

[0101] 図 22 (c) は、負荷 6 の値 R_L が「200 Ω 」の場合において、送電アンテナ 3 及び受電アンテナ 5 間の結合係数 k が「0.064」の状態では整合を取った後、結合係数 k を「0.055」、「0.04」、「0.02」のように順次弱めた場合における進行波電圧波形及び反射波電圧波形を示す。

[0102] 図 21 (a) ~ (c) に示したように、一度整合を取った後に結合が強くなる方向に送電アンテナ 3 と受電アンテナ 5 との相対的位置関係がずれる場合には、進行波電圧 V_f の位相に対して反射波電圧 V_r の位相の方が遅れていることが分かる。一方、図 22 (a) ~ (c) に示したように、一度整合を取った後に結合が弱くなる方向にずれる場合には、進行波電圧 V_f の位相に対して反射波電圧 V_r の位相の方が進んでいることが分かる。また、位相

に関するこれらの関係は、何れの負荷 R_L の値でも成立している。

[0103] 以上を勘案し、送電側装置 1 は、一度整合を取った後は進行波電圧 V_f と反射波電圧 V_r との位相関係を継続的に監視し続け、進行波電圧 V_f の位相に対して反射波電圧 V_r の位相が遅れている場合は、送電アンテナ 3 と受電アンテナ 5 との間の結合が強まっていると判断する。そして、この場合、送電側装置 1 は、整合補正量テーブルにおいても結合係数 k が大きくなる方向、即ち整合補正量テーブル内の現在の行よりも下の方向（インデックス idx が大きくなる方向）に存在する行を参照し、当該行のフラグ情報 lf が示す整合回路に、当該行の制御値 T_c を設定する。

[0104] 一方、送電側装置 1 は、進行波電圧 V_f の位相に対して反射波電圧 V_r の位相が進んでいる場合は、送電アンテナ 3 及び受電アンテナ 5 間の結合が弱まっていると判断する。そして、この場合、送電側装置 1 は、整合補正值テーブルで結合係数 k が小さくなる方向、即ち整合補正量テーブル内の現在の行よりも上の方向（インデックス idx が小さくなる方向）に存在する行を参照し、当該行のフラグ情報 lf が示す整合回路に、当該行の制御値 T_c を設定する。

[0105] このような処理を行うことで、送電側装置 1 は、送電アンテナ 3 及び受電アンテナ 5 間の結合状態が変化して送電アンテナ端での入力インピーダンス Z_{in} が変化しても、整合状態を維持し続けることが出来る。好適には、送電側装置 1 は、一度整合を取った後に反射係数絶対値 $|\Gamma|$ を常時監視し、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ がシステムの仕様として設定される所定の閾値 $|\Gamma|_{thr}$ 以下の場合は、上述の整合追従動作を行わず、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が閾値 $|\Gamma|_{thr}$ よりも大きい場合には、進行波電圧 V_f と反射波電圧 V_r の位相関係を特定し、整合補正量テーブルで使用する行を変更して整合回路の構成を変更するようにする。これにより、送電側装置 1 は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ を常に閾値 $|\Gamma|_{thr}$ 以下に保ち、反射による損失を抑制することができる。この具体的な処理手順については、後述の「処理フロー」のセクションで詳しく説明する。

[0106] 次に、図23～図25を参照して、負荷6の値 R_L が「 10Ω 」の場合における整合追従動作の例を説明する。図23～図25は、始めに結合係数 k が「0.064」の場合に、図19(a)のインデックス idx が「6」の行を参照して整合を取った後、結合係数 k が「0.1」と強まる方向に変化することに起因して整合がずれる場合の例を示す。具体的には、図23(a)は、結合係数 k が「0.064」の状態では整合を取った直後の「 $1 - |S_{11}|^2$ 」のグラフを示し、図23(b)は、この場合での駆動周波数における進行波電圧波形及び反射波電圧波形のグラフを示す。また、図24(a)は、整合後に結合係数 k が「0.064」から「0.1」に変化した場合の「 $1 - |S_{11}|^2$ 」のグラフを示し、図24(b)は、この場合での駆動周波数における進行波電圧波形及び反射波電圧波形のグラフを示す。さらに、図25(a)は、整合追従動作の実行後の「 $1 - |S_{11}|^2$ 」のグラフを示し、図25(b)は、この場合での駆動周波数における進行波電圧波形及び反射波電圧波形のグラフを示す。

[0107] 図23(a)、(b)に示すように、初期状態から自動整合動作を行った直後では、駆動周波数「 12.947MHz 」において、ほぼ100%の電力が送電アンテナ3に入力され反射波のレベルも低いことが分かる。このとき選択されている整合補正テーブルのインデックス idx は「6」である。そして、図24(a)、(b)に示すように整合回路の構成はそのままでは結合係数 k が「0.1」に変化した場合、整合が再びずれてしまったため反射波のレベルが上昇し、「 $1 - |S_{11}|^2$ 」も低下(88%)している。

[0108] この場合、送電側装置1は、進行波電圧 V_f と反射波電圧 V_r の位相関係に基づき、結合の状態が変わったことを検出する。具体的には、送電側装置1は、進行波電圧 V_f より反射波電圧 V_r の位相が遅れているため結合が強まっていると判断する。従って、この場合、送電側装置1は、整合補正量テーブルで結合が強まる方向にある行、即ち現在のインデックス idx 「6」より大きいインデックス idx 「7」の行に基づき、整合回路の構成を更新する。その結果、図25(a)、(b)に示すように、送電側装置1は、再

び整合が取れた状態に遷移する。

[0109] (ステップ幅決定方法)

次に、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ に基づきステップ幅 W_{idx} を決定する方法について説明する。

[0110] 上述の図23～図25の例では、ステップ幅 W_{idx} は「1」に固定されていた。しかし、反射係数が急激に変化した場合、インデックス idx を一つずつずらして制御値 T_c を更新していたのでは、所望の制御値 T_c に係るインデックス idx に到達するまでにかなり時間が掛かる可能性がある。即ち、移動する物体に対して電磁界共振結合のシステムを用いて電力を供給しようとする場合には、送電アンテナ3及び受電アンテナ5間のギャップの変化や位置ずれが高速かつ大きな変動幅で発生する可能性がある。このような場合には、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ を観測する周期内での上述の変化量がかなり大きくなると予想される。そのような場合に備え、送電側装置1は、好適には、整合状態からの反射係数絶対値 $|\Gamma|$ の変化幅に応じて、ステップ幅 W_{idx} を柔軟に決定する。これにより、送電側装置1は、送電アンテナ3と受電アンテナ5との結合状態の変化が高速に起こるような場合にも迅速に整合できる。

[0111] 具体的には、以下のような基準でステップ幅 W_{idx} を変化させる方法が考えられる。

- ・「 $|\Gamma|$ の変化幅 < 0.15 」の場合、「 $W_{idx} = 1$ 」
- ・「 $|\Gamma|$ の変化幅 < 0.30 」の場合、「 $W_{idx} = 2$ 」
- ・「 $|\Gamma|$ の変化幅 < 0.45 」の場合、「 $W_{idx} = 3$ 」
- ・「 $|\Gamma|$ の変化幅 ≥ 0.45 」の場合、「 $W_{idx} = 4$ 」

このように、送電側装置1は、例えば、各反射係数絶対値 $|\Gamma|$ の変化幅に対応する適切なステップ幅 W_{idx} のテーブルを予め記憶部25に記憶しておく。上述のテーブルは、例えば実験等に基づき予め作成される。そして、送電側装置1は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ の変化幅から、このテーブルを参照してステップ幅 W_{idx} を決定することで、送電アンテナ3と受電アンテナ

ナ5との間の結合状態の変化が高速に起こるような場合にも迅速に整合状態を回復することができる。

[0112] [処理フロー]

次に、第1実施例における処理手順について説明する。以下では、まず、自動整合動作の処理手順について図26～図28の「フロー1」～「フロー3」で説明した後、追従整合動作の処理手順について図29の「フロー4」で説明する。

[0113] (フロー1)

図26は、第1実施例において、送電側装置1が実行する処理手順を示すフローチャートである。送電側装置1は、図26のフロー1の処理を、所定のタイミングで実行する。

[0114] まず、送電側装置1の整合回路選択部23は、スイッチ部13、14をスルー回路30に設定する(ステップS101)。そして、送電側装置1の送電回路2は、定格電力の伝送に先立ち、送電アンテナ3から微小電力を出力する(ステップS102)。

[0115] 次に、送電側装置1は、制御通信部75を介して受電側装置4に負荷6の値 R_L の推定を依頼する旨の信号を送信する(ステップS103)。その後、当該信号を受信した受電側装置4は、後述するフロー2の処理を実行する。そして、送電側装置1は、負荷推定が完了したか否か判定する(ステップS104)。具体的には、送電側装置1は、制御通信部75を介して受電側装置4から推定負荷値 R_{Le} を受信したか否か判定する。そして、負荷推定が完了していない場合には(ステップS104; No)、送電側装置1は、負荷推定が完了したか否か引き続き監視する。一方、負荷推定が完了した場合(ステップS104; Yes)、送電側装置1のテーブル選択部27は、推定負荷値 R_{Le} と最も近い負荷の値に対応した整合補正量テーブルを選択する(ステップS105)。そして、送電側装置1は、後述するフロー3に相当する処理(自動整合処理)を開始する(ステップS106)。

[0116] (フロー2)

図 27 は、第 1 実施例において、受電側装置 4 の負荷推定部 7 が実行する処理手順を示すフローチャートである。負荷推定部 7 は、図 27 のフロー 2 の処理を、図 26 のステップ S 103 で制御通信部 75 から負荷の値の推定を依頼する旨の信号を受信した場合に実行する。

[0117] まず、負荷推定部 7 は、負荷 6 の電圧及び負荷 6 に流れる電流を計測する（ステップ S 201）。具体的には、電流検出部 71 が検出電流値 I_e を検出すると共に、電圧値検出部 72 が検出電圧値 V_e を検出する。そして、負荷推定部 7 は、負荷 6 の値 R_L を推定する（ステップ S 202）。具体的には、負荷推定部 7 の負荷値算出部 73 は、検出電圧値 V_e を検出電流値 I_e で除することで、推定負荷値 R_{Le} を算出する。そして、負荷推定部 7 は、制御通信部 74 を介して推定負荷値 R_{Le} を送電側装置 1 へ送信する（ステップ S 203）。

[0118] （フロー 3）

図 28 は、第 1 実施例において、送電側装置 1 が実行するフロー 3 の処理手順を示すフローチャートである。送電側装置 1 は、図 28 のフロー 3 の処理を、図 26 のフロー 1 でステップ S 106 へ処理を進めた際に実行する。

[0119] まず、送電側装置 1 の整合回路選択部 23 は、スイッチ部 13、14 をスルー回路 30 に接続させ、送電アンテナ 3 から微小電力を出力する（ステップ S 301）。次に、送電側装置 1 の反射係数算出部 17 は、進行波・反射波抽出部 15 で抽出された進行波電圧 V_f 及び反射波電圧 V_r の各々の大きさを計測する（ステップ S 302）。そして、反射係数算出部 17 は、式（1）に従い反射係数絶対値 $|\Gamma|$ を算出する（ステップ S 303）。

[0120] 次に、送電側装置 1 は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が閾値 $|\Gamma|_{thr}$ 以下か否か判定する（ステップ S 304）。そして、送電側装置 1 は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が閾値 $|\Gamma|_{thr}$ 以下であると判断した場合（ステップ S 304；Yes）、既に整合状態にあり整合処理を行う必要がないと判断し、フローチャートの処理を終了する。

[0121] 一方、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が閾値 $|\Gamma|_{thr}$ より大きい場合（ステッ

プS304; No)、ステップS305からステップS312までの処理に相当する整合処理を行う。具体的には、まず、位相差算出・判定部16は、式(2)に示すように、進行波電圧 V_f と反射波電圧 V_r との位相差 θ を計測する(ステップS305)。そして、位相差算出・判定部16又は反射係数算出部17は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ 及び位相差 θ から複素反射係数 Γ を求め(ステップS306)、複素反射係数 Γ を式(3)に基づき入力インピーダンス Z_{in} に変換する(ステップS307)。

[0122] 次に、読出し位置決定部24は、フロー1で選択した整合補正量テーブルから、算出された入力インピーダンス Z_{in} に最も近いインピーダンス値を有する行を探索し、選択する(ステップS308)。そして、読出し位置決定部24は、選択した行のフラグ情報 I_f を整合回路選択部23に供給し、使用する整合回路を決定させる(ステップS309)。また、制御値出力部26は、選択した行のキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L を、使用する制御値 T_c に決定する(ステップS310)。そして、制御値出力部26は、選択された整合回路にキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L を設定する(ステップS311)。そして、整合回路選択部23は、フラグ情報 I_f に基づき使用する整合回路にスイッチ部13、14を接続させる(ステップS312)。

[0123] (フロー4)

図29は、第1実施例において、送電側装置1が実行する処理手順を示すフローチャートである。送電側装置1は、図29のフロー4の処理を、フロー3の実行後に実行する。

[0124] まず、送電側装置1の反射係数算出部17は、進行波・反射波抽出部15で抽出された進行波電圧 V_f 及び反射波電圧 V_r の各々の大きさを計測する(ステップS401)。そして、反射係数算出部17は、式(1)に従い反射係数絶対値 $|\Gamma|$ を算出する(ステップS402)。

[0125] 次に、送電側装置1は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が閾値 $|\Gamma|_{thr}$ 以下か否か判定する(ステップS403)。そして、送電側装置1は、反射係数絶

対値 $|\Gamma|$ が閾値 $|\Gamma|_{thr}$ 以下であると判断した場合（ステップ S 4 0 3 ; Y e s）、既に整合状態にあり整合処理を行う必要がないと判断し、ステップ S 4 0 1 へ処理を戻し、引き続き、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が閾値 $|\Gamma|_{thr}$ 以下であるか監視する。

[0126] 一方、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が閾値 $|\Gamma|_{thr}$ より大きい場合（ステップ S 4 0 3 ; N o）、位相差算出・判定部 1 6 は進行波電圧 V_f と反射波電圧 V_r との位相関係を特定する（ステップ S 4 0 4）。具体的には、位相差算出・判定部 1 6 は、進行波電圧 V_f よりも反射波電圧 V_r が遅れているか否かを判定する（ステップ S 4 0 5）。

[0127] そして、位相差算出・判定部 1 6 は、進行波電圧 V_f よりも反射波電圧 V_r が遅れていると判断した場合（ステップ S 4 0 5 ; Y e s）、送電アンテナ 3 と受電アンテナ 5 との結合が強まる方向に変化していると特定する。そして、この場合、調整方向決定部 1 8 は、整合補正量テーブルの読出し方向を結合が強まる場合に対応する方向に決定する（ステップ S 4 0 6）。即ち、調整方向決定部 1 8 は、図 1 9 に示す整合補正量テーブルでは、インデックス I_{dx} が大きくなる方向に読出し方向を設定する。そして、調整ステップ幅決定部 1 9 は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ に応じて、ステップ幅 W_{idx} を決定する（ステップ S 4 0 7）。例えば、調整ステップ幅決定部 1 9 は、結合が強まる場合に対応した所定の比率（比例定数）に基づき、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ からステップ幅 W_{idx} を定める。

[0128] 一方、位相差算出・判定部 1 6 は、進行波電圧 V_f よりも反射波電圧 V_r が進んでいると判断した場合（ステップ S 4 0 5 ; N o）、送電アンテナ 3 と受電アンテナ 5 との結合が弱まる方向に変化していると特定する。そして、この場合、調整方向決定部 1 8 は、整合補正量テーブルの読出し方向を、結合が弱まる場合に対応する方向に決定する（ステップ S 4 0 8）。即ち、調整方向決定部 1 8 は、図 1 9 に示す整合補正量テーブルでは、インデックス I_{dx} が小さくなる方向に読出し方向を設定する。そして、調整ステップ幅決定部 1 9 は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ に応じて、ステップ幅 W_{idx} を決

定する（ステップS409）。例えば、調整ステップ幅決定部19は、結合が弱まる場合に対応した所定の比率（比例定数）に基づき、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ からステップ幅 W_{idx} を定める。

[0129] そして、ステップS407又はステップS409の実行後、読出し位置決定部24は、特定した読出し方向とステップ幅 W_{idx} とに基づき、既に選択した整合補正量テーブルから読出す行のインデックス I_{dx} を特定する（ステップS410）。そして、制御値出力部26は、特定したインデックス I_{dx} の行からキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L を読み出し、特定したインデックス I_{dx} の行のフラグ情報 I_f から特定される整合回路に、これらの値を設定する。また、整合回路選択部23は、上述フラグ情報 I_f に基づき、必要に応じて、スイッチ部13、14の切り替えを行う（ステップS411）。そして、送電側装置1は、ステップS401へ処理を戻す。

[0130] なお、ステップS407及びステップS409の処理は必須の処理ではなく、ステップ幅 W_{idx} として予め定められた値を用いる場合には、送電側装置1は、ステップS407及びステップS409の処理を実行しなくてもよい。

[0131] <第2実施例>

次に、第2実施例について説明する。第2実施例では、結合係数 k が変化せず、負荷6の値 R_L が変化する場合について説明する。概略的には、電力伝送システムは、結合係数 k 及び送電アンテナ端の入力インピーダンス Z_{in} を推定し、これらの推定値に基づき、整合補正量テーブルを参照して、使用すべき整合回路及び当該整合回路へ適用する制御値 T_c を決定する。これにより、電力伝送システムは、送電アンテナの入力インピーダンス Z_{in} を、送電回路の出力インピーダンスと整合させる。また、電力伝送システムは、一度整合状態になった後に整合状態を維持し続ける整合追従動作を行うことで、整合状態を保つ。

[0132] [概略構成]

図30は、第2実施例に係る電力伝送システムの概略構成図である。第2

実施例では、負荷 6 の値 R_L が変化し、記憶部 25 は、結合係数 k ごとに負荷 6 の値 R_L が変化した場合の整合補正量テーブルを記憶する点で第 1 実施例と異なる。そして、送電側装置 1 は、初期状態から自動整合動作を行うと共に、自動整合動作後に整合追従動作を行う。以下では、第 1 実施例と同様の部分については適宜同一の符号を付し、その説明を省略する。

[0133] 結合係数推定部 8 は、定格電力の伝送に先立ち、送電アンテナ 3 と受電アンテナ 5 との間の結合係数 k を推定する処理を行う。具体的には、距離センサ 81 は、送電側装置 1 と受電側装置 4 との距離を計測する。そして、距離結合係数変換部 82 は、予めメモリに記憶されている距離と結合係数 k との変換テーブルを参照し、距離センサ 81 が計測した距離から結合係数 k を算出する。図 31 は、送電アンテナ 3 と受電アンテナ 5 との距離と、結合係数 k との関係を示すグラフを示す。距離結合係数変換部 82 は、図 31 に示すような距離と結合係数 k との対応を示す変換テーブルを予めメモリに記憶しておく。

[0134] そして、テーブル選択部 27 は、結合係数推定部 8 が算出した結合係数推定値 k_e に基づき、記憶部 25 に結合係数 k の値ごとに記憶された複数の整合補正量テーブルから、使用する整合補正量テーブルを選択する。

[0135] ここで、第 2 実施例で記憶部 25 が記憶する整合補正量テーブルについて説明する。図 32 は、結合係数 k が「0.07」の場合に対応する整合補正量テーブルの一例を示す。なお、図 32 の整合補正量テーブルでは、受電側装置 4 の負荷 6 の値 R_L が「10Ω」から「500Ω」の範囲における入力インピーダンス Z_{in} を「50Ω」に整合させるために必要なキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L が記憶されている。また、整合補正量テーブルには、第 1 実施例と同様に、第 1 形式の整合回路 11 と第 2 形式の整合回路 12 のいずれを使用すべきかを示すフラグ情報 I_f も記憶されている。

[0136] 例として、読出し位置決定部 24 に入力された入力インピーダンス Z_{in} が「 $27 + j0\Omega$ 」であったとすると、読出し位置決定部 24 は、当該入力インピーダンス Z_{in} に最も近いインピーダンス値（ $R = 25.040\Omega$ 、

X = 1, 4 3 5 Ω) を有するインデックス I_{dx} が「7」の行を選択し、フラグ情報 I_f が「2」、キャパシタンス値 C が「2 4 5, 4 6 2 pF」、インダクタンス値 L が「2 8 9, 6 7 8 nH」であると特定する。そして、読み出し位置決定部 24 は、整合回路の形式に関する情報に相当するフラグ情報 I_f を整合回路選択部 23 に供給する。

[0137] 整合回路選択部 23 は、供給された「2」を示すフラグ情報 I_f に基づき、送電回路 2 と送電アンテナ 3 との間に第 2 形式の整合回路 12 が接続されるようにスイッチ部 13、14 を動作させる。またキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L は制御値出力部 26 に渡され、制御値出力部 26 は、選択した整合回路の可変コンデンサ部、可変インダクタ部にこれらの値を設定する。以上のようにして決定された整合回路を図 33 に示す。

[0138] このように、第 2 実施例では、第 1 実施例と同様、送電側装置 1 は、送電アンテナ端の入力インピーダンス Z_{in} を調べ、選択した整合補正量テーブルを参照することで、直ちに送電回路 2 及び送電アンテナ 3 間のインピーダンス整合を取ることが出来る。例えば、将来電気自動車が普及して、交差点で停止した時に路面に設置された充電器から電気自動車を充電するような場合を考えると、車が停車してから出来るだけ早く充電動作を開始することが必要となる。その際に、インピーダンス整合を自動的かつ出来るだけ迅速に済ませることで、定格での電力伝送に迅速に移行することが出来るようになる。

[0139] [整合補正量テーブル]

次に、第 2 実施例で記憶部 25 が予め記憶する整合補正量テーブルについて説明する。第 1 及び第 2 実施例で使用する整合補正量テーブルは、いずれも図 5、図 6 に示した送電アンテナ端での入力インピーダンス Z_{in} の変化の軌跡に基づいて生成される。ここで、図 6 は、送電アンテナ 3 及び受電アンテナ 5 間の結合係数 k を固定した上で負荷 6 の値 R_L を変化させた時の入力インピーダンス軌跡を示している。上述したように、第 2 実施例では、結合係数 k を固定した上で受電側装置 4 の負荷 6 の値 R_L が変化するため、以

下では図6に示したインピーダンス軌跡を基にして整合補正量テーブルを構成する場合について説明する。

[0140] 図6に示すように、送電アンテナ端での入力インピーダンス Z_{in} は、結合係数 k の値を固定して負荷の値 R_L を変化させた場合も、図5と同様に、スミスチャート上の「 $X = 0 \Omega$ 」の軸の付近で大きく水平方向に変化する軌跡を描く。また、その軌跡のスミスチャート上における相対的な位置は、結合係数 k が小さい場合（例えば「 $k = 0.030$ 」の場合）には左寄りに、結合係数 k が大きい場合（例えば「 $k = 0.120$ 」の場合）には右寄りに、結合係数 k が中間値付近の場合（例えば「 $k = 0.064$ 」の場合）には左右殆ど偏らずに分布するという傾向がある。

[0141] 図6に示すように、想定する結合係数 k が異なっても、受電側装置4の負荷6の値 R_L が変化した時の送電アンテナ端における入力インピーダンス軌跡は、スミスチャート上の「 $X = 0 \Omega$ 」の軸の付近で大きく水平方向に変化するという共通の形状を有する。従って、そのインピーダンス軌跡上のポイントを整合させるためには、第1実施例で説明した図15に示すように、スミスチャートを大きく領域Aと領域Bとの2つの領域に分け、それぞれの領域に適した整合回路を用いるようにすれば良い。つまり第1実施例と同じ考え方を第2実施例に適用することが可能である。

[0142] 具体的には、図16に示すように、領域Aに含まれるインピーダンスポイントの場合は、まず送電アンテナ3に並列に接続した可変コンデンサの値を補正量A1だけ増やして点Rまで移動させ、次に送電回路2及び送電アンテナ3間に直列に接続した可変インダクタの値を補正量A2だけ増やして整合ポイントPまで移動させれば良い。領域Bに含まれるインピーダンスポイントの場合は、まず送電回路2及び送電アンテナ3間に直列に接続した可変インダクタの値を補正量B1だけ増やして点Qまで移動させ、次に送電回路2側に並列に接続した可変コンデンサの値を補正量B2だけ増やして、整合ポイントPまで移動させれば良い。この説明は第1実施例の場合と全く同様である。

[0143] また、領域 A、B のそれぞれに存在するインピーダンスポイントを整合させるための整合回路の形態も第 1 実施例と同じであり、それぞれ既に図 17 (a) 及び図 17 (b) に示されている。第 1 実施例と同様、図 17 (a) が第 1 形式の整合回路 11、図 17 (b) が第 2 形式の整合回路 12 に対応する。従って、第 2 実施例でも、送電側装置 1 は、整合回路としてこの 2 パターンの整合回路を用意しておけばよい。

[0144] 整合補正量テーブルの作成の方法も第 1 実施例と同様である。領域 A にあるインピーダンスポイントを図 17 (a) の整合回路を用いて整合させるために必要な補正量 A1、A2、及び、領域 B にあるインピーダンスポイントを図 17 (b) の整合回路を用いて整合させるために必要な補正量 B1、B2 を、予め理論計算 (図 18 (a)、(b) 参照) または測定等の手段によって求め、求めたこれらの値を例えばインピーダンス値と対応させたルックアップテーブルを整合補正テーブルとして記憶部 25 に予め記憶させておく。このようにしておくことで、送電側装置 1 は、送電アンテナ端の入力インピーダンス Z_{in} を求めることにより整合のために必要な補正量を一回で求めることが出来る。

[0145] 図 34 (a) ~ (c) に、結合係数 k をそれぞれ「0.03」、「0.07」、「0.15」として、本実施例の送電アンテナ 3 及び受電アンテナ 5 (インダクタンス $L = 8.64 \mu\text{H}$ 、コンデンサ $C = 17.49 \text{ pF}$ 、損失抵抗 $R = 1.0 \Omega$ 、並列コンデンサ $C_t = 10.08 \text{ pF}$) を対向させ、負荷 6 の値 R_L を「 10Ω 」から「 500Ω 」まで変化させた場合に対して、理論計算で求めた整合補正量テーブルを示す。なお、これらのテーブルでは、整合回路のキャパシタンス値 C 、インダクタンス値 L に加えて、整合回路の形式を指定するフラグ情報 I_f が合わせて記憶されている。また、インデックス I_{dx} は、通し番号であり、かつ、インピーダンス値 (負荷) が大きい行ほど、大きいインデックス I_{dx} が割り振られている。記憶部 25 は、このようにして作成された結合係数 k ごとの整合補正量テーブル群を記憶する。

[0146] このような構成の整合補正量テーブルを用いることによって、送電側装置 1 は、送電アンテナ 3 及び受電アンテナ 5 間の結合係数 k を求めることにより、どの整合補正量テーブルを使用するかを決定し、送電アンテナ端での入力インピーダンス Z_{in} の値を求めることにより、選択された整合補正量テーブルから使用すべき整合回路及び当該整合回路に設定する制御値 T_c を一回の動作で決定することが出来る。

[0147] [自動整合動作による効果]

以下では、自動整合動作の効果について例を挙げて説明する。

[0148] 図 35 (a)、(b) は、結合係数 k が「0.07」の場合に、図 34 (b) に示す整合補正量テーブルを使用して、インピーダンス整合処理を実施した場合の反射損低減の一例である。図 35 (a) は、負荷 6 の値 R_L が「15 Ω 」の場合を示し、図 35 (b) は、負荷 6 の値 R_L が「200 Ω 」の場合について示す。

[0149] ここで、図 35 (a) の場合では、送電アンテナ端の入力インピーダンス Z_{in} は「150.3 - j 17.05 Ω 」となる。従って、図 34 (b) に示す整合補正量テーブルで最もこれに近いインピーダンス値を有する行を探索すると、インデックス idx が「2」の行が選ばれる。この行の整合回路の形式を示すフラグ情報 lf は「1」、キャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L はそれぞれ「106.3 pF」、「879.1 nH」となっている。図 35 (a) に示すように、整合回路を追加しない場合（グラフ G41 参照）と、第 1 形式の整合回路 11 を選択してキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L を上述のように設定した場合（グラフ G40 参照）とで、駆動周波数「12.947 MHz」での「 $1 - |S_{11}|^2$ 」の値を比較すると、それぞれ 74.4%、100.0% であり、整合回路を追加することにより 25.6% 改善、即ち反射損を低減出来た。

[0150] 次に、図 35 (b) の場合では、送電アンテナ端の入力インピーダンス Z_{in} は、「13.1 + j 1.8 Ω 」となる。従って、図 34 (b) に示す整合補正量テーブルで最もこれに近いインピーダンス値を示す行を探索すると

、インデックス idx が「9」の行が選ばれる。この行の整合回路の形式を示すフラグ情報 lf は「2」、キャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L はそれぞれ「412.9 pF」、「247.7 nH」となる。図35(b)に示すように、整合回路を追加しない場合（グラフG43参照）と、第2形式の整合回路12を選択してキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L を上述のように設定した場合（グラフG42参照）とで、駆動周波数「12.947 MHz」での「 $1 - |S_{11}|^2$ 」の値を比較すると、それぞれ65.7%、100.0%であり、整合回路を追加することにより34.3%改善、即ち反射損を低減出来た。

[0151] このように、第2実施例の送電側装置1は、記憶部25に送電アンテナ3及び受電アンテナ5間の結合係数 k ごとの整合補正量テーブルを記憶しておくことにより、結合係数推定値 k_e を求めて使用する整合補正量テーブルを選択し、続いて送電アンテナ端の入力インピーダンス Z_{in} を求めれば、一回の動作で適切な整合回路を自動的に、かつ高速に構成することが可能である。

[0152] [整合追従動作]

次に、第2実施例に係る整合追従動作について説明する。この動作は、一度インピーダンス整合を取った後に、整合状態を維持し続けるための動作である。

[0153] まず、整合追従動作の必要性等について説明する。送電アンテナ3及び受電アンテナ5を対向させて定格の電力伝送を行うために、自動整合動作を行い（一般にこの動作は出力を絞った状態で行われる）、受電側装置4の負荷6の値 RL 及び送電アンテナ3と受電アンテナ5との間の結合状態によって決まる入力インピーダンス Z_{in} に対して最適な整合回路が構成されたとする。この場合、送電回路2は、定格での電力伝送に移行する。しかし、整合が取れた状態で電力伝送を行っている最中に受電側装置4の負荷6の値 RL が変化したとする。なお、電気自動車などに搭載されたりリチウムイオン電池への充電時には、一般に定電流モード、定電圧モード、定電力モードなどの

充電の動作モードを変更しながら充電動作を行う。この際に電池の蓄電量によって負荷としての値が変わることがあるため、このような応用例の場合では負荷変動を想定する必要がある。そして、受電側装置 4 の負荷 6 の値 R_L が変化すると、送電アンテナ端での入力インピーダンス Z_{in} が先ほど自動整合動作で整合を取ったときの値と異なってしまい、整合が再びずれてしまう。この場合、整合状態からずれたことを出来るだけ早く検出し、変化した入力インピーダンス Z_{in} に対して再び整合させる処理が必要である。以上を勘案し、第 2 実施例の整合追従動作は、受電側装置 4 の負荷 6 の値 R_L の変動に追従し、整合回路の形式及び整合回路に適用する制御値 T_c を適切に設定することで、整合状態を維持し続けるものである。

[0154] 次に、整合追従動作の処理について説明する。整合追従動作も、自動整合動作で使用した、負荷 6 の値 R_L を変化させたときの送電アンテナ端の入力インピーダンス軌跡（図 6 参照）を使用する。図 6 に示した入力インピーダンス軌跡は、送電アンテナ 3 及び受電アンテナ 5 間の結合係数 k を固定した上で受電側装置 4 の負荷 6 の値 R_L を変化させて求めたものであり、第 2 実施例ではこのインピーダンス軌跡を用いる。

[0155] 送電アンテナ 3 及び受電アンテナ 5 間の結合係数 k が変化しないとすると、送電アンテナ端での入力インピーダンス Z_{in} は図 6 に示したインピーダンス軌跡上に存在する。このインピーダンス軌跡上にある任意のインピーダンスポイントを整合させるために必要な整合回路の形式及び当該整合回路に適用する制御値 T_c は、図 3 4 に例示するような結合係数 k ごとに生成された整合補正量テーブルに記憶されている。従って、一度整合状態となった後に行う整合追従動作では、送電側装置 1 は、自動整合動作で用いた整合補正量テーブルを引き続き参照して、適用すべき整合補正量テーブルの行（即ち、インデックス idx ）を変更すればよい。

[0156] 以上を勘案し、整合追従動作では、送電側装置 1 は、あるインピーダンス値に対する整合状態からずれた状態が、図 6 に示すインピーダンス軌跡上の左右どちら側にずれたのか（左側は負荷が大きくなる方向、右側は小さくな

る方向)、換言すると、現在使用している整合補正量テーブルの行から上下どちら側にずれたのか(下側は負荷が大きくなる方向、上側は小さくなる方向)を検出して、適切な方向へ整合回路の構成を変更する。なお、記憶部25が記憶する整合補正量テーブルでは、図34に示すように、インデックス Idx は、通し番号であり、かつ、インピーダンス値(負荷)が大きい行ほど、大きいインデックス Idx が割り振られている。

[0157] (読出し方向決定方法)

以下では、整合状態からのずれが、負荷が大きくなる方向又は負荷が小さくなる方向のいずれの方向に生じているのかを判断する方法を説明する。この処理は、位相差算出・判定部16及び調整方向決定部18により実行される。

[0158] まず、図36(a)～(c)に、負荷が大きくなる方向にずれる場合の進行波電圧波形及び反射波電圧波形の関係について示す。

[0159] 具体的には、図36(a)は、結合係数 k が「0.030」の場合において、負荷6の値 R_L が「50Ω」の状態で整合を取った後、負荷6の値 R_L を「100」、「200」、「400」のように順次大きくした場合における進行波電圧波形及び反射波電圧波形を示す。

[0160] 図36(b)は、結合係数 k が「0.064」の場合において、負荷6の値 R_L が「50Ω」の状態で整合を取った後、負荷6の値 R_L を「100」、「200」、「400」のように順次大きくした場合における進行波電圧波形及び反射波電圧波形を示す。

[0161] 図36(c)は、結合係数 k が「0.120」の場合において、負荷6の値 R_L が「50Ω」の状態で整合を取った後、負荷6の値 R_L を「100」、「200」、「400」のように順次大きくした場合における進行波電圧波形及び反射波電圧波形を示す。

[0162] 次に、図37(a)～(c)に、負荷が小さくなる方向にずれる場合の進行波電圧波形及び反射波電圧波形の関係について示す。

[0163] 具体的には、図37(a)は、結合係数 k が「0.030」の場合におい

て、負荷 6 の値 R_L が「 50Ω 」の状態で整合を取った後、負荷 6 の値 R_L を「 40Ω 」、「 25Ω 」、「 10Ω 」のように順次小さくした場合における進行波電圧波形及び反射波電圧波形を示す。

[0164] 図 37 (b) は、結合係数 k が「 0.064 」の場合において、負荷 6 の値 R_L が「 50Ω 」の状態で整合を取った後、負荷 6 の値 R_L を「 40Ω 」、「 25Ω 」、「 10Ω 」のように順次小さくした場合における進行波電圧波形及び反射波電圧波形を示す。

[0165] 図 37 (c) は、結合係数 k が「 0.120 」の場合において、負荷 6 の値 R_L が「 50Ω 」の状態で整合を取った後、負荷 6 の値 R_L を「 40Ω 」、「 25Ω 」、「 10Ω 」のように順次小さくした場合における進行波電圧波形及び反射波電圧波形を示す。

[0166] 図 36 (a) ~ (c) に示したように、一度整合を取った後に負荷 6 の値 R_L が大きくなる方向にずれる場合には、進行波電圧 V_f の位相に対して反射波電圧 V_r の位相の方が進んでいることが分かる。一方、図 37 (a) ~ (c) に示したように、一度整合を取った後に負荷 6 の値 R_L が小さくなる方向にずれる場合には、進行波電圧 V_f の位相に対して反射波電圧 V_r の位相の方が遅れていることが分かる。また、位相に関するこれらの関係は何れの結合係数 k の場合に対しても成立している。

[0167] 以上を勘案し、送電側装置 1 は、一度整合を取った後は進行波電圧 V_f と反射波電圧 V_r との位相関係を継続的に監視し続け、進行波電圧 V_f の位相に対して反射波電圧 V_r の位相が進んでいる場合は、負荷 6 の値 R_L が大きくなっていると判断する。そして、この場合、送電側装置 1 は、整合補正值テーブルにおいても負荷 6 の値 R_L が大きくなる方向、即ち整合補正量テーブル内の現在の行よりも下方向（インデックス Idx が大きくなる方向）に存在する行を参照し、当該行のフラグ情報 I_f が示す整合回路に、当該行の制御値 T_c を設定する。

[0168] 一方、送電側装置 1 は、進行波電圧 V_f の位相に対して反射波電圧 V_r の位相が遅れている場合は、負荷 6 の値 R_L が小さくなっていると判断する。

そして、この場合、送電側装置 1 は、整合補正值テーブルで負荷の値が小さくなる方向、即ち整合補正量テーブル内の現在の行よりも上の方向（インデックス idx が小さくなる方向）に存在する行を参照し、当該行のフラグ情報 lf が示す整合回路に、当該行の制御値 Tc を設定する。

[0169] このような処理を行うことで、送電側装置 1 は、受電側装置 4 に接続された負荷 6 の値 RL が変化して送電アンテナ端での入力インピーダンス Zin が変化しても、整合状態を維持し続けることが出来る。好適には、送信側装置 1 は、第 1 実施例と同様、一度整合を取った後に反射係数絶対値 $|\Gamma|$ を常時監視し、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が閾値 $|\Gamma|_{thr}$ 以下の場合は、上述の整合追従動作を行わず、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が閾値 $|\Gamma|_{thr}$ よりも大きい場合には、進行波電圧 V_f と反射波電圧 V_r の位相関係を特定し、整合補正量テーブルで使用する行を変更して整合回路の構成を変更するようにする。これにより、送電側装置 1 は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ を常に閾値 $|\Gamma|_{thr}$ 以下に保ち、反射による損失を抑制することができる。

[0170] 次に、図 38～図 40 を参照して、結合係数 k が「0.07」の場合における整合追従動作の例を説明する。図 38～図 40 は、始めに負荷 6 の値 RL が「30Ω」の場合に、図 34（b）のインデックス idx が「4」の行を参照して整合を取った後、負荷 6 の値 RL が「10Ω」と小さくなる方向に変化することに起因して整合がずれる場合の例を示す。具体的には、図 38（a）は、負荷 6 の値 RL が「30Ω」の状態では整合を取った直後の「 $1 - |S_{11}|^2$ 」のグラフを示し、図 38（b）は、この場合での駆動周波数における進行波電圧波形及び反射波電圧波形のグラフを示す。また、図 39（a）は、整合後に負荷 6 の値 RL が「30Ω」から「10Ω」に変化した場合の「 $1 - |S_{11}|^2$ 」のグラフを示し、図 39（b）は、この場合での駆動周波数における進行波電圧波形及び反射波電圧波形のグラフを示す。さらに、図 40（a）は、整合追従動作の実行後の「 $1 - |S_{11}|^2$ 」のグラフを示し、図 40（b）は、この場合での駆動周波数における進行波電圧波形及び反射波電圧波形のグラフを示す。

[0171] 図38(a)、(b)に示すように、初期状態から自動整合動作を行った直後では、駆動周波数12.947MHzにおいて、ほぼ100%の電力が送電アンテナ3に入力され反射波のレベルも低いことが分かる。このとき選択されている整合補正テーブルのインデックス idx は「4」である。そして、図39(a)、(b)に示すように整合回路の構成はそのまま負荷6の値 RL が「10Ω」に変化した場合、整合が再びずれてしまったため反射波のレベルが上昇し、「 $1 - |S_{11}|^2$ 」も77%まで低下している。

[0172] この場合、送電側装置1は、進行波電圧 V_f と反射波電圧 V_r の位相関係に基づき、負荷6の値 RL が変わったことを検出する。具体的には、送電側装置1は、進行波電圧 V_f より反射波電圧 V_r の位相が遅れているため負荷6の値 RL が小さくなっていると判断する。従って、この場合、送電側装置1は、整合補正量テーブルで負荷の値が小さくなる方向にある行、即ち現在のインデックス idx 「4」より小さいインデックス idx 「1」の行に基づき、整合回路の構成を更新する。その結果、図40(a)、(b)に示すように、送電側装置1は、再び整合が取れた状態に遷移する。

[0173] なお、ステップ幅 $Widx$ の決定方法については、第1実施例と同様であるため、その説明を省略する。

[0174] [処理フロー]

次に、第2実施例における処理手順について説明する。以下では、まず、自動整合動作の処理手順について図41の「フロー5」及び図42の「フロー6」で説明した後、追従整合動作の処理手順について図43の「フロー7」で説明する。

[0175] (フロー5)

図41は、第2実施例で送電側装置1が実行するフロー5の処理手順を示すフローチャートである。送電側装置1は、図41のフロー5の処理を、所定のタイミングで実行する。

[0176] まず、送電側装置1の距離センサ81は、送電アンテナ3及び受電アンテナ5間の距離を計測する(ステップS501)。そして、送電側装置1の距

離結合係数変換部 82 は、計測した距離から結合係数 k を推定する（ステップ S502）。即ち、距離結合係数変換部 82 は、結合係数推定値 k_e を算出する。次に、送電側装置 1 のテーブル選択部 27 は、記憶部 25 に記憶された複数の整合補正量テーブルのうち、結合係数推定値 k_e に対応した整合補正量テーブルを選択する（ステップ S503）。そして、送電側装置 1 は、図 42 のフロー 5 に相当する自動整合処理を開始する（ステップ S504）。

[0177] （フロー 6）

図 42 は、第 2 実施例において、送電側装置 1 が実行するフロー 6 の処理手順を示すフローチャートである。送電側装置 1 は、図 42 のフロー 6 の処理を、図 41 のフロー 5 のステップ S504 へ処理を進めた際に実行する。

[0178] まず、送電側装置 1 の整合回路選択部 23 は、スイッチ部 13、14 をスルー回路 30 に接続させ、送電アンテナ 3 から微小電力を出力する（ステップ S601）。次に、送電側装置 1 の反射係数算出部 17 は、進行波・反射波抽出部 15 で抽出された進行波電圧 V_f 及び反射波電圧 V_r の各々の大きさを計測する（ステップ S602）。そして、反射係数算出部 17 は、式（1）に従い反射係数絶対値 $|\Gamma|$ を算出する（ステップ S603）。

[0179] 次に、送電側装置 1 は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が閾値 $|\Gamma|_{thr}$ 以下か否か判定する（ステップ S604）。そして、送電側装置 1 は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が閾値 $|\Gamma|_{thr}$ 以下であると判断した場合（ステップ S604；Yes）、既に整合状態にあり整合処理を行う必要がないと判断し、フローチャートの処理を終了する。

[0180] 一方、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が閾値 $|\Gamma|_{thr}$ より大きい場合（ステップ S604；No）、ステップ S605 からステップ S612 までの処理に相当する整合処理を行う。具体的には、まず、位相差算出・判定部 16 は、式（2）に示すように、進行波電圧 V_f と反射波電圧 V_r との位相差 θ を計測する（ステップ S605）。そして、位相差算出・判定部 16 又は反射係数算出部 17 は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ 及び位相差 θ から複素反射係数 Γ を

求め（ステップS606）、複素反射係数 Γ を式（3）に基づき入力インピーダンス Z_{in} に変換する（ステップS607）。

[0181] 次に、読出し位置決定部24は、フロー5で選択した整合補正量テーブルから、算出された入力インピーダンス Z_{in} に最も近いインピーダンス値を有する行を探索し、選択する（ステップS608）。そして、読出し位置決定部24は、選択した行のフラグ情報 I_f を整合回路選択部23に供給し、使用する整合回路を決定させる（ステップS609）。また、制御値出力部26は、選択した行のキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L を、使用する制御値 T_c に決定する（ステップS610）。そして、制御値出力部26は、選択された整合回路にキャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L を設定する（ステップS611）。そして、整合回路選択部23は、フラグ情報 I_f に基づき使用する整合回路にスイッチ部13、14を接続させる（ステップS612）。

[0182] （フロー7）

図43は、第2実施例において、送電側装置1が実行するフロー7の処理手順を示すフローチャートである。送電側装置1は、図43のフロー7の処理を、図42のフロー6の実行後直ちに実行する。

[0183] まず、送電側装置1の反射係数算出部17は、進行波・反射波抽出部15で抽出された進行波電圧 V_f 及び反射波電圧 V_r の各々の大きさを計測する（ステップS701）。そして、反射係数算出部17は、式（1）に従い反射係数絶対値 $|\Gamma|$ を算出する（ステップS702）。

[0184] 次に、送電側装置1は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が閾値 $|\Gamma|_{thr}$ 以下か否か判定する（ステップS703）。そして、送電側装置1は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が閾値 $|\Gamma|_{thr}$ 以下であると判断した場合（ステップS703；Yes）、既に整合状態にあり整合処理を行う必要がないと判断し、ステップS701へ処理を戻す。

[0185] 一方、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ が閾値 $|\Gamma|_{thr}$ より大きい場合（ステップS703；No）、位相差算出・判定部16は進行波電圧 V_f と反射波電

圧 V_r との位相関係を特定する（ステップS704）。具体的には、位相差算出・判定部16は、進行波電圧 V_f よりも反射波電圧 V_r が遅れているか否かを判定する。

[0186] そして、位相差算出・判定部16は、進行波電圧 V_f よりも反射波電圧 V_r が遅れていると判断した場合（ステップS705；Yes）、負荷6の値 RL が小さくなる方向に変化していると特定する。そして、この場合、調整方向決定部18は、整合補正量テーブルの読出し方向を負荷の値が小さくなる場合に対応する方向に決定する（ステップS706）。この場合、調整方向決定部18は、図34に示す整合補正量テーブルでは、インデックス Idx が小さくなる方向に読出し方向を設定する。そして、調整ステップ幅決定部19は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ に応じて、ステップ幅 $Widx$ を決定する（ステップS707）。例えば、調整ステップ幅決定部19は、負荷6の値 RL が小さくなる場合に対応した所定の比率（比例定数）に基づき、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ からステップ幅 $Widx$ を定める。

[0187] 一方、位相差算出・判定部16は、進行波電圧 V_f よりも反射波電圧 V_r が進んでいると判断した場合（ステップS705；No）、負荷6の値 RL が大きくなる方向に変化していると特定する。そして、この場合、調整方向決定部18は、整合補正量テーブルの読出し方向を、負荷の値が大きくなる場合に対応する方向に決定する（ステップS708）。この場合、調整方向決定部18は、図34に示す整合補正量テーブルでは、インデックス Idx が大きくなる方向に読出し方向を設定する。そして、調整ステップ幅決定部19は、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ に応じて、ステップ幅 $Widx$ を決定する（ステップS709）。例えば、調整ステップ幅決定部19は、負荷の値が大きくなる場合に対応した所定の比率（比例定数）に基づき、反射係数絶対値 $|\Gamma|$ からステップ幅 $Widx$ を定める。

[0188] そして、ステップS707又はステップS709の実行後、読出し位置決定部24は、特定した読出し方向とステップ幅 $Widx$ とに基づき、既に選択した整合補正量テーブルから読出す行のインデックス Idx を特定する（

ステップS 7 1 0)。そして、制御値出力部26は、特定したインデックス I d x の行からキャパシタンス値C及びインダクタンス値Lを読み出し、特定したインデックス I d x の行のフラグ情報 I f から特定される整合回路に、これらの値を設定する。また、整合回路選択部23は、上述フラグ情報 I f に基づき、必要に応じて、スイッチ部13、14の切り替えを行う（ステップS 7 1 1）。そして、送電側装置1は、ステップS 7 0 1へ処理を戻す。

[0189] なお、ステップS 7 0 7及びステップS 7 0 9の処理は必須の処理ではなく、ステップ幅W d i xとして予め定められた値を用いる場合には、送電側装置1は、ステップS 7 0 7及びステップS 7 0 9の処理を実行しなくてもよい。

[0190] <変形例>

次に、第1実施例及び第2実施例に好適な変形例について説明する。以下に説明する変形例は、任意に組み合わせて、上述の第1実施例及び第2実施例に適用してもよい。

[0191] （変形例1）

本発明に適用可能な整合回路の構成は、図12等を示す構成に限定されない。これについて、図44を参照して説明する。

[0192] 図44（a）は、第1形式の整合回路11と第2形式の整合回路12とで可変インダクタ要素のみを共用する形態の整合回路を示す。図44（a）に示す整合回路は、スイッチ部の切り替えにより、第1形式の整合回路11として機能することが可能であり、第2形式の整合回路12として機能することも可能である。同様に、整合回路は、第1形式の整合回路11と第2形式の整合回路12とで可変キャパシタ要素のみを共用する形態であってもよい。

[0193] 図44（b）は、可変インダクタの代わりに固定インダクタと可変キャパシタを用いる整合回路の回路図を示す。図44（b）に示す整合回路は、スイッチ部の切り替えにより、第1形式の整合回路11として機能することが可能であり、第2形式の整合回路12として機能することも可能である。そ

して、図44(b)の固定インダクタと可変キャパシタは、本発明における「可変インダクタ要素」の一例である。このように、図44(a)、(b)に示す整合回路によっても、本発明を好適に実施することができる。

[0194] その他、いわゆる π 型整合回路を構成可能な変形は、特に区別することなく本発明に含まれる。

[0195] (変形例2)

図19及び図32等にした整合補正量テーブルでは、制御値 T_c として、キャパシタンス値 C 及びインダクタンス値 L が記憶されているが、これに代えて、可変コンデンサ、可変インダクタの値を所定の値にするための制御値 T_c が記憶されても良い。例えば、ステッピングモータとバリコンを組合せて可変コンデンサを構成したような場合ではモータの制御電圧値を整合補正量テーブルに記憶させてもよく、また、微小なコンデンサ、インダクタをリレー等のスイッチングデバイスでオン及びオフさせて所定のキャパシタンス C 値及びリアクタンス L 値を実現するような場合では、スイッチングデバイスを制御するためのビットパターン値を整合補正量テーブルに記憶させてもよい。

[0196] (変形例3)

第1実施例の「整合補正量テーブル」のセクションの説明では、理論計算によって整合に必要な補正量 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 を求めたが、これに代えて、実際の送電アンテナ3及び受電アンテナ5を対向させ、それらの結合状態を変化させながらこれらの補正量 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 を求めても良い。

[0197] 同様に、第2実施例の「整合補正量テーブル」のセクションの説明でも同様に、理論計算によって整合に必要な補正量 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 を求めたが、これに代えて、実際の送電アンテナ3及び受電アンテナ5を所定の相対位置関係で対向させ、受電側装置4の負荷6の値 R_L を変化させながらこれらの補正量 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 を求めても良い。

[0198] (変形例4)

第1実施例では、定格電力の伝送に先立って、負荷推定部7は推定負荷値 RLe を算出した。これに代えて、受電側装置4に存在する負荷6の値 RL がシステムの仕様として予め決まっているような場合には、送電側装置1は、負荷推定部7により推定負荷値 RLe を算出することなく、予めシステムで決められている負荷6の値に対応した整合補正量テーブルを選択する。

[0199] 同様に、第2実施例でも、送電アンテナ3と受電アンテナ5との位置関係がシステムの仕様として予め決まっているような場合には、送電側装置1は、結合係数推定部8により結合係数 k の推定処理を行うことなく、システムで予め定められている結合係数 k の値に対応した整合補正量テーブルを選択する。

[0200] (変形例5)

結合係数推定部8は、距離センサ81により送電アンテナ3と受電アンテナ5との距離を計測したがこれに限定されない。これに代えて、結合係数推定部8は、共振周波数を中心として所定の帯域幅の微小信号をスイープさせて送出し、送出した信号と送電アンテナ3から反射して戻ってきた信号とを用いて反射係数(Γ もしくは S_{11})の周波数特性を算出する。そして、結合係数推定部8は、算出した周波数特性の形状、具体的には、極小となるピークの個数とその周波数、及びその反射係数の大きさから所定のマップを参照して、結合係数推定値 ke を算出する。ここで、上述のマップは、反射係数の周波数特性において、極小となるピークの個数とその周波数、及びその反射係数の大きさに対応した結合係数 k を示すマップであり、実験等に基づき予め作成され、メモリに予め記憶される。これによっても、好適に、結合係数推定部8は、結合係数 k を推定することが可能となる。

[0201] (変形例6)

送電アンテナ3及び受電アンテナ5は、直並列型等価回路によってモデル化された。これに代えて、送電アンテナ3及び受電アンテナ5は、直並列型等価回路をより簡略化した等価回路である直列共振等価回路によってモデル化されてもよい。

[0202] (変形例 7)

送電側装置 1 の整合回路選択部 23 は、記憶部 25 に記憶された整合補正量テーブルのフラグ情報 1f に基づき使用すべき整合回路を選択した。これに代えて、整合回路選択部 23 は、算出された入力インピーダンス Z_{in} に基づき、使用すべき整合回路を選択してもよい。

[0203] この場合、例えば、整合回路選択部 23 は、算出された入力インピーダンス Z_{in} の実部 (R)、又は当該入力インピーダンス Z_{in} に基づき選択した整合補正量テーブルの行に記憶されたインピーダンス値の実部 (R_i) が、送電回路 2 の出力インピーダンス (即ち、整合ポイントとなるインピーダンス値) より大きい場合には、第 2 形式の整合回路 12 を選択し、当該出力インピーダンス以下の場合には、第 1 形式の整合回路 11 を選択する。

[0204] (変形例 8)

第 1 実施例及び第 2 実施例では、スイッチ部 13、14 で切換えられる回路の一つとして整合回路を挿入しないスルー回路 30 と記載したが、スルー回路 30 は、整合回路を挿入しないというスルーの状態と同様の効果を有する実装方法であれば、いかなる実装方法でも構わない。例えば、明示的に整合回路をスルーするような回路パスは持っていないが、可変インダクタンスの値をゼロとすることで整合回路が入っていない状態と等価にするような実装方法も、整合回路を挿入しないスルー回路 30 に切換えていることと同じであるものとする。

[0205] (変形例 10)

図 12 及び図 30 に示す送電側装置 1 の構成は一例であり、本発明が適用可能な構成は、これに限定されない。例えば、送電側装置 1 は、自動整合動作のみを行い、整合追従動作を行う必要がない場合には、調整方向決定部 18 及び調整ステップ幅決定部 19 を有しなくてもよい。

[0206] (変形例 11)

図 12 では、受電側装置 4 が負荷値算出部 73 により推定負荷値 R_{Le} の算出を行っているが、これに代えて、送電側装置 1 が推定負荷値 R_{Le} の算

出を行ってもよい。この場合、受電側装置 4 は、負荷 6 の電圧値及び電流値を検出後、これらの値を制御通信部 7 4 を介して送電側装置 1 へ伝送し、送電側装置 1 は、伝送されたこれらの値に基づき推定負荷値 $R L_e$ を算出する。

産業上の利用可能性

[0207] 本発明は、電磁界共振結合方式を用いた無線電力伝送システム全般に好適に適用される。また、本発明は、磁界結合、電界結合等の種々の方式に対して好適に適用可能である。

符号の説明

- [0208]
- 1 送電側装置
 - 2 送電回路
 - 3 送電アンテナ
 - 4 受電側装置
 - 5 受電アンテナ
 - 6 負荷
 - 7 負荷推定部
 - 8 結合係数推定部
 - 11 第 1 形式の整合回路
 - 12 第 2 形式の整合回路
 - 13、14 スイッチ部
 - 15 進行波・反射波抽出部
 - 16 位相差算出・判定部
 - 17 反射係数算出部
 - 18 調整方向決定部
 - 19 調整ステップ幅決定部
 - 23 整合回路選択部
 - 24 読出し位置決定部
 - 25 記憶部

2 6 制御値出力部

2 7 テーブル選択部

請求の範囲

[請求項1]

送電アンテナと受電アンテナとを電磁界によって結合させて電力を伝送する無線電力伝送システムにおいて、送電回路と前記送電アンテナとの間に設置されるインピーダンス整合装置であって、

前記送電アンテナの入力インピーダンスもしくは当該入力インピーダンスに相当する入力インピーダンス相当値を推定する入力インピーダンス推定手段と、

前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電アンテナ側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第1の整合回路と、

前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電回路側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第2の整合回路と、

前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入されるスルー回路と、

前記受電アンテナに接続され前記伝送された電力が消費される回路の負荷の値を推定する負荷値推定手段と、

前記第1または前記第2の整合回路を用いて所定のインピーダンス値に整合させるために必要なインダクタンス値およびキャパシタンス値に対応した制御値を、前記負荷の値と前記入力インピーダンス相当値とに対応させて予め記憶する記憶部と、

前記負荷の値と前記入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記第1の整合回路と前記第2の整合回路と前記スルー回路とのいずれか1つを電氣的に接続する回路選択手段と、

前記負荷の値と前記入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記記憶部に記憶された前記制御値を読み出し、当該制御値を前記回路選択手段によって選択された回路に出力する制御値出力手段と、

を有することを特徴とするインピーダンス整合装置。

[請求項2]

前記記憶部は、

前記制御値と、当該制御値を反映させる前記第1または前記第2の整合回路を示すフラグ情報とを、前記負荷の値と前記入カインピーダンス相当値とに対応させて予め記憶し、

前記回路選択手段は、

前記負荷の値と前記入カインピーダンス相当値とから決定される前記フラグ情報に基づいて、前記第1の整合回路と前記第2の整合回路とのいずれか1つを電氣的に接続することを特徴とする請求項1に記載のインピーダンス整合装置。

[請求項3]

前記制御値は、

前記回路の負荷の値を固定した上で、前記送電アンテナと前記受電アンテナとの間の結合状態を変更させた際の、前記送電回路から前記送電アンテナへの入力インピーダンスの変化の軌跡に基づいて設定されることを特徴とする請求項1または2に記載のインピーダンス整合装置。

[請求項4]

送電アンテナと受電アンテナとを電磁界によって結合させて電力を伝送する無線電力伝送システムにおいて、送電回路と前記送電アンテナとの間に設置されるインピーダンス整合装置であって、

前記送電アンテナの入力インピーダンスもしくは当該入力インピーダンスに相当する入力インピーダンス相当値を推定する入力インピーダンス推定手段と、

前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電アンテナ側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第1の整合回路と、

前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電回路側に並

列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第2の整合回路と、
前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入されるスルー回路と、

前記送電アンテナと前記受電アンテナとの間の結合係数を推定する結合係数推定手段と、

前記第1または前記第2の整合回路を用いて所定のインピーダンス値に整合させるために必要なインダクタンス値およびキャパシタンス値に対応した制御値を、前記結合係数と前記入力インピーダンス相当値とに対応させて予め記憶する記憶部と、

前記結合係数と前記入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記第1の整合回路と前記第2の整合回路と前記スルー回路とのいずれか1つを電氣的に接続する回路選択手段と、

前記結合係数と前記入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記記憶部に記憶された前記制御値を読み出し、当該制御値を前記回路選択手段によって選択された回路に出力する制御値出力手段と、
を有することを特徴とするインピーダンス整合装置。

[請求項5]

前記記憶部は、

前記制御値と、当該制御値を反映させる前記第1または前記第2の整合回路を示すフラグ情報とを、前記結合係数と前記入力インピーダンス相当値とに対応させて予め記憶し、

前記回路選択手段は、

前記結合係数と前記入力インピーダンス相当値とから決定される前記フラグ情報に基づいて、前記第1の整合回路と前記第2の整合回路とのいずれか1つを電氣的に接続することを特徴とする請求項4に記載のインピーダンス整合装置。

[請求項6]

前記制御値は、

前記送電アンテナと前記受電アンテナとの間の結合状態を固定した上で、前記回路の負荷の値を変更させた際の、前記送電回路から前記

送電アンテナへの入力インピーダンスの変化の軌跡に基づいて設定されることを特徴とする請求項4または5に記載のインピーダンス整合装置。

[請求項7] 前記送電回路からの出力信号に対応する進行波電圧と、前記送電アンテナからの反射信号に対応する反射波電圧と、を取り出す進行波・反射波抽出手段と、

前記進行波電圧と前記反射波電圧とに基づき、反射係数の絶対値または当該絶対値に対応する値である反射係数絶対値相当値を算出する反射係数算出手段と、

前記進行波電圧の位相と前記反射波電圧の位相とを比較し、当該位相間の位相差を算出する位相差算出手段と、
を更に有し、

前記入カインピーダンス推定手段は、前記入カインピーダンス相当値として前記反射係数絶対値相当値と前記位相差とを推定することを特徴とする請求項1乃至6のいずれか一項に記載のインピーダンス整合装置。

[請求項8] 前記送電回路からの出力信号に対応する進行波電圧と、前記送電アンテナからの反射信号に対応する反射波電圧と、を取り出す進行波・反射波抽出手段と、

前記進行波電圧と前記反射波電圧とに基づき、反射係数の絶対値または当該絶対値に対応する値である反射係数絶対値相当値を算出する反射係数算出手段と、

前記回路選択手段は、前記反射係数絶対値相当値が所定値以下である場合は、前記スルー回路を選択することを特徴とする請求項1乃至7のいずれか一項に記載のインピーダンス整合装置。

[請求項9] 前記制御値は、

反射係数の絶対値が大きくなるほど、量子化間隔が小さくなるように量子化されることを特徴とする請求項1乃至8のいずれか一項に記

載のインピーダンス整合装置。

[請求項10]

送電アンテナと受電アンテナとを電磁界によって結合させて電力を伝送する無線電力伝送システムにおいて、送電回路と前記送電アンテナとの間に設置され、

前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電アンテナ側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第1の整合回路と、

前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電回路側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第2の整合回路と、

前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入されるスルー回路と、

前記第1または前記第2の整合回路を用いて所定のインピーダンス値に整合させるために必要なインダクタンス値およびキャパシタンス値に対応した制御値を、前記受電アンテナに接続され前記伝送された電力が消費される回路の負荷の値と前記入カインピーダンス相当値とに対応させて予め記憶する記憶部と、を備えるインピーダンス整合装置が実行する制御方法であって、

前記送電アンテナの入カインピーダンスもしくは当該入カインピーダンスに相当する入カインピーダンス相当値を推定する入カインピーダンス推定工程と、

前記負荷の値を推定する負荷値推定工程と、

前記負荷の値と前記入カインピーダンス相当値とに基づいて、前記第1の整合回路と前記第2の整合回路と前記スルー回路とのいずれか1つを電氣的に接続する回路選択工程と、

前記負荷の値と前記入カインピーダンス相当値とに基づいて、前記記憶部に記憶された前記制御値を読み出し、当該制御値を前記回路選択

工程によって選択された回路に出力する制御値出力工程と、
を有することを特徴とする制御方法。

[請求項11]

送電アンテナと受電アンテナとを電磁界によって結合させて電力を
伝送する無線電力伝送システムにおいて、送電回路と前記送電アンテナとの間に設置され、

前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電アンテナ側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第1の整合回路と、

前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入される可変インダクタ要素と、当該可変インダクタ要素よりも前記送電回路側に並列に接続される可変キャパシタ要素と、を備える第2の整合回路と、

前記送電回路と前記送電アンテナとの間に直列に挿入されるスルー回路と、

前記第1または前記第2の整合回路を用いて所定のインピーダンス値に整合させるために必要なインダクタンス値およびキャパシタンス値に対応した制御値を、前記送電アンテナと前記受電アンテナとの間の結合係数と前記入力インピーダンス相当値とに対応させて予め記憶する記憶部と、を備えるインピーダンス整合装置が実行する制御方法であって、

前記送電アンテナの入力インピーダンスもしくは当該入力インピーダンスに相当する入力インピーダンス相当値を推定する入力インピーダンス推定工程と、

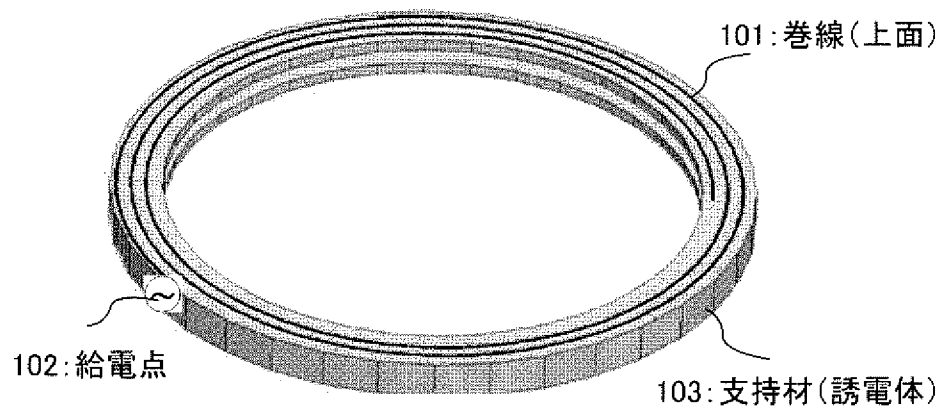
前記結合係数を推定する結合状態推定工程と、

前記結合係数と前記入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記第1の整合回路と前記第2の整合回路と前記スルー回路とのいずれか1つを電氣的に接続する回路選択工程と、

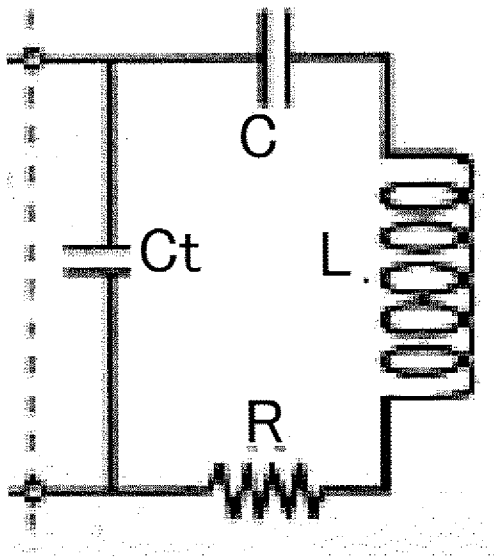
前記結合係数と前記入力インピーダンス相当値とに基づいて、前記

記憶部に記憶された前記制御値を読み出し、当該制御値を前記回路選択工程によって選択された回路に出力する制御値出力工程と、
を有することを特徴とする制御方法。

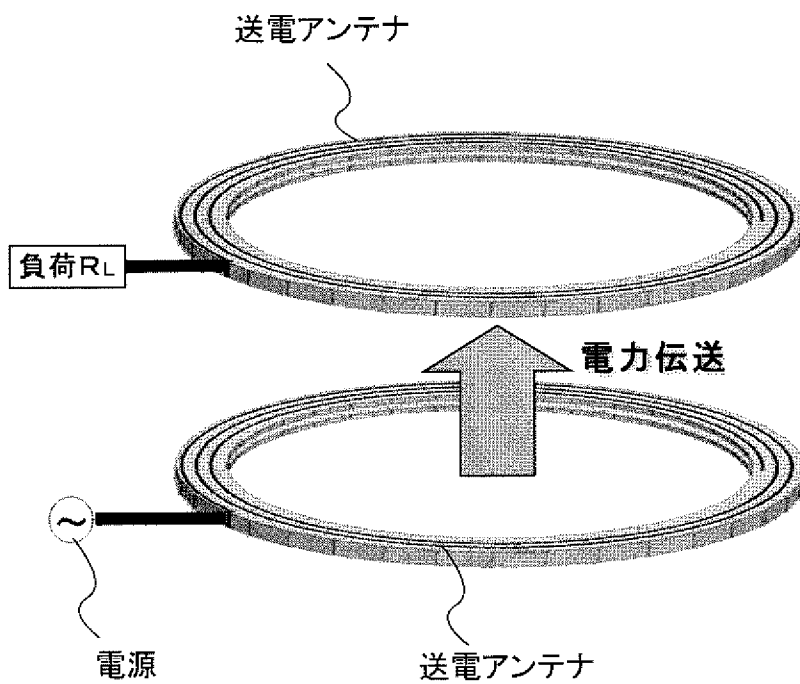
[図1]



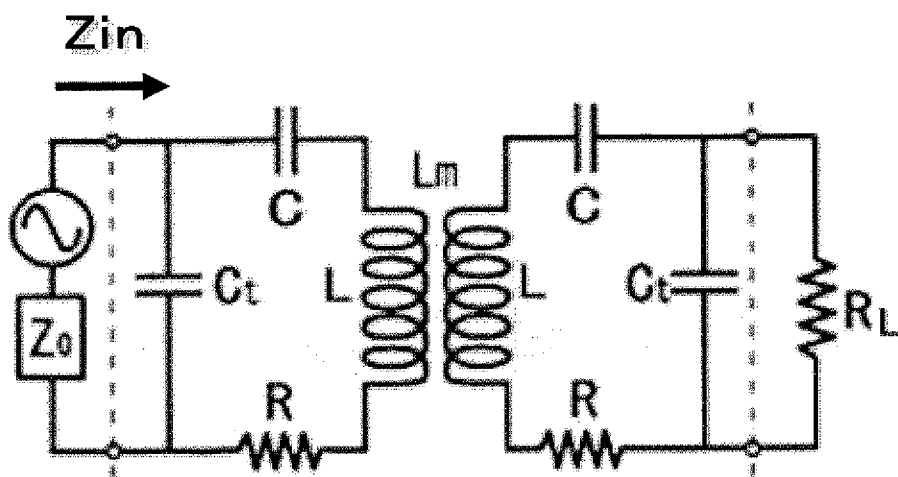
[図2]



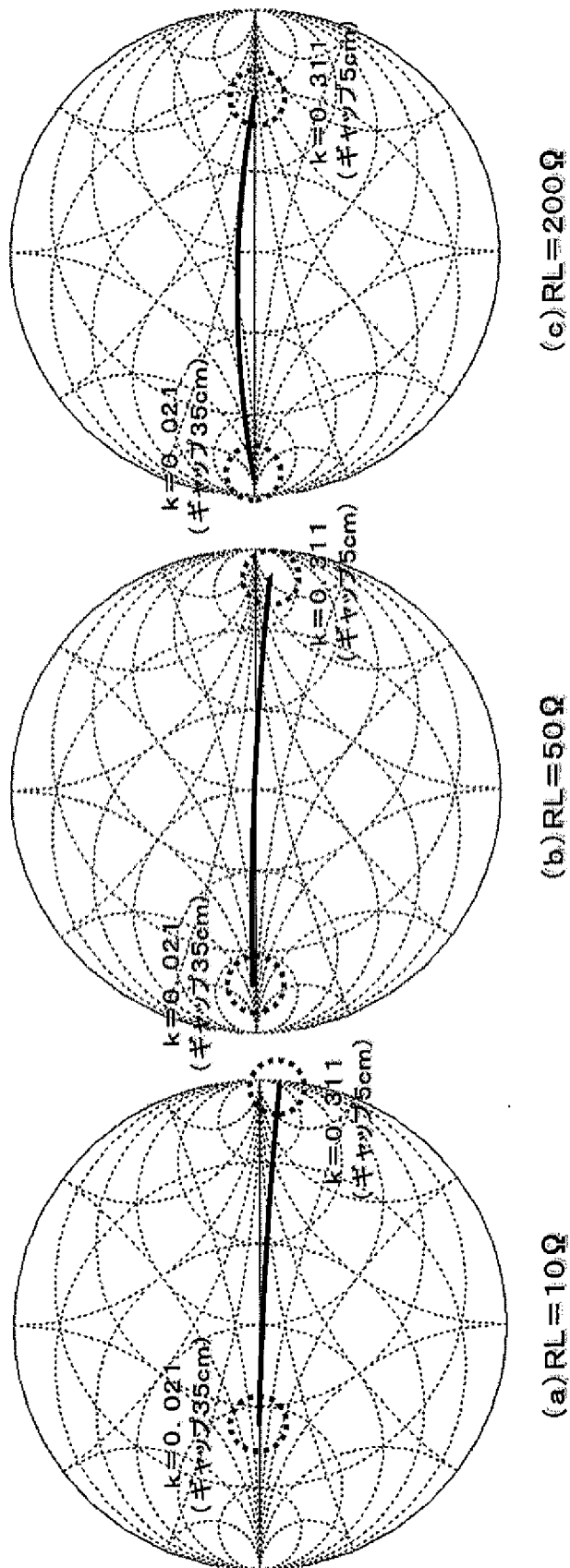
[図3]



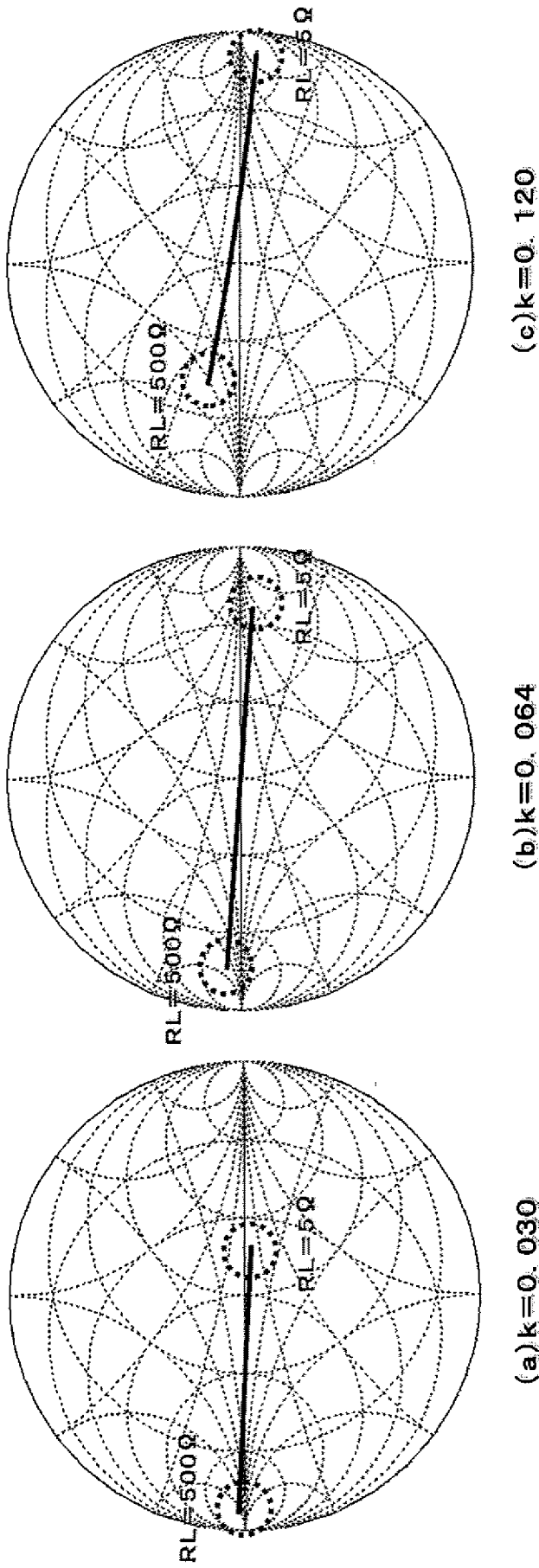
[図4]



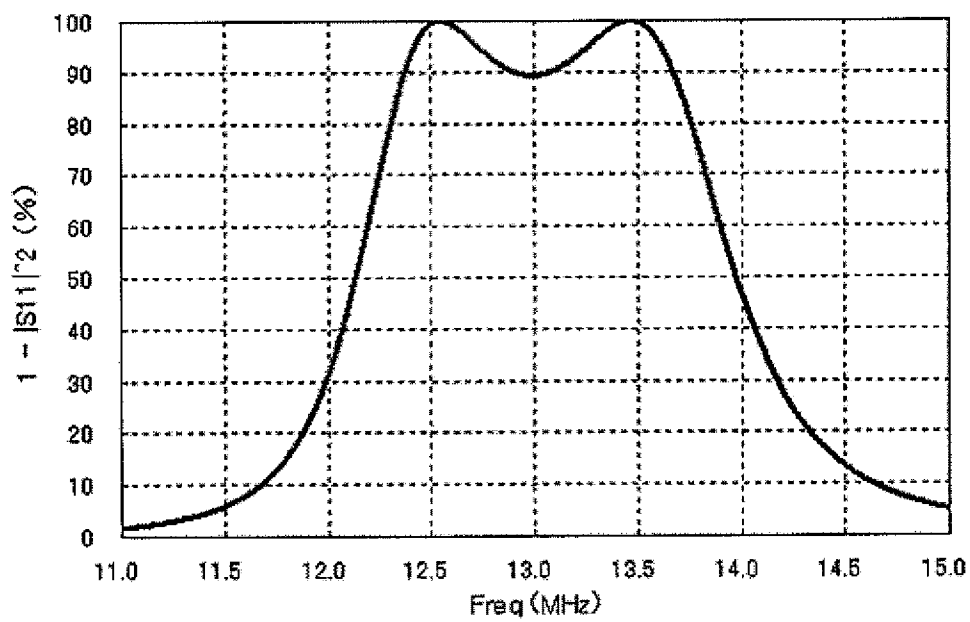
[図5]



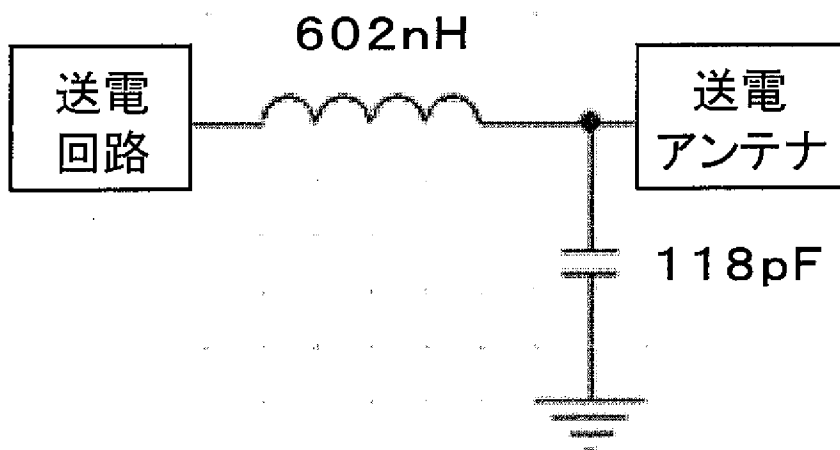
[図6]



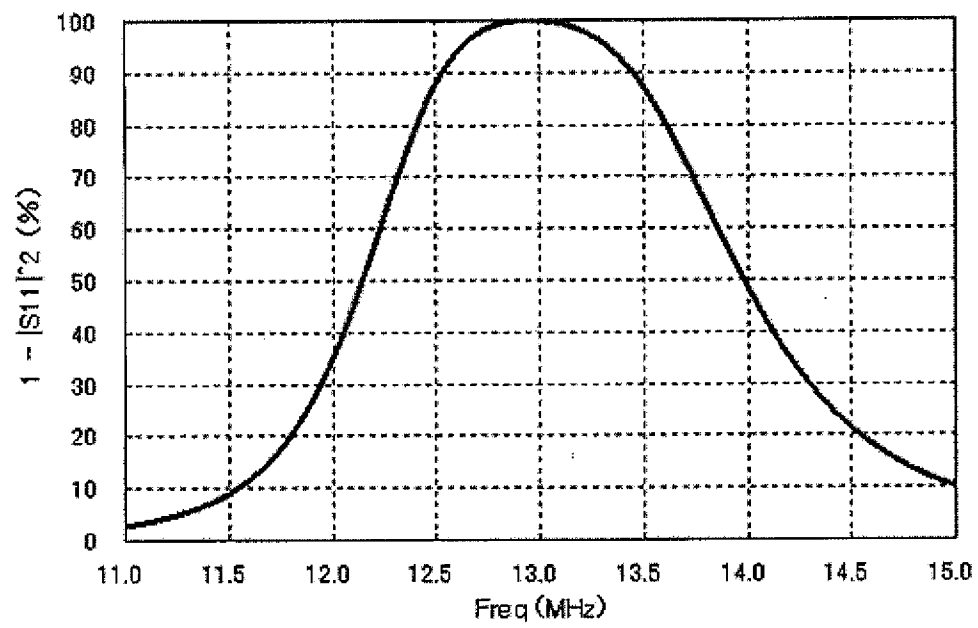
[図7]



[図8]

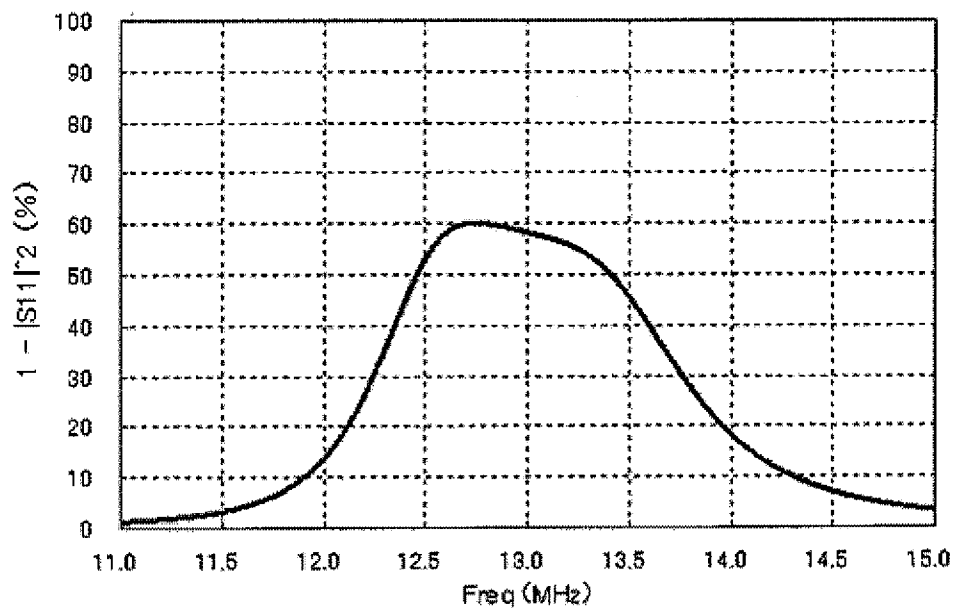


[図9]

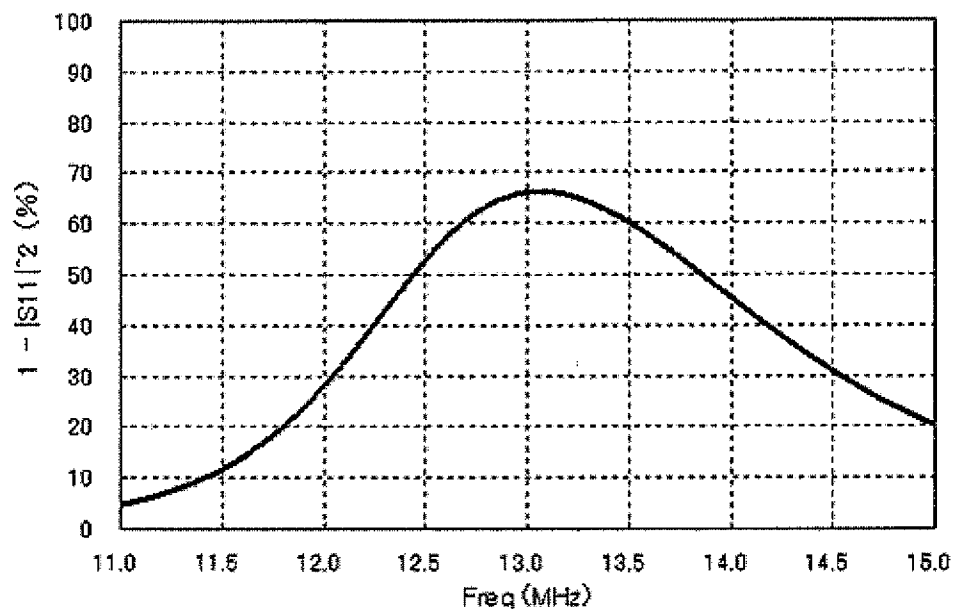


[図10]

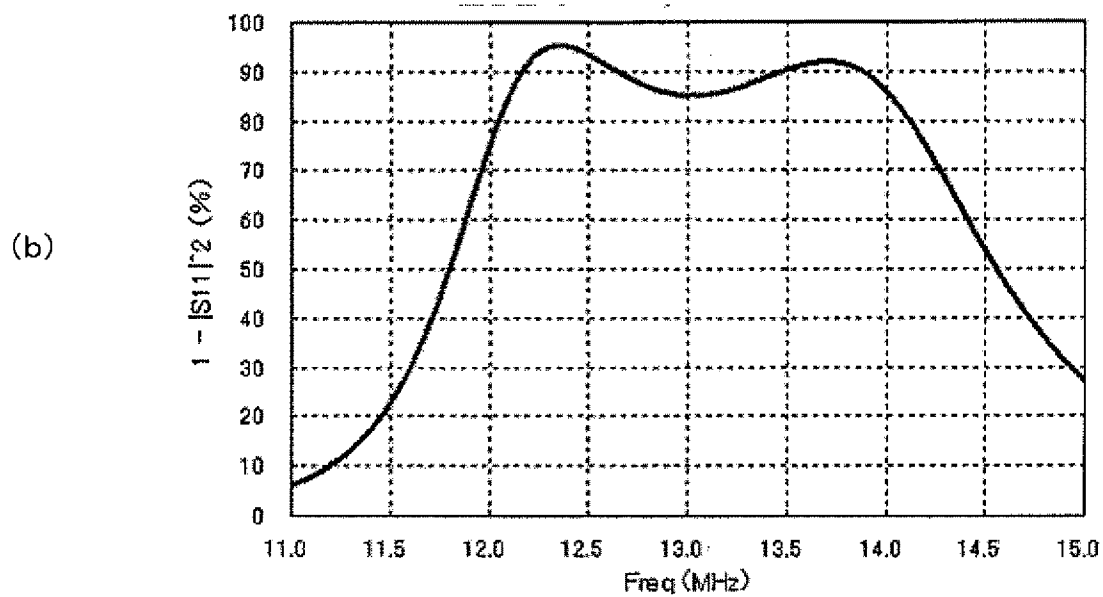
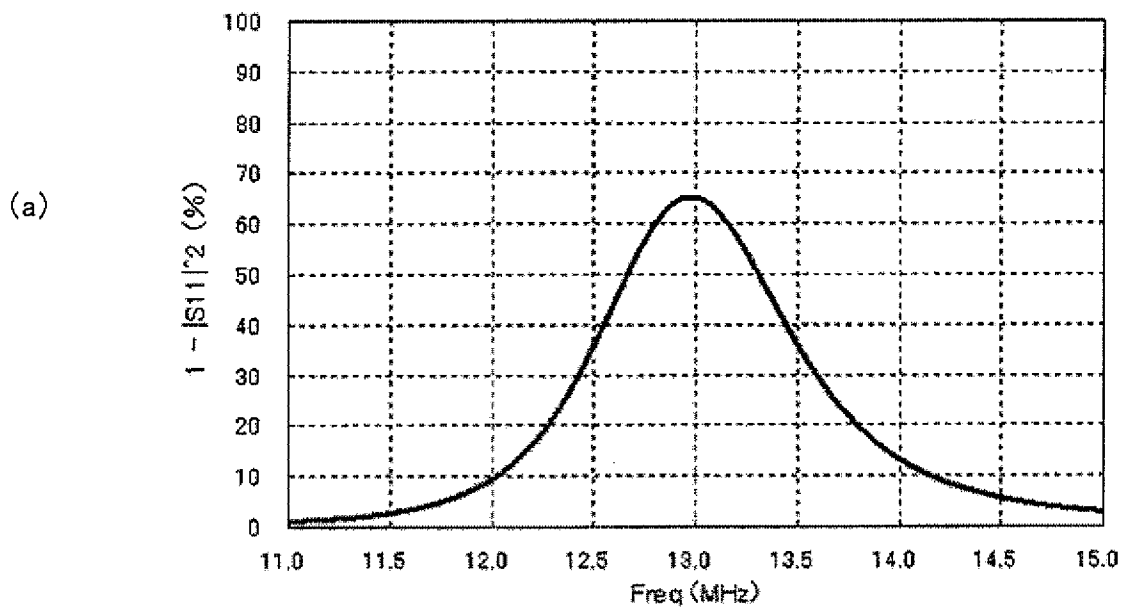
(a)



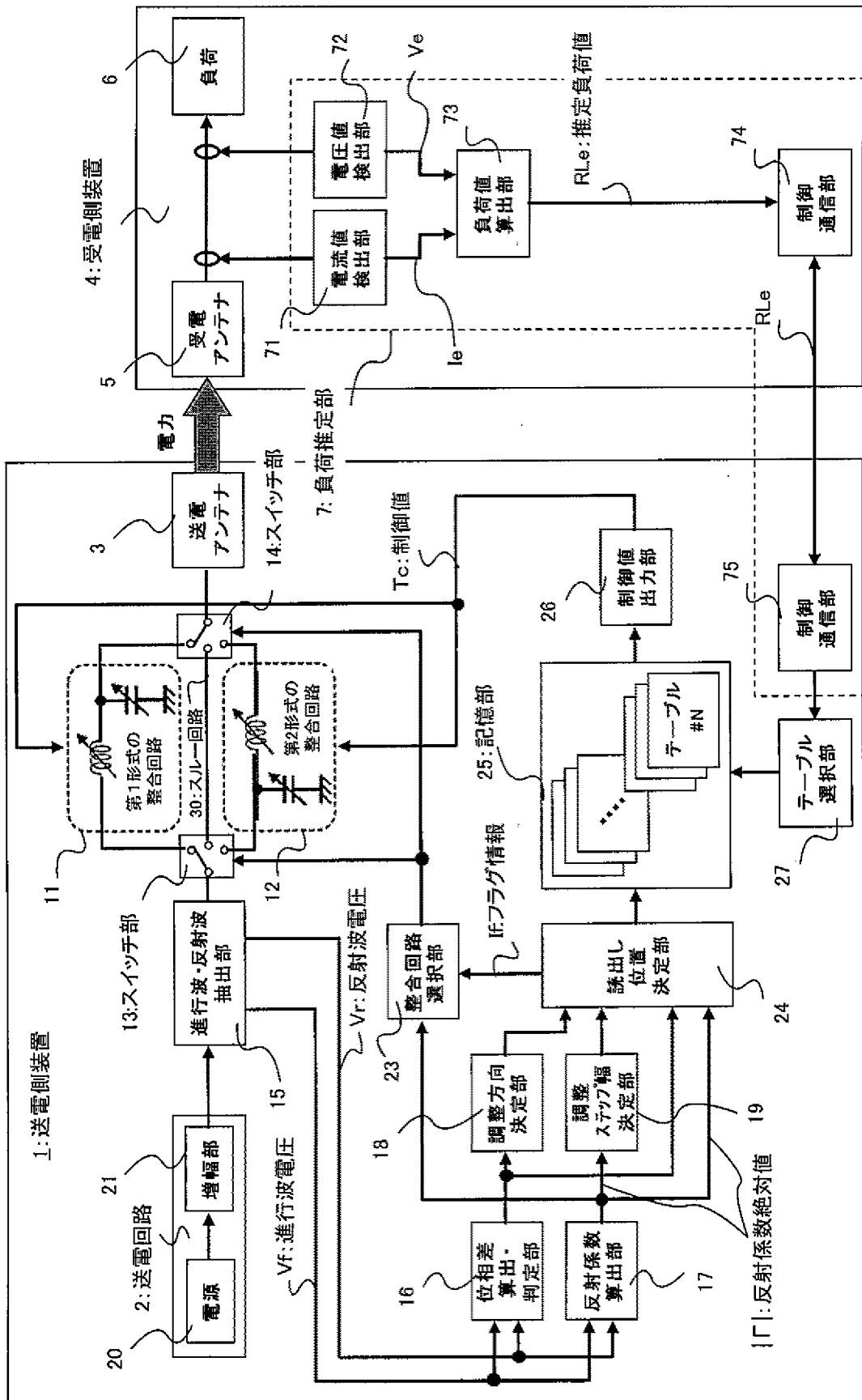
(b)



[図11]



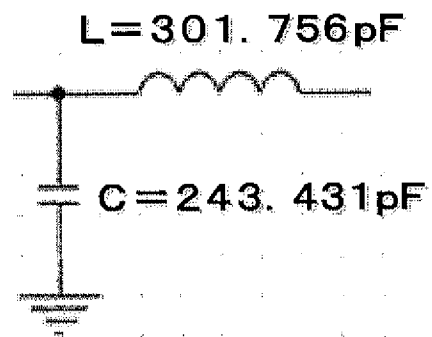
[図12]



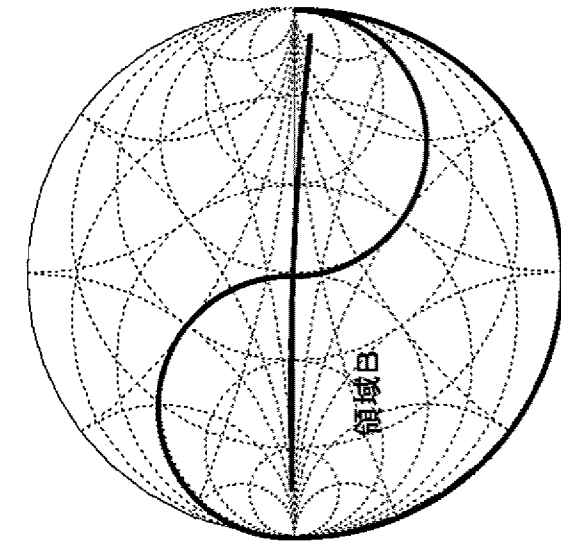
[図13]

Idx	結合係数 k	Ri	Xi	フラグ情報If	C(pF)	L(nH)
1	0.01	1.973	0.036	2	1213.097	119.214
2	0.015	3.184	0.079	2	942.783	149.104
3	0.02	4.679	0.136	2	747.623	180.726
4	0.03	9.726	0.273	2	500.291	239.941
5	0.05	25.248	0.451	2	243.431	301.756
6	0.07	48.539	-0.022	2	42.650	103.774
7	0.1	97.855	-3.972	1	117.812	602.326
8	0.15	215.080	-30.069	1	95.312	1130.954
9	0.2	360.973	-100.689	1	73.466	1600.568
10	0.3	599.609	-405.715	1	47.578	2495.367

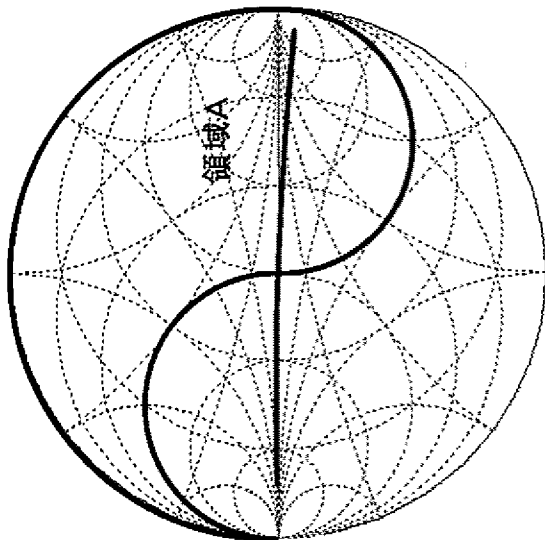
[図14]



[図15]

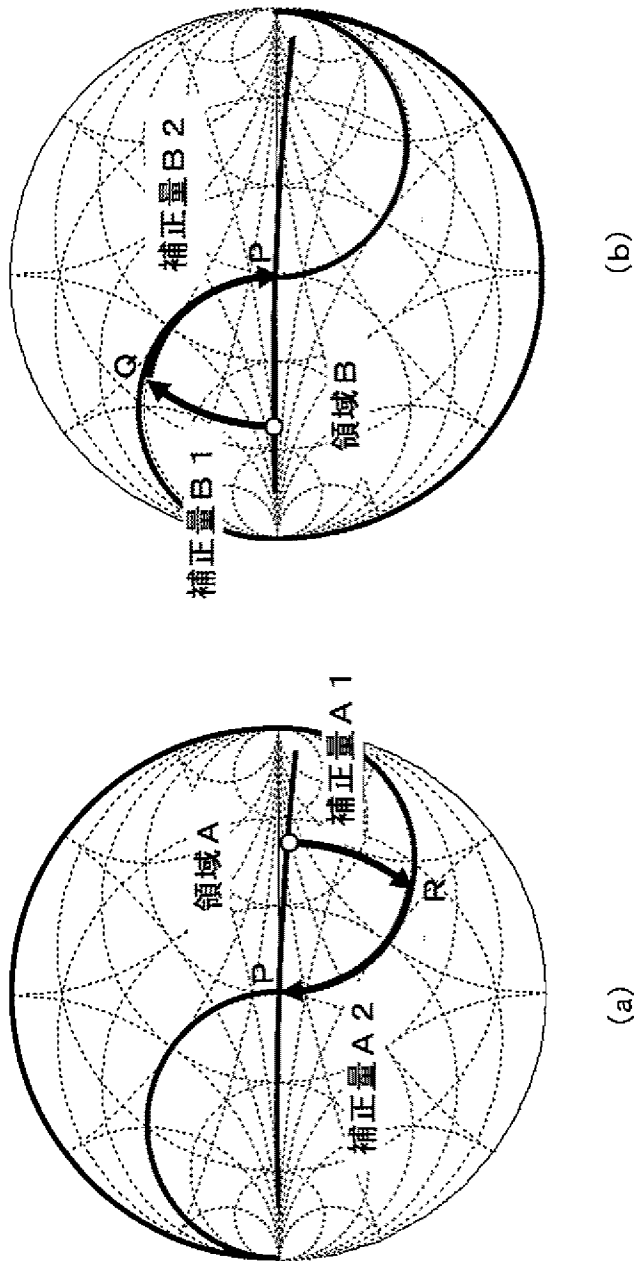


(b)



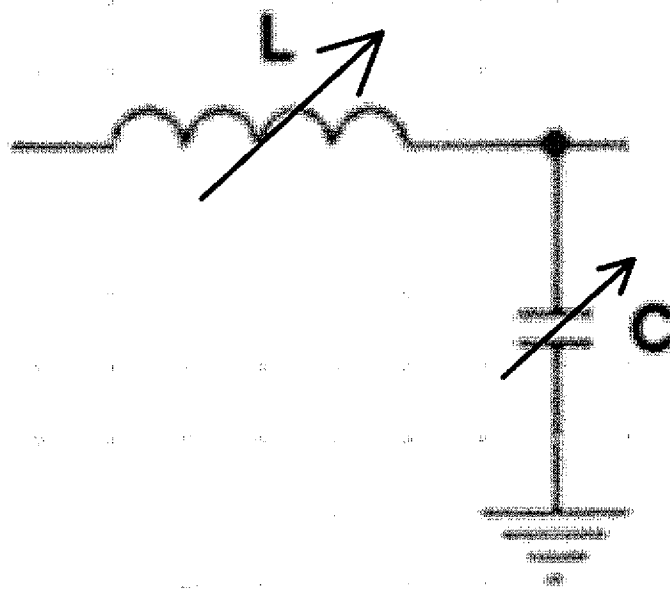
(a)

[図16]

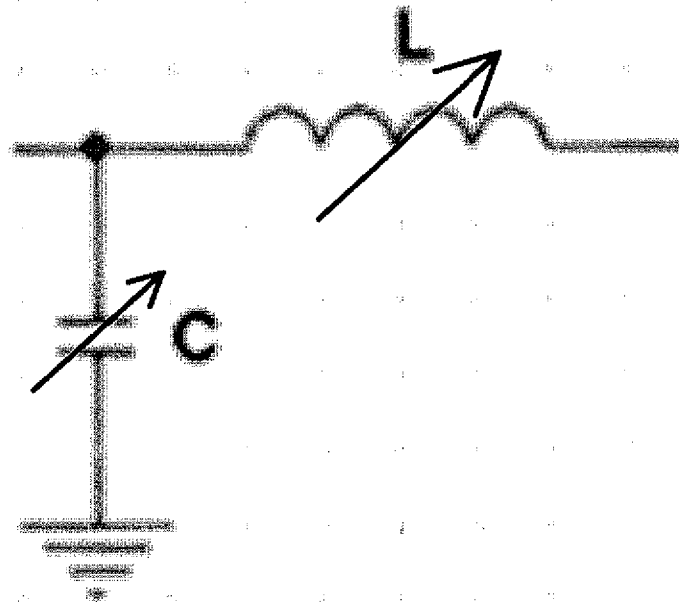


[図17]

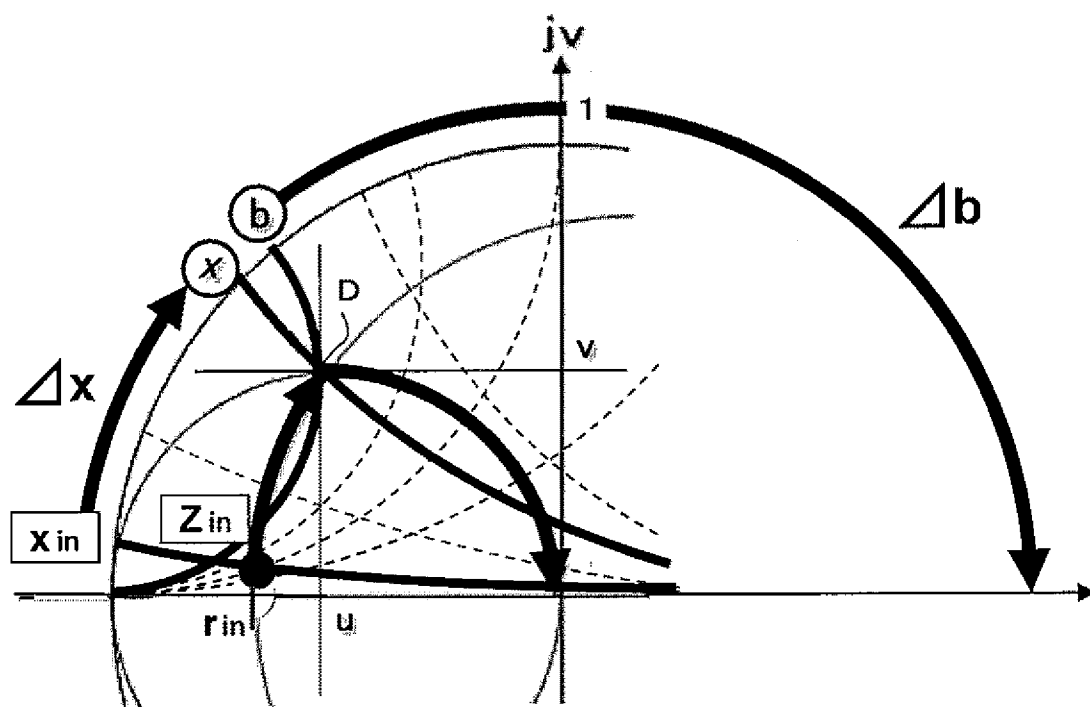
(a)



(b)



(a)



[図19]

(a)

Idx	結合係数 k	Ri	Xi	フラグ情報If	C(pF)	L(nH)
1	0.01	5.493	0.009	2	699.795	192.108
2	0.015	11.105	-0.026	2	460.110	255.801
3	0.02	18.961	-0.161	2	314.566	300.198
4	0.03	41.380	-1.104	2	112.211	245.739
5	0.05	112.421	-9.609	1	112.807	691.257
6	0.07	214.511	-37.280	1	93.200	1136.639
7	0.1	397.945	-143.867	1	67.392	1738.372
8	0.15	603.609	-495.977	1	43.313	2694.830
9	0.2	570.611	-836.471	1	30.409	3632.954
10	0.3	338.672	-1119.851	1	17.119	5491.725

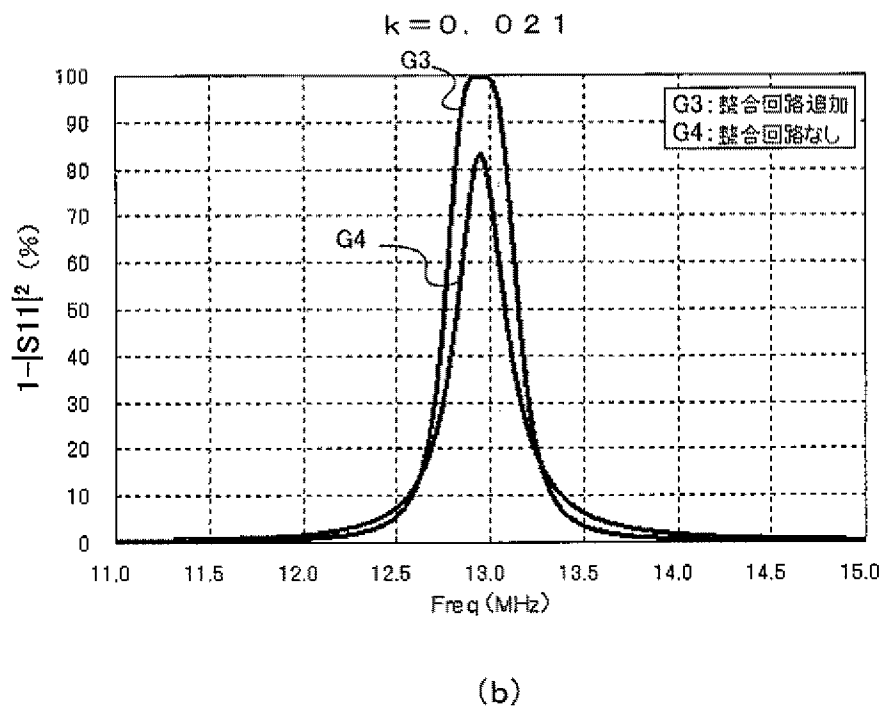
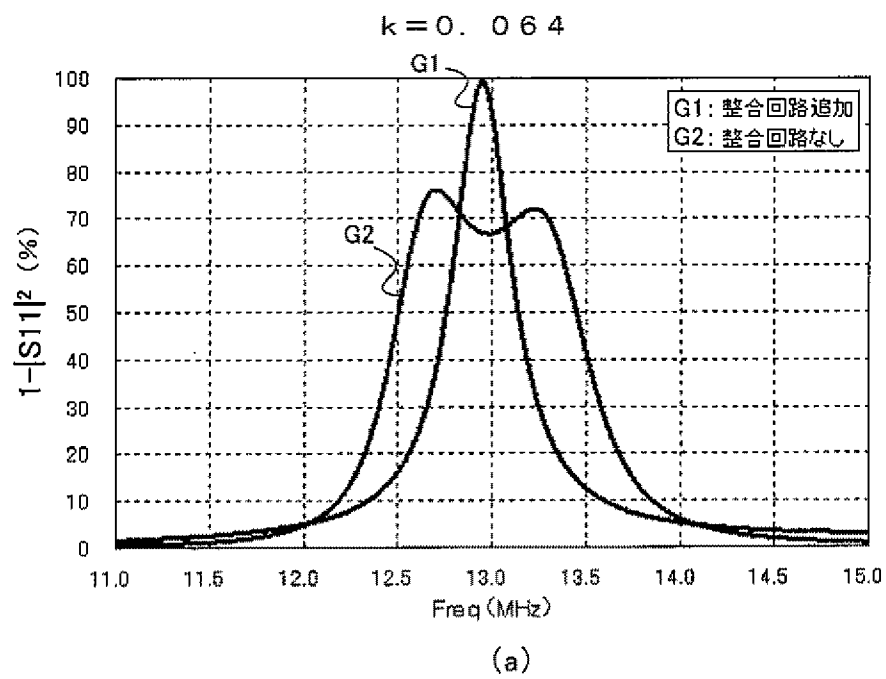
(b)

Idx	結合係数 k	Ri	Xi	フラグ情報If	C(pF)	L(nH)
1	0.01	1.973	0.036	2	1213.097	119.214
2	0.015	3.184	0.079	2	942.783	149.104
3	0.02	4.879	0.136	2	747.623	180.726
4	0.03	9.726	0.273	2	500.291	239.941
5	0.05	25.248	0.451	2	243.431	301.756
6	0.07	48.539	-0.022	2	42.650	103.774
7	0.1	97.855	-3.972	1	117.812	602.326
8	0.15	215.080	-30.069	1	95.312	1130.954
9	0.2	360.973	-100.689	1	73.466	1600.568
10	0.3	599.609	-405.715	1	47.578	2495.367

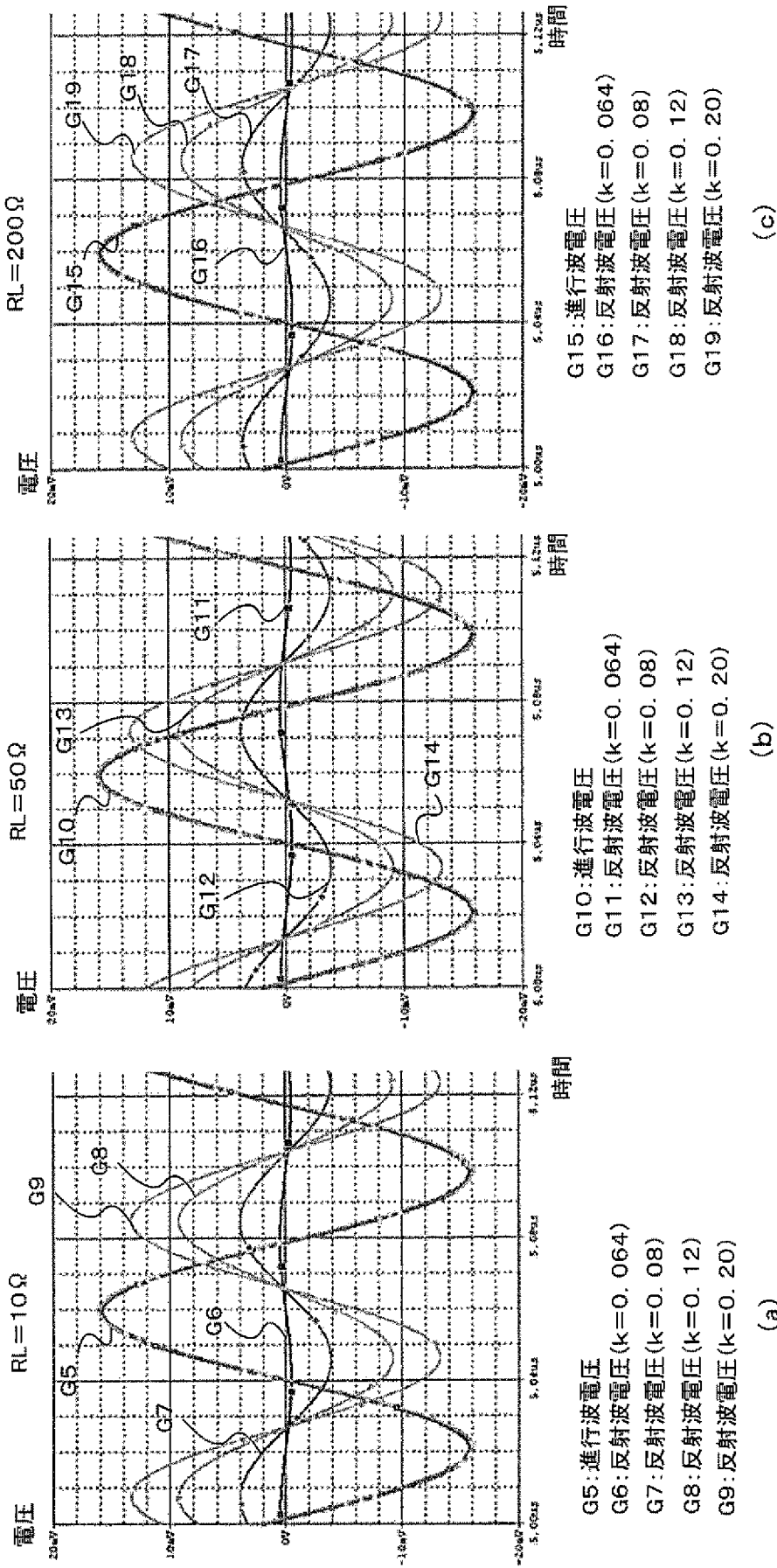
(c)

Idx	結合係数 k	Ri	Xi	フラグ情報If	C(pF)	L(nH)
1	0.01	1.250	0.039	2	1535.450	95.479
2	0.015	1.557	0.088	2	1371.241	105.685
3	0.02	1.988	0.157	2	1208.320	118.157
4	0.03	3.218	0.353	2	937.398	146.496
5	0.05	7.160	0.961	2	601.359	203.482
6	0.07	13.089	1.828	2	412.869	247.726
7	0.1	25.741	3.482	2	238.670	264.384
8	0.15	57.028	6.438	1	107.850	242.053
9	0.2	101.298	7.895	1	132.308	626.294
10	0.3	227.846	-5.609	1	100.389	1159.976

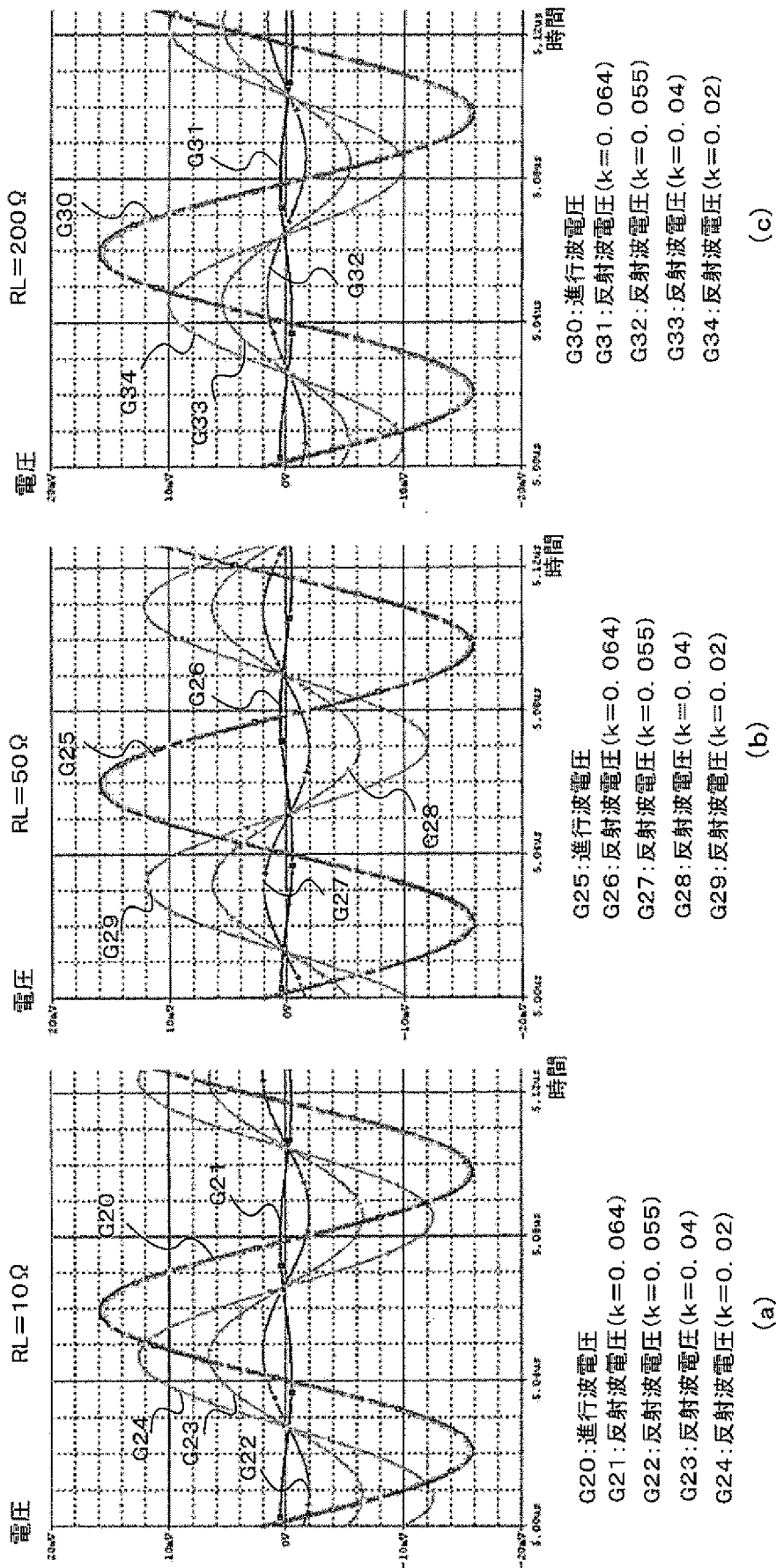
[図20]



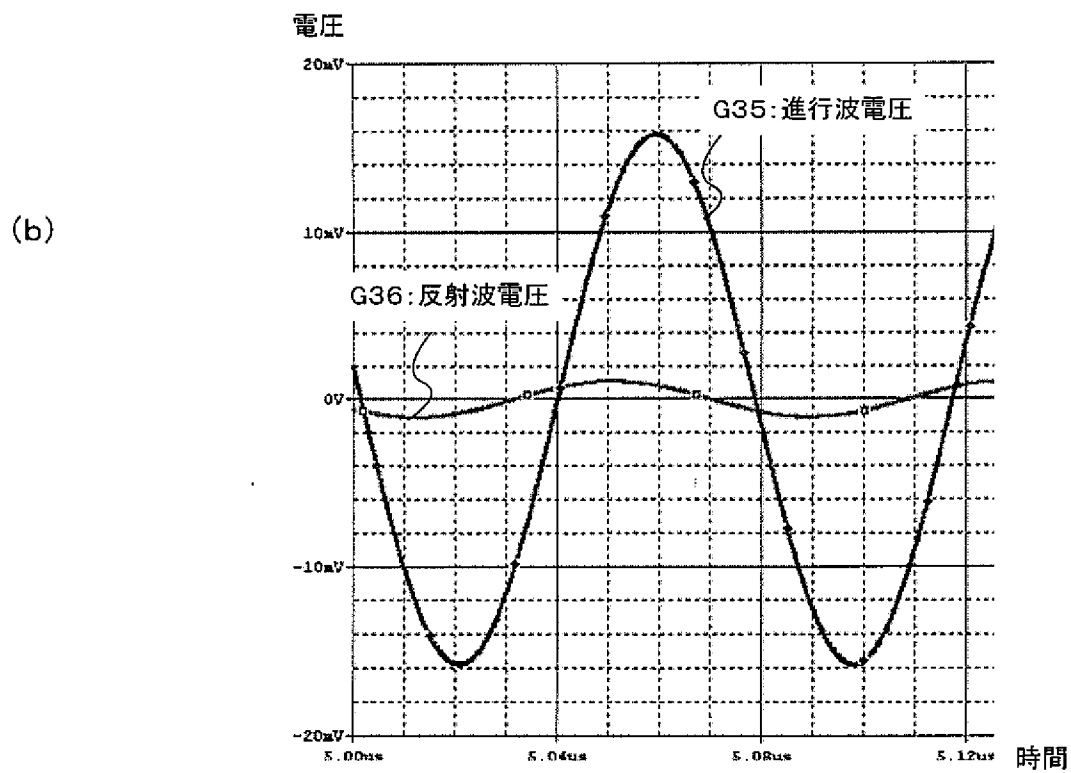
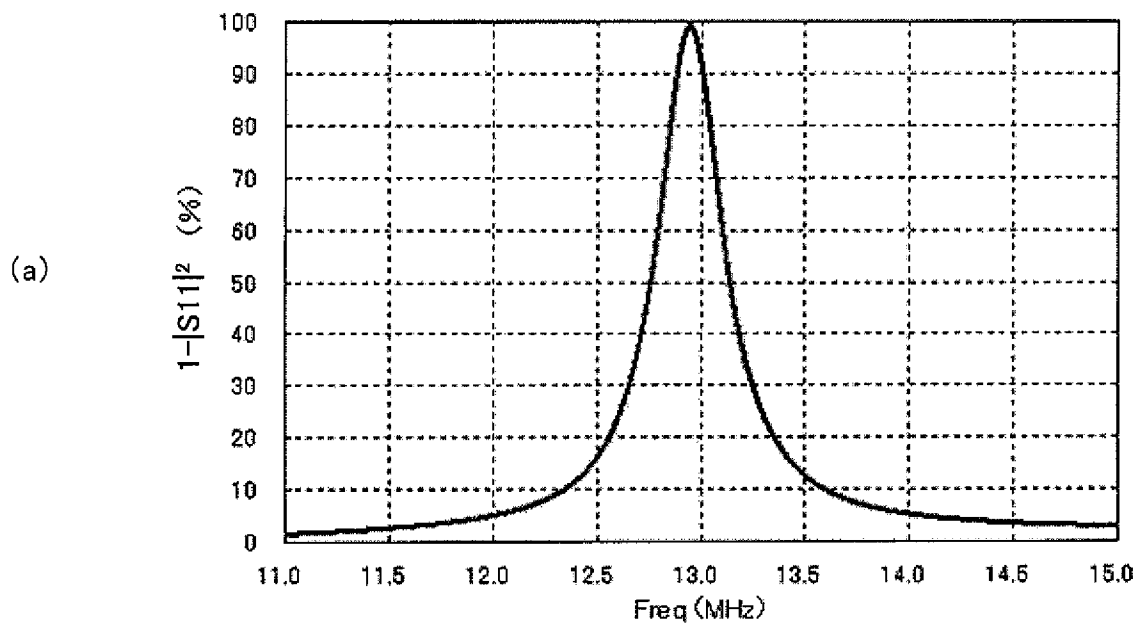
[図21]



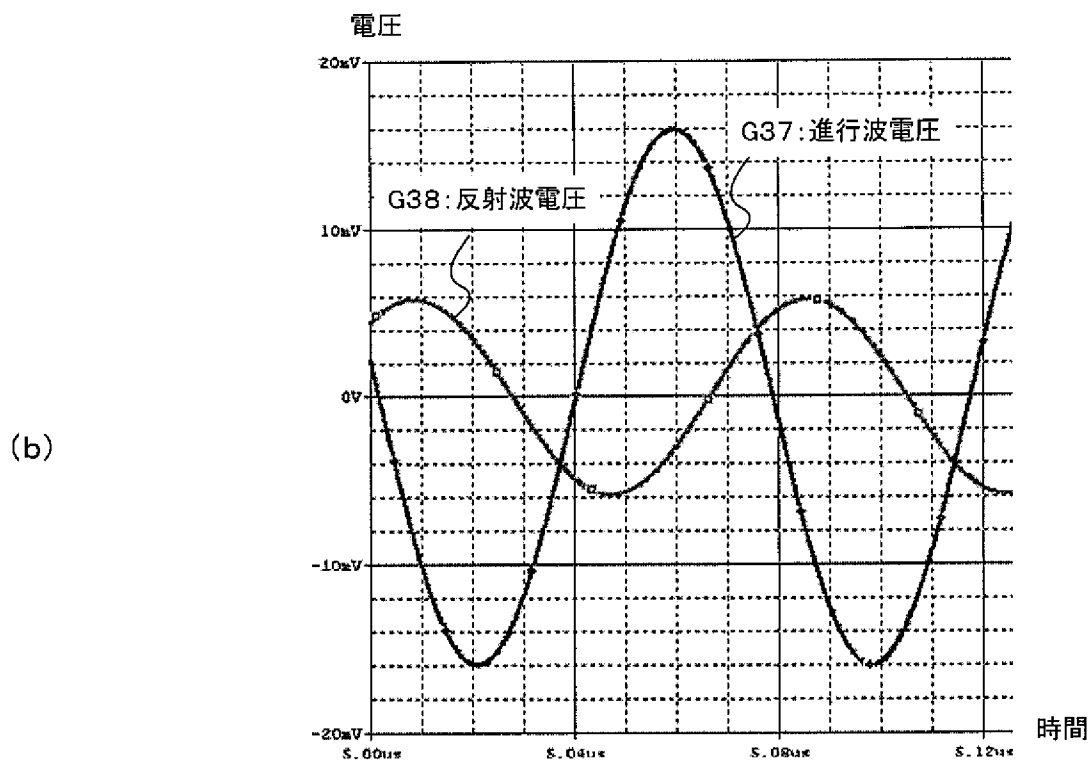
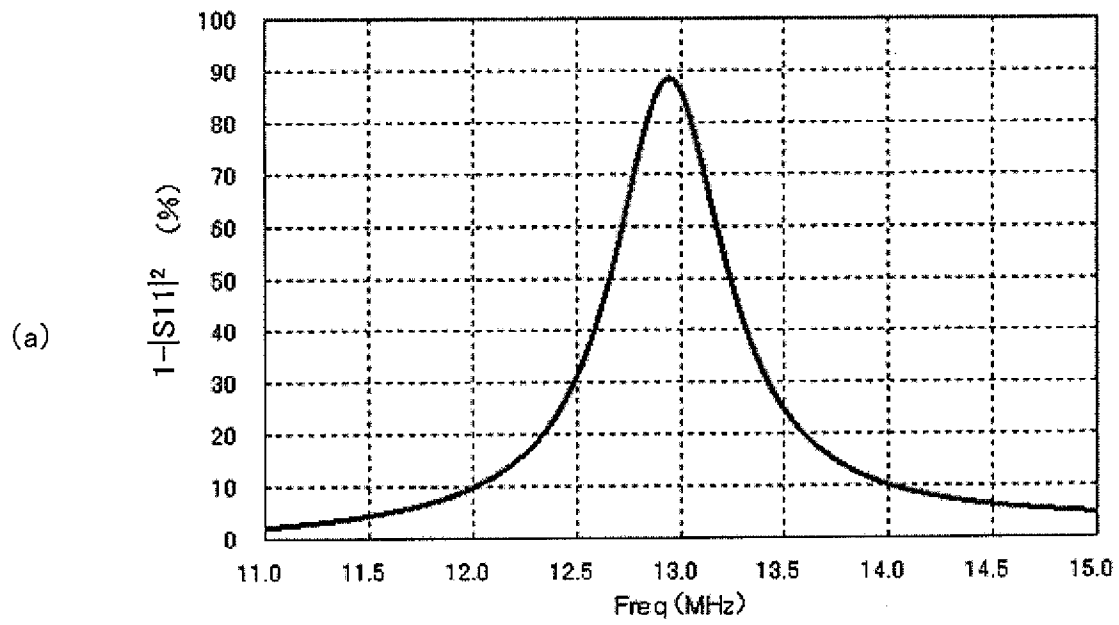
[図22]



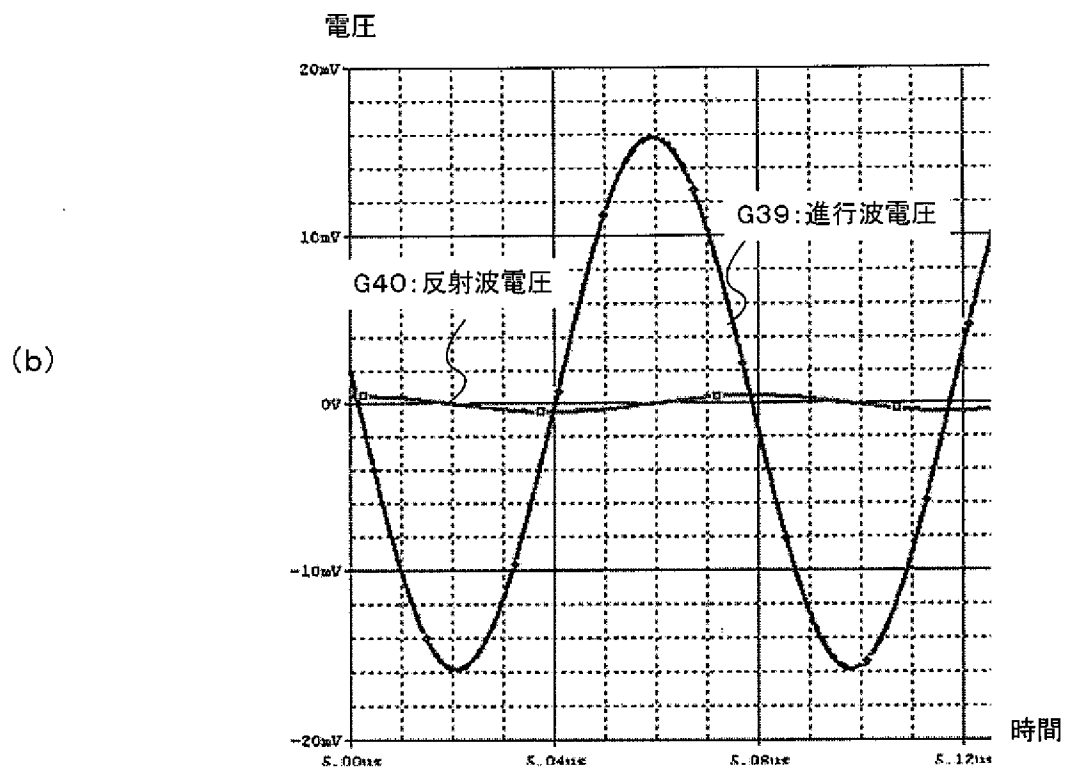
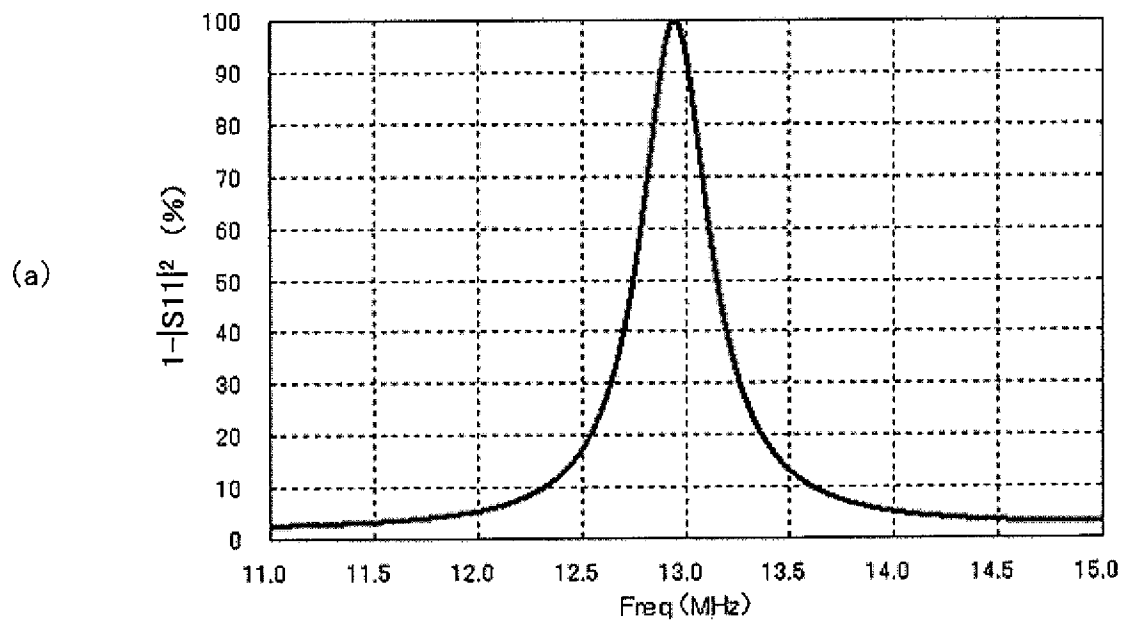
[図23]



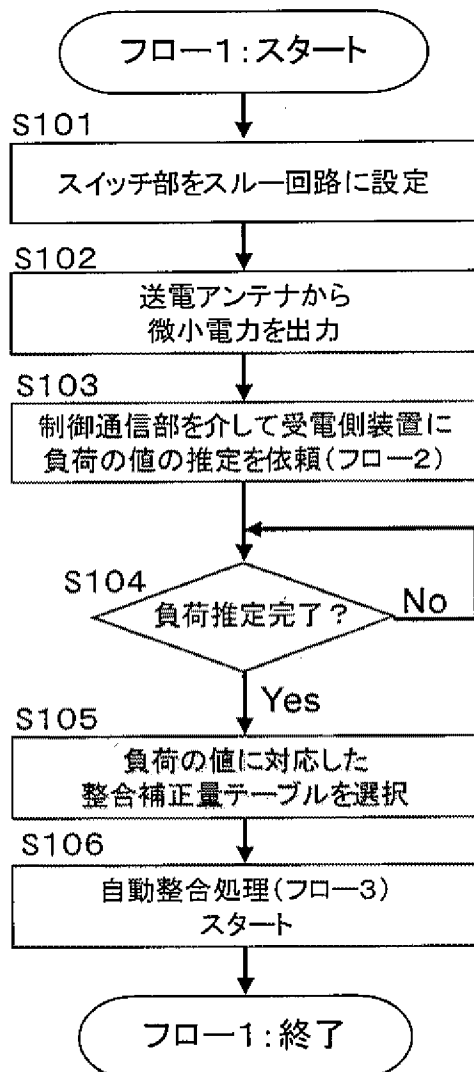
[図24]



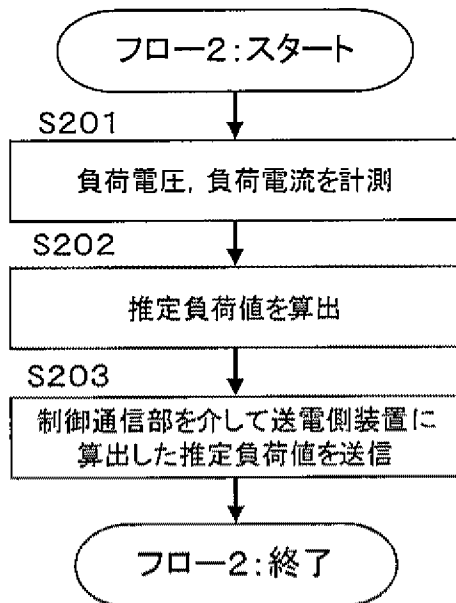
[図25]



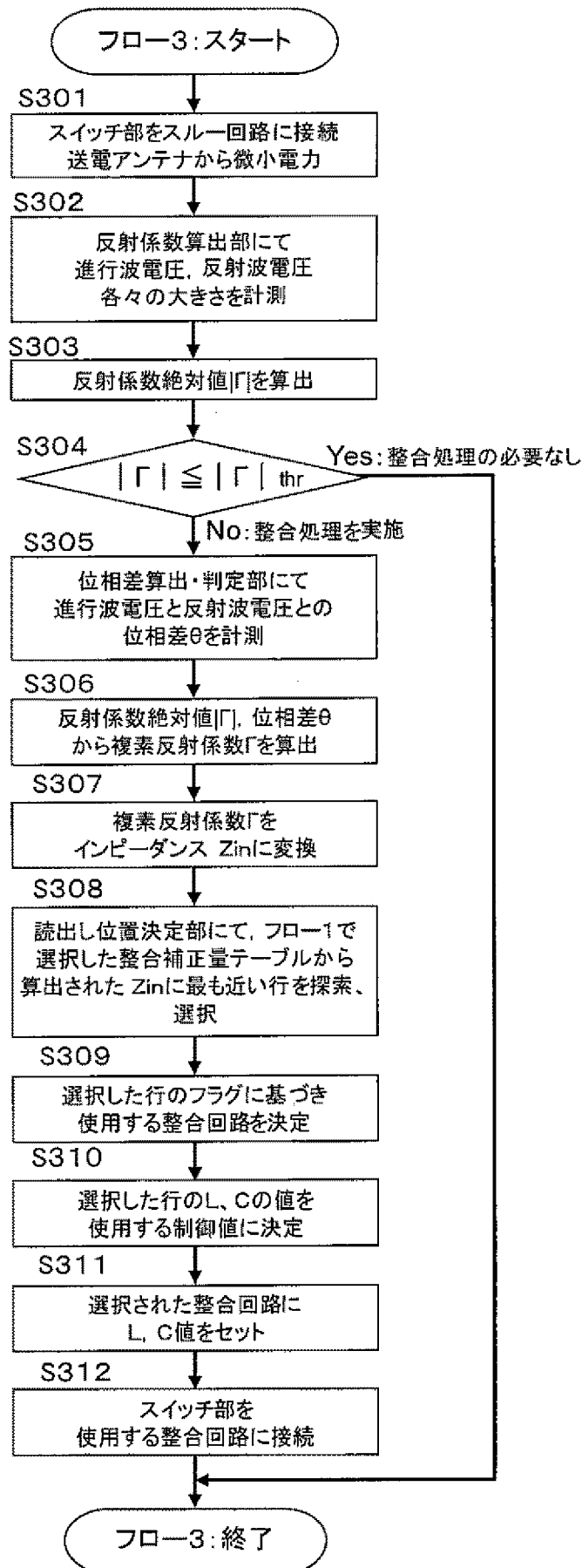
[図26]



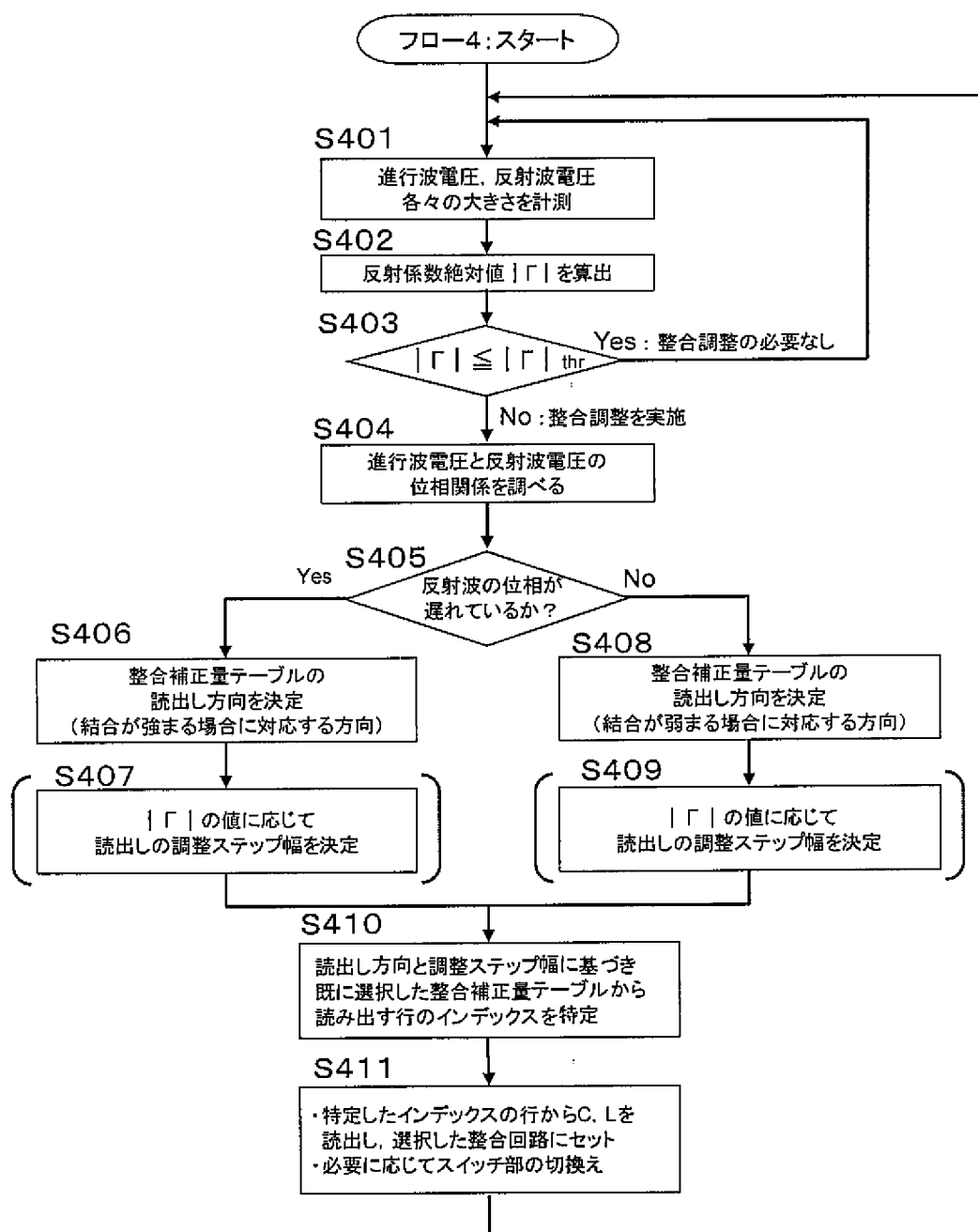
[図27]



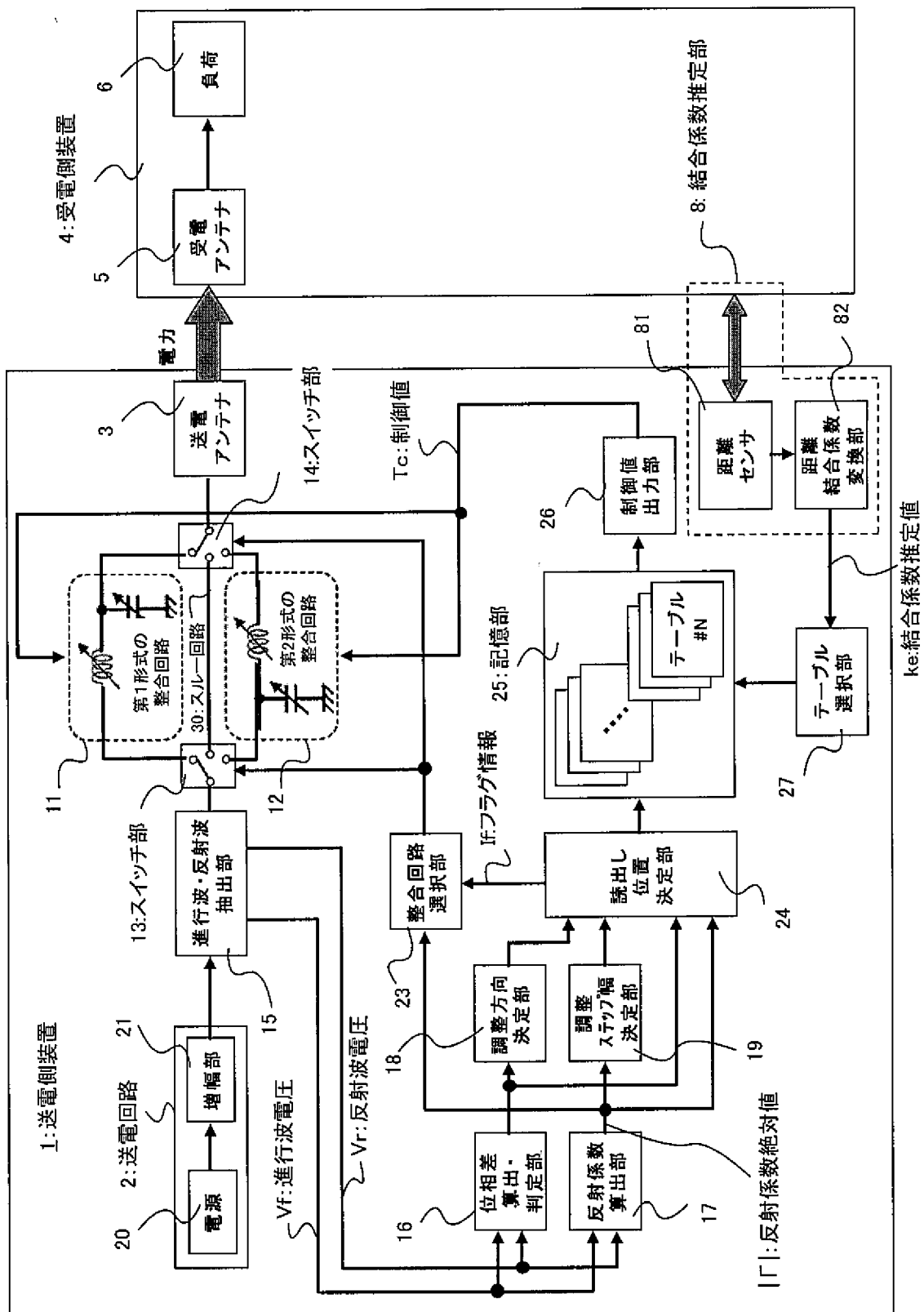
[図28]



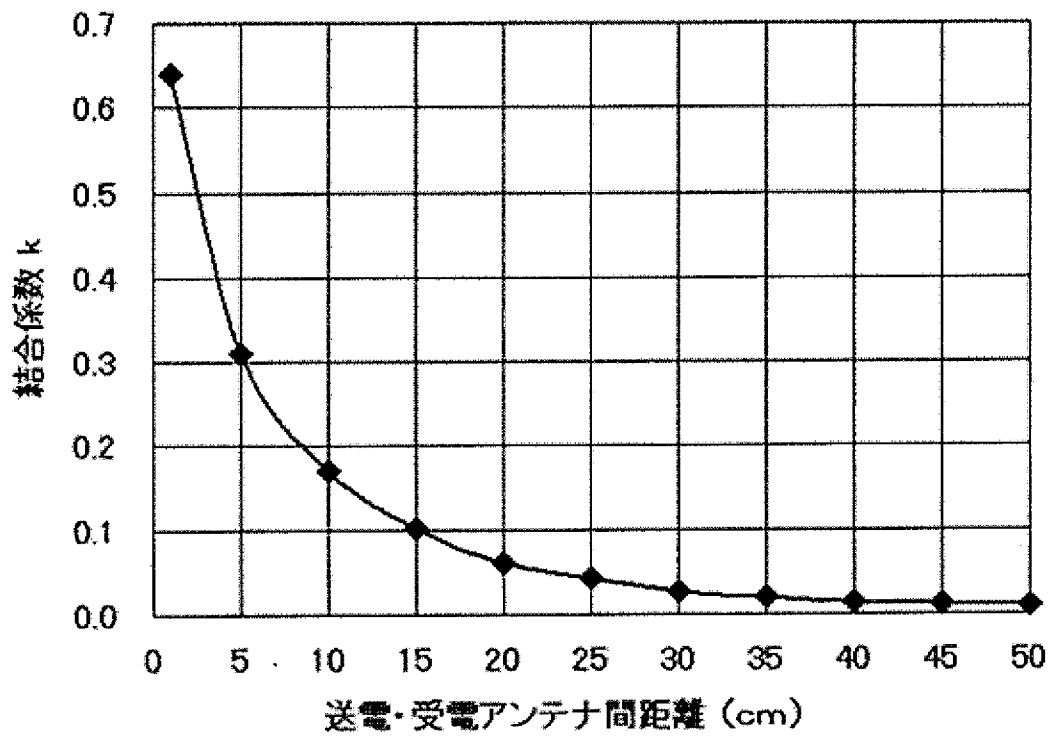
[図29]



[図30]



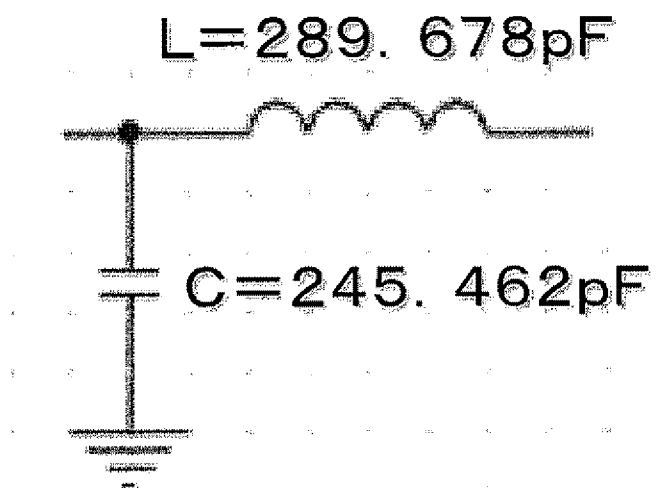
[図31]



[図32]

Idx	負荷 RL	Ri	Xi	フラグ情報If	C	L
1	10	214.511	-37.280	1	93.200	1136.639
2	15	150.340	-17.050	1	106.302	879.062
3	20	115.540	-9.228	1	113.274	707.650
4	30	78.987	-3.268	1	112.143	469.084
5	50	48.539	-0.022	2	42.650	103.774
6	70	35.178	0.918	2	159.584	269.409
7	100	25.040	1.435	2	245.462	289.678
8	150	17.087	1.723	2	341.218	270.344
9	200	13.089	1.828	2	412.869	247.726
10	300	9.076	1.907	2	522.059	213.467
11	500	5.856	1.952	2	675.026	173.649

[図33]



[図34]

(a)

Idx	負荷 RL	Ri	Xi	フラグ情報If	C	L
1	10	41.380	-1.104	2	112.211	245.739
2	15	28.784	-0.359	2	211.078	308.196
3	20	22.176	-0.073	2	275.389	306.247
4	30	15.350	0.148	2	369.378	281.683
5	50	9.726	0.273	2	500.291	239.941
6	70	7.270	0.311	2	596.056	212.837
7	100	5.409	0.333	2	705.897	186.815
8	150	3.951	0.347	2	839.357	161.543
9	200	3.218	0.353	2	937.398	146.496
10	300	2.483	0.357	2	1075.562	129.130
11	500	1.893	0.360	2	1239.454	112.875

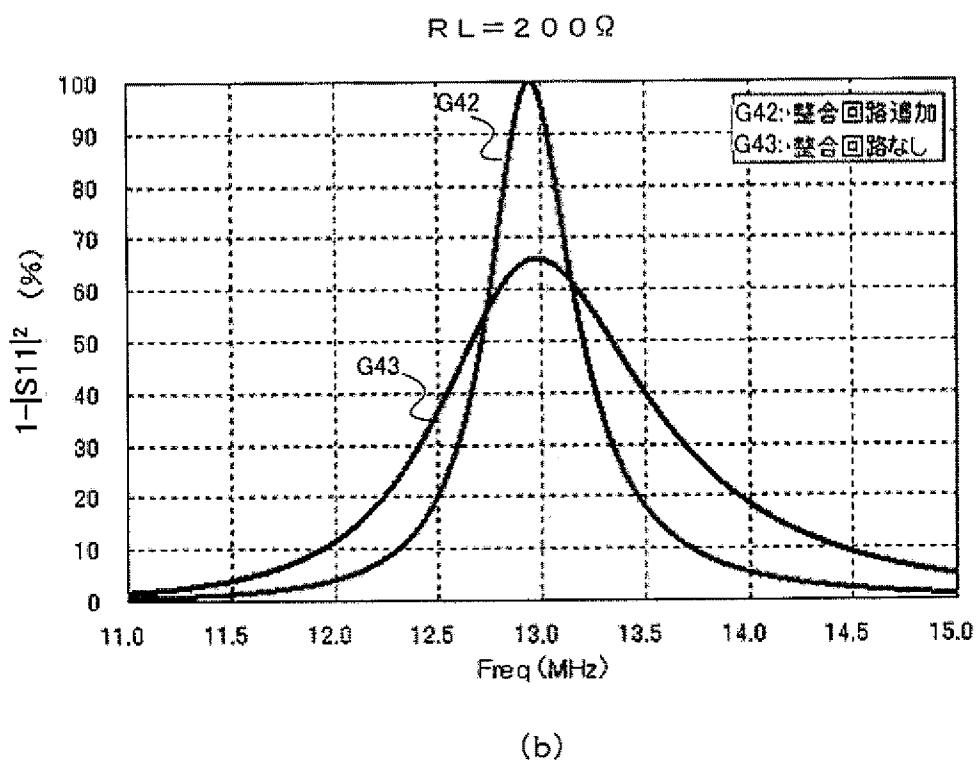
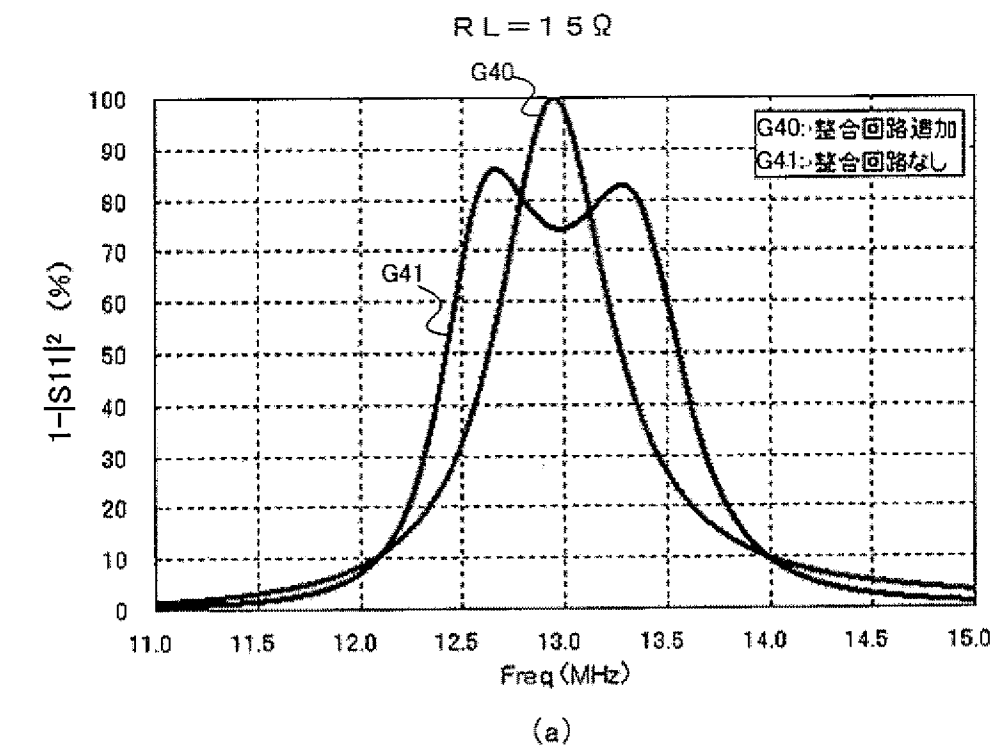
(b)

Idx	負荷 RL	Ri	Xi	フラグ情報If	C	L
1	10	214.511	-37.280	1	93.200	1136.639
2	15	150.340	-17.050	1	106.302	879.062
3	20	115.540	-9.228	1	113.274	707.650
4	30	78.987	-3.268	1	112.143	468.084
5	50	48.539	-0.022	2	42.650	103.774
6	70	35.178	0.918	2	159.584	269.409
7	100	25.040	1.435	2	245.462	289.678
8	150	17.087	1.723	2	341.218	270.344
9	200	13.089	1.828	2	412.869	247.726
10	300	9.076	1.907	2	522.059	213.467
11	500	5.856	1.952	2	675.026	173.649

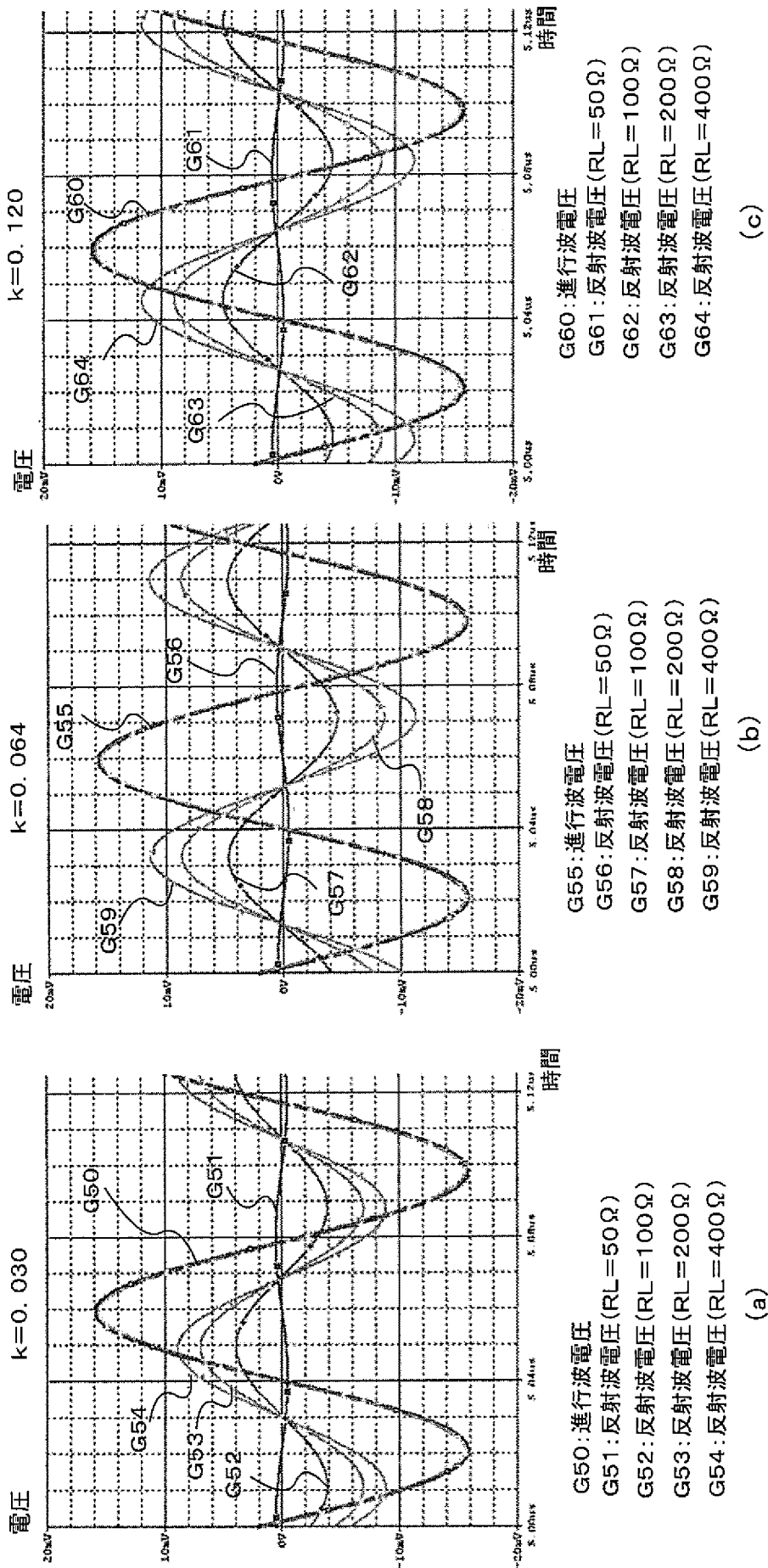
(c)

Idx	負荷 RL	R	X	フラグ情報If	C	L
1	10	603.609	-495.977	1	43.313	2694.830
2	15	530.050	-296.236	1	53.625	2208.627
3	20	451.034	-189.106	1	62.126	1905.032
4	30	335.065	-90.878	1	75.784	1529.736
5	50	215.080	-30.069	1	95.312	1130.954
6	70	157.202	-11.535	1	108.630	903.538
7	100	111.760	-1.253	1	121.012	683.189
8	150	75.444	4.410	1	125.915	440.678
9	200	57.028	6.438	1	107.850	242.053
10	300	38.469	7.915	2	134.601	161.598
11	500	23.537	8.695	2	260.687	199.912

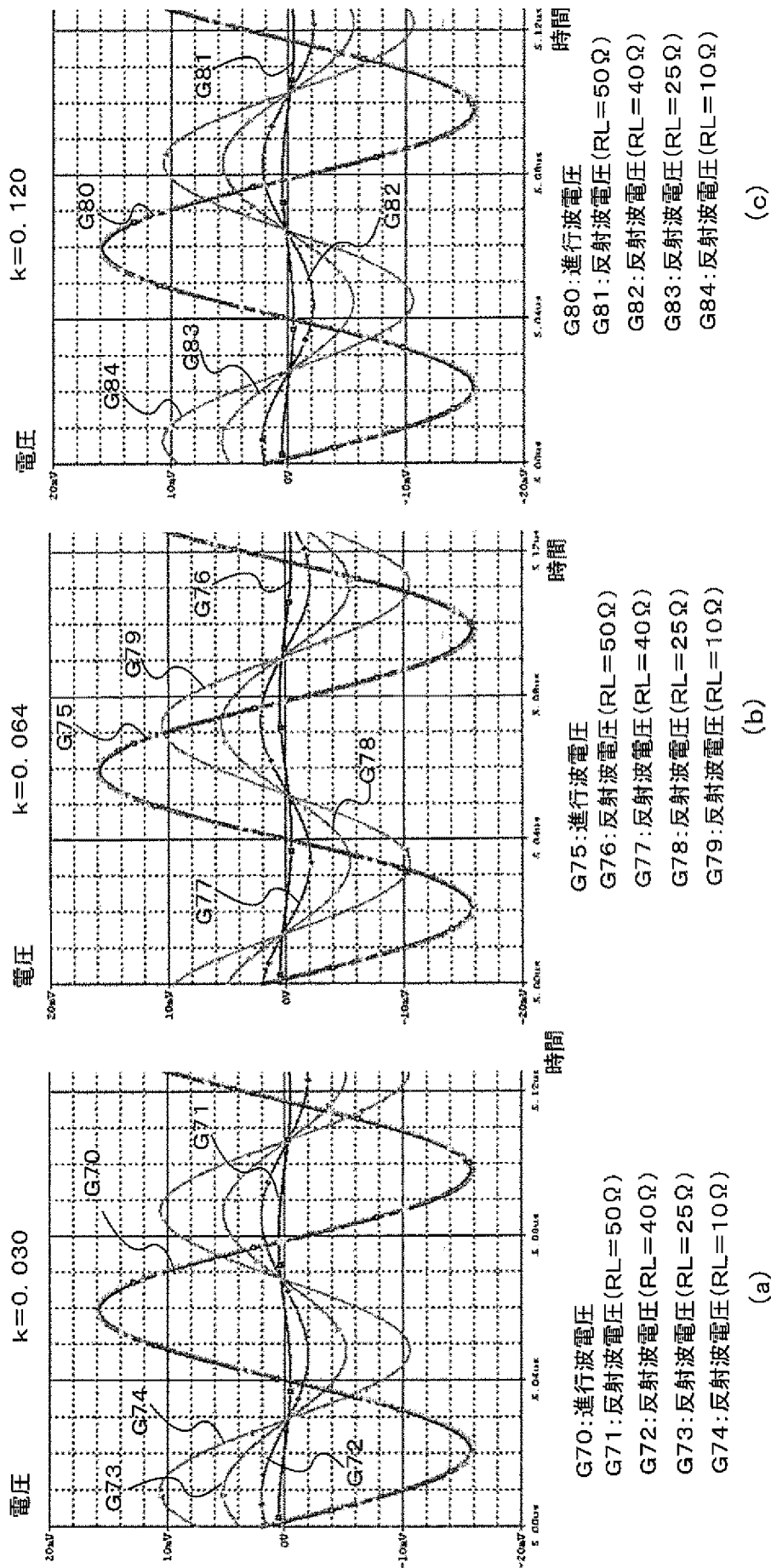
[図35]



[図36]

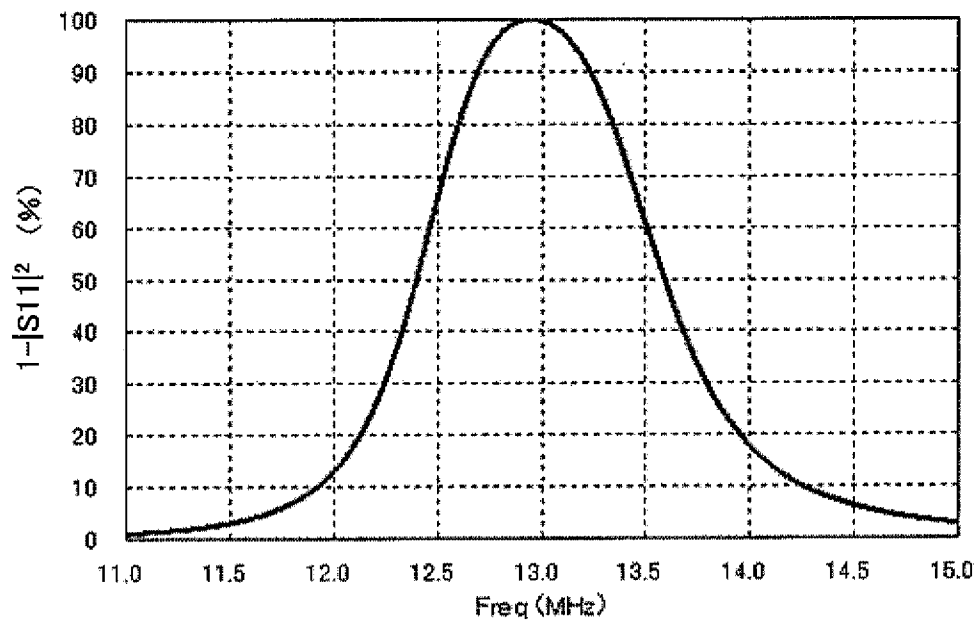


[図37]

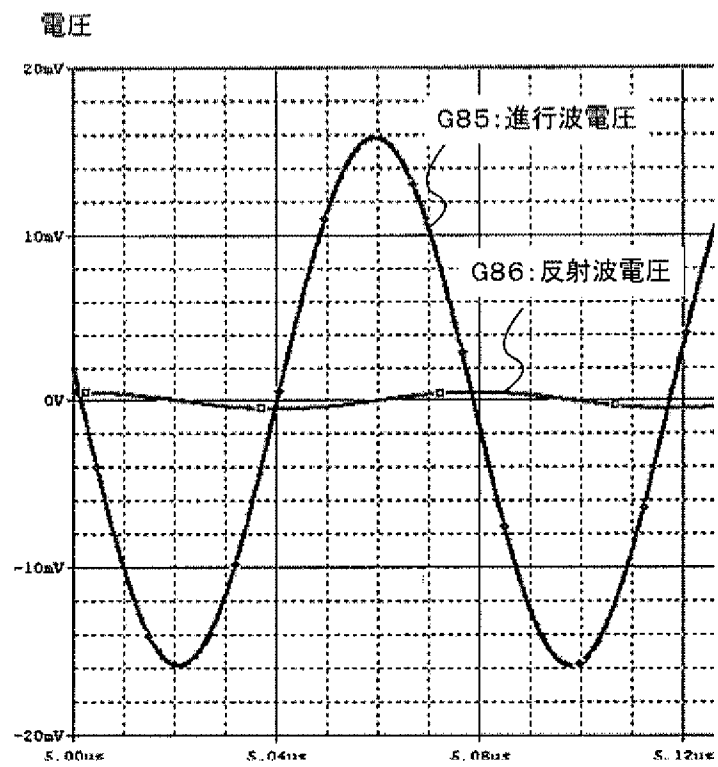


[図38]

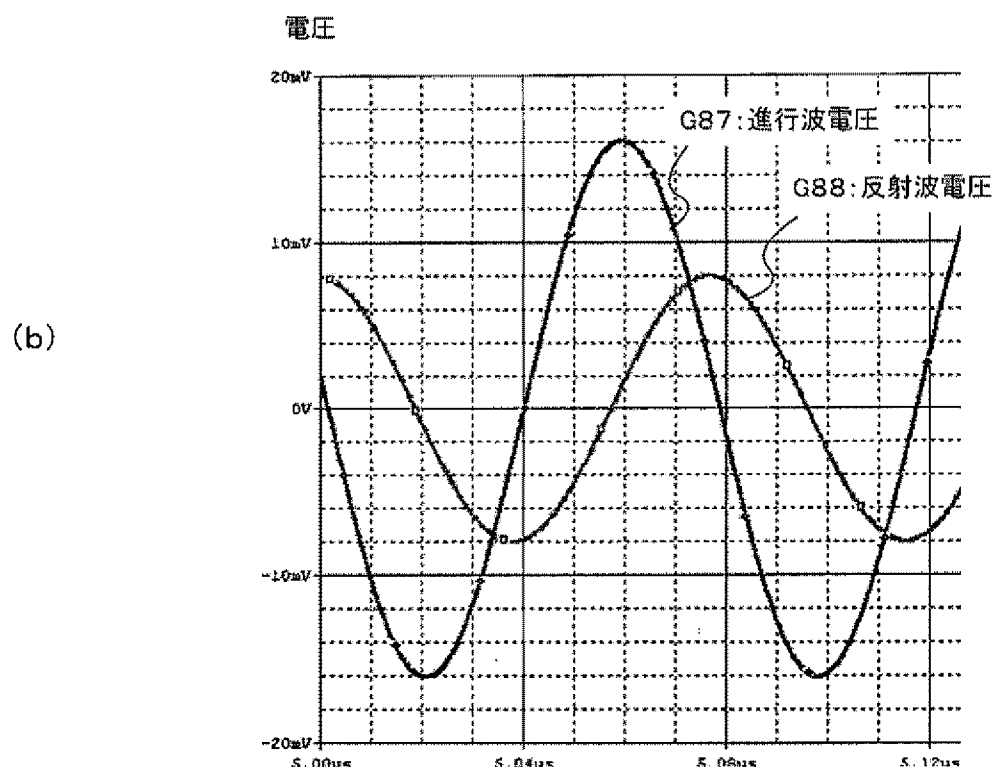
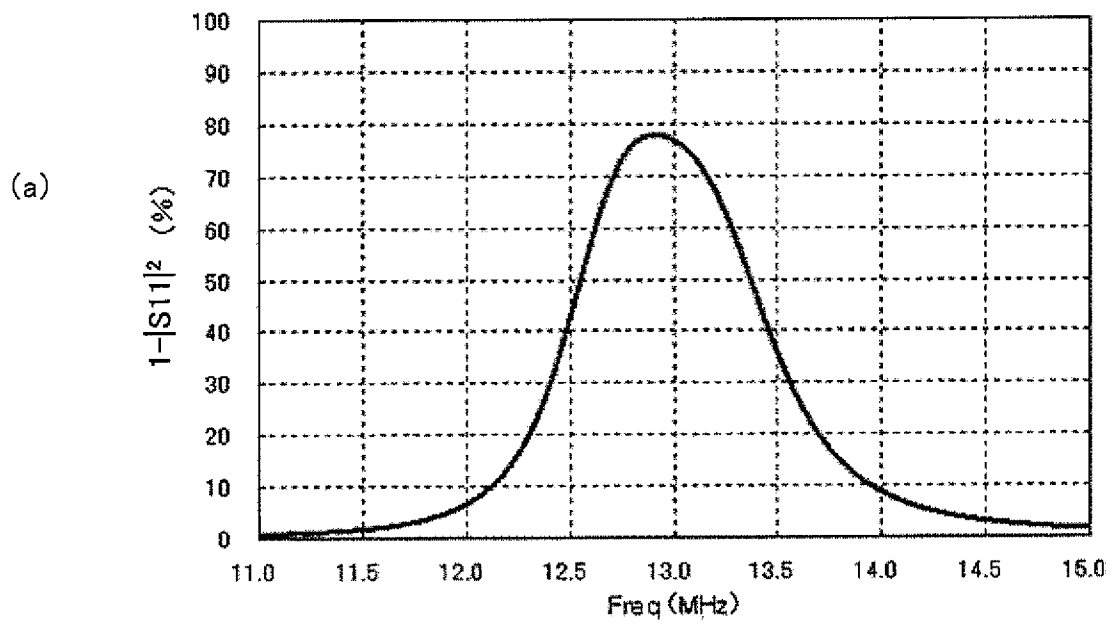
(a)



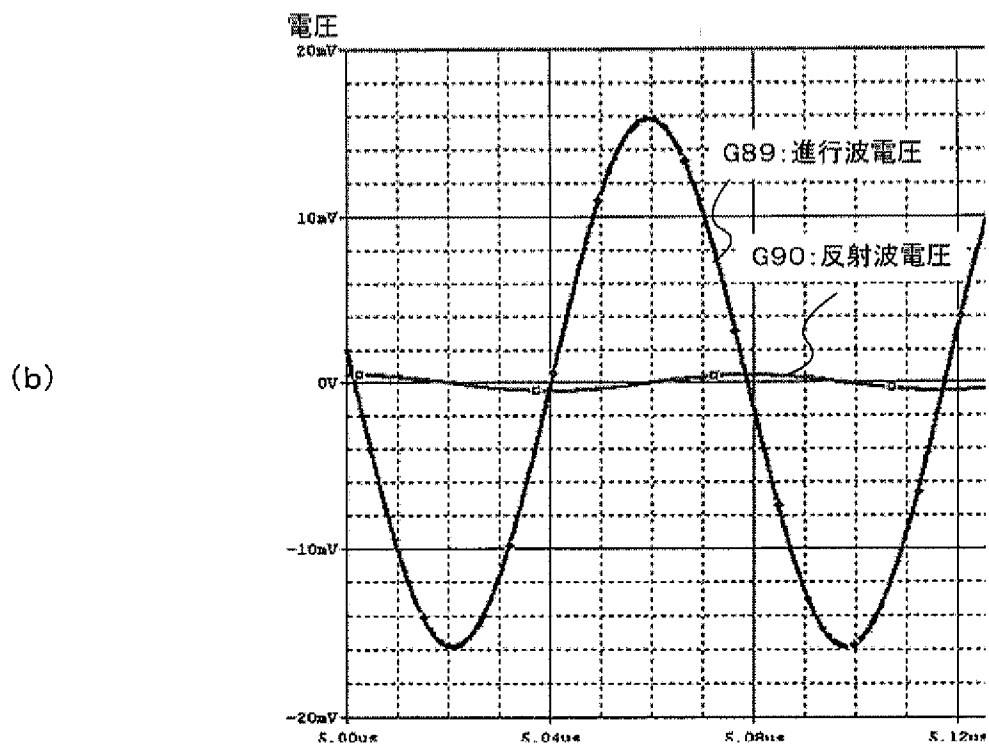
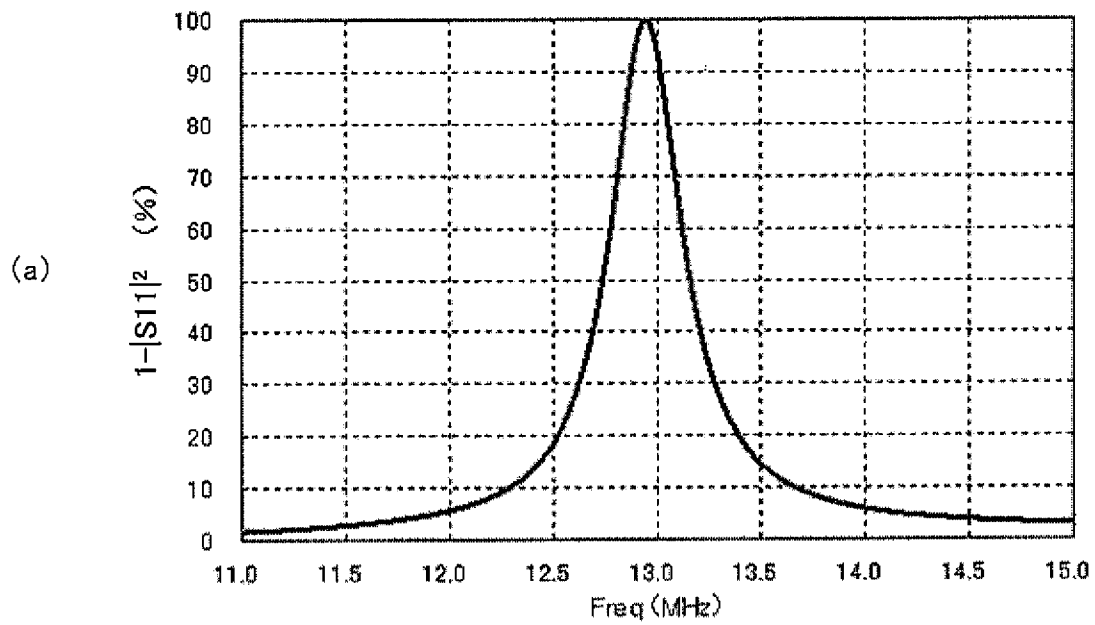
(b)



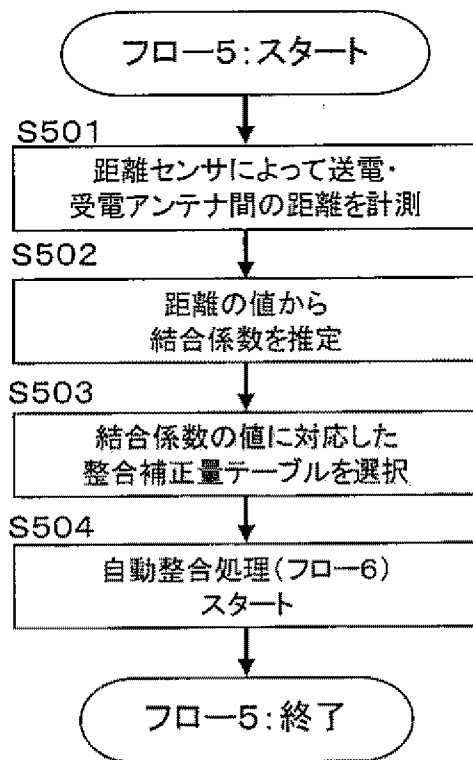
[図39]



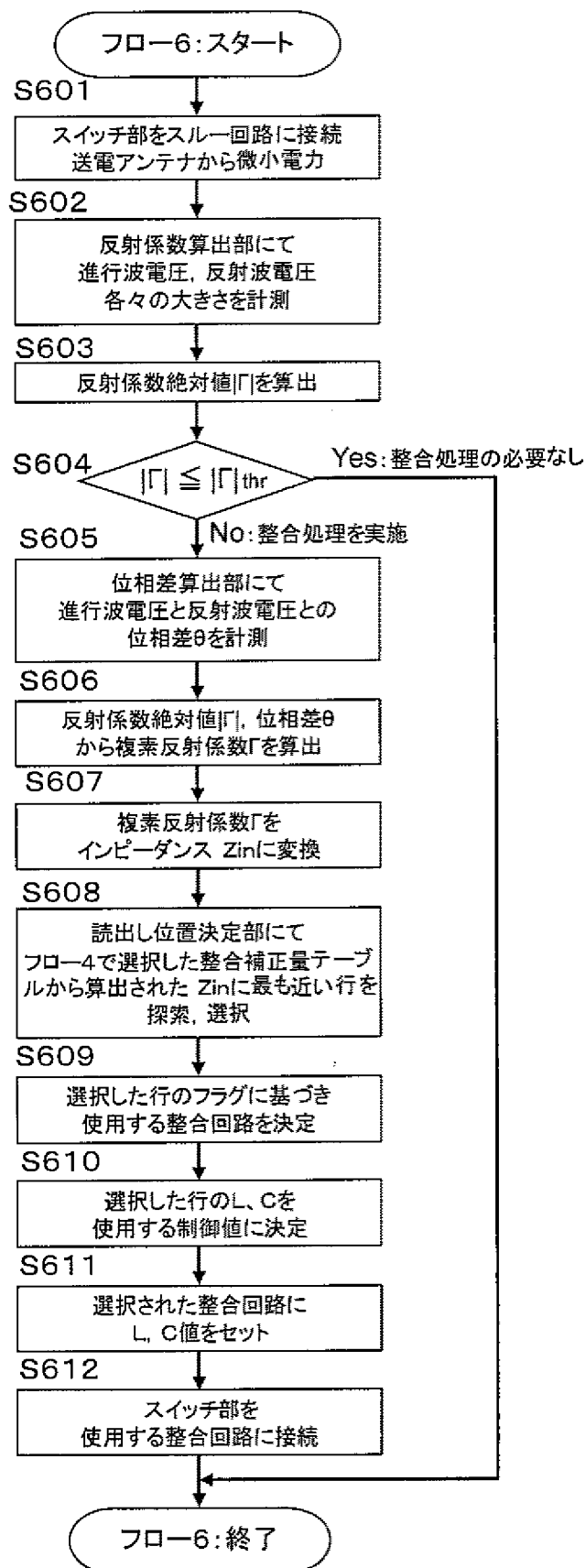
[図40]



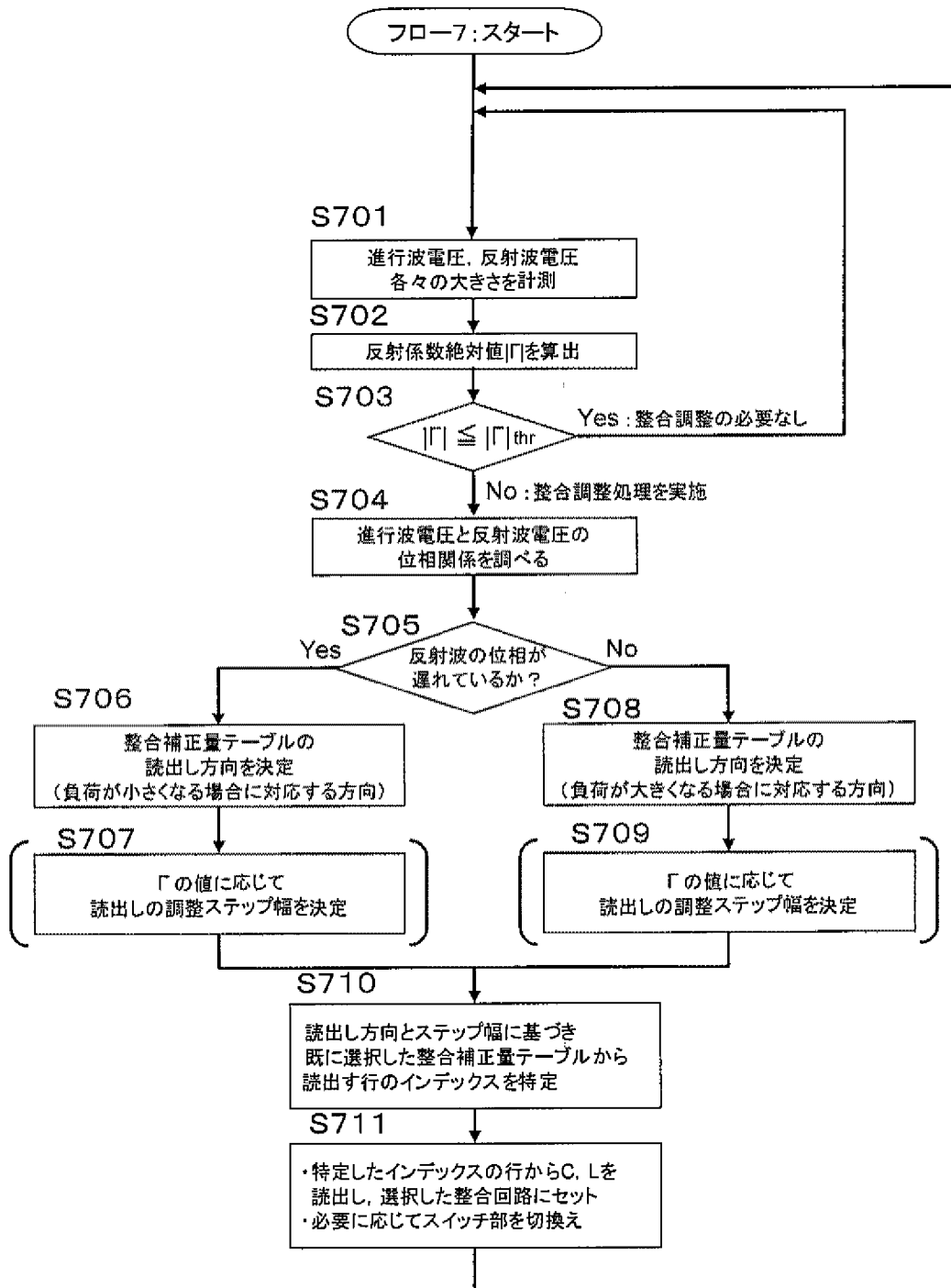
[図41]



[図42]

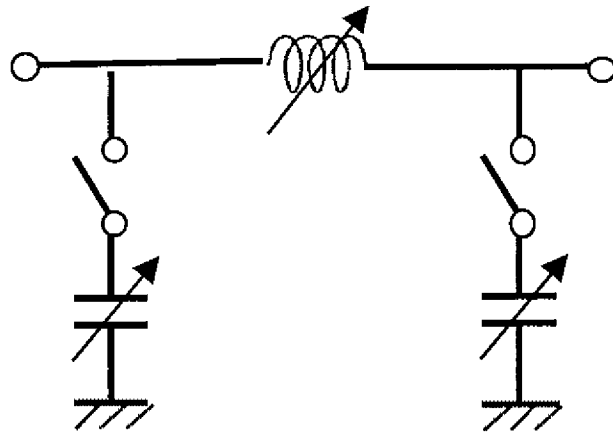


[図43]

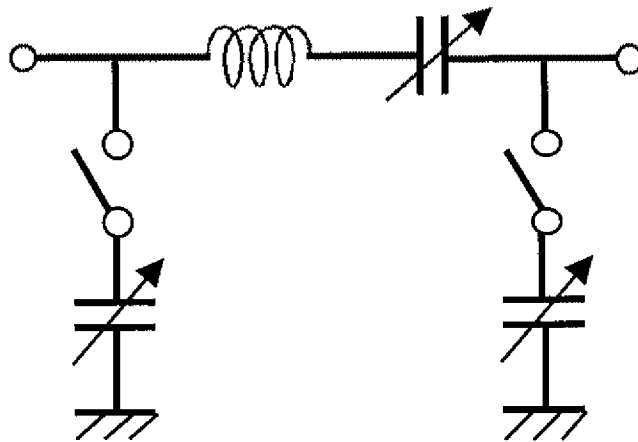


[図44]

(a)



(b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/063069

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03H7/40(2006.01) i, H02J17/00(2006.01) i

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)

H03H7/38-7/40, H02J17/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2010/067763 A1 (Toyota Industries Corp.), 17 June 2010 (17.06.2010), entire text; all drawings & JP 2010-141976 A & JP 2010-141977 A	1-11
A	JP 2005-129985 A (Hitachi Kokusai Electric Inc.), 19 May 2005 (19.05.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1-11
A	JP 07-273680 A (Icom Inc.), 20 October 1995 (20.10.1995), entire text; all drawings (Family: none)	1-11

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* 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
11 August, 2011 (11.08.11)

Date of mailing of the international search report
23 August, 2011 (23.08.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/063069

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-010435 A (Fujitsu Ten Ltd.), 13 January 2011 (13.01.2011), paragraphs [0029] to [0035]; fig. 2 (Family: none)	1-11
A	JP 2010-130800 A (Nagano Japan Radio Co., Ltd.), 10 June 2010 (10.06.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-11
A	JP 2011-050140 A (Sony Corp.), 10 March 2011 (10.03.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-11

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H03H7/40(2006.01)i, H02J17/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H03H7/38-7/40, H02J17/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2011年
日本国実用新案登録公報	1996-2011年
日本国登録実用新案公報	1994-2011年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2010/067763 A1 (株式会社豊田自動織機) 2010.06.17, 全文, 全図 & JP 2010-141976 A & JP 2010-141977 A	1-11
A	JP 2005-129985 A (株式会社日立国際電気) 2005.05.19, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-11

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

11.08.2011

国際調査報告の発送日

23.08.2011

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

白井 孝治

5W

8843

電話番号 03-3581-1101 内線 3576

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	J P 07-273680 A (アイコム株式会社) 1995. 10. 20, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-11
A	J P 2011-010435 A (富士通テン株式会社) 2011. 01. 13, 第0029段落-第0035段落, 図2 (ファミリーなし)	1-11
A	J P 2010-130800 A (長野日本無線株式会社) 2010. 06. 10, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-11
A	J P 2011-050140 A (ソニー株式会社) 2011. 03. 10, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-11