

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-11654

(P2010-11654A)

(43) 公開日 平成22年1月14日(2010.1.14)

(51) Int.Cl.
H02J 17/00 (2006.01)F I
H02J 17/00

テーマコード (参考)

B

審査請求 有 請求項の数 13 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2008-168847 (P2008-168847)
(22) 出願日 平成20年6月27日 (2008. 6. 27)(71) 出願人 000002185
ソニー株式会社
東京都港区港南1丁目7番1号
(74) 代理人 100095957
弁理士 亀谷 美明
(74) 代理人 100096389
弁理士 金本 哲男
(74) 代理人 100101557
弁理士 萩原 康司
(72) 発明者 井出 直紀
東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内

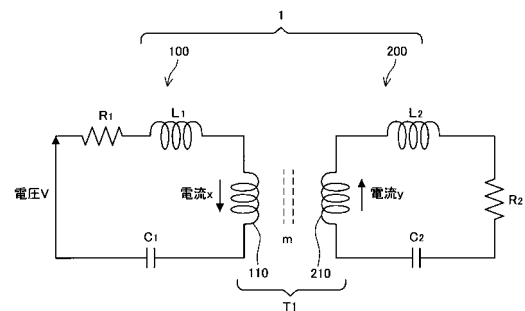
(54) 【発明の名称】 電力伝送装置、給電装置及び受電装置

(57) 【要約】

【課題】結合係数が1未満の電力伝送において伝送効率を向上させることができる電力伝送装置、給電装置及び受電装置を提供すること。

【解決手段】この電力伝送装置1は、一次回路100と二次回路200とを結合し、結合係数が1未満であるトランスT1と、一次回路100及び二次回路200のそれぞれに配置され、トランスT1を構成するコイル110, 210と直列に接続されるキャパシタンス C_1 , C_2 と、を有し、一次回路100及び二次回路200の回路定数は、一次回路100と二次回路200とが同一の周波数で共振し、かつ、結合係数の二乗と一次回路100のQ値と二次回路200のQ値との積が1になるように設定され、一次回路100は、トランスT1により共振周波数の搬送波を用いて二次回路200に電力を伝送する。

【選択図】図1A



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

一次回路と二次回路とを結合し、結合係数が 1 未満であるトランスと、
前記一次回路及び前記二次回路のそれぞれに配置され、前記トランスを構成するコイルと直列に接続されるキャパシタンスと、
を有し、

前記一次回路及び前記二次回路の回路定数は、前記一次回路と前記二次回路とが同一の周波数で共振し、かつ、前記結合係数の二乗と前記一次回路の Q 値と前記二次回路の Q 値との積が 1 になるように設定され、

前記一次回路は、前記トランスにより共振周波数の搬送波を用いて前記二次回路に電力を伝送する、電力伝送装置。

10

【請求項 2】

一次回路と二次回路とを結合し、結合係数が 1 未満である第 1 トランスと、
前記二次回路と三次回路とを結合する第 2 トランスと、
前記一次回路、前記二次回路及び前記三次回路のそれぞれに配置され、前記第 1 又は第 2 トランスを構成するコイルと直列に接続されるキャパシタンスと、
を有し、

前記一次回路、前記二次回路及び前記三次回路の回路定数は、前記一次回路、前記二次回路及び前記三次回路が同一の周波数で共振し、かつ、前記第 1 トランスの結合係数の二乗と前記一次回路のインダクタンス及び抵抗との積が前記第 2 トランスの結合係数の二乗と前記三次回路のインダクタンス及び抵抗との積に一致するように設定され、

20

前記一次回路は、前記第 1 トランス及び前記第 2 トランスにより共振周波数の搬送波を用いて前記二次回路を介して前記三次回路に電力を伝送する、電力伝送装置。

【請求項 3】

前記一次回路は、出力電流が前記コイルと前記キャパシタンスとを含む共振回路を経て前記共振周波数において正帰還する増幅器を含む発振回路を更に有することを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載の電力伝送装置。

【請求項 4】

前記増幅器の増幅率は、2 以上であることを特徴とする、請求項 3 に記載の電力伝送装置。

30

【請求項 5】

前記増幅器は、出力電流の全てが前記共振回路を通過するように前記共振回路に接続されている、請求項 3 に記載の電力伝送装置。

【請求項 6】

前記トランスは、閉磁路を形成する磁性体コアを有さない、請求項 1 又は 2 に記載の電力伝送装置。

【請求項 7】

前記一次回路は、電力と共に情報を伝送するために前記搬送波を変調させる、請求項 1 又は 2 に記載の電力伝送装置。

【請求項 8】

前記三次回路は、前記第 2 トランスより得られる電力を全波整流する全波整流回路を更に有し、

40

前記三次回路のキャパシタンスは、前記第 2 トランスを構成するコイルと、前記全波整流回路との間に配置される、請求項 2 に記載の電力伝送装置。

【請求項 9】

前記全波整流回路は、複数の能動素子により構成される、請求項 8 に記載の電力伝送装置。

【請求項 10】

直列に接続されたコイル及びキャパシタンスを含む二次回路を有する受電装置の前記コイルに対して結合係数が 1 未満のトランスを形成して結合するコイルと、前記コイルと直

50

列に接続されるキャパシタンスと、を含む一次回路を有し、

前記一次回路の回路定数は、前記一次回路と前記二次回路とが同一の周波数で共振し、かつ、前記結合係数の二乗と前記一次回路の Q 値と前記二次回路の Q 値との積が 1 になるように設定され、

前記一次回路は、前記トランスにより共振周波数の搬送波を用いて前記二次回路に電力を伝送する、給電装置。

【請求項 1 1】

直列に接続されたコイル及びキャパシタンスを含む一次回路を有する給電装置の前記コイルに対して結合係数が 1 未満のトランスを形成して結合するコイルと、前記コイルに直列に接続されたキャパシタンスと、を含む二次回路を有し、

前記二次回路の回路定数は、前記一次回路と前記二次回路とが同一の周波数で共振し、かつ、前記結合係数の二乗と前記一次回路の Q 値と前記二次回路の Q 値との積が 1 になるように設定され、

前記二次回路は、前記トランスで前記一次回路が前共振周波数の搬送波により伝送する電力を受電する、受電装置。

【請求項 1 2】

直列に接続されたコイル及びキャパシタンスをそれぞれ含み一のトランスを介して結合した二次回路及び三次回路を有する給電装置の前記二次回路のコイルに対して結合係数が 1 未満の他のトランスを形成して結合するコイルと、前記コイルと直列に接続されるキャパシタンスと、を含む一次回路を有し、

前記一次回路の回路定数は、前記一次回路、前記二次回路及び前記三次回路が同一の周波数で共振し、かつ、前記他のトランスの結合係数の二乗と前記一次回路のインダクタンス及び抵抗との積が前記一のトランスの結合係数の二乗と前記三次回路のインダクタンス及び抵抗との積に一致するように設定され、

前記一次回路は、前記他のトランス及び前記一のトランスにより前記共振周波数の搬送波を用いて前記二次回路を介して前記三次回路に電力を伝送する、給電装置。

【請求項 1 3】

直列に接続されたコイル及びキャパシタンスを含む一次回路を有する給電装置の前記コイルに対して結合係数が 1 未満の第 1 トランスを形成して結合する第 1 コイルと、前記コイルに直列に接続されたキャパシタンスと、を有する二次回路と、

前記第 1 コイルと直列に接続された前記二次回路が有する第 2 コイルに対して第 2 トランスを形成して結合する第 3 コイルと、前記第 3 コイルに直列に接続されたキャパシタンスと、を有する三次回路と、

を有し、
前記二次回路及び前記三次回路の回路定数は、前記一次回路、前記二次回路及び前記三次回路が同一の周波数で共振し、かつ、前記第 1 トランスの結合係数の二乗と前記一次回路のインダクタンス及び抵抗との積が前記第 2 トランスの結合係数の二乗と前記三次回路のインダクタンス及び抵抗との積に一致するように設定され、

前記三次回路は、前記第 2 トランスで前記一次回路が前記共振周波数の搬送波により前記二次回路を介して伝送する電力を受電する、受電装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電力伝送装置、給電装置及び受電装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、様々な電子機器が開発され、携帯型の機器も広く普及している。このような携帯機器や他の据え置き機器の一部は、電源として電池を内蔵し、定期的に外部より電力の供給を受けて電池を充電する必要がある。この電力供給方法としては、大きく分けて、例えば有線方式と無線方式とがある。有線方式によれば、例えば、充電する機器の端子に、

10

20

30

40

50

電力を供給する端子を電氣的に直接接続し、この接点を介した電力供給が行われる。一方、無線方式によれば、例えば、トランスを使用し、充電する機器と電力を供給する機器とを非接触で電磁氣的に結合して、電界や磁界を使用した電力供給が行われる。この無線方式による電力供給は、機器間の端子を接続する必要がないなどの多くの利点を有し、様々な機器に使用されつつある。

【0003】

この無線方式の電力供給では、トランスのエネルギー伝送効率が重要である。例えば、磁束の漏洩がない鉄心で結合された結合係数が1のトランスのエネルギー伝送効率は、1にできることはよく知られている。トランスのエネルギー伝送効率は、数式を用いて確認することができる。

10

【0004】

【特許文献1】特開2006-1238548号公報

【非特許文献1】共立出版、電磁気学演習p277、p278

【非特許文献2】Annals of Physics, vol. 323, no. 1, p p 34 - 38, Jan 2008, "Efficient Wireless non-radiative mid-range energy transfer"

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、結合係数が1のトランスは、磁性体のコアが閉磁路をなして結合されるため、非接触の電力伝送には適さない。一方、このような磁性体の閉磁路のコアを使用しないトランスでは、結合係数を1にすることは難しく、それに伴いトランスのエネルギー伝送効率も低下してしまう。従って、閉磁路で結合しないコアを用いるトランスや、磁性体コアを使用しないトランスなどのように、結合係数が1未満の電力伝送でも、伝送効率を向上させることが可能な電力伝送装置が希求されている。

20

【0006】

そこで、本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、本発明の目的とするところは、結合係数が1未満の電力伝送において伝送効率を向上させることが可能な、新規かつ改良された電力伝送装置、給電装置及び受電装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

30

【0007】

上記課題を解決するために、本発明のある観点によれば、一次回路と二次回路とを結合し、結合係数が1未満であるトランスと、上記一次回路及び上記二次回路のそれぞれに配置され、上記トランスを構成するコイルと直列に接続されるキャパシタンスと、を有し、上記一次回路及び上記二次回路の回路定数は、上記一次回路と上記二次回路とが同一の周波数で共振し、かつ、上記結合係数の二乗と上記一次回路のQ値と上記二次回路のQ値との積が1になるように設定され、上記一次回路は、上記トランスにより上記共振周波数の搬送波を用いて上記二次回路に電力を伝送する、電力伝送装置が提供される。

【0008】

また、上記課題を解決するために、本発明の別の観点によれば、一次回路と二次回路とを結合し、結合係数が1未満である第1トランスと、上記二次回路と三次回路とを結合する第2トランスと、上記一次回路、上記二次回路及び上記三次回路のそれぞれに配置され、上記第1又は第2トランスを構成するコイルと直列に接続されるキャパシタンスと、を有し、上記一次回路、上記二次回路及び上記三次回路の回路定数は、上記一次回路、上記二次回路及び上記三次回路が同一の周波数で共振し、かつ、上記第1トランスの結合係数の二乗と上記一次回路のインダクタンス及び抵抗との積が上記第2トランスの結合係数の二乗と上記三次回路のインダクタンス及び抵抗との積に一致するように設定され、上記一次回路は、上記第1トランス及び上記第2トランスにより上記共振周波数の搬送波を用いて上記二次回路を介して上記三次回路に電力を伝送する、電力伝送装置が提供される。

40

【0009】

50

また、上記一次回路は、出力電流が上記コイルと上記キャパシタンスとを含む共振回路を経て上記共振周波数において正帰還する増幅器を含む発振回路更に有してもよい。このような構成によれば、上記発振回路を使うことで、設計時の回路定数の誤差、使用時の結合係数の変化などで、共振周波数が変化していても自動的にその周波数で発振することができ、最適な状態を維持することができる。

【0010】

また、上記増幅器の増幅率は、2以上であってもよい。

【0011】

また、上記増幅器は、出力電流の全てが上記共振回路を通過するように上記共振回路に接続されていてもよい。この構成によれば、さらに、この発振回路は、通常の発振回路とは異なり、出力電流のほとんど全てがコイルに流れるので、発振回路での電力の損失を低減できる。

【0012】

また、上記トランスは、閉磁路を形成する磁性体コアを有さなくてもよい。

【0013】

また、上記一次回路は、電力と共に情報を伝送するために、上記搬送波を変調させてもよい。

【0014】

また、上記三次回路は、上記第2トランスより得られる電力を全波整流する全波整流回路を更に有し、上記三次回路のキャパシタンスは、上記第2トランスを構成するコイルと、上記全波整流回路との間に配置されてもよい。この構成によれば、キャパシタンスを配置して全波整流回路を利用することで、第2トランスからみた三次回路は共振回路をなし、最適な状態を実現することができる。一方、負荷側からみると全波整流の機能が実現して、効率的に直流成分を取り出すこともできる。

【0015】

また、上記全波整流回路は、複数の能動素子により構成されてもよい。

【0016】

また、上記課題を解決するために、本発明の別の観点によれば、直列に接続されたコイル及びキャパシタンスを含む二次回路を有する受電装置の上記コイルに対して結合係数が1未満のトランスを形成して結合するコイルと、上記コイルと直列に接続されるキャパシタンスと、を含む一次回路を有し、上記一次回路の回路定数は、上記一次回路と上記二次回路とが同一の周波数で共振し、かつ、上記結合係数の二乗と上記一次回路のQ値と上記二次回路のQ値との積が1になるように設定され、上記一次回路は、上記トランスにより上記共振周波数の搬送波を用いて上記二次回路に電力を伝送する、給電装置が提供される。

【0017】

また、上記課題を解決するために、本発明の別の観点によれば、直列に接続されたコイル及びキャパシタンスを含む一次回路を有する給電装置の上記コイルに対して結合係数が1未満のトランスを形成して結合するコイルと、上記コイルに直列に接続されたキャパシタンスと、を含む二次回路を有し、上記二次回路の回路定数は、上記一次回路と上記二次回路とが同一の周波数で共振し、かつ、上記結合係数の二乗と上記一次回路のQ値と上記二次回路のQ値との積が1になるように設定され、上記二次回路は、上記トランスで上記一次回路が上記共振周波数の搬送波により伝送する電力を受電する、受電装置が提供される。

【0018】

また、上記課題を解決するために、本発明の別の観点によれば、直列に接続されたコイル及びキャパシタンスをそれぞれ含み一のトランスを介して結合した二次回路及び三次回路を有する給電装置の上記二次回路のコイルに対して結合係数が1未満の他のトランスを形成して結合するコイルと、上記コイルと直列に接続されるキャパシタンスと、を含む一次回路を有し、上記一次回路の回路定数は、上記一次回路、上記二次回路及び上記三次回

10

20

30

40

50

路が同一の周波数で共振し、かつ、上記他のトランスの結合係数の二乗と上記一次回路のインダクタンス及び抵抗との積が上記一のトランスの結合係数の二乗と上記三次回路のインダクタンス及び抵抗との積に一致するように設定され、上記一次回路は、上記他のトランス及び上記一のトランスにより上記共振周波数の搬送波を用いて上記二次回路を介して上記三次回路に電力を伝送する、給電装置が提供される。

【0019】

また、上記課題を解決するために、本発明の別の観点によれば、直列に接続されたコイル及びキャパシタンスを含む一次回路を有する給電装置の上記コイルに対して結合係数が1未満の第1トランスを形成して結合する第1コイルと、上記コイルに直列に接続されたキャパシタンスと、を有する二次回路と、上記第1コイルと直列に接続された上記二次回路が有する第2コイルに対して第2トランスを形成して結合する第3コイルと、上記第3コイルに直列に接続されたキャパシタンスと、を有する三次回路と、を有し、上記二次回路及び上記三次回路の回路定数は、上記一次回路、上記二次回路及び上記三次回路が同一の周波数で共振し、かつ、上記第1トランスの結合係数の二乗と上記一次回路のインダクタンス及び抵抗との積が上記第2トランスの結合係数の二乗と上記三次回路のコンダクタンス及び抵抗との積に一致するように設定され、上記三次回路は、上記第2トランスで上記一次回路が上記共振周波数の搬送波により上記二次回路を介して伝送する電力を受電する、受電装置が提供される。

【発明の効果】

【0020】

以上説明したように本発明によれば、結合係数が1未満の電力伝送において伝送効率を向上させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下に添付図面を参照しながら、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

【0022】

< 関連技術に係る電力伝送装置 >

まず、本発明の各実施形態に係る電力伝送装置について説明する前に、図14を参照しつつ、磁束の漏洩がない鉄心で結合された結合係数が1のトランスを使用した関連技術に係る電力伝送装置について説明する。図14は、関連技術に係るトランスによる電力伝送を説明するための説明図である。

【0023】

図14には、関連技術に係る電力伝送装置9においてトランスT9によってエネルギーが伝送される様子を模式的に示した。

【0024】

ここで左側の抵抗 R_1 、インダクタンス L_1 を含む閉回路は、トランスT9の一次回路910であり、交流電圧Vを供給するように構成されている。ここで抵抗 R_1 は、回路上の抵抗成分と電圧供給源の出力抵抗分の和であり、また、インダクタンス L_1 は、回路上のインダクタンス成分とトランスT9の一次側コイル110のインダクタンスの和を模式的に表したものである。

【0025】

また、右側の抵抗 R_2 、インダクタンス L_2 を含む閉回路は、トランスT9の二次回路920であり、負荷に電流を供給するようになっている。抵抗 R_2 は、回路上の抵抗成分と負荷への入力抵抗の和であり、インダクタンス L_2 は、一次回路910と同様、回路上のインダクタンスとトランスT9の二次側のコイル210のインダクタンスの和を模式的に表したものである。

【0026】

また、相互インダクタンスMは、一次回路910と二次回路920を結合させるトランス

スＴ９で実現するが、ここでは、漏洩磁束がなく結合係数が１となるように、磁性体コアＦを含むようなトランスＴ９であるものとする。

【００２７】

このとき、一次回路９１０、二次回路９２０におけるオームの法則は、数式１－１の連立方程式となる。この結果、二次回路９２０に流れる電流値は、数式１－２で表される。ここで、一次回路９１０の抵抗 R_1 を信号源インピーダンスであるとして、二次回路９２０の抵抗 R_2 を負荷インピーダンスとする。このとき信号源インピーダンスから負荷インピーダンスへのＳパラメータは、数式１－３で表される。

【００２８】

【数１】

10

$$V = (R_1 + j\omega L_1)x + j\omega My$$

$$0 = j\omega Mx + (R_2 + j\omega L_2)y$$

数式１－１

$$y = \frac{-jM\omega}{(R_1 + j\omega L_1)(R_2 + j\omega L_2) + (M\omega)^2} V$$

数式１－２

$$S_{21} = \frac{\sqrt{R_2}y}{V/(2\sqrt{R_1})} = \frac{-2j\sqrt{R_1 R_2} M\omega}{(R_1 + j\omega L_1)(R_2 + j\omega L_2) + (M\omega)^2}$$

数式１－３

20

【００２９】

関連技術に係るトランスＴ９のエネルギー伝送効率は、数式１－３の絶対値の二乗で表される。この数式１－３のエネルギー伝送効率は１ではないが、結合係数が１であれば、例えば、 $R_1 L_2 = L_1 R_2$ のようにして、ある程度高い周波数の交流電圧を供給することで、エネルギー伝送効率をほとんど１にできる。

【００３０】

30

なお、 $R_1 L_2 = L_1 R_2$ を満たす例は、 $R_1 = R_2 = R$ 、 $L_1 = L_2 = L$ などがある。また、ここでいうエネルギー伝送効率とは、負荷が受ける電力と、信号源が負荷に対して供給しうる最大電力との比率のことである。また、伝送効率が１の場合は、接触式の電力伝送と同等の伝送効率であることを意味している。結合係数 k が１のときは、相互インダクタンス M は、 $M = k L = L$ なる。このとき、数式１－３は、数式１－４のように変形できる。したがって、数式１－５の条件をみたすとき、エネルギー伝送効率は１にできる。

【００３１】

【数２】

40

$$|S_{21}| = \left| \frac{-2jRL\omega}{(R + j\omega L)^2 + (L\omega)^2} \right| = \left| \frac{2\omega L}{R + j2\omega L} \right| \xrightarrow{R \ll \omega L} 1$$

数式１－４

$$R \ll \omega L$$

数式１－５

【００３２】

このように磁束の漏洩のない結合係数１のトランスＴ９であれば、供給する交流電圧の周波数をある程度高くすることで伝送効率を１にできる。

【００３３】

50

しかしながら、このようなトランス T 9 は、磁性体コア F が閉磁路をなして、結合されていなければならないため、非接触の電力伝送には適さない。

【0034】

そこで、閉磁路で結合しないコアを用いる、あるいは、磁性体コア F を取り除いてトランスを空芯にすることで、非接触の電力伝送に利用することが考えられる。

【0035】

しかしながら、このようなトランスの結合係数を 1 にすることは、物理的には非常に困難である。結合係数が 1 以下になると、供給する交流電圧を高い周波数にしても、その伝送効率は、結合係数 k に比例して低下するため、伝送効率を 1 とすることは難しい。

【0036】

そこで、結合係数が低下しても高効率を実現する方法として、トランスの一次回路 9 1 0 及び二次回路 9 2 0 に同一周波数の共振周波数を用いる方法などが提案されている。

【0037】

しかし、これらの方法は、結合係数の低下による伝送効率の低下を改善するものではあるが、伝送効率を 1 にして接触型のように高い効率を実現するのは難しい。

【0038】

本発明の発明者は、電力伝送装置について鋭意研究を行った結果、上記の関連技術に係る電力伝送装置の改善点等を見出し、そして、結合係数が 1 未満の電力伝送において伝送効率を向上させることができる本発明を完成させた。以下、本発明の各実施形態に係る電力伝送装置について説明する。

【0039】

< 本発明の各実施形態の概要 >

まず、本発明の個々の実施形態について説明する前に、図 1 A 及び図 1 B を参照しつつ、本発明の各実施形態の概要について説明する。図 1 A は、本発明の各実施形態に係る一の電力伝送装置の等価回路を模式的に示したものである。

【0040】

(電力伝送装置 1)

本発明の各実施形態に係る電力伝送装置 1 は、図 1 A に示すように、電力を供給する側の一次回路 (給電装置ともいう) 1 0 0 と、電力を受取る側の二次回路 (受電装置ともいう) 2 0 0 と、一次回路 1 0 0 及び二次回路 2 0 0 で構成され非接触で電力を供給するためのトランス T 1 と、を含む。

【0041】

図 1 A において、トランス T 1 の一次回路 1 0 0 は、電圧供給源の回路 (図示せず) に、抵抗 R_1 及びトランス T 1 の一次側コイル 1 1 0 (インダクタンス L_1) のほかに、キャパシタンス C_1 を直列に接続したものである。関連技術に係るトランスの伝送効率を解析した場合の例と同様、抵抗 R_1 は、回路上の抵抗成分と電圧供給源の出力抵抗分の和であり、また、インダクタンス L_1 は、回路上のインダクタンス成分とトランス T 1 のインダクタンスの和を表したものであるとする。

【0042】

また、トランス T 1 の二次回路 2 0 0 は、電力を受ける負荷回路 (図示せず) に、抵抗 R_2 、トランス T 1 の二次側のコイル 2 1 0 (インダクタンス L_2) のほかに、キャパシタンス C_2 を直列に接続したものである。関連技術に係るトランスを説明した場合と同様、抵抗 R_2 は、回路上の抵抗成分と負荷の入力抵抗成分の和であり、インダクタンス L_1 は、一次回路 1 0 0 と同様、回路上のインダクタンスとトランス T 1 のインダクタンスの和を表したものであるとする。

【0043】

また、相互インダクタンス m は、図 1 A では、一次回路 1 0 0 と二次回路 2 0 0 を結合させるトランス T 1 で実現しているが、例えば、結合係数が 1 ではなくてもよく、磁性体コアを含まない空芯トランスでもよい。更には、相互インダクタンス m は、例えば、一次回路 1 0 0 及び二次回路 2 0 0 上のコイル、または、ループアンテナを二つ配置しただけ

10

20

30

40

50

のものであってもよい。

【 0 0 4 4 】

このとき、一次回路 1 0 0、二次回路 2 0 0 におけるオームの法則は、数式 2 - 1 の連立方程式となる。その結果、一次回路 1 0 0 の信号源インピーダンスから、二次回路 2 0 0 の負荷インピーダンスへの S パラメータは、数式 2 - 2 で表される。従って、このトランス T 1 のエネルギー伝送効率は、数式 2 - 2 の絶対値の二乗となる。数式 2 - 2 のエネルギー伝送効率を 1 にするために、本発明の各実施形態に係る電力伝送装置の以下のような条件を順次適用していく。

【 0 0 4 5 】

【 数 3 】

10

$$V = (R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1})x + j\omega My$$

$$0 = j\omega Mx + (R_2 + j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_2})y$$

数式 2 - 1

$$S_{21} = \frac{-2j\sqrt{R_1 R_2} M \omega}{(R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1})(R_2 + j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_2}) + (M\omega)^2}$$

数式 2 - 2

20

【 0 0 4 6 】

まず、条件 1：一次回路 1 0 0 と二次回路 2 0 0 が同一の周波数で共振する という条件を適用する。

【 0 0 4 7 】

一次回路 1 0 0 と二次回路 2 0 0 の共振周波数を簡単に同一にするため、ここでは、 $L_1 = L_2 = L$ 、 $C_1 = C_2 = C$ を満たすものとする。このとき、一次回路 1 0 0、および、二次回路 2 0 0 の共振周波数共振周波数 ω_{res} は数式 2 - 3 で表される。

【 0 0 4 8 】

30

【 数 4 】

$$\omega_{res} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

数式 2 - 3

【 0 0 4 9 】

この共振周波数でのエネルギー伝送効率は、数式 2 - 4 の二乗で表される。

ここで、数式 2 - 4 の分母の二項と分子の項の関係を見ると、相加相乗平均の不等式の関係から、数式 2 - 4 は 1 以下であることが判る。そして、分母の二項が同一であるときに限って、すなわち数式 2 - 5 の関係がなりたつときに限って、数式 2 - 4 の二乗、すなわち、エネルギー伝送効率は 1 となる。

40

【 0 0 5 0 】

【数 5】

$$|S_{21}| = \frac{2\sqrt{R_1 R_2} M \omega_{res}}{R_1 R_2 + (M \omega_{res})^2} \quad \text{数式 2 - 4}$$

$$R_1 R_2 = (M \omega_{res})^2 \quad \text{数式 2 - 5}$$

【0051】

そこで、数式 2 - 5 の関係を変形していくと数式 2 - 6 のようになる。

10

すなわち、条件 2：結合係数の二乗と一次回路 100 の Q 値と二次回路 200 の Q 値との積が 1 である という条件を満たすときに、共振周波数でのエネルギー伝送効率が 1 になることがわかる。ただし、ここで Q 値については、数式 2 - 7 に示すような直列共振回路の Q 値の関係式を使っている。

【0052】

【数 6】

$$1 = \frac{(M \omega_{res})^2}{R_1 R_2} = \frac{M^2}{R_1 R_2 \sqrt{L_1 L_2 C_1 C_2}} = k^2 \left(\frac{1}{R_1} \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} \right) \left(\frac{1}{R_2} \sqrt{\frac{L_2}{C_2}} \right) = k^2 Q_1 Q_2 \quad \text{数式 2 - 6}$$

20

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{数式 2 - 7}$$

【0053】

以上のように、電力伝送装置 1 では、

条件 1：一次回路 100 と二次回路 200 を同一共振周波数の直列共振回路にして、

条件 2：その Q 値の積と結合係数の二乗との積を 1 となるようにすれば、

結合係数が 1 でなくてもエネルギー伝送効率を 1 にできることがわかる。

なお、この条件 2 を結合係数について変形すれば、数式 2 のようになる。

30

【0054】

【数 7】

$$k = \frac{1}{\sqrt{Q_1 Q_2}} \quad \text{数式 2}$$

【0055】

このように結合係数が 1 でなくても、数式 2 - 6（又は数式 2）をみたすように回路定数を決めれば、共振周波数の搬送波を用いて電力を伝送することにより、エネルギー伝送効率を 1 にすることができる。よって、電線やトランスの磁性体コアなどの物理的媒体がない非接触式の電力伝送でも、接触式の電力伝送と同じ効率でエネルギーを転送できる。

40

【0056】

以上説明した本発明の各実施形態に係る電力伝送装置 1 は、電力を受取る二次回路 200 が、電力伝送用のトランス T1 以外のトランスを有さない場合の構成を示している。これに対して、例えば、電力を受取る二次回路 200 が更に他のトランスを利用して三次回路に電力を供給する場合には、本発明の各実施形態では、以下で説明する電力伝送装置 2 を使用することができる。

【0057】

（電力伝送装置 2）

50

図 1 B は、本発明の各実施形態に係る他の電力伝送装置の等価回路を模式的に示したものである。

【 0 0 5 8 】

この電力伝送装置 2 は、上記電力伝送装置 1 と同様に、図 1 B に示すように、電力を供給する側の一次回路 1 0 0 と、電力を受取る側の二次回路 2 0 0 と、一次回路 1 0 0 及び二次回路 2 0 0 で構成され非接触で電力を供給するためのトランス T 1 とを含む。そして、電力伝送装置 2 は、更に二次回路 2 0 0 から電力を受取る三次回路 3 0 0 と、二次回路 2 0 0 及び三次回路 3 0 0 で構成され非接触で電力を供給するためのトランス T 2 とを含む。なお、トランス T 1 は、第 1 トランス及び他のトランスの一例であり、トランス T 2 は、第 2 トランス及び一のトランスの一例である。

10

【 0 0 5 9 】

図 1 B に示す一次回路 1 0 0 において、抵抗 R_1 は、回路上の抵抗成分と電圧供給源の出力抵抗分の和であり、また、インダクタンス L_1 は、回路上のインダクタンス成分とトランス T 1 のインダクタンスの和を表したものである。キャパシタンス C_1 は、L C 共振を起こさせるものである。

【 0 0 6 0 】

また、二次回路 2 0 0 において、抵抗 R_2 は、回路上の抵抗成分であり、また、インダクタンス L_2 は、回路上のインダクタンス成分と 2 つのトランス T 1 , T 2 のインダクタンスの和を表したものであるとする。キャパシタンス C_2 は、L C 共振を起こさせるものである。

20

【 0 0 6 1 】

また、相互インダクタンス m は、一次回路 1 0 0 と二次回路 2 0 0 を非閉磁路のトランス T 1 で結合させる相互インダクタンスである。結合係数 k は、コイルの位置関係から決まり、上記電力伝送装置 1 と同様に 1 である必要はない。

【 0 0 6 2 】

さらに、三次回路 3 0 0 において、抵抗 R_3 は、抵抗成分と負荷の入力抵抗成分の和であり、インダクタンス L_3 は、回路上のインダクタンスとトランス T 2 のインダクタンスの和である。キャパシタンス C_3 は、L C 共振を起こさせるものである。

【 0 0 6 3 】

また、相互インダクタンス M は、二次回路 2 0 0 と三次回路 3 0 0 とを、二次側コイル 2 2 0 と三次側コイル 3 2 0 とによるトランス T 2 で結合させるときの相互インダクタンスである。結合係数は、1 に近いものが望ましい。

30

【 0 0 6 4 】

一次回路 1 0 0 、二次回路 2 0 0 、三次回路 3 0 0 のインピーダンスをそれぞれ Z_1 、 Z_2 、 Z_3 とする。これらのインピーダンスは、それぞれ各回路を構成する回路定数の直列インピーダンスである。このとき、一次回路 1 0 0 、二次回路 2 0 0 、三次回路 3 0 0 におけるオームの法則は、数式 3 - 1 の連立方程式となる。その結果、一次回路 1 0 0 の信号源インピーダンスから、二次回路 2 0 0 の負荷インピーダンスへの S パラメータは、数式 3 - 2 で表される。従って、このトランスのエネルギー伝送効率は、数式 3 - 2 の絶対値の二乗となる。数式 3 - 2 のエネルギー伝送効率を 1 にするために、本発明の各実施形態に係る電力伝送装置に以下のような条件を順次適用していく。

40

【 0 0 6 5 】

【数 8】

$$\begin{pmatrix} V \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_1 & j\omega m & 0 \\ j\omega m & Z_2 & j\omega M \\ 0 & j\omega M & Z_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad \text{数式 3-1}$$

$$S_{21} = \frac{-2\sqrt{R_1 R_2} M m \omega^2}{Z_1 Z_2 Z_3 + (M^2 Z_1 + m^2 Z_3) \omega^2} \quad \text{数式 3-2}$$

10

【0066】

まず、条件 3：一次回路、二次回路、三次回路が同一の周波数で共振するという条件を適用する。

【0067】

一次回路 100～三次回路 300 の共振周波数を簡単に同一にするため、ここでは、 $L_1 = L_2 / 2 = L_3 = L$ 、 $C_1 = 2 C_2 = C_3 = C$ を満たすものとする。このとき、一次回路 100、二次回路 200、三次回路 300 の共振周波数共振周波数 ω_{res} は数式 3-3 で表される。

【0068】

20

【数 9】

$$\omega_{res} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{数式 3-3}$$

【0069】

この共振周波数でのエネルギー伝送効率は数式 3-4 の二乗で表される。

ここで、数式 3-4 の分母の二項と分子の項の関係を見る。すると、分母の第一項は、二次回路の抵抗 R_2 を小さくすることで無視できる大きさにできる。そこで、例えば、この二次回路の抵抗 R_2 を、一次回路及び二次回路の Q 値に比べて十分に小さく、例えば 10 分の 1 以下となるように設定することにより、分母の第一項を無視できる大きさとすることができる。このとき、分子と、分母の第二、三項は相加相乗平均の不等式の関係から、数式 3-4 は 1 以下であるが、分母の第二、三項が同一であるときに限って、すなわち数式 3-5 の関係がなりたつときに限って、数式 3-4 の二乗、すなわち、エネルギー伝送効率は 1 となる。

30

【0070】

【数 10】

$$|S_{21}| = \frac{2\sqrt{R_1 R_3} M m \omega_{res}^2}{R_1 R_2 R_3 + (M^2 R_1 + m^2 R_3) \omega_{res}^2} \quad \text{数式 3-4}$$

40

$$M^2 R_1 = m^2 R_3 \quad \text{数式 3-5}$$

【0071】

そこで、数式 3-5 の関係を変形していくと数式 3-6 のようになる。

すなわち、条件 4：左側のトランス T1 の結合係数 k の二乗と一次回路 100 のインダクタンス L_1 及び抵抗 R_1 との積が、右側のトランス T2 の結合係数 k' の二乗と三次回路 300 のインダクタンス L_3 及び抵抗 R_3 との積に一致するという条件を満たすと

50

きに、共振周波数でのエネルギー伝送効率が 1 になることがわかる。

【 0 0 7 2 】

【 数 1 1 】

$$k_1^2 L_1 R_1 = k_3^2 L_3 R_3 \quad \text{数式 3 - 6}$$

【 0 0 7 3 】

以上のように、電力伝送装置 2 では、

条件 3：一次回路 1 0 0、二次回路 2 0 0、三次回路 3 0 0 を同一共振周波数の直列共振回路にして、 10

条件 4：左側のトランス T 1 の結合係数 k の二乗と一次回路 1 0 0 のインダクタンス L_1 及び抵抗 R_1 との積が、右側のトランス T 2 の結合係数 k' の二乗と三次回路 3 0 0 のインダクタンス L_3 及び抵抗 R_3 との積に一致させれば、

結合係数が 1 でなくてもエネルギー伝送効率を 1 にできることがわかる。

【 0 0 7 4 】

このように結合係数が 1 でなくても、数式 3 - 6 をみたすように回路定数を決めれば、エネルギー伝送効率を 1 にすることができるので、電線やトランスの磁性体コアなどの物理的媒体がない非接触式の電力伝送でも、接触式の電力伝送と同じ効率でエネルギーを転送できる。 20

【 0 0 7 5 】

以上、本発明の各実施形態に係る電力伝送装置 1, 2 の概要について説明した。次に、具体的な本発明の各実施形態について説明する。なお、以下で説明する各実施形態に係る電力伝送装置は、上記電力伝送装置 1, 2 で説明した条件 1 及び条件 2、又は、条件 3 及び条件 4 を満たすように構成される。そして、各実施形態に係る電力伝送装置は、上記電力伝送装置 1, 2 で説明した原理等に基づいて、電力伝送効率を向上させることができる。

【 0 0 7 6 】

< 第 1 実施形態に係る電力伝送装置 >

図 2 A は、本発明の第 1 実施形態に係る電力伝送装置について説明するための説明図である。 30

【 0 0 7 7 】

図 2 A における二つの機器 1 3, 1 4 のうち、下側の機器 1 3 は、据え置き機器（例えば、デスクトップ PC (Personal Computer)、改札機器、カードリーダーなど）、又は、据え置きに準じる機器（例えば、ノート PC など）である。一方、上側の機器 1 4 は、携帯機器である。

【 0 0 7 8 】

これらの機器は、一次回路 1 0 0 A 又は二次回路 2 0 0 B として、いずれも上述の本発明の各実施形態に係るコイル（又はループアンテナ）1 1 0, 2 1 0 と、キャパシタンス（図示せず） C_1, C_2 と、を含む。それ以外に、下側の据え置き機器 1 3 は、例えば、給電回路と AC 電源アダプタなどを含む電子回路 1 3 0 を有し、上側の携帯機器 1 4 は、例えば、無電地の受電回路などを含む電子回路 2 3 0 を有し、必要に応じては電池などを有しているものとする。このコイル、給電回路、受電回路の回路定数などは、上記（条件 1）及び（条件 2）、又は、（条件 3）及び（条件 4）を満たすように設定される。このコイル、給電回路、受電回路の詳細な構成は、後述するものとする。 40

【 0 0 7 9 】

この機器 1 3 から機器 1 4 への本発明の各実施形態による効率のよい給電は、例えば、下側の機器 1 3 の給電機能を ON にした状態で、上側の機器 1 4 を近づける、あるいは、もともと近くにある上側の機器 1 4 の受電機能を ON にすることで開始されてもよい。

【 0 0 8 0 】

ここでなされる給電は、例えば、上側の機器 14 の本体部分に電源がないような無電地の状態、あるいは、電池などはあるが電源は OFF の状態であっても、上側の機器 14 を何らかの動作ができるようにすることに、用いられてもよい。また、この給電は、上側の機器 14 の電池残量がたりなくなった場合の電力の補助や、あるいは、充電などに用いることも考えられる。さらに、この給電は、必要に応じて、下側の機器 13 で搬送波に対して、例えば OOK (オン・オフ・キーイング) などのような変調を加えて、下側の機器 13 から上側の機器 14 へ、なんらかの情報を送信してもよい。あるいは、この給電は、下側の機器 13 から出力される搬送波を上側の機器 14 が負荷変調することで、上側の機器 14 から下側の機器 13 に対してなんらかの情報を送信してもよい。つまり、この電力伝送装置は、通信装置としても使用可能である。なお、このことは、以下で説明する他の実施形態においても、同様である。

10

【0081】

このような機能は、関連技術に係る IC カードに対するカードリーダーの給電機能に似ているが、本実施形態に係る電力伝送装置 11 は、関連技術に係る IC カードと比べて、伝送効率を向上させることができる。従って、本実施形態に係る電力伝送装置 11 は、関連技術に係るカードリーダーと IC カードでは出来なかったような、カードリーダーの省エネ化、携帯機器 14 側で多くのエネルギーを必要とする処理の実現、携帯機器 14 側の充電補助などを実現できる。

【0082】

< 第 2 実施形態に係る電力伝送装置 >

20

また、図 2 B は、本発明の第 2 実施形態に係る電力伝送装置について説明するための説明図である。

【0083】

図 2 B における二つの機器 14, 15 は、それぞれ携帯型の機器である。

【0084】

この二つの機器 15, 14 は、一次回路 100 B 及び二次回路 200 A として、それぞれ上述の本発明の各実施形態に係るコイル (又はループアンテナ) 110, 210 と、キャパシタンス (図示せず) C_1 , C_2 と、を含む。それ以外に、二つの機器 15, 14 は、例えば給電回路・受電回路・電池などを含む電子回路 130, 230 と、を有する。そして、二つの機器は、いずれも電池などで駆動される。このコイル、給電回路、受電回路の回路定数などは、上記 (条件 1) 及び (条件 2)、又は、(条件 3) 及び (条件 4) を満たすように設定される。このコイル、給電回路、受電回路の詳細な構成は、後述するものとする。

30

【0085】

これらの携帯機器は、図 2 A に示した第 1 実施形態の例と異なり、対等であるので、いずれも給電機能、受電機能を有することが可能である。しかし、ここでは説明の便宜上、例えば、下側の機器 15 が、給電機能を有し、上側の機器 14 が、受電機能を有するものとする。

【0086】

この場合、機器 15 から機器 14 への本発明の各実施形態による効率のよい給電は、例えば、上側の機器 14 の受電機能と、下側の機器 15 の給電機能とを共に ON にしたり、近づけたりすることで開始されてもよい。

40

【0087】

この給電は、例えば、上側の機器 14 の本体は OFF であっても、何らかの動作ができるようにすることに用いられてもよい。また、この給電は、上側の機器 14 の電池がたりなく充電が必要である場合などに用いることも考えられる。あるいは、この給電は、何らかの情報を送信するために搬送波に情報が搭載されていてもよい。

【0088】

このような機能は、携帯機器 14, 15 間での通信を行う際に、一方の電源が入っていてもよいわけであるから、使い道が向上する。

50

【 0 0 8 9 】

< 第 1 実施形態及び第 2 実施形態の給電回路及び受電回路 >

以下、図 2 A、図 2 B の機器に内蔵されるコイル 1 1 0 , 2 1 0 を含む給電回路及び受電回路の詳細を順に説明していき、本発明の各実施形態に係る電力伝送装置が伝送効率を 1 にすることができることを計算及びシミュレーションで示す。

【 0 0 9 0 】

図 3 は、図 2 A , 図 2 B などの各実施形態に用いるコイル 1 1 0 , 2 1 0 を模式的に表したものである。

【 0 0 9 1 】

ここでは計算の都合上、下側の一次回路のコイル 1 1 0 は、縦長 a、横長 b の長方形形状で、さらに、コイルを構成する導線は直径 2 r の円柱形であるとする。なお、 $r \ll a$ 、 b とする。また、上側の二次回路のコイル 2 1 0 は、下側のコイル 1 1 0 と全く同じものを、コイル面に垂直に距離 d だけ離して配置したものとする。なお、 $r \ll d$ である。ここでは、長方形の形状をした 2 つのコイル 1 1 0 , 2 1 0 を考えているが、これらのコイル 1 1 0 , 2 1 0 は、長方形の形状でなくともよく、通常のコイル、楕円型のコイル、などさまざまな形状が考えられる。ここで長方形の形状を用いている理由は、長方形形状の 2 つのコイル 1 1 0 , 2 1 0 を同軸上に配置して対向させた場合の相互インダクタンスが解析的に計算でき、設計を容易にするためである。

【 0 0 9 2 】

図 3 に表した 2 つのコイル 1 1 0 , 2 1 0 の相互インダクタンス、および、それぞれのコイル 1 1 0 , 2 1 0 の自己インダクタンスは、上記非特許文献 1 に示されるように、それぞれ数式 4 - 1、数式 4 - 2 で表すことができる。

【 0 0 9 3 】

【 数 1 2 】

$$M = \frac{\mu_0}{\pi} \left\{ a \log \frac{(a + \sqrt{d^2 + a^2})\sqrt{b^2 + d^2}}{d(a + \sqrt{d^2 + a^2 + b^2})} + b \log \frac{(b + \sqrt{d^2 + b^2})\sqrt{a^2 + d^2}}{d(b + \sqrt{d^2 + a^2 + b^2})} - 2\sqrt{d^2 + a^2} - 2\sqrt{d^2 + b^2} + 2\sqrt{d^2 + a^2 + b^2} + 2d \right\} \quad \text{数式 4 - 1}$$

$$L = \frac{\mu_0}{\pi} \left\{ -a \log(a + \sqrt{a^2 + b^2}) - b \log(b + \sqrt{a^2 + b^2}) + (a + b) \log\left(\frac{2ab}{r}\right) + \sqrt{a^2 + b^2} - 2(a + b) \right\} \quad \text{数式 4 - 2}$$

【 0 0 9 4 】

なお、図 3 のコイル 1 1 0 , 2 1 0 は、説明の便宜のため、いずれも巻き数が 1 としているが、もちろん、巻き数が 2 以上のものも考えられる。また巻き方についても、同一平面内に渦巻き状に、あるいは、立体的に螺旋状になっていてもよい。

【 0 0 9 5 】

ここで一次回路のコイル 1 1 0 とその自己インダクタンスを L_1 、二次回路のコイル 2 1 0 とその自己インダクタンスを L_2 とするならば、二つのコイル 1 1 0 , 2 1 0 の結合係数 k は、相互インダクタンス M を用いて、数式 4 - 3 で表される。そこで、実際に回路を検討する際には、数式 4 - 3 の結合係数 k に対して、例えば、数式 2 - 6 の関係（条件 2）を満たす Q 値をもつ一次回路、二次回路を作成する。なお、三次回路まで含める場合には、数式 3 - 6 の関係（条件 4）を満たすように、一次回路～三次回路を作成するばよい。

【 0 0 9 6 】

【数 1 3】

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad \text{数式 4 - 3}$$

【0 0 9 7】

例えば、 $2r = 0.8 \text{ mm}$ のエナメル銅線を使って、 $a = b = 3.8 \text{ cm}$ の正方形コイルを2つ作り、 $d = 1 \text{ cm}$ の距離に配置することを考える。このとき、 $M = 25 \text{ nH}$ 、 $L = 120 \text{ nH}$ 、 $k = 0.21$ である。簡単のため、一次回路と二次回路のQ値を等しいものとするならば、Q値はkの逆数となり、 $Q = 4.8$ である。

10

【0 0 9 8】

例えば、一次回路、二次回路の出力インピーダンスを $R = 10 \Omega$ とする。このとき、 $L = 120 \text{ nH}$ であるから、Q値の条件をみたすためには、 $C = 50 \text{ pF}$ とすればよい。なお、このときの共振周波数は $f = 60 \text{ MHz}$ となる。

【0 0 9 9】

この例では、一次回路、二次回路のコイル110, 210の巻き数を1と仮定しているが、一次回路のコイル110の巻き数を n_1 、二次回路のコイル210の巻き数を n_2 とする場合、相互インダクタンスM、一次回路の自己インダクタンス L_1 、二次回路の自己インダクタンス L_2 は、それぞれ数式4-4のようになる。なお、数式4-5に示すように、結合係数kは、理論的には巻き数にはよらない。すなわち、一次、二次回路に必要とされる、数式2-6を満たすQ値は、巻き数を変更しても変わらない。

20

【0 1 0 0】

【数 1 4】

$$M(n_1, n_2) = n_1 \cdot n_2 \cdot M$$

$$L_1(n_1) = n_1^2 L_1$$

数式 4 - 4

$$L_2(n_2) = n_2^2 L_2$$

30

$$k(n_1, n_2) = \frac{M(n_1, n_2)}{\sqrt{L_1(n_1) \cdot L_2(n_2)}} = \frac{n_1 n_2}{\sqrt{n_1^2 \cdot n_2^2}} \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} = k \quad \text{数式 4 - 5}$$

【0 1 0 1】

しかしながら、一次回路、二次回路のLは、巻き数に応じて大きくなる。したがって、数式2-7からわかるように、巻き数を大きくすることでQ値を大きくすることができる。つまり、Q値が数式2-6（又は数式2）を満たすように、コイル110, 210の巻き数を調整することが可能である。さらに、巻き数を増やすことで、共振周波数を下げることにも出来るため、周波数の低い回路、すなわち、比較的簡単な回路で実現できるようになる。例えば、一次回路、二次回路の巻き数を2とする。このとき、一次回路、二次回路の自己インダクタンスは、 $L_1 = L_2 = 484 \text{ nH}$ 、また、相互インダクタンスは、 $M = 100 \text{ nH}$ となる。そこで、 $C = 207 \text{ pF}$ にすることで、Q値の条件を満たすことが出来る。このときの共振周波数は $f = 15.9 \text{ MHz}$ となり、巻き数が1の場合よりも低い周波数で実現できることがわかる。

40

【0 1 0 2】

コイル110, 210のサイズや、コイル110, 210間の距離を変更する、あるいは、入出力のインピーダンスを変更する場合も、以上のような手順で、k、Cを求めて、最適に電力を伝送するようなパラメータを決定することができる。

50

【 0 1 0 3 】

以上示したような 条件 1 及び条件 2、又は、条件 3 及び条件 4（「本発明の各実施形態の条件」ともいう。）を満たす一次回路、二次回路に接続されたトランスにおいて、数式 2 - 2 による伝送特性を計算した結果を図 4 に示した。

【 0 1 0 4 】

図 4 では、比較のために上記のトランスを関連技術に係るトランスの一次回路、二次回路に接続した場合を示している。図 4 では、関連技術に係るトランスの伝送特性を細い線で、また、本発明の各実施形態の条件をみたすトランスの伝送特性を太い線で示した。

【 0 1 0 5 】

図 4 に示すように、本発明の各実施形態のトランスでは、共振周波数 16 MHz の周辺において、関連技術に係るトランスと比べて伝送特性が急峻に向上するのみならず、その頂点では、伝送効率 1 を実現していることがわかる。このように、結合係数が 1 ではないトランスであっても、一次回路、二次回路を本発明の各実施形態の条件を満たすように設計することで、伝送効率を 1 に出来ることがわかる。

【 0 1 0 6 】

< 第 1 実施形態及び第 2 実施形態のシミュレーション >

以上の説明は、回路理論に基づいて伝送効率を計算したものであるが、この現象が電磁現象として起こっていることを確認するため電磁界シミュレータを使って、同様の伝送特性を計算した。ここでは、ANSOFT社の電磁界シミュレータHFSSを用いて計算した結果を示す。

【 0 1 0 7 】

図 5 は、電磁界シミュレータで計算する本発明の各実施形態に係るコイル 1 1 0 , 2 1 0 のモデルを示したものである。

【 0 1 0 8 】

図 5 において、下側の正方形コイル 1 1 0 と上側の正方形コイル 2 1 0 は、同じ大きさであって、一辺の長さは 3 . 8 cm、コイルの導線の断面は一辺が 0 . 8 mm の正方形である。また、この二つのコイル 1 1 0 , 2 1 0 は、中心の距離がちょうど 1 cm 隔てて配置されている。ここでは、下側のコイル 1 1 0 を一次回路に、また上側のコイル 2 1 0 を二次回路に接続するものとしている。つまり、一次回路側のコイル 1 1 0 の両端は、信号源ポートとキャパシタンス C_1 が直列に接続されている。また、二次回路側のコイル 2 1 0 の両端は、負荷ポートとキャパシタンス C_2 が直列に接続されている。そして、電磁界シミュレータで、信号源ポートから負荷ポートへの伝送特性、すなわち、 S_{21} パラメータを計算した。

【 0 1 0 9 】

図 6 は、図 5 の一次側コイルに接続された信号源ポートから二次側コイルに接続された負荷ポートへの伝送特性を S パラメータを用いて示している。

【 0 1 1 0 】

図 6 では、関連技術に係る回路による伝送特性を細い線で示した。この結果は、一次側のコイル 1 1 0、二次側のコイル 2 1 0 とともに、キャパシタンス C_1 , C_2 を介さず直接ポートに接続した場合の結果である。また、本発明の各実施形態の条件をみたす回路による伝送特性を太い線で示した。

【 0 1 1 1 】

図 6 に示すように、本発明の各実施形態による回路では、共振周波数 20 MHz の周辺において、伝送効率 1 (0 dB) を実現していることがわかる。この結果は、理論計算ともよく一致しており、本発明の各実施形態に係る電力伝送装置が効果を発揮することが電磁界シミュレーションを用いても確認できる。

【 0 1 1 2 】

また、図 7 は、図 5 で示した 2 つのコイル間の距離を 5 cm として、本発明の各実施形態の条件を満たすパラメータを適用した場合の伝送特性を示すグラフである。

【 0 1 1 3 】

コイル間の距離を 5 cm にすると、数式 4 - 1 , 数式 4 - 2 , 数式 4 - 3 から、結合定数は、0 . 0 1 8 と求まる。そこで、信号源、負荷のインピーダンスを 1Ω にして、本発明の各実施形態の条件を満たすようなキャパシタンス C_1 , C_2 を求めると 1 5 1 p F と計算され、このときの共振周波数は、1 9 M H z となる。

【 0 1 1 4 】

図 7 には、数式 2 - 2 の理論計算の結果と、電磁界シミュレーションによる結果を両方示した。図 7 において、太い線は電磁界シミュレーションの結果を示し、細い線は、理論計算の結果を示している。数式 2 - 2 の理論計算と電磁界シミュレーションの結果は、共振周波数の若干のずれがみられるが、いずれも伝送効率が 1 程度 (0 d B) となることが確認できた。電磁界シミュレーションで 1 より少し小さい理由は、計算時の周波数の分解能による。

10

【 0 1 1 5 】

以上説明したように、本発明の各実施形態に係る電力伝送装置は、非閉磁路のトランスのエネルギー伝送効率を向上することができる。なお、ここでいう非閉磁路のトランスとは、2 つのコイル 1 1 0 , 2 1 0 が、コイル 1 1 0 , 2 1 0 の幅の 2 倍近くはなれた距離にあるような、トランスとしては、かなり離れた距離にあるものであってもよい。つまり、本発明の各実施形態に係る電力伝送装置は、このような場合のエネルギー伝送効率をも 1 近くにすることが可能である。

【 0 1 1 6 】

以上、本発明の各実施形態の概要を説明した後、本発明の第 1 実施形態及び第 2 実施形態について説明した。ここで説明した各実施形態に係る電力伝送装置によれば、一次回路及び二次回路 (及び三次回路) にキャパシタンスを配置し、本発明の各実施形態の条件を満たすことにより、電力伝送効率を向上させることができる。なお、この各実施形態に係る電力伝送装置では、一次回路に電力供給源が接続される場合について説明した。上記各実施形態において電力供給源は特に限定されるものではないが、上記各実施形態に適した発振回路を有する電力供給源を使用することにより、更に電力伝送効率を向上させつつ安定化させることが可能である。そこで、以下では、電力供給源として使用される発振回路などについて説明する。

20

【 0 1 1 7 】

< 第 3 実施形態に係る電力伝送装置 >

30

図 8 A は、本発明の第 3 実施形態に係る電力伝送装置を示す回路図である。図 8 A において、電力伝送装置 2 1 の一次回路は下段に示す部分であり、二次回路は上段に示す部分である。この一次回路及び二次回路は、基本的には上記本発明の各実施形態の概要等で説明したように構成されるが、一次回路が電力供給源として特殊な発振回路を有する点異なる。なお、以下では、一次回路を給電装置 (給電装置 1 0 0 C) と言い、二次回路 (及び三次回路) を受電装置 (受電装置 2 0 0 C) と言う。

【 0 1 1 8 】

図 8 A に示すように、本実施形態の給電装置 1 0 0 C は、電力伝送用のコイル 1 1 0 と、共振用のキャパシタンス (コンデンサ) C_1 と、増幅器 (例えばオペアンプ O P) を用いた発振回路 E O 1 と、を有する。図 8 A に示す給電装置 1 0 0 C は、電力伝送用のコイル 1 1 0 と、共振用キャパシタンス C_1 とによる直列 L C 共振回路が、オペアンプ O P の入力と出力の間に接続されて正帰還ループを形成する。

40

【 0 1 1 9 】

電力伝送用のコイル 1 1 0 とキャパシタンス C_1 との直列共振回路の両端は、それぞれオペアンプ O P の + 入力部と出力部とに接続される。また、オペアンプ O P の + 入力部は、抵抗 R_1 を介して基準電位に接続される。さらに、オペアンプ O P の - 入力部は、抵抗 r_1 を介して基準電位に接続され、負帰還ループ (非反転増幅器) を成す抵抗 r_2 を介して出力部に接続されることで、増幅器の効果を実現している。このようにして発振回路を実現する。

【 0 1 2 0 】

50

< 第 4 実施形態に係る電力伝送装置 >

図 8 B は、本発明の第 4 実施形態に係る電力伝送装置の給電装置を示す回路図である。

図 8 B に示す本実施形態の給電装置 100 D は、オペアンプ OP として片電源（単電源）を用いる例である。オペアンプ OP を片電源で用いるのであれば、さらに、抵抗 R_b を用いて、出力にバイアスを与える。

【0121】

図 8 A、図 8 B に示した本発明の第 3 実施形態及び第 4 実施形態では、増幅器として、オペアンプ OP を用いた例を示したが、増幅器には単なるアンプを用いてもよく、また、トランジスタによる増幅回路を用いてもよい。

【0122】

さらに、図 8 A、図 8 B に示した本発明の第 3 実施形態及び第 4 実施形態に係る給電装置 100 C、100 D は、電力伝送用のコイル 110 を含む直列共振回路が正帰還ループとなっているが、この部分が回路の見かけ上、負帰還ループとなってもよい。例えば、電力伝送用のコイル 110 による遅延時間によって、増幅器の入力と出力で搬送波の位相が π 変化する場合、搬送波が反転する。よって、このような負帰還ループを実質的に正帰還ループとするためには、増幅器として反転増幅器を用いることも可能である。本発明の第 3 及び第 4 実施形態に係る給電装置 100 C、100 D は、このように見かけ上正帰還ループになっていない回路であっても、正帰還ループとして作用して発振を起こす回路を含んでいるものとする。

【0123】

この他に、この給電装置 100 C、100 D から情報を送る場合は、例えば、オペアンプ OP の電源や帰還ループなどに電界効果トランジスタ（図示せず）を接続し、回路の接続を切断等することによりスイッチングすることで、搬送波に情報に応じた変調を施すことも可能である。

【0124】

< 第 3 実施形態及び第 4 実施形態に係る電力伝送装置の特徴 >

図 8 A、図 8 B に示した電力伝送用のコイル 110 を含む発振回路 E O 1、E O 2 は、以下のような特徴を持つ。

1. 発振回路の出力電流は、すべて電力伝送用のコイル 110 を通過する。
2. 二次回路が近づいた場合の共振周波数の変動に対して追従する。

【0125】

（第 1 の特徴）

図 8 A 及び図 8 B の回路構成を見ると、オペアンプ OP からの出力は、増幅動作を安定させる抵抗 r_2 以外にはコイル 110 のみに接続されている。つまり、オペアンプ OP を使用した増幅器からの出力は全て、発振回路 E O 1、E O 2 が上記第 1 の特徴を有することは、容易にわかる。この第 1 の特徴を有することにより、第 3 及び第 4 実施形態に係る電力伝送装置は、発振した電力を効率よく負荷側に送ることが可能である。

【0126】

この第 3 実施形態及び第 4 実施形態に対して、本発明の別の第 5 実施形態及び第 6 実施形態として、図 8 A、図 8 B の発振回路の代わりに、よく知られている LC 発振回路であるコルピッツ回路やハートレー回路を用いることも考えられる。

【0127】

図 9 A は、オペアンプ OP を使ったコルピッツ発振回路 E O 3 の一例であり、帰還ループ部分は、コイル 110 と 2 つのキャパシタンス C_1 、 C_4 で π 型のフィルタをなしている。また、図 9 B は、オペアンプ OP を使ったハートレー発振回路 E O 4 の一例であり、帰還ループ部分は、キャパシタンス C_1 と 2 つのコイル 110 で π 型のフィルタをなしている。

【0128】

この第 5 及び第 6 実施形態を実施する上では、これらの発振回路 E O 3、E O 4 のコイル 110 部分を電力伝送用のコイルとして使用することにより、電力伝送装置を形成する

10

20

30

40

50

こともできる。しかしながら、これらの回路のコイル 1 1 0 部分に流れる電流は、オペアンプ O P の出力を全て受け取るものではない。したがって、このような第 5 実施形態及び第 6 実施形態に係る発振回路 E O 3 , E O 4 を使う場合は、電力の利用効率は高くない。

【 0 1 2 9 】

これに対して、上記第 3 実施形態及び第 4 実施形態では、図 8 A 及び図 8 B に示すように、特にオペアンプ O P から出力される全ての電流がコイル 1 1 0 部分に流れるようにすることを目的とした特殊な回路構成の発振回路 E O 1 , E O 2 を使用する。つまり、この発振回路 E O 1 , E O 2 によれば、電力伝送用のコイル 1 1 0 とキャパシタンス C_1 との直列共振回路の両端が、それぞれオペアンプ O P の + 入力部と出力部とに接続される。そして、オペアンプ O P には、コイル 1 1 0 と増幅器の効果を実現するための負帰還ループを成す抵抗 r_2 と以外の構成は、接続されていない。換言すれば、オペアンプ O P を使用した増幅器の出力部には、コイル 1 1 0 のみが接続される。従ってその結果、上記第 3 実施形態及び第 4 実施形態に係る電力伝送装置は、増幅器からの出力電流を全てコイル 1 1 0 に通電させることができるので、発振した電力を効率よく負荷側に送ることを可能にしている。

【 0 1 3 0 】

(第 2 の特徴)

上記第 2 の特徴を説明するために、まず、2 つのコイル 1 1 0 , 2 1 0 間の距離に対して共振周波数が変化する現象について説明する。図 1 0 は、2 つのコイル 1 1 0 , 2 1 0 の距離 d と、電力伝送効率との関係を示したグラフである。なお、図 1 0 における電力伝送効率は、伝達ゲインの二乗で、散乱パラメータ (S パラメータ) から $| S_{21} |$ を計算することで求めた。

【 0 1 3 1 】

図 1 0 では、3 種類の回路についての結果を示した。図 1 0 の実線のカーブは、コイル間の距離が 1 c m の場合に最適化した場合の回路の電力伝送効率の距離依存特性である。また、破線のカーブは、3 c m の場合の電力伝送効率の距離依存特性であり、一点鎖線は、5 c m の場合の電力伝送効率の距離依存特性である。

【 0 1 3 2 】

図 1 0 において横軸は、コイル間の距離、また、縦軸は電力伝送効率を表している。これらの 3 つの曲線は、最適化した距離と一致する 1 c m、3 c m、5 c m のときに、それぞれ伝送効率が 1 となる。これに対し、それより近づけたり、あるいは、遠ざけたりすることで、伝送効率は低下する。

【 0 1 3 3 】

遠ざける場合に伝送効率が下がる原因は、結合定数 k が低下することなどにある。一方、近づける場合には、結合係数 k が上がるにも関わらず、伝送効率は下がる。この伝送効率が下がる理由について検討するために、適切な距離から近づけた場合の周波数特性を調べた結果を説明する。

【 0 1 3 4 】

図 1 1 は、コイル間 d の距離が 5 c m で共振周波数が 1 9 M H z のときに伝送効率が 1 になるように調整した回路について、コイル間 d の距離が 5 c m の場合と、1 c m の伝送特性を比較したものである。コイル間の距離 d が 5 c m である場合の伝送効率を細い線で、また、コイル間 d の距離が 1 c m である場合の伝送効率を太い線で示した。

【 0 1 3 5 】

前述のようにコイル間の距離 d が 5 c m のものは 1 9 M H z で共振している。ところが、コイル間距離をさらに狭めていくと、共振する周波数は 2 つに分裂して、コイル間の距離 d が 1 c m になると 1 7 M H z と 2 1 M H z の二つの共振になることがわかる。このとき、元の共振周波数 1 9 M H z での伝送効率は、1 0 d B 以上減衰しており、これが、距離を近づけていく場合の伝送効率の減衰の原因である。

【 0 1 3 6 】

この分裂した共振周波数 (1 7 M H z と 2 1 M H z) では、その伝送効率が 1 であるこ

とから、インピーダンス整合が成立していると考えられる。そこで、分裂した共振周波数を詳しく調べるため一次回路の信号源と負荷とのインピーダンス整合の条件を考えた。

【 0 1 3 7 】

数式 5 - 1 は、このインピーダンス整合の条件を示したものである。ただし、数式 5 - 1 のインピーダンス Z_1 , Z_2 は、一次回路、二次回路の直列インピーダンスであって、数式 5 - 2 で与えられる。

【 0 1 3 8 】

【 数 1 5 】

$$2r_1 = \operatorname{Re} \left[Z_1 + \frac{m^2 \omega^2}{Z_2} \right] \quad 10$$

$$0 = \operatorname{Im} \left[Z_1 + \frac{m^2 \omega^2}{Z_2} \right] \quad \text{数式 5 - 1}$$

$$Z_i = r_i + j\omega L_i + \frac{1}{j\omega C_i} \quad \text{数式 5 - 2}$$

20

【 0 1 3 9 】

次に、このようなコイル 1 1 0 , 1 2 0 間距離に対して図 8 A の発振回路 E O 1 について、その発振条件を考える。

【 0 1 4 0 】

図 8 A に示す本発明の第 3 実施形態に係る発振回路 E O 1 の発振条件は、一巡伝達関数から求められるので、まず一巡伝達関数を計算した。一巡伝達関数は、数式 5 - 3 で与えられるが、数式 5 - 3 の第一項は、増幅器（例えばオペアンプ O P ）がもつ増幅率を表し、また、第二項は、増幅器の出力電圧と入力電圧の比を分圧の法則で求めたものである。この発振回路の発振条件は、数式 5 - 4 で与えられる。

【 0 1 4 1 】

30

【 数 1 6 】

$$H(\omega) = \frac{r_1 + r_2}{r_1} \cdot \frac{R_1}{Z_1 + \frac{m^2 \omega^2}{Z_2}} \quad \text{数式 5 - 3}$$

$$\operatorname{Re}[H(\omega)] \geq 1$$

$$\operatorname{Im}[H(\omega)] = 0 \quad \text{数式 5 - 4}$$

40

【 0 1 4 2 】

このうち周波数条件（数式 5 - 4 の二段目）は、数式 5 - 1 の周波数条件と全く同じものであり、発振回路 E O 1 が、分裂した共振周波数で発振することがわかる。

【 0 1 4 3 】

以上のようにして、発振回路 E O 1 は、二次回路（つまりコイル 2 1 0 ）が近づいてきて共振周波数に変動しても、その共振周波数で常に発振して最適な搬送波を生成して電力を伝送することができる。なお、発振の振幅条件（数式 5 - 4 ）の一段目からは、増幅器の増幅率は 2 以上であることが条件であることがわかる。

【 0 1 4 4 】

50

上記第4実施形態に係る発振回路E02についても、同様のことが言える。従って、本発明の第3実施形態及び第4実施形態に係る電力伝送装置は、それぞれ発振回路E01, E02を有することにより、コイル110, 120間の距離dが近づいたとしても、発信周波数を最適な値に追従させることができる。よって、この電力伝送装置は、電力伝送効率が高い状態を維持することができる。

【0145】

次に、受電装置について、図8Aの上段に示した受電装置200Cを例に挙げて説明する。図8Aの上段の受電装置200Cは、電力受電用のコイル210とLC共振を実現するためのキャパシタンス C_2 と、抵抗 R_2 が接続されている。ここで負荷の抵抗 R_2 は、電球のような単純な負荷であってもよく、また、抵抗 R_2 の代わりに、入力インピーダンスが R_2 である回路であってもよい。この場合は、数式2-6に従うように、各回路定数を決定していくことにより、本発明の各実施形態を実現できる。

10

【0146】

一方、図1Bのように、二次回路200からトランスT2などを介して三次回路300に接続するような例も考えられる。ここでは、トランスT2の結合係数は1に出来るだけ近いものが望ましい。この場合は、数式3-6に従うように各回路定数を決定していく。さらに、三次回路300に、整流回路、特に全波整流回路を接続して、交流直流変換をすることも考えられる。この場合の例を、第7実施形態及び第8実施形態で説明する。なお、第7実施形態及び第8実施形態では、給電装置（一次回路）については数式3-6（条件4）に従う回路定数を有する以外、同様の構成を使用することができるため、以下では受電装置（二次回路及び三次回路）について説明する。

20

【0147】

<第7実施形態に係る電力伝送装置>

図12は、本発明の第7実施形態に係る電力伝送装置について説明するための説明図である。

【0148】

図12に示す第7実施形態に係る電力伝送装置の受電装置側は、二次回路200と三次回路300GをトランスT3で結合して、このトランスT3の三次回路300G側の両端を4つのダイオードDで構成するダイオードブリッジDBに接続して全波整流を行うような回路例である。ただし、通常のダイオードブリッジDBと異なり、トランスT3とダイオードブリッジDBとの間には直列にキャパシタンス C_3 が含まれている。このキャパシタンスは、三次回路300Gが、一次回路100と二次回路200と同じ周波数で共振するように決定される。

30

【0149】

交流直流変換をする方法としては半波整流などもあるが、ここでは、全波整流が望ましい。この理由は、三次回路300GのトランスT3からみて、全波整流回路をつかうと共振回路としてみることができ、図1Bと同様の回路として扱うことができるが、半波整流の場合にはそのように見えないからである。同様な理由から、キャパシタンス C_3 は、ダイオードブリッジDBよりも後段につけることは望ましくない。つまり、キャパシタンス C_3 は、三次側コイル320とダイオードブリッジDBとの間に配置されることが望ましい。なお、ここでは、全波整流の際に発生する高周波をのぞくためのフィルタ処理を行う素子は省略した。

40

【0150】

<第8実施形態に係る電力伝送装置>

図13は、本発明の第8実施形態に係る電力伝送装置について説明するための説明図である。

【0151】

図12のダイオードブリッジDBによる全波整流回路は、ダイオードDが動作するまでの電圧分の損失があるため高い効率を求めるためには必ずしも適切ではない。そこで、例えば、図13のようなコンパレータCOとFET(Field Effect Tran

50

s i s t o r) 3 3 0 を使った全波整流回路も考えられる。

【 0 1 5 2 】

この回路は、ダイオード D による整流作用の代わりに、能動素子であるコンパレータ C O と F E T 3 3 0 を使って整流を行うことで、ダイオード D で損失する電圧低下分をなくすものである。

【 0 1 5 3 】

この回路では、トランス T 3 の両端の極性が反転すると直ちに、コンパレータ C O の出力が切り替わって、スイッチングされる F E T 3 3 0 が変化し、負荷側でつねに同方向の電流が流れる。ただし、F E T 3 3 0 は損失が極めて少ないものを使い、コンパレータ C O は高速なものをを用いることが望ましい。このような構成にすれば、ダイオード D の整流作用で起こっていたような電圧低下をなくすことができ、整流時の損失を低減することができる。

10

【 0 1 5 4 】

ただし、ここでは、コンパレータ C O が能動素子であるため、別の電源が必要である。また、全体での電力利用効率をよくするためには、このコンパレータ C O を駆動する電力が、電力伝送装置の供給する電力と比べて充分小さいことが望ましい。

【 0 1 5 5 】

以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されないことは言うまでもない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 5 6 】

【 図 1 A 】 本発明の各実施形態に係る一の電力伝送装置による非接触電力伝送を説明する説明図である。

【 図 1 B 】 本発明の各実施形態に係る他の電力伝送装置による非接触電力伝送を説明する説明図である。

【 図 2 A 】 本発明の第 1 実施形態に係る電力伝送装置を説明する説明図である。

【 図 2 B 】 本発明の第 2 実施形態に係る電力伝送装置を説明する説明図である。

30

【 図 3 】 本発明の各実施形態に係る電力伝送装置が有するコイルを回路理論により説明する説明図である。

【 図 4 】 本発明の各実施形態による伝送効率を、回路理論に基づく計算結果により説明する説明図である。

【 図 5 】 本発明の各実施形態に係る電力伝送装置が有するコイルを電磁界シミュレーションにより説明する説明図である。

【 図 6 】 本発明の各実施形態による伝送効率を、電磁界シミュレーションに基づく計算結果により説明する説明図である。

【 図 7 】 本発明の各実施形態による伝送効率を、電磁界シミュレーションに基づく計算結果により説明する説明図である。

40

【 図 8 A 】 本発明の第 3 実施形態に係る電力伝送装置を説明する説明図である。

【 図 8 B 】 本発明の第 4 実施形態に係る電力伝送装置を説明する説明図である。

【 図 9 A 】 本発明の第 5 実施形態に係る電力伝送装置を説明する説明図である。

【 図 9 B 】 本発明の第 6 実施形態に係る電力伝送装置を説明する説明図である。

【 図 1 0 】 本発明の各実施形態に係る電力伝送装置において、コイル間距離に対する電力伝送の効率の変化を説明する説明図である。

【 図 1 1 】 本発明の各実施形態に係る電力伝送装置において、コイル間距離を近づけた場合の周波数特性を説明する説明図である。

【 図 1 2 】 本発明の第 7 実施形態に係る電力伝送装置を説明する説明図である。

【 図 1 3 】 本発明の第 8 実施形態に係る電力伝送装置を説明する説明図である。

50

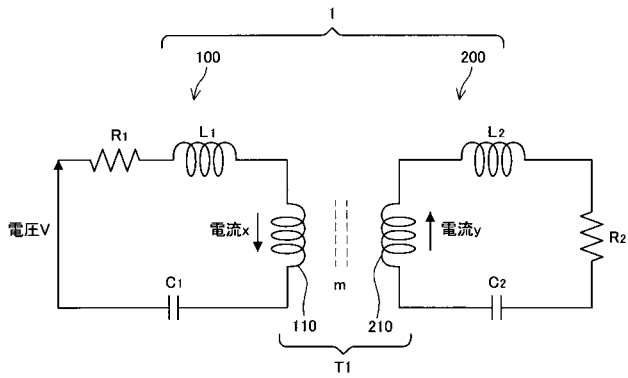
【図 1 4】関連技術に係るトランスによる電力伝送を説明するための説明図である。

【符号の説明】

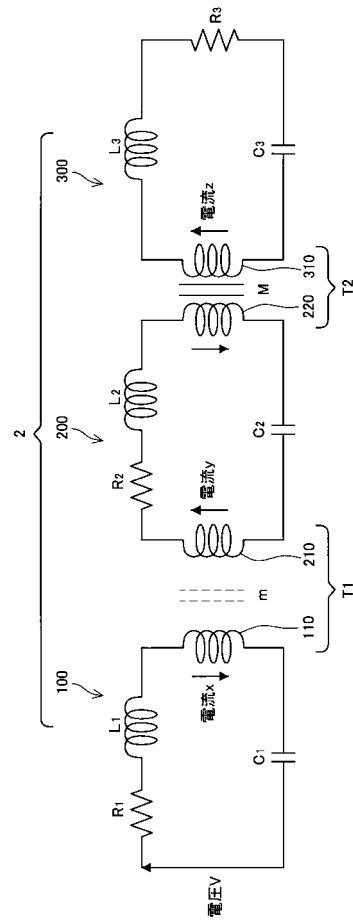
【 0 1 5 7 】

1, 2, 11, 12, 21	電力伝送装置	
13, 14, 15	機器	
100, 100A, 100B		一次回路
100C, 100D		給電装置
110	コイル	
130	電子回路	
200, 200A	二次回路	10
200C	受電装置	
210	コイル	
220	二次側コイル	
230	電子回路	
300, 300G, 300H	三次回路	
320	三次側コイル	
330	FET	
C ₁ , C ₂ , C ₃	キャパシタンス	
CO	コンパレータ	
D	ダイオード	20
DB	ダイオードブリッジ	
EO1, EO2, EO3, EO4	発振回路	
L ₁ , L ₂ , L ₃	インダクタンス	
m, M	相互インダクタンス	
OP	オペアンプ	
R ₁ , R ₂ , R ₃ , R _b , r ₁ , r ₂	抵抗	
T1, T2, T3	トランス	

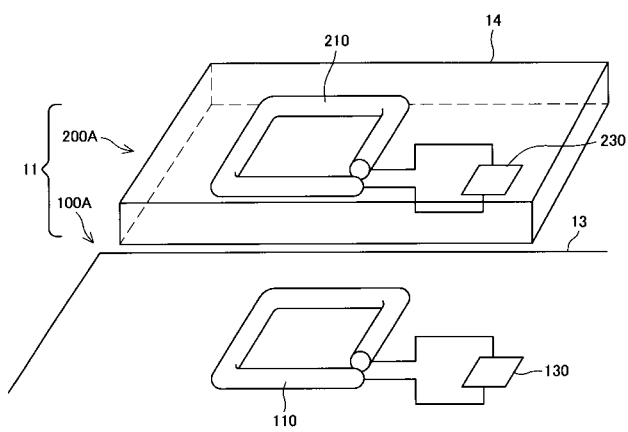
【図 1 A】



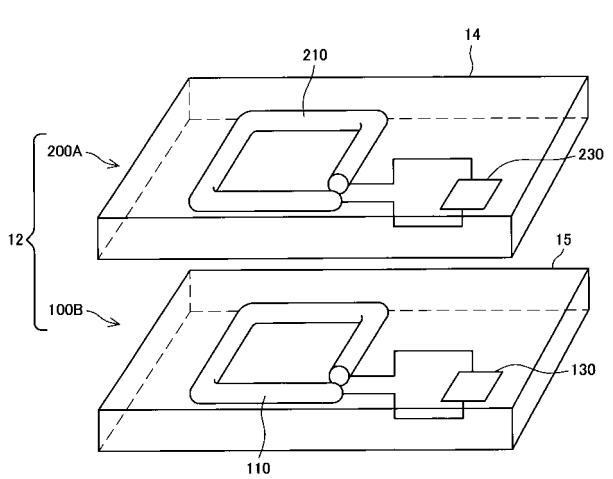
【図 1 B】



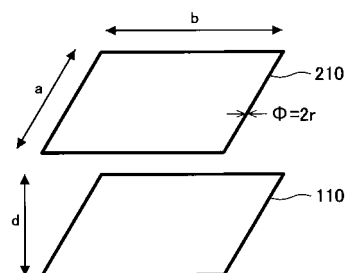
【図 2 A】



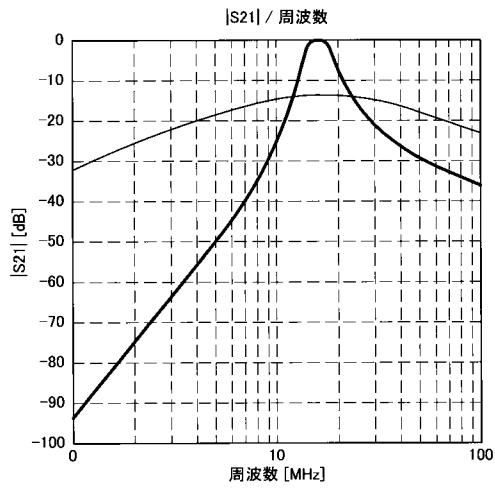
【図 2 B】



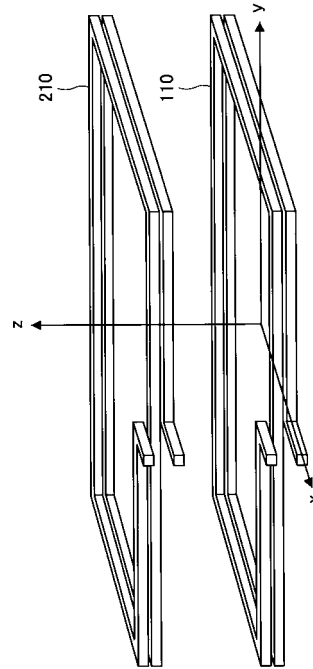
【図 3】



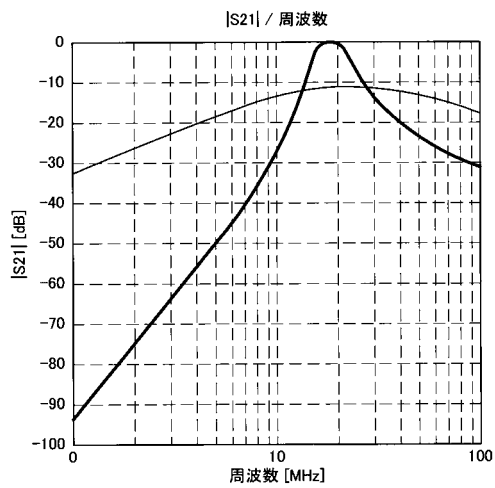
【 図 4 】



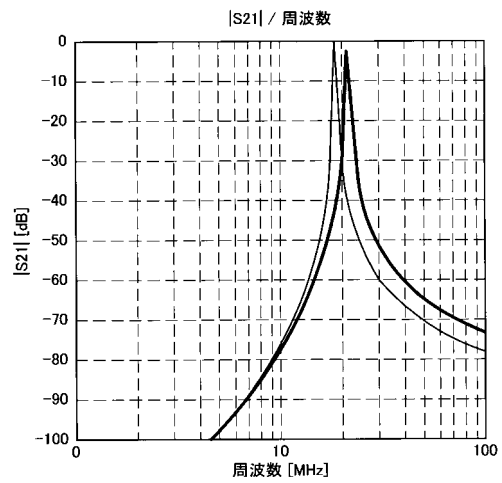
【 図 5 】



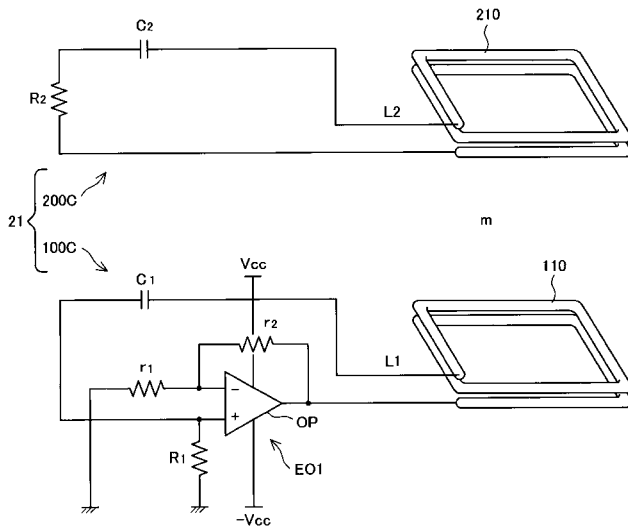
【 図 6 】



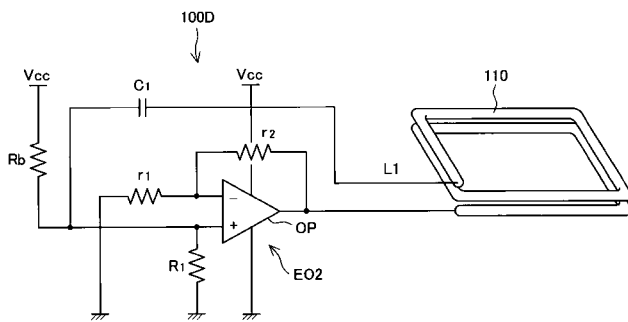
【 図 7 】



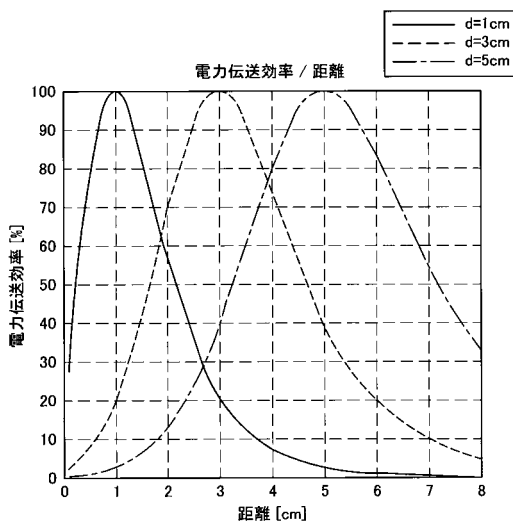
【図 8 A】



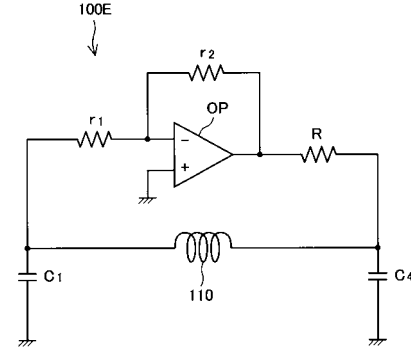
【図 8 B】



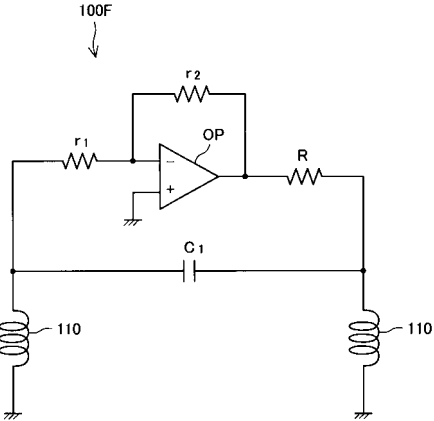
【図 10】



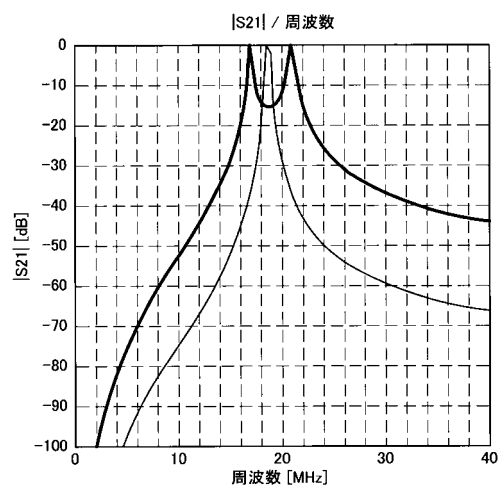
【図 9 A】



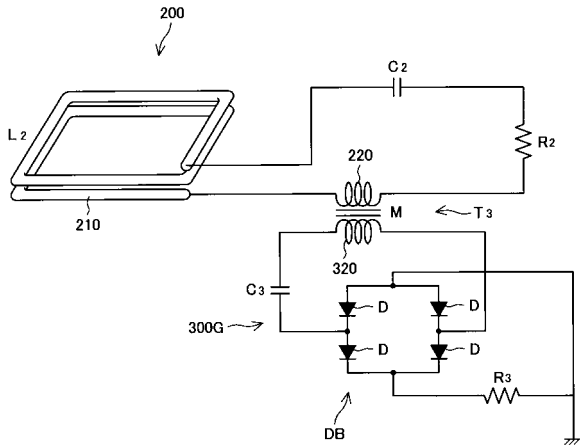
【図 9 B】



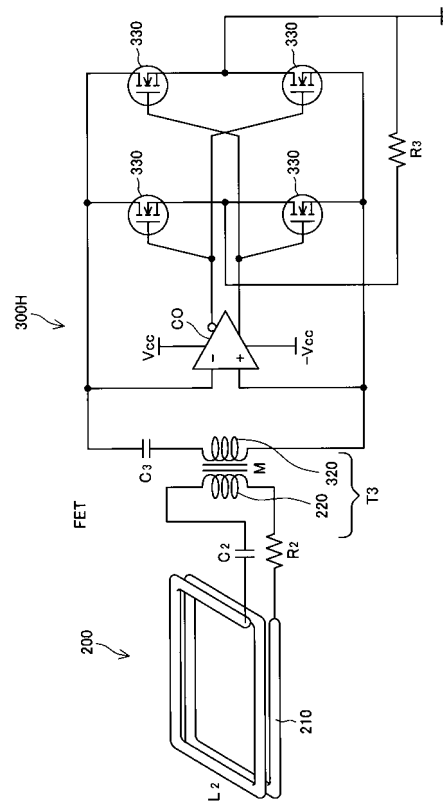
【図 11】



【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】

