

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5702696号  
(P5702696)

(45) 発行日 平成27年4月15日(2015.4.15)

(24) 登録日 平成27年2月27日(2015.2.27)

(51) Int. Cl. F I  
 H02 J 17/00 (2006.01) H02 J 17/00 B

請求項の数 29 (全 26 頁)

|           |                              |           |  |
|-----------|------------------------------|-----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願2011-213341 (P2011-213341) | (73) 特許権者 | 390005175<br>株式会社アドバンテスト<br>東京都練馬区旭町1丁目32番1号 |
| (22) 出願日  | 平成23年9月28日(2011.9.28)        | (74) 代理人  | 100105924<br>弁理士 森下 賢樹                       |
| (65) 公開番号 | 特開2013-74756 (P2013-74756A)  | (74) 代理人  | 100109047<br>弁理士 村田 雄祐                       |
| (43) 公開日  | 平成25年4月22日(2013.4.22)        | (74) 代理人  | 100109081<br>弁理士 三木 友由                       |
| 審査請求日     | 平成25年12月26日(2013.12.26)      | (74) 代理人  | 100133215<br>弁理士 真家 大樹                       |
|           |                              | (72) 発明者  | 圓道 祐樹<br>東京都練馬区旭町1丁目32番1号 株式会社アドバンテスト内       |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ワイヤレス受電装置、ワイヤレス給電装置およびワイヤレス給電システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ワイヤレス受電装置に対して、電界、磁界、電磁界のいずれかを含む電力信号を送信するワイヤレス給電装置であって、

送信コイルを含む送信アンテナと、

前記送信アンテナの両端間に交流の駆動電圧を印加する電源と、

前記送信アンテナとカップリングされ、前記送信アンテナに補正電流を注入し、または前記送信アンテナから補正電流を引き抜く自動チューニング補助回路と、

を備え、

前記自動チューニング補助回路は、

前記送信アンテナとカップリングされる第1端子および第2端子と、

前記第1端子と前記第2端子の間に設けられ、前記駆動電圧に応じた周波数でスイッチングされるHブリッジ回路と、

前記Hブリッジ回路の出力端子間に設けられた第3補助コイルと、

を含むことを特徴とするワイヤレス給電装置。

【請求項2】

前記Hブリッジ回路は、前記駆動電圧と同じ周波数、もしくはその奇数倍または奇数分の1倍の周波数でスイッチングされることを特徴とする請求項1に記載のワイヤレス給電装置。

【請求項3】

前記自動チューニング補助回路は、前記Hブリッジ回路を前記駆動電圧に対してある位相差でスイッチングする制御部をさらに含むことを特徴とする請求項1または2に記載のワイヤレス給電装置。

【請求項4】

前記Hブリッジ回路を構成する複数のスイッチはそれぞれ、片方向スイッチと、

前記片方向スイッチと直列に設けられ、かつ前記片方向スイッチの逆導通素子と逆向きに設けられた整流ダイオードと、

を含むことを特徴とする請求項3に記載のワイヤレス給電装置。

【請求項5】

前記Hブリッジ回路を構成する複数のスイッチは、双方向スイッチで構成されることを特徴とする請求項3に記載のワイヤレス給電装置。

【請求項6】

前記自動チューニング補助回路は、前記送信アンテナと直接カップリングされることを特徴とする請求項1から5のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項7】

前記自動チューニング補助回路は、前記送信アンテナとトランスを介してカップリングされることを特徴とする請求項1から5のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項8】

前記第1端子は、前記送信コイルの一端に接続され、前記第2端子は、前記送信コイルの他端に接続されることを特徴とする請求項1から7のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項9】

前記送信アンテナは、前記送信コイルと直列に設けられた共振用キャパシタをさらに含み、

前記第1端子は、前記共振用キャパシタの一端に接続され、前記第2端子は、前記共振用キャパシタの他端に接続されることを特徴とする請求項1から8のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項10】

前記送信コイルにはタップが設けられており、

前記第1端子は、前記タップと接続され、

前記第2端子は、前記送信コイルの一端と接続されることを特徴とする請求項1から7のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項11】

前記送信アンテナは、前記送信コイルと直列に設けられた2つの共振用キャパシタをさらに含み、

前記第1端子は、一方の共振用キャパシタの一端に接続され、前記第2端子は、前記一方の共振用キャパシタの他端に接続されることを特徴とする請求項1から7のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項12】

前記送信コイルと磁氣的に結合された第1コイルをさらに備え、

前記第1端子は、前記第1コイルの一端と接続され、前記第2端子は、前記第1コイルの他端と接続されることを特徴とする請求項1から7のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項13】

その1次巻線が前記送信アンテナと直列に設けられたトランスをさらに備え、

前記第1端子は、前記トランスの2次巻線の一端と接続され、前記第2端子は、前記トランスの2次巻線の他端と接続されることを特徴とする請求項1から7のいずれかに記載のワイヤレス給電装置。

【請求項14】

10

20

30

40

50

電界、磁界、電磁界のいずれかを含む電力信号を送信する請求項 1 から 13 のいずれかに記載のワイヤレス給電装置と、

前記ワイヤレス給電装置からの電力信号を受信するワイヤレス受電装置と、  
を備えることを特徴とするワイヤレス給電システム。

【請求項 15】

ワイヤレス給電装置から送信される電界、磁界、電磁界のいずれかを含む電力信号を受信するワイヤレス受電装置であって、

受信コイルを含む受信アンテナと、

前記受信アンテナとカップリングされ、前記受信アンテナに補正電流を注入し、または前記受信アンテナから補正電流を引き抜く自動チューニング補助回路と、

を備え、

前記自動チューニング補助回路は、

前記受信アンテナとカップリングされる第 1 端子および第 2 端子と、

前記第 1 端子と前記第 2 端子の間に設けられ、前記電力信号に応じた周波数でスイッチングされる Hブリッジ回路と、

前記 Hブリッジ回路の出力端子間に設けられた第 3 補助コイルと、

を含むことを特徴とするワイヤレス受電装置。

【請求項 16】

前記 Hブリッジ回路は、前記電力信号と同じ周波数、もしくはその奇数倍または奇数分の 1 倍の周波数でスイッチングされることを特徴とする請求項 15 に記載のワイヤレス受電装置。

【請求項 17】

前記自動チューニング補助回路は、前記 Hブリッジ回路を、前記電力信号に対してある位相差でスイッチングする制御部をさらに含むことを特徴とする請求項 15 または 16 に記載のワイヤレス受電装置。

【請求項 18】

前記 Hブリッジ回路を構成する複数のスイッチはそれぞれ、

片方向スイッチと、

前記片方向スイッチと直列に設けられ、かつ前記片方向スイッチの逆導通素子と逆向きに設けられた整流ダイオードと、

を含むことを特徴とする請求項 15 または 16 に記載のワイヤレス受電装置。

【請求項 19】

前記 Hブリッジ回路を構成する複数のスイッチは、双方向スイッチで構成されることを特徴とする請求項 15 または 16 に記載のワイヤレス受電装置。

【請求項 20】

前記自動チューニング補助回路は、前記受信アンテナと直接カップリングされることを特徴とする請求項 15 から 19 のいずれかに記載のワイヤレス受電装置。

【請求項 21】

前記自動チューニング補助回路は、前記受信アンテナとトランスを介してカップリングされることを特徴とする請求項 15 から 19 のいずれかに記載のワイヤレス受電装置。

【請求項 22】

前記第 1 端子は、前記受信コイルの一端に接続され、前記第 2 端子は、前記受信コイルの他端に接続されることを特徴とする請求項 15 から 19 のいずれかに記載のワイヤレス受電装置。

【請求項 23】

前記受信アンテナは、前記受信コイルと直列に設けられた共振用キャパシタをさらに含み、

前記第 1 端子は、前記共振用キャパシタの一端に接続され、前記第 2 端子は、前記共振用キャパシタの他端に接続されることを特徴とする請求項 15 から 19 のいずれかに記載のワイヤレス受電装置。

10

20

30

40

50

## 【請求項 24】

前記受信コイルにはタップが設けられており、  
 前記第1端子は、前記タップと接続され、  
 前記第2端子は、前記受信コイルの一端と接続されることを特徴とする請求項15から19のいずれかに記載のワイヤレス受電装置。

## 【請求項 25】

前記受信アンテナは、前記受信コイルと直列に設けられた2つの共振用キャパシタをさらに含み、

前記第1端子は、一方の共振用キャパシタの一端に接続され、前記第2端子は、前記一方の共振用キャパシタの他端に接続されることを特徴とする請求項15から19のいずれかに記載のワイヤレス受電装置。

10

## 【請求項 26】

前記受信コイルと磁氣的に結合された第1コイルをさらに備え、

前記第1端子は、前記第1コイルの一端と接続され、前記第2端子は、前記第1コイルの他端と接続されることを特徴とする請求項15から19のいずれかに記載のワイヤレス受電装置。

## 【請求項 27】

その1次巻線が前記受信アンテナと直列に設けられたトランスをさらに備え、

前記第1端子は、前記トランスの2次巻線の一端と接続され、前記第2端子は、前記トランスの2次巻線の他端と接続されることを特徴とする請求項15から19のいずれかに記載のワイヤレス受電装置。

20

## 【請求項 28】

電界、磁界、電磁界のいずれかを含む電力信号を送信するワイヤレス給電装置と、

前記電力信号を受信する請求項15から19のいずれかに記載のワイヤレス受電装置と

、  
 を備えることを特徴とするワイヤレス給電システム。

## 【請求項 29】

電界、磁界、電磁界のいずれかを含む電力信号を送信する請求項1から13のいずれかに記載のワイヤレス給電装置と、

前記ワイヤレス給電装置からの前記電力信号を受信する請求項15から19のいずれかに記載のワイヤレス受電装置と、

を備えることを特徴とするワイヤレス給電システム。

30

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、ワイヤレス給電技術に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、携帯電話端末やノート型コンピュータなどの電子機器、あるいは電気自動車に対する給電技術として、ワイヤレス（非接触）電力伝送が着目されている。ワイヤレス送電は、主に電磁誘導型、電波受信型、電場・磁場共鳴型、の3つに分類される。

40

## 【0003】

電磁誘導型は短距離（数cm以内）において利用され、数百kHz以下の帯域で数百Wの電力を伝送することができる。電力の利用効率は60～98%程度となっている。

数m以上の比較的長い距離に給電する場合、電波受信型が利用される。電波受信型では、中波～マイクロ波の帯域で数W以下の電力を伝送することができるが、電力の利用効率は低い。数m程度の中距離を、比較的高い効率で給電する手法として、電場・磁場共鳴型が着目されている（非特許文献1参照）。

## 【先行技術文献】

## 【非特許文献】

50

## 【 0 0 0 4 】

【非特許文献 1】A. Karalis, J.D. Joannopoulos, M. Soljacic、「Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer」、ANNALS of PHYSICS Vol. 323, pp.34-48, 2008, Jan.

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【 0 0 0 5 】

図 1 は、比較技術に係るワイヤレス送電システムを示す図である。ワイヤレス送電システム 1 r は、ワイヤレス給電装置 2 r およびワイヤレス受電装置 4 r を備える。ワイヤレス給電装置 2 r は、送信コイル  $L_{TX}$ 、共振用キャパシタ  $C_{TX}$ 、交流電源 10 r を備える。ワイヤレス受電装置 4 r は、受信コイル  $L_{RX}$ 、共振用キャパシタ  $C_{RX}$ 、負荷 70 を備える。

## 【 0 0 0 6 】

磁場（電場）共鳴型の電力伝送において重要となるのが共振周波数である。送信側の LC 共振回路の共振周波数は、 $f_{TX} = 1 / (2 \pi \sqrt{L_{TX} \cdot C_{TX}})$ 、受信側の共振周波数は、 $f_{RX} = 1 / (2 \pi \sqrt{L_{RX} \cdot C_{RX}})$  であり、送受信双方の共振周波数と、交流電源 10 r の周波数を適切に調節しなければ、効率よく電力伝送が行えない。ところが現実的には、さまざまな要因によって共振周波数は変動する。この変動した共振周波数を、受電装置側において、給電装置から伝送されてくる磁界（電界）そのものにもとづいてチューニングすることは難しい。なぜなら、受電装置側で検出される共振周波数は、受電装置側の共振周波数や位相の状態に応じてさらに変動する可能性があるからである。

## 【 0 0 0 7 】

本発明に係る課題に鑑みてなされたものであり、そのある態様の例示的な目的のひとつは、共振周波数を自動的にチューニング可能なワイヤレス給電装置、受電装置および給電システムの提供にある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 0 8 】

本発明のある態様は、ワイヤレス受電装置に対して、電界、磁界、電磁界のいずれかを含む電力信号を送信するワイヤレス給電装置に関する。ワイヤレス給電装置は、送信コイルを含む送信アンテナと、送信アンテナの両端間に交流の駆動電圧を印加する電源と、送信アンテナとカップリングされ、送信アンテナに第 1 補正電流を注入し、または送信アンテナから第 1 補正電流を引き抜く自動チューニング補助回路と、を備える。自動チューニング補助回路は、第 1 補助コイルを含み、(1) 第 1 補助コイルが送信アンテナにカップリングされて、第 1 補助コイルに流れる電流に応じた第 1 補正電流を、送信アンテナに注入しもしくは送信アンテナから引き抜く第 1 状態と、(2) 第 1 補助コイルが送信アンテナから切り離され、第 1 補助コイルに流れる電流が、送信アンテナとは独立した電流経路に流れる第 2 状態と、を交互に繰り返す。

第 1 状態と第 2 状態は、駆動電圧と同じ周波数、もしくはその奇数倍または奇数分の 1 倍の周波数でスイッチングされてもよい。

## 【 0 0 0 9 】

送信アンテナの共振周波数が駆動電圧の周波数と一致する場合、第 1 補助コイルに流れる電流はゼロとなり、第 1 補正電流もゼロとなる。

送信アンテナの共振周波数が駆動電圧の周波数と一致しない場合、送信アンテナを含む共振回路のインピーダンスは容量性または誘導性となるため、送信アンテナには、駆動電圧に対して遅れたあるいは進んだ位相の電流が発生する。このとき、第 1 状態と第 2 状態をスイッチングすると、第 1 補助コイルに電流が流れ、その大きさ（および向き）は、送信アンテナに流れる電流と駆動電圧が同位相となるように調節される。その結果生成される第 1 補助電流によって、共振状態において送信アンテナに流れるべき電流と、自動チューニング補助回路が存在しないときに送信アンテナに流れる電流の差分が補正され、給電

装置において擬似的な共振状態を実現できる。

この態様によれば、共振用キャパシタの容量値の調節などを行わなくても、送信アンテナを駆動電圧に対して自動的にチューニングすることができる。

【 0 0 1 0 】

本発明の別の態様もまた、ワイヤレス給電装置である。このワイヤレス給電装置は、送信コイルを含む送信アンテナと、送信アンテナの両端間に交流の駆動電圧を印加する電源と、送信アンテナとカップリングされ、送信アンテナに補正電流を注入し、または送信アンテナから補正電流を引き抜く自動チューニング補助回路と、を備える。自動チューニング補助回路は、送信アンテナとカップリングされる第 1 端子および第 2 端子と、第 1 端子と第 2 端子の間に設けられる Hブリッジ回路と、Hブリッジ回路の出力端子間に設けられた第 3 補助コイルと、を含む。

10

Hブリッジ回路は、駆動電圧と同じ周波数、もしくはその奇数倍または奇数分の 1 倍の周波数でスイッチングされてもよい。

【 0 0 1 1 】

この態様によると、駆動電圧のある位相から半周期の間において、Hブリッジ回路の 4 つのスイッチのうち、対角に位置する第 1 のペアがオンとなり、続く半周期の間、第 2 のペアがオンとなる。第 1 のペアがオンする半周期、第 3 補助コイルに流れる電流が第 1 の向きで送信アンテナに供給され、第 2 のペアがオンする半周期、第 3 補助コイルに流れる電流が第 2 の向きで送信アンテナに供給される。

送信アンテナの共振周波数が駆動電圧の周波数と一致する場合、第 3 補助コイルに流れる電流はゼロとなる。

20

送信アンテナの共振周波数が駆動電圧の周波数と一致しない場合、送信アンテナを含む共振回路のインピーダンスは容量性または誘導性となるため、送信アンテナには、駆動電圧に対して遅れたあるいは進んだ位相の電流が発生する。このとき、Hブリッジ回路をスイッチングすると、第 3 補助コイルに電流が流れ、その大きさ（および向き）は、送信アンテナに流れる電流と駆動電圧が同位相となるように調節される。その結果生成される第 3 補助電流によって、共振状態において送信アンテナに流れるべき電流と、自動チューニング補助回路が存在しないときに送信アンテナに流れる電流の差分が補正され、給電装置において擬似的な共振状態を実現できる。

この態様によれば、共振用キャパシタの容量値の調節などを行わなくても、送信アンテナを駆動電圧に対して自動的にチューニングすることができる。

30

【 0 0 1 2 】

本発明のさらに別の態様は、ワイヤレス給電装置から送信される電界、磁界、電磁界のいずれかを含む電力信号を受信するワイヤレス受電装置に関する。ワイヤレス受電装置は、受信コイルを含む受信アンテナと、受信アンテナとカップリングされ、受信アンテナに第 1 補正電流を注入し、または受信アンテナから第 1 補正電流を引き抜く自動チューニング補助回路と、を備える。自動チューニング補助回路は、第 1 補助コイルを含み、( 1 ) 第 1 補助コイルが受信アンテナにカップリングされて、第 1 補助コイルに流れる電流に応じた第 1 補正電流を、受信アンテナに注入しもしくは受信アンテナから引き抜く第 1 状態と、( 2 ) 第 1 補助コイルが受信アンテナから切り離され、第 1 補助コイルに流れる電流が、受信アンテナとは独立した電流経路に流れる第 2 状態と、を交互に繰り返す。

40

第 1 状態と第 2 状態は、電力信号と同じ周波数、もしくはその奇数倍または奇数分の 1 倍の周波数でスイッチングされてもよい。

【 0 0 1 3 】

受信アンテナの共振周波数が電力信号の周波数と一致する場合、第 1 補助コイルに流れる電流はゼロとなり、第 1 補正電流もゼロとなる。

受信アンテナの共振周波数が電力信号の周波数と一致しない場合、受信アンテナを含む共振回路のインピーダンスは容量性または誘導性となるため、受信アンテナには、電力信号に対して遅れたあるいは進んだ位相の電流が発生する。このとき、第 1 状態と第 2 状態をスイッチングすると、第 1 補助コイルに電流が流れ、その大きさ（および向き）は、受

50

信アンテナに流れる電流と電力信号が同位相となるように調節される。その結果生成される第1補助電流によって、共振状態において受信アンテナに流れるべき電流と、自動チューニング補助回路が存在しないときに受信アンテナに流れる電流の差分が補正され、受電装置において擬似的な共振状態を実現できる。

この態様によれば、共振用キャパシタの容量値の調節などを行わなくても、受電アンテナを電力信号に対して自動的にチューニングすることができる。

#### 【0014】

本発明のさらに別の態様もまた、ワイヤレス受電装置である。ワイヤレス受電装置は、受信コイルを含む受信アンテナと、受信アンテナとカップリングされ、受信アンテナに補正電流を注入し、または受信アンテナから補正電流を引き抜く自動チューニング補助回路と、を備える。自動チューニング補助回路は、受信アンテナとカップリングされる第1端子および第2端子と、第1端子と第2端子の間に設けられるHブリッジ回路と、Hブリッジ回路の出力端子間に設けられた第3補助コイルと、を含む。

Hブリッジ回路は、電力信号と同じ周波数、もしくはその奇数倍または奇数分の1倍の周波数でスイッチングされてもよい。

#### 【0015】

この態様によると、電力信号のある位相から半周期の間において、Hブリッジ回路の4つのスイッチのうち、対角に位置する第1のペアがオンとなり、続く半周期の間、第2のペアがオンとなる。第1のペアがオンする半周期、第3補助コイルに流れる電流が第1の向きで受信アンテナに供給され、第2のペアがオンする半周期、第3補助コイルに流れる電流が第2の向きで受信アンテナに供給される。

受信アンテナの共振周波数が電力信号の周波数と一致する場合、第3補助コイルに流れる電流はゼロとなる。

受信アンテナの共振周波数が電力信号の周波数と一致しない場合、受信アンテナを含む共振回路のインピーダンスは容量性または誘導性となるため、受信アンテナには、電力信号に対して遅れたあるいは進んだ位相の電流が発生する。このとき、Hブリッジ回路をスイッチングすると、第3補助コイルに電流が流れ、その大きさ（および向き）は、受信アンテナに流れる電流と電力信号が同位相となるように調節される。その結果生成される第3補助電流によって、共振状態において受信アンテナに流れるべき電流と、自動チューニング補助回路が存在しないときに受信アンテナに流れる電流の差分が補正され、受電装置において擬似的な共振状態を実現できる。

この態様によれば、共振用キャパシタの容量値の調節などを行わなくても、受信アンテナを電力信号に対して自動的にチューニングすることができる。

#### 【0016】

本発明の別の態様は、ワイヤレス給電システムに関する。ワイヤレス給電システムは、電界、磁界、電磁界のいずれかを含む電力信号を送信する上述のワイヤレス給電装置と、電力信号を受信する上述のワイヤレス受電装置と、を備えてもよい。

#### 【0017】

なお、以上の構成要素の任意の組み合わせや本発明の構成要素や表現を、方法、装置、システムなどの間で相互に置換したのもまた、本発明の態様として有効である。

#### 【発明の効果】

#### 【0018】

本発明のある態様によれば、共振周波数を自動的にチューニングできる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0019】

【図1】比較技術に係るワイヤレス送電システムを示す図である。

【図2】第1の実施の形態に係るワイヤレス給電装置の構成を示す回路図である。

【図3】図3(a)、(b)は、MOSFETを用いたスイッチの構成例を示す図である。

【図4】図2のワイヤレス給電装置の動作を示す波形図である。

【図5】図2のワイヤレス給電装置の等価回路図である。

【図6】図6(a)は、自動チューニング補助回路を動作させない状態、図6(b)は、自動チューニング補助回路を動作させたときの波形図である。

【図7】 $f_c < f_{Tx}$ の場合の、自動チューニング補助回路による疑似共振状態を説明するフェーザ図(ベクトル図)である。

【図8】 $f_c > f_{Tx}$ の場合の、自動チューニング補助回路による疑似共振状態を説明するフェーザ図である。

【図9】第1の変形例に係る自動チューニング補助回路の構成を示す回路図である。

【図10】図9の自動チューニング補助回路の動作を示す波形図である。

【図11】図11(a)、(b)は、第2の変形例に係る自動チューニング補助回路の構成を示す回路図である。

10

【図12】図12は、第3の変形例に係る自動チューニング補助回路の構成を示す回路図である。

【図13】第2の実施の形態に係る自動チューニング補助回路を備えるワイヤレス給電装置の構成を示す回路図である。

【図14】図13のワイヤレス給電装置の動作を示す波形図である。

【図15】図15は、図13の自動チューニング補助回路の変形例を示す回路図である。

【図16】図16(a)~(g)は、自動チューニング補助回路と送信アンテナのカップリングの続形態を示す回路図である。

【図17】第1の実施の形態に係るワイヤレス受電装置の構成を示す回路図である。

20

【図18】図17のワイヤレス受電装置の等価回路図である。

【図19】図17のワイヤレス受電装置の動作を示す波形図である。

【図20】第1の変形例に係るワイヤレス受電装置の構成を示す回路図である。

【図21】第2の実施の形態に係るワイヤレス受電装置の構成を示す回路図である。

【図22】図22(a)~(f)は、自動チューニング補助回路と受信アンテナのカップリングの形態を示す回路図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、本発明を好適な実施の形態をもとに図面を参照しながら説明する。各図面に示される同一または同等の構成要素、部材、処理には、同一の符号を付するものとし、適宜重複した説明は省略する。また、実施の形態は、発明を限定するものではなく例示であって、実施の形態に記述されるすべての特徴やその組み合わせは、必ずしも発明の本質的なものであるとは限らない。

30

【0021】

本明細書において、「部材Aが、部材Bと接続された状態」、あるいは「部材Aが、部材Bとカップリングされた状態」とは、部材Aと部材Bが物理的に直接的に接続される場合のほか、部材Aと部材Bが、それらの電氣的な接続状態に実質的な影響を及ぼさない、あるいはそれらの結合により奏される機能や効果を損なわせない、その他の部材を介して間接的に接続される場合も含む。

同様に、「部材Cが、部材Aと部材Bの間に設けられた状態」とは、部材Aと部材C、あるいは部材Bと部材Cが直接的に接続される場合のほか、それらの電氣的な接続状態に実質的な影響を及ぼさない、あるいはそれらの結合により奏される機能や効果を損なわせない、その他の部材を介して間接的に接続される場合も含む。

40

【0022】

(ワイヤレス給電装置)

(第1の実施の形態)

図2は、第1の実施の形態に係るワイヤレス給電装置2の構成を示す回路図である。ワイヤレス給電装置2は、ワイヤレス受電装置(不図示)に対して電力信号S1を送出する。電力信号S1は、電波になっていない電磁波の近傍界(電界、磁界、あるいは電磁界)が利用される。

50

## 【 0 0 2 3 】

ワイヤレス給電装置 2 は、電源 1 0、送信アンテナ 2 0、自動チューニング補助回路 ( A T A C : Auto Tuning Assist Circuit ) 3 0、制御部 4 0 を備える。

## 【 0 0 2 4 】

送信アンテナ 2 0 は、その第 1 端 2 1 とその第 2 端 2 2 の間に設けられた送信コイル  $L_{TX}$  を含む。共振用キャパシタ  $C_{TX}$  は、送信コイル  $L_{TX}$  と直列に設けられる。共振用キャパシタ  $C_{TX}$  と送信コイル  $L_{TX}$  は入れかえてもよい。

## 【 0 0 2 5 】

電源 1 0 は、送信アンテナ 2 0 の両端間に、所定の送信周波数  $f_{TX}$  を有する交流の駆動電圧  $V_{DRV}$  を印加する。駆動電圧  $V_{DRV}$  は、矩形波、台形波、正弦波をはじめとする任意の交流波形であって構わない。本実施の形態では、駆動電圧  $V_{DRV}$  は、第 1 電圧レベル ( 電源電圧  $V_{DD}$  ) と第 2 電圧レベル ( 接地電圧  $V_{GND} = 0 V$  ) でスイングする矩形波であるものとする。

10

## 【 0 0 2 6 】

電源 1 0 は、直流電源 1 2、第 1 ハイサイドスイッチ  $SWH1$ 、第 1 ローサイドスイッチ  $SWL1$  を含む。直流電源 1 2 は、直流の電源電圧  $V_{DD}$  を生成する。第 1 ハイサイドスイッチ  $SWH1$  および第 1 ローサイドスイッチ  $SWL1$  は、直流電源 1 2 の出力端子と固定電圧端子 ( 接地端子 ) の間に順に直列に設けられる。制御部 4 0 は、第 1 ハイサイドスイッチ  $SWH1$  および第 1 ローサイドスイッチ  $SWL1$  を、送信周波数  $f_{TX}$  で相補的にスイッチングする。電源 1 0 は、Hブリッジ回路で構成してもよい。

20

## 【 0 0 2 7 】

自動チューニング補助回路 3 0 は、送信アンテナ 2 0 と直接的、あるいは間接的にカップリングされ、送信アンテナ 2 0 に第 1 補正電流  $I_A$  を注入 ( ソース ) し、または送信アンテナ 2 0 から第 1 補正電流  $I_A$  を引き抜く ( シンク ) 。図 2 では、自動チューニング補助回路 3 0 は、送信アンテナ 2 0 に直接カップリングされる。本実施の形態では、送信アンテナ 2 0 から自動チューニング補助回路 3 0 に向かう向き ( シンク ) を、第 1 補正電流  $I_A$  の正とする。

## 【 0 0 2 8 】

自動チューニング補助回路 3 0 は、第 1 補助コイル  $L_{A1}$  を含む。自動チューニング補助回路 3 0 は、第 1 状態 1 と第 2 状態 2 を、駆動電圧  $V_{DRV}$  と同じ周波数  $f_{TX}$  で交互に繰り返す。

30

第 1 状態 1 では、第 1 補助コイル  $L_{A1}$  が送信アンテナ 2 0 にカップリングされて、第 1 補助コイル  $L_{A1}$  に流れる電流に応じた第 1 補正電流  $I_A$  が、送信アンテナ 2 0 に注入され、もしくは送信アンテナ 2 0 から引き抜かれる。

第 2 状態 2 では、第 1 補助コイル  $L_{A1}$  が送信アンテナ 2 0 から切り離され、第 1 補助コイル  $L_{A1}$  に流れる電流  $I_{LA1}$  が、送信アンテナ 2 0 とは独立した電流経路に流れる。

## 【 0 0 2 9 】

具体的には、自動チューニング補助回路 3 0 は、第 1 補助コイル  $L_{A1}$  に加えて、第 1 端子 3 1、第 2 端子 3 2、第 1 スイッチ  $SW1$  および第 2 スイッチ  $SW2$ 、制御部 4 0 を備える。第 1 端子 3 1、第 2 端子 3 2 は、送信アンテナ 2 0 とカップリングされる。第 1 スイッチ  $SW1$  および第 1 補助コイル  $L_{A1}$  は、第 1 端子 3 1 と第 2 端子 3 2 の間に直列に設けられる。第 2 スイッチ  $SW2$  は、第 1 補助コイル  $L_{A1}$  に対して並列に設けられる。

40

## 【 0 0 3 0 】

制御部 4 0 は、第 1 スイッチ  $SW1$  および第 2 スイッチ  $SW2$  を、駆動電圧  $V_{DRV}$  と同じ周波数  $f_{TX}$  で、かつ駆動電圧  $V_{DRV}$  に対してある位相差  $\theta_{TX}$  で相補的にスイッチングする。具体的には、第 1 状態 1 において第 1 スイッチ  $SW1$  をオン、第 2 スイッチ  $SW2$  をオフし、第 2 状態 2 において第 1 スイッチ  $SW1$  をオフ、第 2 スイッチ  $SW2$  をオンする。好ましくは位相差  $\theta_{TX}$  は、 $+0^\circ$  もしくは  $180^\circ$  付近であってもよい

50

。すなわち制御部40の一部は、自動チューニング補助回路30を構成する。

【0031】

第1状態1において、第1スイッチSW1がオンすることで第1補助コイル $L_{A1}$ が送信アンテナ20とカップリングされる。第2状態2においては第2スイッチSW2がオンすることで、第1補助コイル $L_{A1}$ に流れる電流 $I_{AL}$ が、第2スイッチSW2を含むループ経路に流れる。

【0032】

第1スイッチSW1、第2スイッチSW2は、MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)、バイポーラトランジスタ等を用いて構成できる。図3(a)、(b)は、MOSFETを用いたスイッチの構成例を示す図である。

10

【0033】

図3(a)は、Nチャンネル、図3(b)は、PチャンネルのMOSFETを用いた構成を示す。MOSFETのバックゲートをソースと接続すると、バックゲートとドレイン間のボディダイオードがゲート電圧によらずに導通状態となる。したがって、MOSFETを単体で用いたスイッチでは、片方向に対する電流を阻止することができない。本明細書においてこのようなスイッチを片方向スイッチという。

【0034】

図3(c)~(f)のスイッチは、2つのNチャンネルMOSFET、もしくは2つのPチャンネルMOSFETが、それらのボディダイオードが逆向きとなるように接続される(バックトゥバック接続)。図3(c)~(f)では、オフ状態において、いずれの方向にも電流が流れない。本明細書においてこのようなスイッチを、双方向スイッチという。

20

【0035】

本実施の形態において、各スイッチSW1、SW2は、片方向スイッチ、双方向スイッチを用いて構成することができる。なお、片方向スイッチを用いる場合、各スイッチSW1、SW2と直列に整流用のダイオードを設ける必要がある。この変形例については後述する。

【0036】

以上がワイヤレス給電装置2の構成である。続いてその動作を説明する。

30

【0037】

スイッチSW1、SW2はそれぞれ、オフ状態においていずれの方向にも電流を流さない双方向スイッチであるものとする。

【0038】

図4は、図2のワイヤレス給電装置2の動作を示す波形図である。本明細書における波形図やタイムチャートの縦軸および横軸は、理解を容易とするために適宜拡大、縮小したものであり、また示される各波形も、理解の容易のために簡略化されている。

【0039】

図4は、上から順に、駆動電圧 $V_{DRV}$ 、送信コイル $L_{TX}$ と共振用キャパシタ $C_{TX}$ の両端間の共振電圧 $V_{TX}$ 、送信アンテナ20に流れる共振電流 $I_{TX}$ 、第1スイッチSW1、第2スイッチSW2、第1補正電流 $I_A$ 、第1補助コイル $L_{A1}$ に流れる電流 $I_{LA1}$ を示す。スイッチを示す波形は、ハイレベルがオン状態を、ローレベルがオフ状態を示す。また共振電流 $I_{TX}$ および共振電圧 $V_{TX}$ は、自動チューニング補助回路30を動作させてから十分な時間が経過した後の定常状態における波形を示す。

40

【0040】

図4に示すように、矩形波の駆動電圧 $V_{DRV}$ が送信アンテナ20に印加される。制御部40は、駆動電圧 $V_{DRV}$ と同じ周波数で、かつ駆動電圧 $V_{DRV}$ と同相 $\phi_{TX} (= 0^\circ)$ で、第1スイッチSW1および第2スイッチSW2を相補的にスイッチングする。

【0041】

第1状態1と第2状態2を繰り返すことにより、第1補助コイル $L_{A1}$ の電流 $I_L$

50

$I_{A1}$ の大きさおよび向きは、駆動電圧 $V_{DRV}$ と共振電流 $I_{TX}$ の位相差がゼロとなるように、すなわち共振状態が成り立つポイントに収束する。

【0042】

第2状態2では、電流 $I_{LA1}$ は第2スイッチ $SW2$ を含むループに流れ、そのレベルは一定に保たれる。そして第1状態1では、電流 $I_{LA1}$ が、第1補正電流 $I_A$ として送信アンテナ20に供給される。自動チューニング補助回路30は、第1補正電流 $I_A$ を送信アンテナ20に供給する補正電流源と把握することができる。図5は、図2のワイヤレス給電装置2の等価回路図である。

【0043】

図6(a)は、自動チューニング補助回路30を動作させない状態、図6(b)は、自動チューニング補助回路30を動作させたときの波形図である。

はじめに図6(a)を参照し、自動チューニング補助回路30を動作させない状態、すなわち第1スイッチ $SW1$ をオフで固定し、第2スイッチ $SW2$ をオンで固定した状態について説明する。これは、補正電流 $I_A$ がゼロの状態を示す。

送信アンテナ20のインピーダンス $Z$ は式(1)で与えられ、その共振周波数 $f_c$ は式(2)で与えられる。なお、ここでは抵抗成分を無視しているが、実際の回路には直列抵抗が寄与することは言うまでもない。

$$Z = j L_{TX} + 1 / (j C_{TX}) \quad \dots (1)$$

$$f_c = 1 / (2 \pi \sqrt{L_{TX} \cdot C_{TX}}) \quad \dots (2)$$

【0044】

送信アンテナ20は、駆動電圧 $V_{DRV}$ の周波数 $f_{TX}$ が共振周波数 $f_c$ より高い( $f_{TX} > f_c$ )とき誘導性となり、送信アンテナ20に流れる共振電流 $I_{TX}$ の位相は、駆動電圧 $V_{DRV}$ の位相に対して遅れる。反対に、周波数 $f_{TX}$ が共振周波数 $f_c$ より低い( $f_{TX} < f_c$ )とき容量性となり、共振電流 $I_{TX}$ の位相は、駆動電圧 $V_{DRV}$ に対して進む。

【0045】

図6(a)は、 $f_c > f_{TX}$ の状態を示しており、共振電流 $I_{TX}$ の位相は、駆動電圧 $V_{DRV}$ に対して位相差を進んでいる。が $90^\circ$ でないのは、共振回路に直列の抵抗成分(不図示)が存在するためである。非共振状態ではインピーダンス $Z$ が高くなるため、共振電流 $I_{TX}$ の振幅が小さくなる。この状態では大きな電力を伝送することはできない。

【0046】

続いて、図6(b)を参照し、自動チューニング補助回路30を動作させたときの動作を説明する。

【0047】

自動チューニング補助回路30を動作させると、送信アンテナ20には、駆動電圧 $V_{DRV}$ に対してある位相差を有する補正電流 $I_A$ が供給される。その結果、共振電流 $I_{TX}$ の位相が駆動電圧 $V_{DRV}$ の位相と一致し、擬似的な共振状態となる。これにより、共振電流 $I_{TX}$ の振幅は、非共振状態よりも大きくなる。

【0048】

図7は、 $f_c < f_{TX}$ の場合の、自動チューニング補助回路30による疑似共振状態を説明するフェーザ図(ベクトル図)である。

補正電流 $I_A(f_{TX})$ は、図4の補正電流 $I_A$ の基本波成分( $f_{TX}$ )を意味する。この補正電流 $I_A(f_{TX})$ は、駆動電圧 $V_{DRV}$ に対して位相差を有する。

【0049】

「重ねの理」によって、共振電流 $I_{TX}$ は、駆動電圧 $V_{DRV}$ によって誘起される電流成分 $I_{DRV}$ と、補正電流 $I_A(f_{TX})$ の和で与えられる。補正電流 $I_A$ の振幅が最適化されることにより、2つの電流成分 $I_{DRV}$ と $I_A(f_{TX})$ の合成電流、すなわち共振電流 $I_{TX}$ の位相を、駆動電圧 $V_{DRV}$ の位相( $0^\circ$ )と一致させることができ、疑似共振状態が実現できることが分かる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 0 】

以上がワイヤレス給電装置 2 の原理および動作である。

このようにワイヤレス給電装置 2 によれば、送信アンテナ 20 の共振周波数  $f_c$  を調節することなく、疑似共振状態を実現するように回路の状態を自動的にチューニングすることができる。ワイヤレス送電では、ワイヤレス給電装置 2 とワイヤレス受電装置 4 の位置関係によって、共振周波数が時々刻々と変化するが、ワイヤレス給電装置 2 によれば、その変化に高速に追従することができ、高効率な電力伝送が可能となる。

## 【 0 0 5 1 】

またワイヤレス給電で大電力を伝送しようとする、共振用キャパシタ  $C_{TX}$  の両端間の電圧は非常に大きくなるため、バリコン（バリキャップ）の利用は制約される。ワイヤレス給電装置 2 によれば共振用キャパシタ  $C_{TX}$  の容量値を調節する必要がないため、バリコン等を使用する必要がないという利点もある。

## 【 0 0 5 2 】

ここでは、第 1 スイッチ  $SW1$  を、第 1 ハイサイドスイッチ  $SWH1$ （駆動電圧  $V_{DRV}$ ）の位相に対して  $\theta_{TX} = 0^\circ$  の位相でスイッチングさせる場合を説明したが、位相差  $\theta_{TX}$  は  $0^\circ$  である必要はなく、 $180^\circ$  であってもよい。この場合、キャパシタ電流  $I_A$  の向きが逆となるように自動的に調節される。

## 【 0 0 5 3 】

すなわち、 $f_c < f_{TX}$  の場合、 $\theta_{TX} = 0^\circ$  または  $180^\circ$  とすることにより、疑似共振状態を実現できる。

位相差  $\theta_{TX}$  は、 $0^\circ$  もしくは  $180^\circ$  から外れていてもよい。この場合、図 7 に示すベクトル図において、電流成分  $I_{DRV}$  と  $I_A$  の位相差  $\theta_{TX}$  が  $90^\circ$  ではなくなるが、この場合でも、それらを合成した共振電流  $I_{TX}$  の位相が  $0^\circ$  となるように、補正電流  $I_A$  が自動的に調節される。ただし、位相差  $\theta_{TX}$  が  $0^\circ$  もしくは  $180^\circ$  に近いほど、補正電流  $I_A$  の振幅を小さくできるという利点がある。

## 【 0 0 5 4 】

ワイヤレス給電装置 2 は、 $f_c < f_{TX}$  の場合のみでなく、 $f_c > f_{TX}$  の場合においても、自動的に疑似共振状態を実現できる。この場合、 $\theta_{TX} = 180^\circ$  とすることが好ましい。

## 【 0 0 5 5 】

図 8 は、 $f_c > f_{TX}$  の場合の、自動チューニング補助回路 30 による疑似共振状態を説明するフェーザ図である。駆動電圧  $V_{DRV}$  の位相を  $0^\circ$ 、補正電流  $I_A$  の位相を  $\theta$  としている。 $f_c > f_{TX}$  において、電流の位相は電圧に対して進むが、この場合であっても、疑似共振状態が実現できる。

## 【 0 0 5 6 】

なお  $f_c > f_{TX}$  において、位相差  $\theta_{TX}$  を  $0^\circ$  付近としてもよい。この場合、疑似共振状態が得られるように、自動的に補正電流  $I_A$  の向きが逆になる。

## 【 0 0 5 7 】

続いて、ワイヤレス給電装置 2 の変形例を説明する。各変形例は、任意の他の変形例と組み合わせることができ、このような組み合わせも本発明の範囲に含まれる。

## 【 0 0 5 8 】

（第 1 の変形例）

図 9 は、第 1 の変形例に係る自動チューニング補助回路 30 a の構成を示す回路図である。自動チューニング補助回路 30 a は、図 2 の自動チューニング補助回路 30 に加えて、第 2 補助コイル  $L_{A2}$  を備える。

第 1 状態 1 において、第 2 補助コイル  $L_{A2}$  が送信アンテナ 20 から切り離され、第 2 補助コイル  $L_{A2}$  に流れる電流  $I_{LA2}$  が、送信アンテナ 20 とは独立した電流経路に流れる。第 2 状態 2 において、第 2 補助コイル  $L_{A2}$  が送信アンテナ 20 にカップリングされて、第 2 補助コイル  $L_{A2}$  に流れる電流  $I_{LA2}$  に応じた第 2 補正電流  $I_{A2}$  が、送信アンテナ 20 に注入され、もしくは送信アンテナ 20 から引き抜かれる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 9 】

第3スイッチSW3および第2補助コイル $L_{A2}$ は、第1端子31と第2端子32の間に直列に設けられる。第4スイッチSW4は、第2補助コイル $L_{A2}$ と並列に設けられる。制御部40aは、第1状態1において第4スイッチSW4をオンし、第2状態2において第3スイッチSW3をオンする。

## 【 0 0 6 0 】

図10は、図9の自動チューニング補助回路30aの動作を示す波形図である。共振電流 $I_{TX}$ および共振電圧 $V_{TX}$ は、自動チューニング補助回路30aを動作させてから十分な時間が経過した後の定常状態における波形を示す。

## 【 0 0 6 1 】

図9の自動チューニング補助回路30aは、図2の自動チューニング補助回路30を2個備え、それらが逆相で動作するものと理解できる。そして、第1補助コイル $L_{A1}$ による補正電流 $I_{A1}$ と、第2補助コイル $L_{A2}$ による補正電流 $I_{A2}$ は逆極性となる。送信アンテナ20に供給される補正電流 $I_A$ は、2つの補正電流 $I_{A1}$ 、 $I_{A2}$ の合計となる。

## 【 0 0 6 2 】

図9の自動チューニング補助回路30aによっても、擬似的な共振状態を実現できる。

## 【 0 0 6 3 】

(第2の変形例)

第2の変形例では、第1スイッチSW1、第2スイッチSW2は、片方向スイッチを用いて構成される。図11(a)、(b)は、第2の変形例に係る自動チューニング補助回路の構成を示す回路図である。

## 【 0 0 6 4 】

図11(a)、(b)において、第1スイッチSW1は、片方向スイッチSW1aと、それと直列に設けられた整流ダイオードD1bを含む。整流ダイオードD1bは、片方向スイッチSW1aの逆導通素子である寄生ダイオード(ボディダイオード)D1aと逆向きに配置される。スイッチSW1aと整流ダイオードD1bの順序は入れ替えてもよい。

## 【 0 0 6 5 】

第2スイッチSW2も第1スイッチSW1と同様に構成され、片方向スイッチSW2aと、それと直列に設けられた整流ダイオードD2bを含む。整流ダイオードD2bは、片方向スイッチSW2aの寄生ダイオード(ボディダイオード)D2aと逆向きに配置される。スイッチSW2aと整流ダイオードD2bの順序は入れ替えてもよい。

## 【 0 0 6 6 】

整流ダイオードD1b、D2bを、寄生ダイオードD1a、D2aと逆向きに設けることにより、第1スイッチSW1、第2スイッチSW2が意図せずにオンするのを防止することができる。

## 【 0 0 6 7 】

なお、第1スイッチSW1、第2スイッチSW2を双方向スイッチで構成する場合、自動チューニング補助回路30は、正、負両方の補正電流 $I_A$ を生成可能であった。これに対して、図11(a)の自動チューニング補助回路30は、正の補正電流 $I_A$ を生成できるが、負の補正電流 $I_A$ は生成できない。反対に図11(b)の自動チューニング補助回路30は、負の補正電流 $I_A$ を生成できるが、正の補正電流 $I_A$ は生成できない。したがって、図11(a)、(b)の自動チューニング補助回路30では、第1スイッチSW1、第2スイッチSW2のスイッチングの位相が制約される。

## 【 0 0 6 8 】

(第3の変形例)

図9の自動チューニング補助回路30aも、片方向スイッチを用いて構成できる。図12は、第3の変形例に係る自動チューニング補助回路の構成を示す回路図である。図12の自動チューニング補助回路30aにおいて、第1スイッチSW1および第2スイッチSW2は、図11(a)と同様に構成され、第3スイッチSW3および第4スイッチSW4

10

20

30

40

50

は、図 11 (b) と同様に構成される。図 12 の自動チューニング補助回路 30 a によっても、図 9 の自動チューニング補助回路 30 a と同様の効果を得ることができる。

【0069】

(第 2 の実施の形態)

図 13 は、第 2 の実施の形態に係る自動チューニング補助回路 30 b を備えるワイヤレス給電装置 2 b の構成を示す回路図である。自動チューニング補助回路 30 b は、送信アンテナ 20 とカップリングされ、送信アンテナ 20 に補正電流  $I_A$  を注入し、または送信アンテナ 20 から補正電流  $I_A$  を引き抜く。

【0070】

自動チューニング補助回路 30 b は、送信アンテナ 20 とカップリングされる第 1 端子 31 および第 2 端子 32 と、Hブリッジ回路 36 と、第 3 補助コイル  $L_{A3}$  と、制御部 40 b と、を備える。Hブリッジ回路 36 は、第 1 端子 31 と第 2 端子 32 の間に設けられ、駆動電圧  $V_{DRV}$  と同じ周波数でスイッチングされる。第 3 補助コイル  $L_{A3}$  は、Hブリッジ回路 36 の出力端子 P1、P2 間に設けられる。制御部 40 b は、Hブリッジ回路 36 を駆動電圧  $V_{DRV}$  に対してある位相差  $\theta_{TX}$  でスイッチングする。

【0071】

図 14 は、図 13 のワイヤレス給電装置 2 の動作を示す波形図である。図 14 において、Hブリッジ回路 36 は、駆動電圧  $V_{DRV}$  と同相 ( $\theta_{TX} = 0^\circ$ ) でスイッチングする。

駆動電圧  $V_{DRV}$  のある位相から半周期の間において、Hブリッジ回路 36 の 4 つのスイッチ SW11 ~ SW14 のうち、対角に位置する第 1 のペア SW11、SW14 がオンとなり、続く半周期の間、第 2 のペア SW12、SW13 がオンとなる。第 1 のペア SW11、SW14 がオンする半周期、第 3 補助コイル  $L_{A3}$  に流れる電流  $I_{LA3}$  が第 1 の向きで送信アンテナ 20 に供給され、第 2 のペア SW12、SW13 がオンする半周期、第 3 補助コイル  $L_{A3}$  に流れる電流  $I_{LA3}$  が第 2 の向きで送信アンテナ 20 に供給される。

【0072】

スイッチ SW11 ~ SW14 は、片方向スイッチ、あるいは双方向スイッチを用いて構成することができるが、一旦、双方向スイッチを用いた構成および動作を説明する。なお、片方向スイッチを用いる場合、各スイッチ SW11 ~ SW14 と直列に整流用のダイオードを設ける必要がある。この変形例については後述する。

【0073】

図 13 の自動チューニング補助回路 30 b の動作原理は、図 2 あるいは図 9 の自動チューニング補助回路と同様である。自動チューニング補助回路 30 b が生成する補正電流  $I_A$  の波形は、図 10 の補正電流  $I_A$  と同様となる。図 13 のワイヤレス給電装置 2 b によっても、これまで説明したワイヤレス給電装置と同様の効果を得ることができる。

【0074】

さらに図 13 の自動チューニング補助回路 30 b によれば、図 9 の自動チューニング補助回路 30 a と同一の機能を、ひとつのコイルで実現することができる。

【0075】

続いて、第 2 の実施の形態に係る自動チューニング補助回路 30 b の変形例を説明する。

図 15 は、図 13 の自動チューニング補助回路 30 b の変形例を示す回路図である。この変形例では、スイッチ SW11 ~ SW14 は、片方向スイッチを用いて構成される。

【0076】

各スイッチ SW11 ~ SW14 の構成は、図 11 (a)、(b) あるいは図 12 に関して説明した通りである。スイッチ SW11、SW12 は、図 11 (a) のスイッチ SW1、SW2 と同様に構成され、スイッチ SW13、SW14 は、図 11 (b) のスイッチ SW1、SW2 と同様に構成される。

図 15 の変形例によれば、図 13 の自動チューニング補助回路 30 b と同様の効果を得

10

20

30

40

50

ることができる。

【0077】

自動チューニング補助回路30、30a、30b（以下、単に自動チューニング補助回路30という）と送信アンテナ20のカップリングの形態には、さまざまな変形例がある。図16(a)～(g)は、自動チューニング補助回路30と送信アンテナ20のカップリングの続形態を示す回路図である。

【0078】

図16(a)～(d)では、自動チューニング補助回路30が送信アンテナ20と直接カップリングされる。図16(e)、(f)では、自動チューニング補助回路30が送信アンテナ20と磁氣的に結合される。

10

【0079】

図16(a)は、図2や図9と同様である。図16(b)では、自動チューニング補助回路30は、共振用キャパシタ $C_{TX}$ とカップリングされる。具体的には、自動チューニング補助回路30の第1端子31は、共振用キャパシタ $C_{TX}$ の一端に接続され、第2端子32は、共振用キャパシタ $C_{TX}$ の他端に接続される。

【0080】

図16(c)の送信コイル $L_{TX}$ にはタップ33が設けられる。自動チューニング補助回路30の第1端子31は、タップ33と接続され、第2端子32は、送信コイル $L_{TX}$ の一端と接続される。

【0081】

図16(d)の送信アンテナ20は、送信コイル $L_{TX}$ と直列に設けられた2つの共振用キャパシタ $C_{TX1}$ 、 $C_{TX2}$ を含む。自動チューニング補助回路30の第1端子31は、一方の共振用キャパシタ $C_{TX2}$ の一端に接続され、第2端子32は、共振用キャパシタ $C_{TX2}$ の他端と接続される。

20

【0082】

図16(e)のワイヤレス給電装置は、送信コイル $L_{TX}$ と磁氣的に結合された第1コイル $L1$ をさらに備える。自動チューニング補助回路30の第1端子31は、第1コイル $L1$ の一端と接続され、第2端子32は、第1コイル $L1$ の他端と接続される。

【0083】

図16(f)のワイヤレス給電装置は、トランス $T1$ をさらに備える。トランス $T1$ の1次巻線 $W1$ は、送信アンテナ $L_{TX}$ と直列に設けられる。自動チューニング補助回路30の第1端子31は、トランス $T1$ の2次巻線 $W2$ の一端と接続され、第2端子32は、2次巻線 $W2$ の他端と接続される。

30

【0084】

図16(g)のワイヤレス給電装置2では、電源10と送信アンテナ20が、トランス $T2$ により結合される。別の観点から見れば、電源10とトランス $T2$ が、送信アンテナ20の両端間に駆動電圧 $V_{DRV}$ を印加する電源10aを構成する。図16(g)において自動チューニング補助回路は図示していないが、図16(a)～(f)のいずれの態様で、送信アンテナ20とカップリングすればよい。

【0085】

図16(a)～(g)の変形例、あるいはこれらに類似する回路においても、擬似的な共振状態を実現できる。

40

また、図16(c)～(f)の構成では、図16(a)、(b)に比べて、自動チューニング補助回路30の端子31-32間の電圧を下げるることができる。したがって、自動チューニング補助回路30を構成するスイッチに低耐圧素子を利用することができ、設計が容易となり、あるいは低コスト化できる。

【0086】

第1、第2の実施の形態に係るワイヤレス給電装置において、自動チューニング補助回路のスイッチングの周波数は、駆動電圧 $V_{DRV}$ の周波数と同じ場合を説明したが、それらの周波数が異なる場合であっても、疑似共振状態を実現できる。たとえば、自動チュー

50

ニング補助回路30のスイッチング周波数が、駆動電圧 $V_{DRV}$ の周波数の奇数倍である場合、あるいは、駆動電圧 $V_{DRV}$ の周波数の奇数分の1倍である場合にも、疑似共振状態を実現できる。スイッチング周波数と駆動電圧の周波数の関係は、システム全体の効率等を考慮して決めればよい。

【0087】

(ワイヤレス受電装置)

上述した自動チューニング補助回路は、ワイヤレス受電装置にも利用することができる。以下では、ワイヤレス受電装置について説明する。

【0088】

(第1の実施の形態)

図17は、第1の実施の形態に係るワイヤレス受電装置4の構成を示す回路図である。ワイヤレス受電装置4は、上述の、あるいは全く別構成のワイヤレス給電装置から送信される電力信号S1を受ける。電力信号S1は、電波になっていない電磁波の近傍界(電界、磁界、あるいは電磁界)が利用される。

【0089】

ワイヤレス受電装置4は、受信アンテナ50、自動チューニング補助回路60および電力を供給すべき負荷70を備える。負荷70には、図示しない整流回路、検波回路などが内蔵されてもよい。

【0090】

受信アンテナ50は、第1端51と第2端52の間に直列に設けられた受信コイル $L_{RX}$ および共振用キャパシタ $C_{RX}$ を含む。

【0091】

自動チューニング補助回路60は、受信アンテナ50とカップリングされ、受信アンテナ50に第1補正電流 $I_A$ を注入し、または受信アンテナ50から第1補正電流 $I_A$ を引き抜く。

【0092】

自動チューニング補助回路60は、第1端子61、第2端子62、第1補助コイル $L_{A1}$ 、第5スイッチSW5、第6スイッチSW6、制御部64を備え、上述の自動チューニング補助回路30と同様に構成される。

【0093】

自動チューニング補助回路60は、第1状態1と第2状態2を、電力信号S1と同じ周波数で交互に繰り返す。第1状態1では、第5スイッチSW5がオンし、第1補助コイル $L_{A1}$ が受信アンテナ50にカップリングされて、第1補助コイル $L_{A1}$ に流れる電流 $I_{LA1}$ に応じた第1補正電流 $I_A$ が、受信アンテナ50に注入され、もしくは受信アンテナ50から引き抜かれる。

第2状態2では、第6スイッチSW6がオンし、第1補助コイル $L_{A1}$ が受信アンテナ50から切り離され、第1補助コイル $L_{A1}$ に流れる電流 $I_{LA1}$ が、受信アンテナ50とは独立した電流経路(SW6)に流れる。

【0094】

制御部64は、第1状態1と第2状態2を、ワイヤレス給電装置(不図示)において送信アンテナに印加される駆動電圧と同じ周波数で、かつ駆動電圧に対して所定の位相差で切りかえてもよい。

【0095】

第5スイッチSW5、第6スイッチSW6は、片方向スイッチ、あるいは双方向スイッチで構成される。片方向スイッチで構成する場合、制御部64は、各スイッチを、それぞれの逆導通素子に電流が流れない位相でスイッチングする。

【0096】

負荷70は、受信アンテナ50にカップリングされる。負荷70と受信アンテナ50の接続形態は特に限定されない。

【0097】

10

20

30

40

50

以上がワイヤレス受電装置 4 の構成である。続いてその動作を説明する。図 18 は、図 17 のワイヤレス受電装置 4 の等価回路図である。ワイヤレス給電装置 2 における自動チューニング補助回路 30 と同様に、自動チューニング補助回路 60 は、補正電流  $I_A$  を受信アンテナ 50 に供給する補正電流源と把握することができる。

【0098】

図 19 は、図 17 のワイヤレス受電装置 4 の動作を示す波形図である。上から順に、受信コイル  $L_{RX}$  と共振用キャパシタ  $C_{RX}$  の両端間の共振電圧  $V_{RX}$ 、受信アンテナ 50 に流れる共振電流  $I_{RX}$ 、第 5 スイッチ  $SW5$ 、第 6 スイッチ  $SW6$ 、補正電流  $I_A$ 、第 1 補助コイル  $L_{A1}$  の電流  $I_{LA1}$  を示す。共振電流  $I_{RX}$  および共振電圧  $V_{RX}$  は、実線が自動チューニング補助回路 60 を動作させてから十分な時間が経過した後の定常状態（疑似共振状態）における波形を、破線が自動チューニング補助回路 60 を動作させない非共振状態における波形を示す。

10

【0099】

疑似共振状態を実現するためには、第 5 スイッチ  $SW5$  および第 6 スイッチ  $SW6$  を適切な周波数  $f_{TX}$  および位相  $\theta_{RX}$  でスイッチングさせる必要がある。そこでワイヤレス給電装置 2 からワイヤレス受電装置 4 に対して、周波数  $f_{TX}$  および位相  $\theta_{RX}$  を示すデータを送信してもよい。あるいはワイヤレス受電装置 4 は、位相  $\theta_{RX}$  をスイープし、最適な位相  $\theta_{RX}$  を検出してもよい。

【0100】

以上がワイヤレス受電装置 4 の動作である。

20

このように図 17 のワイヤレス受電装置 4 によれば、共振用キャパシタ  $C_{RX}$  の容量値を調節することなく、自動的に共振状態を実現することができる。

【0101】

続いてワイヤレス受電装置 4 の変形例を説明する。

【0102】

（第 1 の変形例）

図 20 は、第 1 の変形例に係る自動チューニング補助回路 60 a の構成を示す回路図である。自動チューニング補助回路 60 a は、図 9 の自動チューニング補助回路 30 a と同様に構成され、図 17 の自動チューニング補助回路 60 に加えて、第 7 スイッチ  $SW7$ 、第 8 スイッチ  $SW8$ 、第 2 補助コイル  $L_{A2}$  を備える。この変形例によれば、図 17 のワイヤレス受電装置 4 と同様に、疑似共振状態を実現できる。

30

【0103】

（第 2 の変形例）

ワイヤレス給電装置 2 と同様に、ワイヤレス受電装置 4 のスイッチを片方向スイッチを用いて構成することができる。第 2 の変形例に係るワイヤレス受電装置 4 a では、自動チューニング補助回路 60 は片方向スイッチを用いて構成され、具体的には図 11 (a)、(b) の自動チューニング補助回路 30 と同様に構成される。

【0104】

（第 3 の変形例）

ワイヤレス受電装置 4 において、第 1 の変形例と第 2 の変形例の組み合わせも有効である。第 3 の変形例に係る自動チューニング補助回路 60 は、図 12 の自動チューニング補助回路 30 と同様に構成される。

40

【0105】

（第 2 の実施の形態）

図 21 は、第 2 の実施の形態に係るワイヤレス受電装置 4 b の構成を示す回路図である。ワイヤレス受電装置 4 b は、自動チューニング補助回路 60 b を備える。自動チューニング補助回路 60 b は、図 13 の自動チューニング補助回路 30 b と同様に、Hブリッジ回路 66 と第 2 制御部 64 b を含む。第 2 制御部 64 b は、Hブリッジ回路 66 の第 1 のペア  $SW11$ 、 $SW14$  がオンとなる第 1 状態と、第 2 のペア  $SW12$ 、 $SW13$  がオンとなる第 2 状態と、を電力信号  $S1$  と同じ周波数でスイッチングする。

50

## 【 0 1 0 6 】

図 2 1 の自動チューニング補助回路 6 0 b によれば、第 1 の実施の形態の第 1 あるいは第 3 の変形例に係るワイヤレス受電装置 4 a と同等の機能が、単一の補正コイルで実現できる。

## 【 0 1 0 7 】

第 2 の実施の形態に係るワイヤレス受電装置 4 においても、片方向スイッチを用いることができる。この変形例では、自動チューニング補助回路 6 0 b を、図 1 5 の自動チューニング補助回路 3 0 b と同様に構成すればよい。

## 【 0 1 0 8 】

図 2 2 ( a ) ~ ( f ) は、自動チューニング補助回路 6 0 と受信アンテナ 5 0 のカップリングの形態を示す回路図である。図 2 2 ( a ) ~ ( f ) は、図 1 6 ( a ) ~ ( f ) に対応する。図 2 2 ( a ) ~ ( d ) では、自動チューニング補助回路 6 0 が受信アンテナ 5 0 と直接カップリングされる。図 2 2 ( e )、( f ) では、自動チューニング補助回路 6 0 が受信アンテナ 5 0 と磁氣的に結合される。

10

## 【 0 1 0 9 】

図 2 2 ( a ) は、図 1 7 と同様である。図 2 2 ( b ) では、自動チューニング補助回路 6 0 は、共振用キャパシタ  $C_{R X}$  とカップリングされる。図 2 2 ( c ) の受信コイル  $L_{R X}$  にはタップ 6 3 が設けられる。自動チューニング補助回路 6 0 の第 1 端子 6 1 は、タップ 6 3 と接続され、第 2 端子 6 2 は、受信コイル  $L_{R X}$  の一端と接続される。

## 【 0 1 1 0 】

図 2 2 ( d ) の受信アンテナ 5 0 は、受信コイル  $L_{R X}$  と直列に設けられた 2 つの共振用キャパシタ  $C_{R X 1}$ 、 $C_{R X 2}$  含む。自動チューニング補助回路 6 0 の第 1 端子 6 1 は、一方の共振用キャパシタ  $C_{T X 2}$  の一端に接続され、第 2 端子 6 2 は、共振用キャパシタ  $C_{T X 2}$  の他端と接続される。

20

## 【 0 1 1 1 】

図 2 2 ( e ) のワイヤレス受電装置は、受信コイル  $L_{R X}$  と磁氣的に結合された第 2 コイル  $L 2$  をさらに備える。自動チューニング補助回路 6 0 の第 1 端子 6 1 は、第 2 コイル  $L 2$  の一端と接続され、第 2 端子 6 2 は、第 2 コイル  $L 2$  の他端と接続される。

## 【 0 1 1 2 】

図 2 2 ( f ) のワイヤレス受電装置は、トランス  $T 2$  をさらに備える。トランス  $T 2$  の 1 次巻線  $W 1$  は、受信アンテナ  $L_{R X}$  と直列に設けられる。自動チューニング補助回路 6 0 の第 1 端子 6 1 は、トランス  $T 2$  の 2 次巻線  $W 2$  の一端と接続され、第 2 端子 6 2 は、2 次巻線  $W 2$  の他端と接続される。

30

## 【 0 1 1 3 】

図 2 2 ( a ) ~ ( f ) の変形例、あるいはこれらに類似する回路においても、擬似的な共振状態を実現できる。

また、図 2 2 ( c ) ~ ( f ) の構成では、図 2 2 ( a )、( b ) に比べて、自動チューニング補助回路 6 0 の端子 6 1 - 6 2 間の電圧を下げるができる。したがって、自動チューニング補助回路 6 0 を構成するスイッチに低耐圧素子を利用することができ、設計が容易となり、あるいは低コスト化できる。

40

## 【 0 1 1 4 】

第 1、第 2 の実施の形態に係るワイヤレス受電装置において、自動チューニング補助回路のスイッチングの周波数は、電力信号の周波数と同じ場合を説明したが、それらの周波数が異なる場合であっても、疑似共振状態を実現できる。たとえば、自動チューニング補助回路 6 0 のスイッチング周波数が、電力信号  $S 2$  の周波数の奇数倍である場合、あるいは、電力信号  $S 2$  の周波数の奇数分の 1 倍である場合にも、疑似共振状態を実現できる。スイッチング周波数と電力信号の周波数の関係は、システム全体の効率等を考慮して決めればよい。

## 【 0 1 1 5 】

(ワイヤレス送電システム)

50

上述のワイヤレス給電装置とワイヤレス受電装置を組み合わせることにより、ワイヤレス送電システムを実現できる。

【0116】

ワイヤレス給電装置2、ワイヤレス受電装置4それぞれに自動チューニング補助回路30、60を設けることにより、負荷70に対して最大電力を送信することが可能となる。当然ながら、変形例を含めた任意のワイヤレス給電装置2と、任意のワイヤレス受電装置4が組み合わせ可能であることは言うまでもない。

【0117】

なお必ずしもワイヤレス給電装置2、ワイヤレス受電装置4の両方に自動チューニング補助回路を実装する必要はない。ワイヤレス給電装置2にのみ自動チューニング補助回路30を設け、ワイヤレス受電装置4は、従来のように共振用キャパシタ $C_{RX}$ の調節を行ってもよい。

反対にワイヤレス受電装置4にのみ自動チューニング補助回路60を設け、ワイヤレス給電装置2は、従来のように共振用キャパシタ $C_{TX}$ の調節を行ってもよい。

【0118】

さらには、ワイヤレス給電装置2にのみ自動チューニング補助回路30を設け、ワイヤレス受電装置4は、一切の調節機構を有さなくてもよい。あるいはワイヤレス受電装置4にのみ自動チューニング補助回路60を設け、ワイヤレス給電装置2は、一切の調節機構を有さなくてもよい。

これらの場合、単一の自動チューニング補助回路によって、電源10と負荷70の間のインピーダンスマッチングがとれるようにチューニングされ、高効率な電力伝送が可能となる。

【0119】

以上、本発明について、実施の形態をもとに説明した。この実施の形態は例示であり、それらの各構成要素や各処理プロセスの組み合わせにいろいろな変形例が可能で、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは当業者に理解されるところである。以下、こうした変形例について説明する。

【0120】

自動チューニング補助回路30を備えるワイヤレス給電装置2においては、共振用キャパシタ $C_{TX}$ を省略しても疑似共振状態が実現できる場合がある。この場合、共振用キャパシタ $C_{TX}$ を省略してもよい。同様に自動チューニング補助回路60を備えるワイヤレス受電装置4において、共振用キャパシタ $C_{RX}$ を省略してもよい。

【0121】

ワイヤレス給電装置2は、所定の規則（暗号コード）に従い、駆動電圧 $V_{DRV}$ の周波数 $f_{TX}$ および位相の少なくとも一方を変化させ、電力信号S1を暗号化する。暗号コードを知っているワイヤレス受電装置4は、その暗号コードにもとづき、自動チューニング補助回路60のスイッチング周波数、位相を制御する。その結果、電力信号S1が暗号化されている場合でも、それを復号して電力供給を受けることができる。暗号コードを知らないワイヤレス受電装置は、自動チューニング補助回路60のスイッチを適切に制御できないため、電力を受信することができなくなる。ワイヤレス電力伝送では、悪意の利用者による盗電が問題となりうるが、自動チューニング補助回路を利用することにより、この問題を解決することができる。

あるいは、単一のワイヤレス給電装置2が複数のワイヤレス受電装置4に給電する際に、自動チューニング補助回路を利用することにより端末毎の給電量を制御できる。

【0122】

自動チューニング補助回路30の用途は、ワイヤレス電力伝送には限定されず、チューニングが必要なさまざまな用途に利用できる。

【0123】

実施の形態にもとづき本発明を説明したが、実施の形態は、本発明の原理、応用を示しているにすぎず、実施の形態には、請求の範囲に規定された本発明の思想を逸脱しない範

10

20

30

40

50

図において、多くの変形例や配置の変更が認められる。

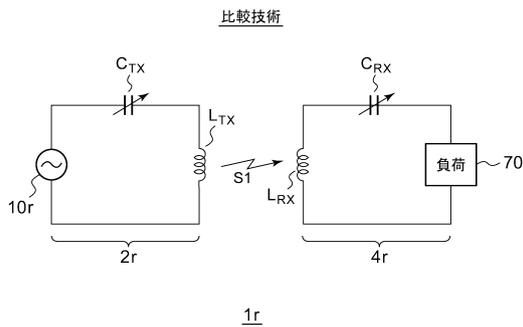
【符号の説明】

【0124】

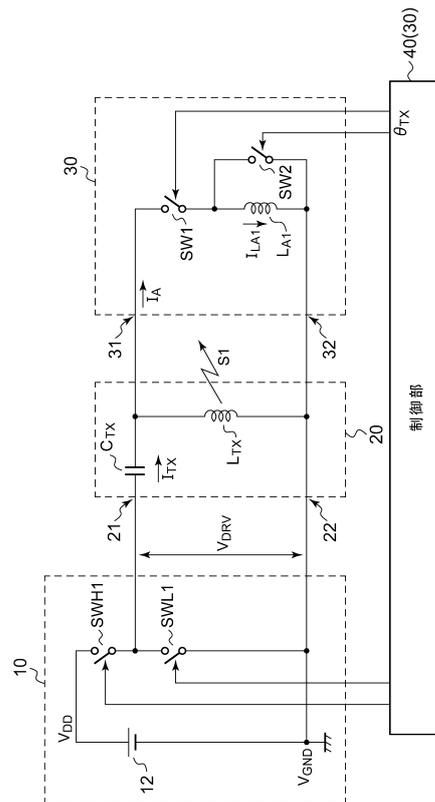
1 ... ワイヤレス送電システム、2 ... ワイヤレス給電装置、4 ... ワイヤレス受電装置、10 ... 電源、12 ... 直流電源、SWH1 ... 第1ハイサイドスイッチ、SWL1 ... 第1ローサイドスイッチ、SWH2 ... 第2ハイサイドスイッチ、SWL2 ... 第2ローサイドスイッチ、20 ... 送信アンテナ、21 ... 第1端、22 ... 第2端、L<sub>TX</sub> ... 送信コイル、C<sub>TX</sub> ... 共振用キャパシタ、30 ... 自動チューニング補助回路、31 ... 第1端子、32 ... 第2端子、34 ... Hブリッジ回路、L<sub>A1</sub> ... 第1補助コイル、L<sub>A2</sub> ... 第2補助コイル、L<sub>A3</sub> ... 第3補助コイル、SW1 ... 第1スイッチ、SW2 ... 第2スイッチ、40 ... 制御部、50 ... 受信アンテナ、L<sub>RX</sub> ... 受信コイル、C<sub>RX</sub> ... 共振用キャパシタ、51 ... 第1端、52 ... 第2端、60 ... 自動チューニング補助回路、SW3 ... 第3スイッチ、SW4 ... 第4スイッチ、61 ... 第1端子、62 ... 第2端子、64 ... 第2制御部、70 ... 負荷、SW5 ... 第5スイッチ、SW6 ... 第6スイッチ。

10

【図1】

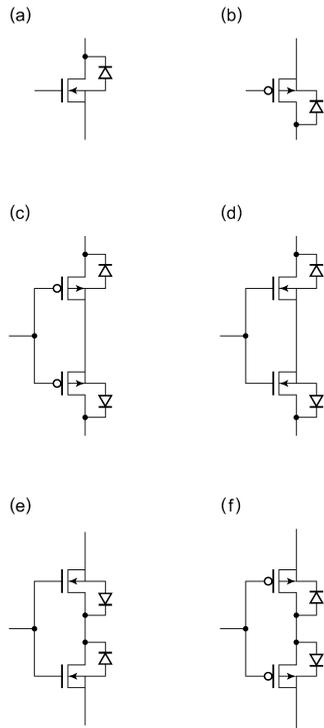


【図2】

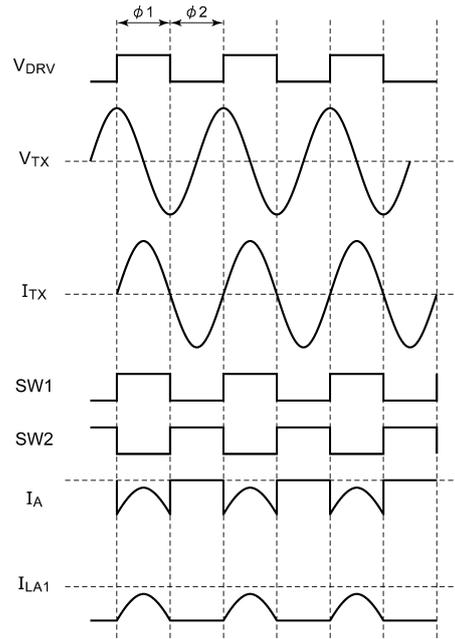


2

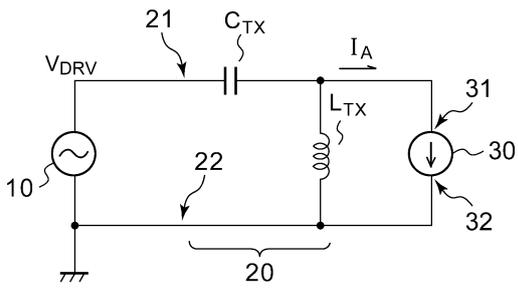
【 図 3 】



【 図 4 】

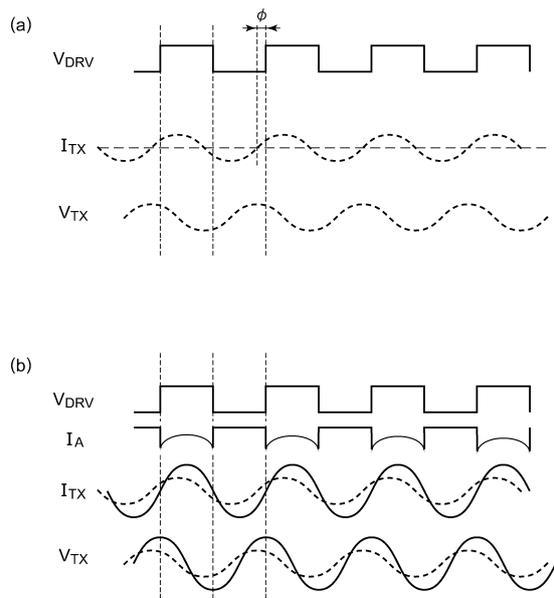


【 図 5 】

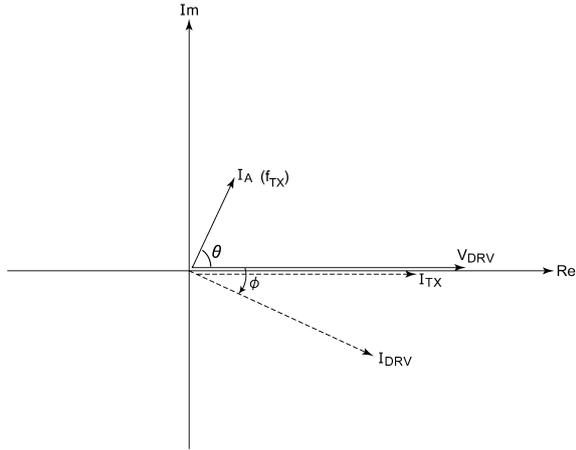


2

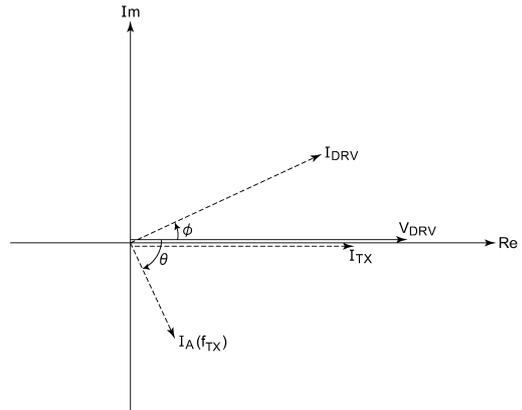
【 図 6 】



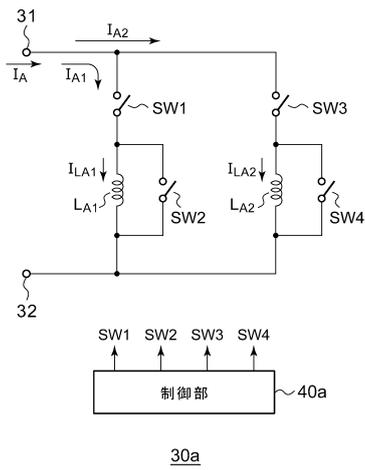
【図7】



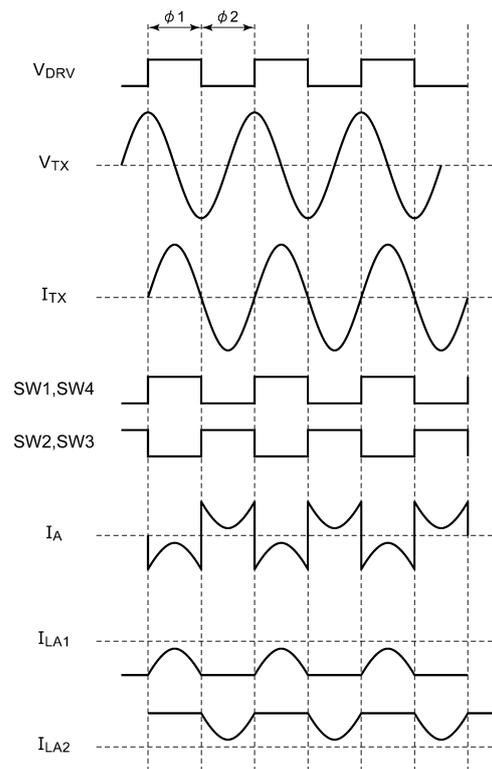
【図8】



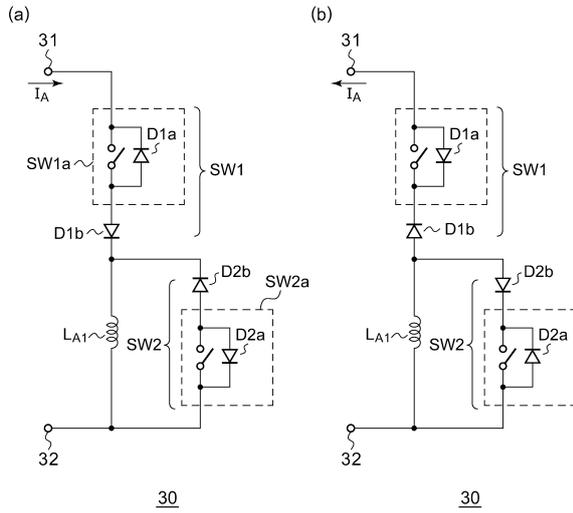
【図9】



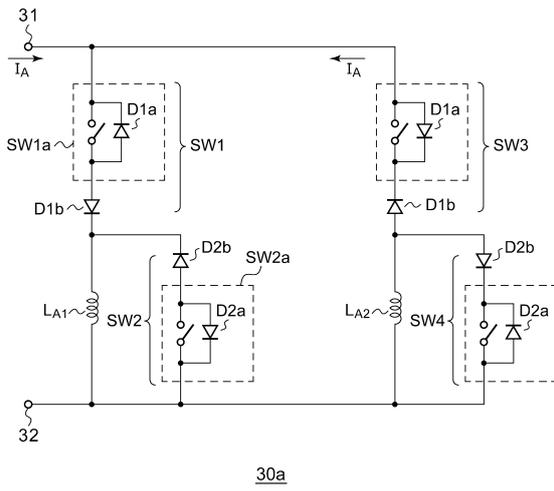
【図10】



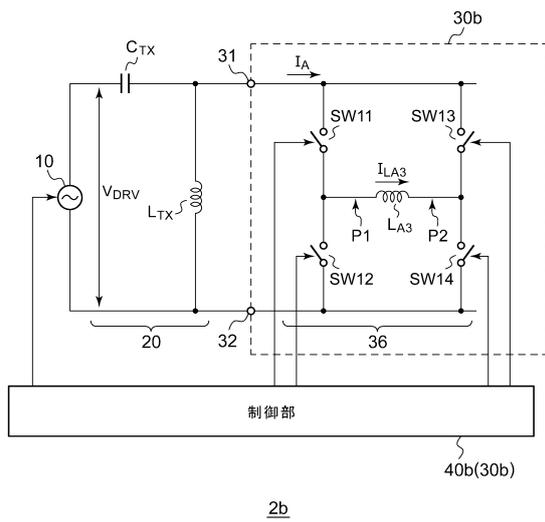
【図11】



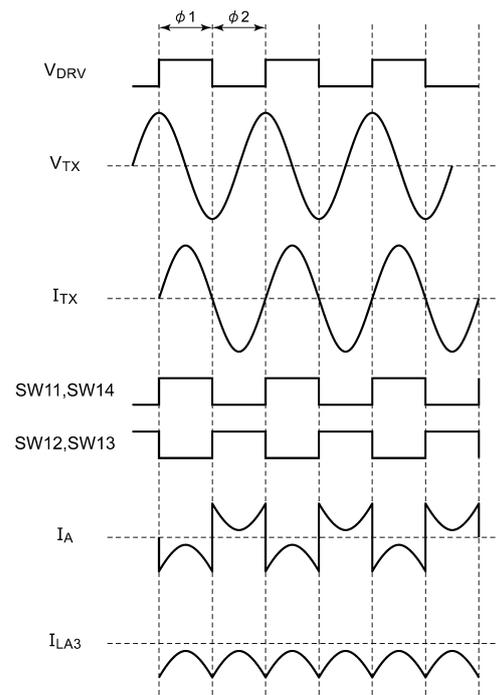
【図12】



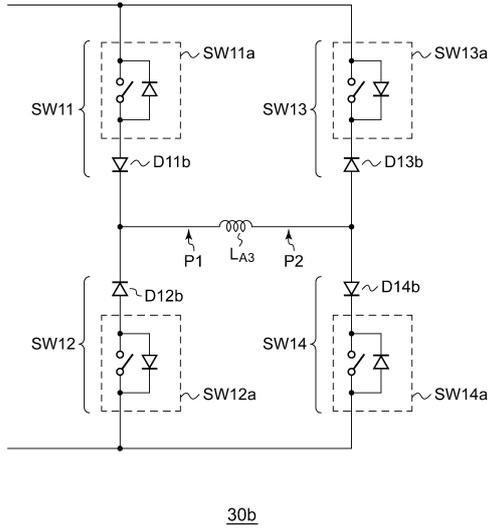
【図13】



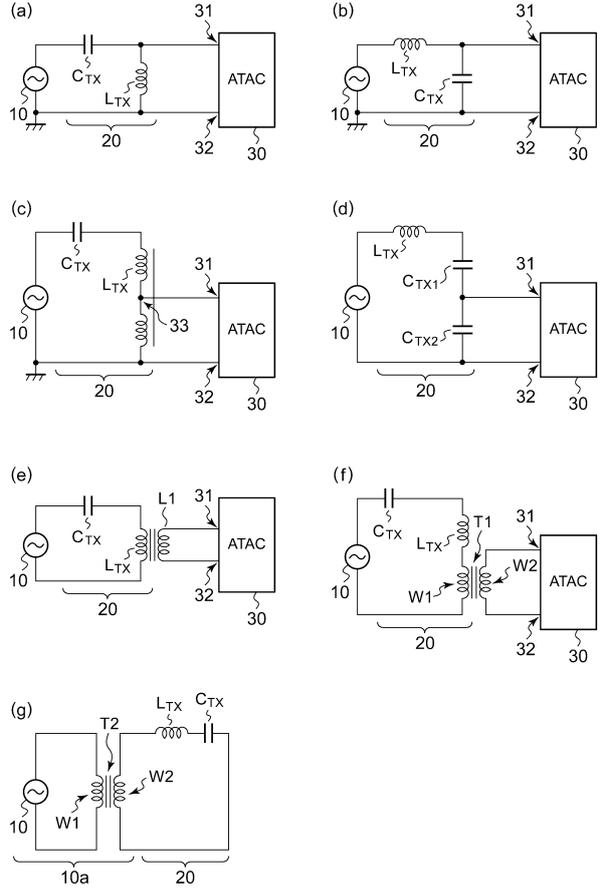
【図14】



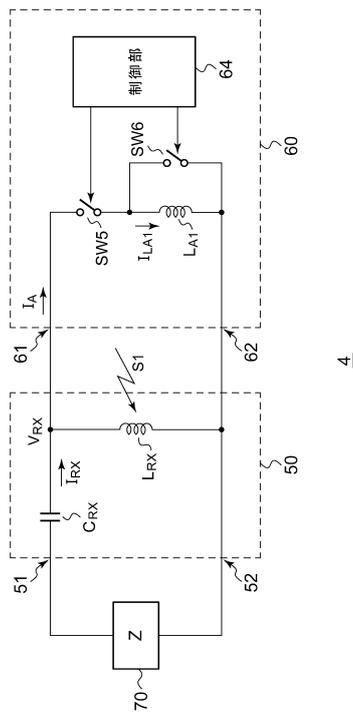
【図 15】



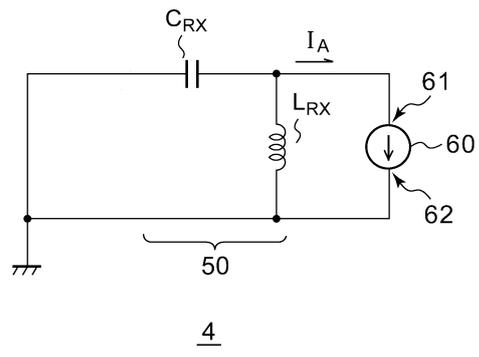
【図 16】



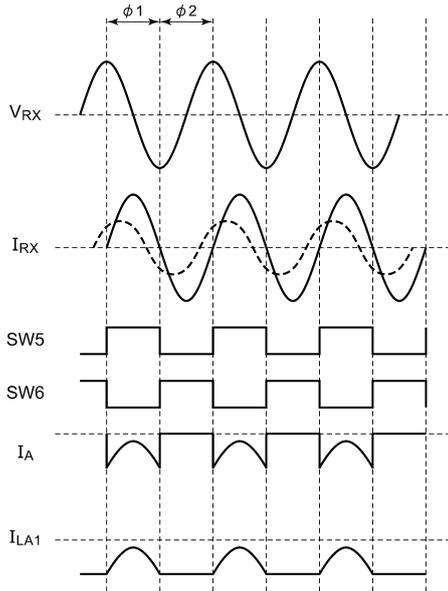
【図 17】



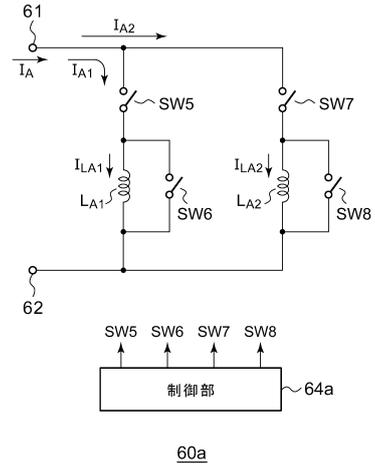
【図 18】



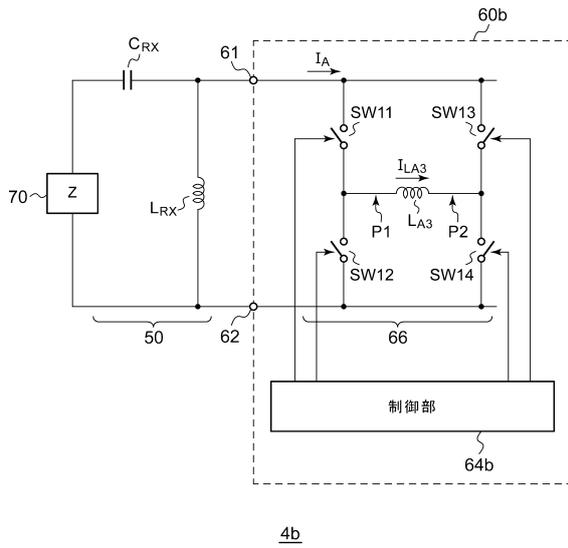
【図19】



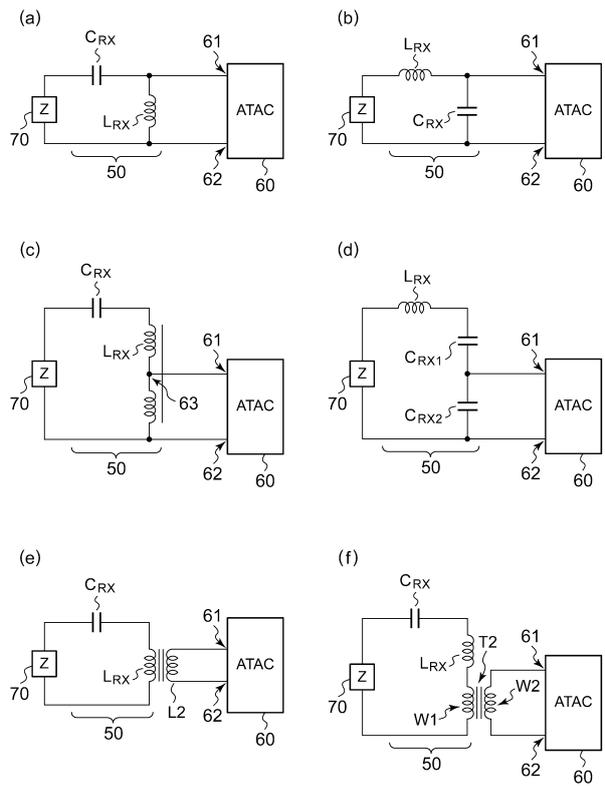
【図20】



【図21】



【図22】



---

フロントページの続き

(72)発明者 古川 靖夫  
東京都練馬区旭町1丁目3番1号 株式会社アドバンテスト内

審査官 石川 晃

(56)参考文献 特表2011-517265(JP,A)  
特開2009-201211(JP,A)  
特開2009-268181(JP,A)  
国際公開第2010/005324(WO,A1)  
特開平11-155245(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H02J 17/00