

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第6849778号
(P6849778)

(45) 発行日 令和3年3月31日(2021.3.31)

(24) 登録日 令和3年3月8日(2021.3.8)

(51) Int.Cl. F I
H O 2 J 50/20 (2016.01) H O 2 J 50/20

請求項の数 11 (全 22 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2019-220407 (P2019-220407)</p> <p>(22) 出願日 令和1年12月5日(2019.12.5)</p> <p>審査請求日 令和1年12月5日(2019.12.5)</p> <p>(出願人による申告) 令和元年度、国立研究開発法人科学技術振興機構、S I P 第二期事業「センサネットワークおよびモバイル機器へのW P T システム」委託研究、産業技術力強化法第 1 7 条の適用を受ける特許出願</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 000005821 パナソニック株式会社 大阪府門真市大字門真1 0 0 6 番地</p> <p>(74) 代理人 110002000 特許業務法人栄光特許事務所</p> <p>(72) 発明者 田中 勇氣 大阪府門真市大字門真1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内</p> <p>(72) 発明者 榎場 亮祐 大阪府門真市大字門真1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内</p> <p>(72) 発明者 小柳 芳雄 大阪府門真市大字門真1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 無線送電器、および無線受電器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マイクロ波を用い、複数設けられる無線送電器の一つであって、
前記複数の無線送電器それぞれが、
電波を送信するアンテナと、
前記アンテナにより送信される電波の移相量を変える移相回路と、
少なくとも前記移相回路を制御する制御装置と、
前記複数の無線送電器から同時に送信された電波を受信した無線受電器によって、前記受信した電波に応じて生成されたバックスキュッタ信号を受信するバックスキュッタ信号受信機と、

を備え、

前記複数の無線送電器のうち1つずつ順番に、前記制御装置は、前記無線送電器が受信する前記バックスキュッタ信号の強度が最大になるように前記移相回路を制御する位相最適化処理を実行する、
無線送電器。

【請求項 2】

前記制御装置は、山登り法を用いて、前記位相最適化処理を実行する、
請求項 1 に記載の無線送電器。

【請求項 3】

前記制御装置は、前記移相回路の設定位相を、前記移相回路のある時点での設定位相

θ_0 を基準として線形に 2π だけ単調増加または単調減少させ、前記 2π の移相変化が終了するまでの時間を t_1 とし、前記無線送電器が受信する前記ボックスキャッタ信号の強度が最大となるまでの時間を t_2 とし、 $2\pi \left(t_2 / t_1 \right) + \theta_0$ とするように前記位相最適化処理を実行する、

請求項 1 または請求項 2 に記載の無線送電器。

【請求項 4】

前記制御装置は、前記移相回路の設定位相を、前記移相回路のある時点での設定位相 θ_0 を基準として時間 t_1 の間に線形に 2π だけ単調増加または単調減少させたのち、一定の t_0 の時間位相の変化を行わず、その後前記単調増加または単調減少とは逆の方向に、時間 t_1 の間に線形に 2π だけ前記移相回路の設定位相を変動させ、前記無線送電器が受信する前記ボックスキャッタ信号の強度が最大となる 1 度目の時刻と 2 度目の時刻の差分を t_2 とし、前記ボックスキャッタ信号の強度が最小となる 1 度目の時刻と 2 度目の時刻の差分を t_3 としたとき、 $2\pi \left(1 - \left(t_2 - t_0 \right) / \left(2 t_1 \right) \right) + \theta_0$ または $2\pi \left(0.5 - \left(t_3 - t_0 \right) / \left(2 t_1 \right) \right) + \theta_0$ とするように前記位相最適化処理を実行する、

請求項 1 または請求項 2 に記載の無線送電器。

【請求項 5】

基準周波数の信号を逡倍する逡倍器を備え、

前記アンテナは、前記逡倍器によって逡倍された電波を送信する、

請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の無線送電器。

【請求項 6】

基準周波数の信号を発振する基準周波数発振器を備え、

前記基準周波数発振器が発振した信号が前記逡倍器に

請求項 5 に記載の無線送電器。

【請求項 7】

前記基準周波数発振器が発振した信号を外部に出力する出力部を備える、

請求項 6 に記載の無線送電器。

【請求項 8】

基準周波数の信号が

請求項 5 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の無線送電器。

【請求項 9】

前記アンテナが円偏波アンテナである、請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の無線送電器。

【請求項 10】

マイクロ波を用い、請求項 1 記載の無線送電器から送信される電波を受信するアンテナと、前記アンテナが受信した信号を整流する整流回路と、逆流防止回路と、ボックスキャッタ変調回路と、蓄電回路と、負荷とを備え、

前記ボックスキャッタ変調回路が発振回路及びインピーダンス変調素子を備え、

前記アンテナが前記整流回路の

前記整流回路の出力が前記インピーダンス変調素子に接続され、

前記逆流防止回路の一端が前記インピーダンス変調素子に接続され、他端が前記蓄電回路および前記負荷に接続され、前記インピーダンス変調素子が前記発振回路により駆動されている、

無線受電器。

【請求項 11】

前記ボックスキャッタ変調回路が、発振回路と波形整形回路とを更に備え、

前記波形整形回路は、前記発振回路から

請求項 10 に記載の無線受電器。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【技術分野】

【0001】

本発明は、無線送電器、および無線受電器に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1には、受電部と、蓄電部と、信号送信部と、を備え、受電部は、送電装置から無線で電力を受電し、蓄電部は、受電部が受電した電力を蓄電し、信号送信部は、検出信号を送信し、信号送信部は、蓄電部からの電力系統とは独立している受電装置が記載されている。かかる受電装置において、信号送信部は、前記送電装置からの電波を反射した反射波を、前記検出信号として送信することが記載されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2017-093223号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

複数の無線送電器から発振される電波同士の位相を最適化することにより、無線受電器における受電電力を向上することが可能であることが知られている。しかしながら、この位相の最適化を行うには、無線送電器と無線受電器との間の位相遅延の値を知る必要がある。位相遅延を知るためには、無線送電器と無線受電器との間で同期を取る必要があり、この同期を無線で行うことは、消費電力およびノイズ等の観点から困難である。

20

【0005】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたものであり、低消費電力で、受電電力を向上させる無線送電器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】

【0006】

本開示は、マイクロ波を用い、複数設けられる無線送電器の一つであって、前記複数の無線送電器それぞれが、電波を送信するアンテナと、前記アンテナにより送信される電波の移相量を変える移相回路と、少なくとも前記移相回路を制御する制御装置と、前記アンテナから同時に送信された電波を受信した無線受電器によって、前記受信した電波に応じて生成されたバックスキッタ信号を受信するバックスキッタ信号受信機と、を備え、前記複数の無線送電器のうち1つずつ順番に、前記制御装置は、前記無線送電器が受信する前記バックスキッタ信号の強度が最大になるように前記移相回路を制御する位相最適化処理を実行する、無線送電器を提供する。これにより、低消費電力で、受電電力を向上させる無線送電器を提供することができる。

30

【0007】

また、本開示は、無線送電器から送信された電波を受信するアンテナと、前記アンテナが受信した信号を整流する整流回路と、逆流防止回路と、バックスキッタ変調回路と、蓄電回路と、負荷とを備え、前記バックスキッタ変調回路が発振回路及びインピーダンス変調素子を備え、前記アンテナが前記整流回路の入力に接続され、前記整流回路の出力が前記インピーダンス変調素子に接続され、前記逆流防止回路の一端が前記インピーダンス変調素子に接続され、他端が前記蓄電回路および前記負荷に接続され、前記インピーダンス変調素子が前記発振回路により駆動されている、無線受電器を提供する。これにより、上述の無線送電器に対してバックスキッタ信号を反射する無線受電器を提供することができる。

40

【発明の効果】

【0009】

本開示によれば、低消費電力で、受電電力を向上させる無線送電器を提供することができる。

50

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】分散型WPTの概要図

【図2】ボックスキャッタの仕組みを示す概念図

【図3】本開示の無線電力伝送システム500を示すシステムブロック図

【図4】ボックスキャッタ変調回路23を備えた無線受電器2の構成例を示す回路図

【図5】ボックスキャッタ変調回路23を備えた無線受電器2の変形例を示す回路図

【図6】各無線送電器1の位相最適化についてのフローチャート

【図7】第1の位相最適化処理を示すフローチャート

【図8】ランプ回転法の一例を示す概念図

10

【図9】往復回転法の一例を示す概念図

【図10】複数の無線送電器1を1つずつ順番に位相最適化していった場の、無線受電器2が受け取る合成電力（受電電力）を示す概念図

【図11】複数の無線送電器1の間での周波数同期処理の実験例を示すブロック図

【図12】複数の無線送電器の間での周波数同期処理の実験例を示すブロック図

【図13】ボックスキャッタ信号に変調をかける位置についての実験例を示す概念図

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、適宜図面を参照しながら詳細に説明する。なお、添付図面及び以下の説明は、当業者が本開示を十分に理解するために提供されるのであって、これらにより特許請求の範囲に記載の主題を限定することは意図されていない。

20

【0012】

(本開示に至る経緯)

ワイヤレスセンサネットワークやウェアラブル端末においては、電源としてボタン電池などの一次電池、リチウムイオン電池等の二次電池のほか、太陽電池等のエネルギーハーベスト素子等が使用されている。ここで、電池を用いる場合は、電池の交換や充電が必要である。一方、太陽電池等のエネルギーハーベストデバイスは、電池交換は不要であるが、高コストであり、供給電力が環境に左右される。これらの電源に関する問題は、IoTデバイスの普及への障壁となっている。

【0013】

30

IOTデバイス等の端末への電源供給手段として、長距離で電力を無線給電可能な、マイクロ波無線給電技術が研究開発されている。しかしながら、マイクロ波は距離の二乗に反比例して減衰することから高効率での給電が困難である。加えて、マイクロ波は、その大部分が通信に利用されているので、無線給電手段としてマイクロ波を用いると、既存の通信機器に影響を与える可能性がある。さらに、大電力の供給のために大出力のマイクロ波を用いると、大出力のマイクロ波が、人体や生体等に悪影響を及ぼす可能性が否定できない。これらのことから、既存の無線給電技術は適用が難しい。よって、より小さな出力で、大きな電力供給が可能な技術が望まれる。

【0014】

(分散型WPT)

40

現在、電力供給を行う送電局を複数に分散化させた、分散型ワイヤレス電力伝送(WPT: Wireless Power Transfer/Transmission)が検討されている。図1に、分散型WPTの概要図が示される。

【0015】

分散型WPTは、低利得・低出力の送電局(無線送電器1)を複数設けて、これらを協調動作させることにより、高効率・高自由度な電力伝送を実現する。例えば、図1に示した送電局が、1つのシステムあたり数十台から数千台設けられる。これらの送電局からの電力が合成され、受電端末(無線受電器2)へと給電される。受電端末は、例えばIoT端末やビーコン等であってよい。

【0016】

50

分散型WPTの利点は、以下の通りである。まず、送電局側の利点として、低利得なアンテナや、低出力な電力増幅器(PA: Power Amplifier)を使用可能である。そのため、送電局を小型化および低コスト化することができ、人体防護も比較的容易となる。送信出力が小さいため、送電局を小型化した場合であっても放熱対策が容易である。小型かつ低コストのため、既存の照明器具や家電製品に組み込みが可能となる。

【0017】

受電端末側の利点は、以下の通りである。複数方向から電力が到来するため、低指向性な受電アンテナを使用可能となる。低指向性なアンテナは小型であることから、様々な小型機器に搭載可能である。また、送信ダイバーシティ効果の恩恵を受けることができることにより、給電時間率の高い受電が可能となる。

10

【0018】

送電局と受電端末とを備えたシステムとしての利点は、以下の通りである。送電局側の電力密度が低い為、本質的に人体影響が小さい。送電局が複数あるため、人体遮蔽等によって少数の送電局がOFFとなった場合であっても、電力伝送の効率劣化が少ない。複数の送電局の位置情報と受電電力情報から、受電端末の位置を推定可能である。複数の受電端末に同時に給電が可能である。

【0019】

(電力の合成)

送電局が複数存在する場合、各送電局が発振する電波を受信する受電端末は、受信した電波を合成して受け取ることになる。ここで、各送電局が送信する電波の周波数がそれぞれ等しく、また、各送電局から送信された電波の位相が受電アンテナにおいて等しい位相で受信される(位相差が0である)場合に、受電端末による受電電力は最大となることが知られている。すなわち、無線給電の効率を高めるためには、各送電局が送信する電波の周波数および位相を最適化する必要がある。

20

【0020】

各送電局が送信する電波の位相を最適化する方法として、受電端末による受電電力を用いる方法が考えられる。この方法においては、送電局側の位相をスイープし、受電端末による受電電力が最大となる時の、送電局が送信する電波の位相を、最適位相と決定する。この方法は、簡易なシステムで実現可能である利点があるものの、受電端末による受電電力を送電局にフィードバックする必要がある。

30

【0021】

しかしながら、IoTデバイス等の受電端末への無線給電を前提とすると、送電局と受電端末とは離隔した位置にあることが多いため、受電端末による受電電力をどのようにして送電局にフィードバックするかという課題が生じる。

【0022】

そこで、本開示の実施形態においては、受電端末から反射されるバックスキヤッタ信号を活用して、上記の課題を解決する。

【0023】

(バックスキヤッタ)

図2は、バックスキヤッタの仕組みを示す概念図である。複数の送電局1Aおよび1Bは、同じ周波数(例えば920MHz)で、電波(連続波)を送信する。受電端末2はアンテナ21でこの電波(連続波)を受信するが、アンテナ21からの反射が発生する。このアンテナ21からの反射を、受電端末2が備えるバックスキヤッタ変調回路23が変調することにより、バックスキヤッタ(変調波)が生成される。図示した例においては、受電端末2に入射した920MHzの電波に対して、ミキサ(乗算器)として動作するバックスキヤッタ変調回路23が、32kHzの変調をかける。その結果、受電端末2のアンテナ21から送電局1Aおよび1Bへと戻る反射には、920MHz - 32kHzの変調波と、920MHz + 32kHzの変調波が含まれる。

40

【0024】

バックスキヤッタ変調回路23はミキサ(乗算器)として働くので、受電端末2が受電

50

した電力（受電電力）と、バックスキヤッタ信号の強度との間には、おおむね比例関係が成り立つ。そのため、送電局 1 A および 1 B は、バックスキヤッタ信号を受信して、バックスキヤッタ信号の強度から、受電電力の強度を推定することができる。より詳しくは、受電電力を最大にするために、送電局 1 A および 1 B は、送電局が送信する電波（例えば 9 2 0 M H z のマイクロ波）の位相を、バックスキヤッタ信号の強度が最大となるような位相へと調整する。バックスキヤッタ信号の強度が最大になっている時、受電端末 2 の受電電力も最大となっているから、上記のように調整した後の位相が、最適位相になる。本開示の無線送電器は、このようにバックスキヤッタ信号の性質を活用して、消費電力を抑えたまま、受電電力を増大させる。

【 0 0 2 5 】

10

（システムブロック図）

図 3 は、本開示の無線電力伝送システム 5 0 0 を示すシステムブロック図である。無線電力伝送システム 5 0 0 は、2 以上の無線送電器 1 A および 1 B と、1 以上の無線受電器 2 とを備えている。2 以上の無線送電器 1 A および 1 B は、有線または無線で相互に接続されている。

【 0 0 2 6 】

無線送電器 1 は、例えば、3 0 m × 3 0 m の空間に 2 5 6 個配置される、等のように、同一空間に多数配置されている。1 つの無線送電器 1 は、アンテナ 1 5 と、基準周波数発振器 1 1 と、逓倍器 1 2 と、移相回路 1 3 と、アンプ 1 4 と、バックスキヤッタ信号受信機 1 6 と、制御装置 1 7 とを備えている。アンテナ 1 5 は、円偏波アンテナであってよいが、他のタイプのアンテナであってもよい。アンテナ 1 5 として円偏波アンテナを用いる場合、アンテナ 2 1 が回転した場合においても偏波整合損失を低減することが可能となる。

20

【 0 0 2 7 】

無線送電器 1 は、アンテナ 1 5 から電波を送信する。この電波は例えば送信周波数 9 2 0 M H z のマイクロ波（連続波）であってよく、後述の無線受電器 2 により受信される。以下、説明の便宜のため、アンテナ 1 5 から送信される電波は、送信周波数 9 2 0 M H z のマイクロ波であるとして説明を行う。ただし、前記はあくまで一例であり、送信周波数は 9 2 0 M H z 以外の値であってもよい。

【 0 0 2 8 】

30

上述の 9 2 0 M H z の電波を生成するために、基準周波数発振器 1 1 が、基準周波数の信号を発振する。この基準周波数は、例えば 1 0 M H z であってよく、アンテナ 1 5 が送信する電波よりも周波数の低いものである。ただし、基準周波数は、1 0 M H z 以外の値であってもよい。

【 0 0 2 9 】

基準周波数発振器 1 1 が発振した 1 0 M H z の信号を、逓倍器 1 2 が逓倍する。逓倍器 1 2 の具体例は、PLL 回路である。この逓倍の結果、周波数が 9 2 0 M H z の信号が生成され、後述の移相回路 1 3 へと入力される。

【 0 0 3 0 】

40

移相回路 1 3 は、制御装置 1 7 による制御の下、逓倍器 1 2 から入力された信号の位相を変える。特に移相回路 1 3 は、制御装置 1 7 による制御の下、逓倍器 1 2 から入力された信号の位相を変えて、アンテナ 1 5 から送信される電波の位相が最適位相になるように調整する（位相最適化）。この位相最適化処理については、図 6 ~ 図 1 0 に基づき後述する。

【 0 0 3 1 】

移相回路 1 3 から入力された 9 2 0 M H z の信号は、アンプ 1 4 により増幅され、アンテナ 1 5 から無線受電器 2 へと送信される。

【 0 0 3 2 】

ここで、電波がアンテナ 1 5 から無線受電器 2 へと送信されると、後述の無線受電器 2 のアンテナ 2 1 で反射が発生する（図 2 参照）。この反射が後述のバックスキヤッタ変調

50

回路 2 3 により変調されたものが、バックスキヤッタ信号である。無線送電器 1 が備えるバックスキヤッタ信号受信機 1 6 は、このバックスキヤッタ信号を受信する。

【 0 0 3 3 】

制御装置 1 7 は、例えば CPU (Central Processing Unit) や FPGA (Field Programmable Gate Array) 等を備えてよい。ただし、制御装置 1 7 が備える制御手段はこれらには限定されない。制御装置 1 7 は、少なくとも移相回路 1 3 を制御する。制御装置 1 7 は、無線送電器 1 に含まれる各種機器を統括制御してよい。制御装置 1 7 は、バックスキヤッタ信号受信機 1 6 からバックスキヤッタ信号を取得し、この信号に基づいて移相回路 1 3 を制御し、アンテナ 1 5 から送信される電波の位相が最適位相になるように調整 (位相最適化) する。この位相最適化処理の具体的な詳細については後述する。

10

【 0 0 3 4 】

無線送電器 1 の基本的構成は以上である。ここで、基準周波数の信号が通倍器 1 2 によって通倍される事の技術的意義について説明する。複数の周波数からの送電周波数を同期したい場合、無線周波数 (RF) を分配して増幅し、送信することが、フェーズドアレーアンテナ等においては一般的であった。しかし、無線周波数 (RF) 伝送は伝搬損失が大きく、配線も同軸ケーブルであることが必要となり、高コストである。一方、本開示の無線電力伝送システム 5 0 0 においては、上述のように、基準周波数として、配線が容易な低周波 (例えば 1 0 MHz) を用いる。このことにより、配線を低コストで実現でき、かつ、最終的な送信周波数 (例えば 9 2 0 MHz) は精密に同期させることが可能となる。

20

【 0 0 3 5 】

ここで、図 3 における無線送電器 1 B は、基準周波数発振器 1 1 を備えていない。これは、必ずしも全ての無線送電器が、基準周波数発振器 1 1 を備えていなくとも良いことを示している。図示したように、複数の無線送電器 1 A および 1 B は、互いに有線または無線で接続されていてよく、ある 1 つの無線送電器 (図の例においては 1 A) の基準周波数発振器 1 1 が生成した基準周波数の信号を、他の無線送電器 (図の例においては 1 B) との間で共有することができる。すなわち、図 3 に示した基準周波数発振器 1 1 から外部へと延びる配線は、基準周波数発振器 1 1 が発振した信号を外部に出力する出力部と解釈することができる。また、共有された基準周波数の信号は、各無線送電器が備える通倍器 1 2 によって通倍される。すなわち、各無線送電器が備える通倍器 1 2 は、他の無線送電器が生成した基準周波数の入力部と解釈することができる。

30

【 0 0 3 6 】

一方、各無線送電器が基準周波数発振器 1 1 を備え、基準周波数の信号を別個に発振してもよい。各無線送電器 1 において十分等しい周波数 (例えば 1 0 MHz) の基本周波数の信号を発振することで、周波数同期を行うことができる。

【 0 0 3 7 】

上述の例において、無線送電器 1 は、バックスキヤッタ信号をアンテナ 1 5 経由で受信している。しかし、このバックスキヤッタ信号は、前記アンテナ経由で取得されなくともよい。例えば、無線電力伝送システム 5 0 0 内に複数存在する無線送電器 1 のうちの 1 つ (例えば無線送電器 1 A) がアンテナ 1 5 経由でバックスキヤッタ信号を受信し、このバックスキヤッタ信号を他の無線送電器 1 (例えば無線送電器 1 B) と有線または無線経由で共有してもよい。いずれの場合においても、制御装置 1 7 は、バックスキヤッタ信号を取得することができる。そのため、少なくとも 1 つの無線送電器 1 がバックスキヤッタ信号受信機 1 6 を備えていればよく、他の無線送電器 1 はバックスキヤッタ信号受信機 1 6 を備えていなくともよい。

40

【 0 0 3 8 】

(無線受電器 2 の構成例)

次に、無線受電器 2 の構成例を説明する。無線受電器 2 は、電波を受信するアンテナ 2 1 と、アンテナ 2 1 が受信した信号を整流する整流回路 2 2 と、バックスキヤッタ変調回路 2 3 と、逆流防止回路の一例であるダイオード 2 4 と、蓄電回路 2 5 と、負荷 2 6 とを

50

備える。アンテナ 2 1 は整流回路 2 2 の入力に接続される。ダイオード 2 4 の一端がバックスキュッタ変調回路 2 3 に接続される。ダイオード 2 4 の他端が蓄電回路 2 5 および負荷 2 6 に接続される。整流回路 2 2 とダイオード 2 4 の間にバックスキュッタ変調回路 2 3 が接続される。

【 0 0 3 9 】

無線送電器 1 が送信した電波は、アンテナ 2 1 によって受信され、整流回路 2 2 によって直流化される。その電力が蓄電回路 2 5 に一時的に貯められ、そこから負荷 2 6 へと供給される。以上が、無線受電器 2 の基本的な無線給電に係る構成である。バックスキュッタ変調回路 2 3 は、電波を受信したアンテナ 2 1 からの反射を変調する（図 2 参照）。ダイオード 2 4 は、逆流防止回路の一例であり、整流回路 2 2 と蓄電回路 2 5 とを分離する。バックスキュッタ変調回路 2 3 およびダイオード 2 4 につき、詳しくは図 4 を参照して後述する。

10

【 0 0 4 0 】

（無線受電器 2 の構成例）

図 4 は、バックスキュッタ変調回路 2 3 を備えた無線受電器 2 の構成例を示す回路図である。回路図における各構成要素の配置は図 3 に示したものとほぼ同様であるため、図 3 に示したものと同一構成要素については同じ参照番号を付して説明を簡略化あるいは省略し、相違点について説明する。

【 0 0 4 1 】

バックスキュッタ変調回路 2 3 は、典型的には半導体スイッチ、可変容量ダイオードが用いられるインピーダンス変調素子 2 3 1 と、発振回路 2 3 3 と、波形整形回路 2 3 2 とから構成される。このうち、インピーダンス変調素子 2 3 1 が、整流回路 2 2 と、ダイオード 2 4 との間に接続される。

20

【 0 0 4 2 】

波形整形回路 2 3 2 は、発振回路 2 3 3 から入力されたクロックの波形を、デューティ比のより低い波形へと整形し、インピーダンス変調素子に入力する。

【 0 0 4 3 】

ここで、インピーダンス変調素子 2 3 1 が整流回路 2 2 の後段に設けられている事の技術的意義について説明する。バックスキュッタ信号を生成するには、アンテナ（アンテナ 2 1 ）に接続される素子のインピーダンスを、RF スイッチ（高周波スイッチ）等により変調する手法が一般的である。しかしながら、RF スイッチは損失が大きく高コストであるため、受電端末（無線受電器 2 ）の高コスト化につながる。一方、本開示の無線受電器 2 においては、整流回路 2 2 の後段に、すなわち直流化が行われた後の位置に低周波スイッチ（インピーダンス変調素子 2 3 1 ）を接続し、これをスイッチングすることにより変調を行う。これにより、無線受電器 2 についてのコストを低減することができる。なお、無線受電器 2 は IoT デバイスであってよく、IoT デバイスを安価に大量に製造できる利点は大きい。

30

【 0 0 4 4 】

次に、ダイオード 2 4 が図示した位置に、すなわち低周波スイッチ素子（インピーダンス変調素子 2 3 1 ）の後段に設けられている事の技術的意義について説明する。図示したように、整流回路 2 2 の後段には蓄電回路 2 5 が存在する。低周波スイッチ素子（インピーダンス変調素子 2 3 1 ）によりスイッチングを行うと、蓄電回路 2 5 に貯まった電力が時に漏れ出し、電力損失が発生する。そこで、整流回路 2 2 と蓄電回路 2 5 とをダイオード 2 4 で分離し、ダイオード 2 4 から見た整流回路 2 2 側に低周波スイッチ（インピーダンス変調素子 2 3 1 ）を設けることにより、電力損失を減らす。その結果、消費電力が減じられた無線受電器 2 は、より大きなバックスキュッタ信号を、より長時間発出することができるようになる。

40

【 0 0 4 5 】

次に、発振回路 2 3 3 とインピーダンス変調素子 2 3 1 との間に、波形整形回路 2 3 2 が設けられている事の技術的意義について説明する。上述のように、電力損失を防止する

50

ダイオード 24 を設けたとしても、発振回路 233 に基づいたインピーダンス変調素子 231 のスイッチングにおいて、ON 状態が長時間続くと、電力喪失が大きい。そのため、発振回路 233 からインピーダンス変調素子 231 へと印加する波の波形は、デューティ比がより低い方が望ましい。そこで、発振回路 233 とインピーダンス変調素子 231 との間に、スイッチングのデューティ比を制御する波形整形回路 232 を設けて、電力損失を減らしている。

【0046】

本開示の無線受電器 2 は、上述のような構成を備えることにより、電力損失を最低限としながら大きなバックスキュッタ信号を生成し、システムの S/N 比を向上している。

【0047】

(無線受電器 2 の変形例)

図 5 は、バックスキュッタ変調回路 23 を備えた無線受電器 2 の変形例を示す回路図である。図 4 に示した回路構成と、図 5 に示した回路構成とは、ほぼ共通している。そこで、これら両者に共通する部分については説明を簡略化あるいは省略し、相違点について説明する。

【0048】

図 4 に示した回路構成においては、インピーダンス変調素子 231 の後段に、ダイオード 24 が配置されていた。一方、図 5 に示した回路構成においては、インピーダンス変調素子 231 の後段に、例えば図示されているような構成の逆流防止回路 27 が配置されている。

【0049】

逆流防止回路 27 は、Pch MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) 等で構成され、インピーダンス変調素子 231 が低インピーダンスとなるときに、逆流防止回路 27 のスイッチが OFF になるように配置される。これにより、電力の逆流を防止することができる。

【0050】

また、図 5 に示されている 2 つの MOSFET が同時に ON 状態になった場合には、貫通電流が発生する。この貫通電流の発生を回避するために、逆流防止回路 27 における MOSFET と、インピーダンス変調素子 231 との間に、ノンオーバーラップ制御回路 272 が挿入されてもよい。ノンオーバーラップ制御回路 272 は、図示した 2 つの MOSFET の ON タイミング・OFF タイミングをずらす事により、2 つの MOSFET が同時に ON 状態になることを阻止する。

【0051】

(無線送電器 1 の位相最適化)

次に、無線電力伝送システム 500 が備える複数の無線送電器 1 (図 3 参照) において、アンテナ 15 から送信される電波の位相を最適化 (以下、単に「位相最適化」) するための処理例を説明する。図 6 は、各無線送電器 1 の位相最適化についてのフローチャートである。

【0052】

ここで、各無線送電器 1 の位相最適化処理の処理主体は、各無線送電器 1 であってよい。また、各無線送電器 1 に接続された PC (Personal Computer) 等の上位装置が存在し、上位装置が各無線送電器 1 の位相最適化処理を制御してもよい。

【0053】

まず、位相最適化の対象となる無線送電器 1 を 1 つ設定する (ステップ S t 1)。この設定は、上位装置 (図示省略) が行ってよい。一方、位相最適化を行う優先順位等が事前に決定されており、優先順位が最も高い無線送電器 1 が自律的に設定され、位相最適化処理を開始してもよい。

【0054】

次に、設定された 1 つの無線送電器 1 についての、位相最適化処理が実行される (ステ

10

20

30

40

50

ップ S t 2)。この位相最適化処理において、制御装置 1 7 は、無線送電器 1 が受信するバックスキュッタ信号の強度が最大になるように、移相回路 1 3 を制御する。この移相回路 1 3 の制御の結果として、アンテナ 1 5 から送信される電波の位相が最適位相になるように調整される。ここで、図 2 に基づき上述したように、受電端末 2 が受電した電力（受電電力）と、バックスキュッタ信号の強度との間には、おおむね比例関係が成り立つ。そのため、ステップ S t 2 の位相最適化処理を無線送電器 1 に対して実行すると、受電端末 2 の受電電力が増大することになる。

【 0 0 5 5 】

位相最適化処理のより詳細な具体例は、図 7 から図 1 0 を参照しつつ後述する。ここで、位相最適化処理（ステップ S t 2 ）で用いられる位相最適化処理は、毎回同じ処理であってよく、また、毎回違う位相最適化処理を用いてもよい。例えば、ある無線送電器 1 に対しては、後述の山登り法を用いて位相最適化処理を行い、別の無線送電器 1 に対しては、後述の往復回転法を用いて位相最適化処理を行ってもよい。

10

【 0 0 5 6 】

1 つの無線送電器 1 についての位相最適化処理が終わったら、全ての無線送電器 1 について位相最適化処理が終わったか否かを判定する。全ての無線送電器 1 について位相最適化処理が終わっている場合（ステップ S t 3 : Y e s ）は処理終了となる。まだ位相最適化処理が行われていない無線送電器 1 が残っている場合（ステップ S t 3 : N o ）は、ステップ S t 4 へと処理が遷移する。なお、ステップ S t 3 の判断主体は、上位装置であってよい。ステップ S t 3 の判断主体は、上述の優先順位が決定されている場合は、優先順位の低い、最後に残った無線送電器 1 であってもよい。

20

【 0 0 5 7 】

ステップ S t 4 において、位相最適化の対象となる次の無線送電器 1 を 1 つ設定する。この設定を、上位装置（図示省略）が行ってよい。一方、この設定を、この時点で最後に位相最適化処理を終えた無線送電器 1 が行ってよい。ステップ S t 4 の次は、ステップ S t 2 へと処理が戻る。このように、無線電力伝送システム 5 0 0 に含まれる無線送電器 1 が、1 つずつ順番に位相最適化処理を実行する。

【 0 0 5 8 】

なお、図 6 のフローチャートに示したように、無線電力伝送システム 5 0 0 に含まれるすべての無線送電器 1 について最適化が終わったら、位相最適化処理を終了してよく、再度 1 台目の無線送電器 1 から、位相最適化処理を繰り返してもよい。位相最適化処理を繰り返す場合、繰り返しの前に用いられた最適化処理（例えば後述の山登り法）とは異なる最適化処理（例えば後述のランプ回転法）を用いて最適化を行ってもよい。

30

【 0 0 5 9 】

（第 1 の位相最適化処理）

無線送電器 1 の制御装置 1 7 が、バックスキュッタ信号の強度が最大になるように移相回路 1 3 を制御する位相最適化処理は、複数の態様が存在する。図 7 は、第 1 の位相最適化処理を示すフローチャートである。

【 0 0 6 0 】

第 1 の位相最適化処理は、山登り法と呼ばれるアルゴリズムを用いる。例えば横軸を移相回路 1 3 における設定位相（ $0 \sim 2$ ）とし、縦軸をバックスキュッタ信号の強度とした 2 次元グラフにおいて、この位相（ $0 \sim 2$ ）のうちどこかに、バックスキュッタ信号の強度が最大となる頂上（ピーク）があるはずである。そこで、山を登るようにして、頂上（ピーク）のある地点を探るアルゴリズムが、山登り法である。

40

【 0 0 6 1 】

図 7 に示したフローチャートは、1 つの無線送電器 1 についての処理を示しており、図 6 のステップ S t 2 に相当する。まず、制御装置 1 7 は、移相回路 1 3 を制御して移相回路 1 3 における設定位相を少し進める（ステップ S t L 0 1）。一度にどの程度位相を進めるか（1 回あたりの位相シフト量）は、適宜決定されてよい。なお、移相回路 1 3 における設定位相が変動したので、アンテナ 1 5 から送信される電波にも位相の変動が生じ、

50

無線受電器 2 から反射してくるバックスキヤッタ信号にも変動が生じる。この変動後のバックスキヤッタ信号の強度を計測するのが、次のステップ S t L 0 2 である。

【 0 0 6 2 】

制御装置 1 7 は、バックスキヤッタ信号の強度を計測する（ステップ S t L 0 2 ）。

【 0 0 6 3 】

制御装置 1 7 は、バックスキヤッタ信号の強度の増分値 $d = P 1 - P 0$ を計算する（ステップ S t L 0 3 ）。なお、変数 $P 0$ には、1 つ前の計測時におけるバックスキヤッタ信号の強度の値が格納されている。

【 0 0 6 4 】

次に、制御装置 1 7 は、増分値 d の絶対値 $| d |$ が、所定の閾値 $d t h$ を超えているか否かを判定する（ステップ S t L 0 4 ）。 $| d | > d t h$ である場合（ステップ S t L 0 4 : Y e s ）は、次のステップ S t L 0 5 へ移行する。 $| d | \leq d t h$ である場合（ステップ S t L 0 4 : N o ）は、 $P 1$ と $P 0$ との間の値の変化量が少なく、山の頂上（ピーク）付近に到達したと判断して、当該無線送電器 1 についての位相最適化処理を終了する。なお、この処理終了時点における、アンテナ 1 5 から送信される電波の位相が、位相最適化処理によって得られた最適位相となる。

10

【 0 0 6 5 】

ステップ S t L 0 5 において、制御装置 1 7 は、増分値 d が 0 より大きいと判定する。 $d > 0$ である場合は、まだ山を登っている状況にあるので、次のループであるステップ S t L 0 0 へと移行する。 $d \leq 0$ である場合は、むしろ山を下っている状況にあるので、ピークへ向けて位相のシフト方向を反転すべく、ステップ S t R 0 0 へと処理が移行する。

20

【 0 0 6 6 】

ステップ S t L 0 0 において制御装置 1 7 は、 $P 1$ の値を $P 0$ へと代入し、そしてステップ S t L 0 1 へと処理が遷移する。

【 0 0 6 7 】

以上、移相回路 1 3 における設定位相を少しずつ進めながら山のピークを探る、ステップ S t L 0 0 ~ S t L 0 5 について説明した。フローチャート右側の、ステップ S t R 0 0 ~ S t R 0 5 もまた、これと同様である。一か所異なるのは、ステップ S t R 0 1 において、制御装置 1 7 が、移相回路 1 3 における設定位相を遅らせている点である。すなわち、ステップ S t L 0 0 ~ S t L 0 5 においては、移相回路 1 3 における設定位相の値を増やししながら（0 から 2 への方向）ピークを探ってきたところ、ステップ S t R 0 0 ~ S t R 0 5 においては、移相回路 1 3 における設定位相の値を減らしながら（2 から 0 への方向）ピークを探る。

30

【 0 0 6 8 】

以上のように、制御装置 1 7 は、山登り法を用いて移相回路 1 3 を制御し、位相最適化を行うことができる。

【 0 0 6 9 】

（第 2 の位相最適化処理）

次に、図 8 に基づいて、第 2 の位相最適化処理について説明する。第 2 の位相最適化処理も、1 つの無線送電器 1 についての処理であり、図 6 のステップ S t 2 に相当する。

40

【 0 0 7 0 】

第 2 の位相最適化処理で用いられるアルゴリズムを、本明細書においては、「ランプ回転法」と表現する。ランプ回転法の概略は以下の通りである。例えば横軸を移相回路 1 3 における設定位相（0 ~ 2 ）とし、縦軸をバックスキヤッタ信号の強度とした 2 次元グラフにおいて、この位相（0 ~ 2 ）のうちどこかに、バックスキヤッタ信号の強度が最大となる頂上（ピーク）があるはずである。そこで、所定のスタート時刻を基準にして、移相回路 1 3 における設定位相を 1 回転させ、バックスキヤッタ信号の強度が最大になる時刻（ピーク時刻）を取得し、ピーク時刻とスタート時刻との間の差から、制御装置 1 7 が移相回路 1 3 についての最適位相（および、これに付随して、アンテナ 1 5 から送信さ

50

れる電波の最適位相)を特定する。なお、移相回路13における設定位相の回転方向は、位相が増加する方向であっても、位相が減少する方向であってもよい。

【0071】

図8は、ランプ回転法の一例を示す概念図である。図8における上側に描かれた太い折れ線は、移相回路13における設定位相を示している。横軸が時刻 t (単位:秒)であり、縦軸が位相(単位:ラジアン)である。この例においては、移相回路13における設定位相の回転方向が、位相が増加する方向である場合を説明する。

【0072】

図8における下側に描かれた波線は、制御装置17が取得したバックスキヤッタ信号の強度を示している。横軸が時刻 t (単位:秒)であり、縦軸がバックスキヤッタ信号の強度 P (単位:dBm)である。

10

【0073】

ここで、移相回路13における設定位相の初期値(移相回路13のある時点での設定位相)は θ_0 ラジアンである。制御装置17は、スタート時刻 $t=0$ から、移相回路13を制御して、移相回路13における設定位相を θ_0 ラジアンから $\theta_0+2\pi$ ラジアンまで1回転させる。すなわち制御装置17は、移相回路13の設定位相を、移相回路13のある時点での設定位相 θ_0 を基準として、線形に 2π だけ単調増加させる。なお、設定位相の1回転における回転方向を逆にする(θ_0 ラジアンから $\theta_0-2\pi$ ラジアンまでの1回転)場合、制御装置17は、移相回路13の設定位相を、移相回路13のある時点での設定位相 θ_0 を基準として、線形に 2π だけ単調減少させる。

20

【0074】

移相回路13における設定位相の1回転(2π の線形単調増加あるいは線形単調減少)が終了した時刻が、時刻 $t=t_1$ である。移相回路13における設定位相の1回転は、制御装置17による制御の下で行われているので、時刻 $t=t_1$ は、制御装置17にとって既知の値である。

【0075】

時刻 $t=0$ から $t=t_1$ の間に、バックスキヤッタ信号の強度 P が最大値(ピーク)になっている時刻がある。この時の時刻を $t=t_2$ とする。時刻 $t=t_2$ は、移相回路13における設定位相の1回転を行うスタート時刻 $t=0$ から、無線送電器1が受信するバックスキヤッタ信号の強度が最大となるまでの時刻に相当する。制御装置17は、バックスキヤッタ信号受信機16からバックスキヤッタ信号を連続的に取得して、この時刻 $t=t_2$ の値を取得することができる。そして制御装置17は、無線送電器1が受信するバックスキヤッタ信号の強度が最大となるまでの時刻 $t=t_2$ を用いて、位相最適化処理を実行する。例えば、以下の通りである。

30

【0076】

上述の位相回転は、時刻 $t=0$ から $t=t_1$ の間に、 2π ラジアンだけ等速で回転させているものとする。すると、時刻 $t=t_2$ の時の移相回路13における最適位相 θ_{opt} の値を、次の式で求めることができる。

【0077】

【数1】

40

$$\theta_{opt} = 2\pi \left(\frac{t_2}{t_1} \right) + \theta_0$$

【0078】

すなわち、ランプ回転法を用いる第2の位相最適化処理において、制御装置17は、以下の処理を行う。まず、回転開始時刻(時刻 $t=0$ とする)を決定し、移相回路13を制御して移相回路13における設定位相を θ_0 ラジアンから $\theta_0+2\pi$ ラジアンまで1回転

50

させる（位相が減少する方向に回転させる場合は θ_0 ラジアンから $\theta_0 - 2\pi$ ラジアンまで1回転）。制御装置17は、この回転終了時の時刻 $t = t_1$ を取得（既知の値）する。そして制御装置17は、バックスキヤッタ信号受信機16からバックスキヤッタ信号を連続的に取得して、その信号強度が最大になる時刻 $t = t_2$ を取得する。制御装置17は、取得済みのパラメータである t_1 、 t_2 、 θ_0 を用いて、上記の数式に基づき、移相回路13における最適位相 θ_{opt} の値を算出する。そして最後に、制御装置17は、移相回路13を制御して、移相回路13における設定位相を θ_{opt} になるように調整する。以上のようにして、制御装置17は、第2の位相最適化処理を行うことができる。

【0079】

ランプ回転法に基づく第2の位相最適化処理は、山登り法に基づく第1の位相最適化処理と比べて、移相回路13に対する位相制御が少なく済むという利点がある。山登り法は設定位相を少しずつ何度もずらしながら、最適位相を探索し続けるという情報処理を行うのに対し、ランプ回転法は、設定位相を1回転させれば、あとは最適位相を計算で求めることができるからである。ただし、最終的にどちらの最適化処理を用いるのが好適かは、無線送電器1を実装する際の条件による。

【0080】

（第3の位相最適化処理）

次に、図9に基づいて、第3の位相最適化処理について説明する。第3の位相最適化処理も、1つの無線送電器1についての処理であり、図6のステップSt2に相当する。

【0081】

第3の位相最適化処理で用いられるアルゴリズムを、本明細書においては、「往復回転法」と表現する。往復回転法の概略は以下の通りである。例えば横軸を移相回路13における設定位相（ $0 \sim 2\pi$ ）とし、縦軸をバックスキヤッタ信号の強度とした2次元グラフにおいて、この位相（ $0 \sim 2\pi$ ）のうちどこかに、バックスキヤッタ信号の強度が最大となる頂上（ピーク）があるはずである。ここで、上述のランプ回転法の場合は、移相回路13の制御を実施するまでの間の遅延や、離れた位置にある無線受電器2からバックスキヤッタ信号を取得するまでの間の時間遅延が、移相回路13における最適位相 θ_{opt} を計算する際の誤差要因となる。そこで、往復回転法においては、この誤差を低減することができるように、移相回路13における設定位相を2度、往復するように回転させる。すると、1回の位相回転につき1つのピークを検出することができる（上記ランプ回転法を参照）ので、2回の位相回転で2つのピークを検出することができる。この2つのピークの間の時間差に基づいて、制御装置17が移相回路13における最適位相 θ_{opt} を算出する。

【0082】

図9は、往復回転法の一例を示す概念図である。図9における上側に描かれた台形状の折れ線は、移相回路13における設定位相を示している。横軸が時刻 t （単位：秒）であり、縦軸が位相（単位：ラジアン）である。

【0083】

図9における下側に描かれた波線は、制御装置17が取得したバックスキヤッタ信号の強度を示している。横軸が時刻 t （単位：秒）であり、縦軸がバックスキヤッタ信号の強度 P （単位：dBm）である。

【0084】

まず、制御装置17は、上述のランプ回転法と同様に、移相回路13を制御して、移相回路13における設定位相を θ_0 ラジアンから $\theta_0 + 2\pi$ ラジアンまで1回転させる。すなわち制御装置17は、移相回路13の設定位相を、移相回路13のある時点での設定位相 θ_0 を基準として、線形に 2π だけ単調増加させる。なお、設定位相の1回転における回転方向を逆にする実装（ θ_0 ラジアンから $\theta_0 - 2\pi$ ラジアンまでの1回転）の場合、制御装置17は、移相回路13の設定位相を、移相回路13のある時点での設定位相 θ_0 を基準として、線形に 2π だけ単調減少させる。

【0085】

10

20

30

40

50

その後、所定の時間（ t_0 秒とする）の間、設定位相の変更を行わない。

【0086】

そして制御装置17は、前記の単調増加または単調減少とは逆の方向に、線形に2だけ移相回路13の設定位相を変動（単調減少または単調増加）させる。すなわち制御装置17は、移相回路13を制御して、移相回路13における設定位相を $\theta_0 + 2$ ラジアン（設定位相の回転方向を逆にする実装の場合は $\theta_0 - 2$ ラジアン）から θ_0 ラジアンまで逆回転させる。この2回の回転の結果、位相の変化を示す図9の上側のグラフには、台形の形状が示されている。

【0087】

上述のように2回の位相回転を行うと、バックスキップ信号の強度 P が最大値（ピーク）あるいは最小値（ネガティブピーク）になる瞬間が2度現れ、図9の下側のグラフに示したように、大きな山が2つできることになる。なお、上向きの2つの大きな山がピークであり、下向きの2つの大きな山がネガティブピークである。

【0088】

ピークとネガティブピークのうちどちらを用いるべきかは、強度 P の最大値 P_{max} と、強度 P の最小値 P_{min} と、強度 P の平均値 P_{avg} を用いて場合分けがなされる。ここで平均値 P_{avg} とは2つのピークの間の中刻における強度 P の値に等しい。（ $P_{max} + P_{min}$ ）/2 $\geq P_{avg}$ の場合はピークを用いる。（ $P_{max} + P_{min}$ ）/2 < P_{avg} の場合はネガティブピークを用いる。

【0089】

そこで制御装置17は、1度目のピーク（あるいは1度目のネガティブピーク）が検出された時刻と、2度目のピーク（あるいは2度目のネガティブピーク）が検出された時刻の差 t_2 を計算する。なお、制御装置17は、バックスキップ信号受信機16からバックスキップ信号を連続的に取得して、ピーク（あるいはネガティブピーク）が検出された時刻を取得することができる。時刻の差 t_2 は、無線送電器1が受信するバックスキップ信号の強度が最大（ピーク）または最小（ネガティブピーク）となる時刻の相対値である。そして制御装置17は、この相対値を用いて、位相最適化処理を実行する。例えば、以下の通りである。

【0090】

移相回路13における最適位相 θ_{opt} を、以下の数式により算出することができる。

【0091】

【数2】

$$\frac{P_{max} + P_{min}}{2} \geq P_{avg} \text{ の場合: } \theta_{opt} = 2\pi \left(1 - \frac{t_2 - t_0}{2t_1} \right) + \theta_0$$

$$\frac{P_{max} + P_{min}}{2} < P_{avg} \text{ の場合: } \theta_{opt} = 2\pi \left(0.5 - \frac{t_2 - t_0}{2t_1} \right) + \theta_0$$

【0092】

制御装置17は、上記の2つの数式における4つのパラメータ θ_0 、 t_0 、 t_1 、および t_2 に基づいて、移相回路13における最適位相 θ_{opt} を算出する。そして制御装置17は、移相回路13を制御して、移相回路13における設定位相を θ_{opt} になるように調整する。以上のようにして、制御装置17は、第3の位相最適化処理を行うことができる。

【0093】

なお、図9の上側のグラフに示した台形状の位相変動は、制御装置17が移相回路13を制御して発生させているものであるから、 θ_0 、 t_0 、 t_1 は制御装置17にとって既知である。 t_2 については、上述のように、制御装置17が計算で求めればよい。移相回

10

20

30

40

50

路 1 3 における設定位相の回転方向は、図 9 の例では、位相が増加する方向に 1 回転させた後に、位相が減少する方向に 1 回転させている。しかしながら、位相が減少する方向に 1 回転させた後に、位相が増加する方向に 1 回転させてもよい。

【 0 0 9 4 】

上記のような往復回転法に基づく第 3 の位相最適化処理は、取得すべき値が、2 つのピーク間の時刻の差 t_2 だけであるから、移相回路 1 3 の制御を実施するまでの間の遅延や、離れた位置にある無線受電器 2 からバックスキャッタ信号を取得するまでの間の時間遅延が、移相回路 1 3 における最適位相 θ_{opt} を計算する際の誤差要因とならない。よって、移相回路 1 3 における最適位相 θ_{opt} を高い精度で算出することができる。ただし、最終的にいずれの最適化処理を用いるのが好適かは、無線送電器 1 を実装する際の条件による。

10

【 0 0 9 5 】

(1 つずつの位相最適化)

図 1 0 は、複数の無線送電器 1 を 1 つずつ順番に位相最適化していった場合の、無線受電器 2 が受け取る合成電力 (受電電力) を示す概念図である。図の例では、4 つの無線送電器 EN 0、EN 1、EN 2、EN 3 について、1 つずつ順番に位相最適化を行っている (図 6 のフローチャート参照)。無線送電器 EN 0、EN 1、EN 2、EN 3 がそれぞれ位相最適化処理を終えるごとに、時間 (図 1 0 下部のグラフの横軸) につれて、受電電力 (図 1 0 下部のグラフの縦軸) が段階的に増大している。

20

【 0 0 9 6 】

なお、図 1 0 の例においては、4 つの無線送電器がすべて、第 3 の位相最適化処理を用いて位相最適化を実行している。しかし、4 つの無線送電器が第 1 または第 2 の位相最適化処理を用いる場合や、これらの複数種類の位相最適化処理を混在させて用いる場合においても同様に、複数の無線送電器 1 を 1 つずつ順番に位相最適化していく。なぜなら、複数の無線送電器 1 (例えば EN 0 と EN 1) について同時に位相最適化処理を行うと、合成電力 (およびバックスキャッタ信号の強度) の変動に、複数の位相最適化処理のそれぞれから生じる影響が混入するので、移相回路 1 3 における最適位相 θ_{opt} を正しく特定することができなくなるからである。

【 0 0 9 7 】

(周波数同期の実験例)

図 1 1 は、複数の無線送電器 1 の間での周波数同期処理の実験例を示すブロック図である。図示したように、無線送電器 1 に相当する機器 SDR が複数設けられ、機器 SDR が備える複数のトランスミッタ (TX 1、TX 2) から送信された電力を合成し、これを測定する実験が行われた。

30

【 0 0 9 8 】

図 1 1 における水晶発振器 (OCXO) から、基準周波数 1 0 M H z のクロックが出力された。このクロックが分周器 (1 / 1 0) を用いて 1 M H z の低周波にされた状態で、有線伝送、光伝送、または無線伝送を介して、位相比較器 (Phase Comparator) へと入力された。位相比較器 (Phase Comparator) と、ループフィルタ (LPF) と、1 0 M H z の水晶発振器 (VC - OCXO) と、分周器 (1 / N) の部分は、位相同期回路 (PLL) を形成している。この位相同期回路を用いて、上記の 1 M H z の低周波が 1 0 M H z まで逡倍されて、無線送電器 1 に相当する機器 SDR へと入力された。このようにして、有線接続、光接続あるいは無線接続された複数の機器 SDR の間で、周波数同期を行うことができることを確認した。

40

【 0 0 9 9 】

(赤外線通信を用いた場合の周波数同期の実験例)

図 1 2 は、複数の無線送電器の間での周波数同期処理の実験例を示すブロック図である。図 1 2 に示した実験例におけるブロック構成は、図 1 1 に示した実験例におけるブロック構成とほぼ同様であるので、異なる部分のみを説明し、同様の部分については説明を簡略化または省略する。

50

【 0 1 0 0 】

図 1 2 に示した実験例においては、各機器 S D R の間でのクロックの共有を、I R トランスミッタ (I R T X) と I R レシーバ (I R R X) との間の赤外線 (I R) 通信を介して行っている。I R トランスミッタが備える L E D と、I R レシーバが備えるフォトダイオードの応答速度が 1 M H z 程度であるため、発振器 V C - O C X O が生成した基準周波数 1 0 M H z のクロックは、そのままでは伝送できない。そこで本実験例では、分周器 (1 / 1 0 を 2 つ) を用いて周波数を 1 / 1 0 0 にしたクロック (1 0 0 k H z) を、I R トランスミッタから伝送して共有している。なお、1 0 0 k H z のクロックは P L L で 1 0 M H z まで逡倍され、機器 S D R に入力されている。

【 0 1 0 1 】

また、各機器 S D R の前段には、上位装置として P C (P e r s o n a l C o m p u t e r) が接続されている。P C が通常備える一般的な制御部が、各機器 S D R における位相最適化処理を 1 機器ずつ順番に実行し、合成電力を測定している。この実験の結果、赤外線通信を介した 1 0 0 k H z 程度の低周波クロックを用いた場合であっても、複数の無線送電器間での周波数同期に問題が無いことが確認された。なお、この方式では各機器 S D R 間の位相の同期を赤外線通信で行うことはできない。しかしながら、各機器 S D R に接続された上位装置である P C が、既に説明した山登り法、ランプ回転法、往復回転法などを用いた位相最適化処理を実行するので、赤外線通信の時点での位相のズレは問題とはならない。

【 0 1 0 2 】

(バックスキャッタ信号に変調をかける位置についての実験例)

図 1 3 は、バックスキャッタ信号に変調をかける位置についての実験例を示す概念図である。既に説明したように、無線受電器 2 のアンテナ 2 1 は周波数 f_c (例えば 9 2 0 M H z) の電波を受信 (グラフの「入力電力」) して、周波数 $f_c \pm f_m$ に変調されたバックスキャッタを反射 (グラフの「R F 電圧」) する。この変調に係る周波数 f_m を、整流回路 2 2 の後段である点 A と、整流回路 2 2 の内部にある点 B とにそれぞれ入力し、前記入力電力と前記 R F 電圧との間の関係をグラフ化した。

【 0 1 0 3 】

図 1 3 に示したグラフの横軸は、入力電力であり、縦軸は、バックスキャッタ信号の強度である。横軸と縦軸の単位はいずれも d B m である。例えば、無線受電器 2 のアンテナ 2 1 に - 2 0 d B m の入力電力 (受電電力) があった場合に、点 A の場合は - 3 5 d B m の強度のバックスキャッタ信号が放出 (反射) されている。このグラフからわかるように、点 A に変調に係る周波数 f_m を入力した場合、グラフ上の広い帯域において線形変化 (単調増加) していることが見て取れる。すなわち、バックスキャッタ信号の強度と受電強度とがほぼ比例している。従って無線送電器 1 は、受電強度の代わりにバックスキャッタ信号の強度を用いて、上述の位相最適化処理を行うことができる。

【 0 1 0 4 】

以上のように、無線送電器が備える制御装置が、山登り法を用いて、位相最適化処理を実行してよい。これにより、バックスキャッタ信号の強度が最大になるように移相回路を制御して、無線受電器の受電電力を向上させることができる。

【 0 1 0 5 】

無線送電器が備える制御装置が、前記無線送電器が備える前記移相回路の設定位相を、前記移相回路のある時点での設定位相を基準として線形に 2 だけ単調増加または単調減少させ、前記無線送電器が受信する前記バックスキャッタ信号の強度が最大となるまでの時刻を用いて前記位相最適化処理を実行してよい。これにより、無線受電器の受電電力を向上させることができ、かつ、上述の山登り法よりも、移相回路に対する位相制御が少なく済む。

【 0 1 0 6 】

無線送電器が備える制御装置が、前記無線送電器が備える前記移相回路の設定位相を、前記移相回路のある時点での設定位相を基準として線形に 2 だけ単調増加または単調減

10

20

30

40

50

小させたのち、前記単調増加または単調減少とは逆の方向に、線形に2 だけ前記移相回路の設定位相を変動させ、前記無線送電器が受信する前記ボックスキャッタ信号の強度が最大または最小となる時刻の相対値を用いて前記位相最適化処理を実行してよい。これにより、無線受電器の受電電力を向上させることができ、かつ、移相回路13における最適位相 θ_{opt} を高い精度で算出することができる。

【0107】

無線送電器が、基準周波数の信号を逡倍する逡倍器を備え、無線送電器のアンテナは、逡倍器によって逡倍された電波を送信してよい。これにより、無線送電器間の配線を低コスト化することができる。

【0108】

無線送電器が、基準周波数の信号を発振する基準周波数発振器を備えていてよい。そして、基準周波数発振器が発振した信号が逡倍器に入力されてよい。これにより、発振された基準周波数の信号を逡倍器によって逡倍することができる。

【0109】

無線送電器が、基準周波数発振器が発振した信号を外部に出力する出力部や、基準周波数の信号が入力される入力部を備えてよい。そして、基準周波数発振器が発振した信号が、複数の無線送電器の間で共有されてよい。これにより、全ての無線送電器が基準周波数の信号を発振する必要がなくなり、無線送電器および無線電力伝送システムの構成をスリム化することができる。

【0110】

無線受電器において、ボックスキャッタ変調回路が、発振回路と波形整形回路とを備え、波形整形回路は、発振回路から入力されたクロックの波形を、デューティ比のより低い波形へと整形して、インピーダンス変調素子に入力してよい。これにより、無線受電器の電力損失を減らすことができる。

【0111】

無線電力伝送システムに含まれる無線送電器が、1つずつ順番に位相最適化処理を実行してよい。これにより、複数の無線送電器が同時に位相最適化処理を実行することによる不具合を回避することができる。

【0112】

以上、図面を参照しながら各種の実施形態について説明したが、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。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例又は修正例に想到し得ることは明らかであり、そ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。また、発明の趣旨を逸脱しない範囲において、上記実施形態における各構成要素を任意に組み合わせてもよい。

【符号の説明】

【0113】

- 1、1A 無線送電器
- 2 無線受電器
- 11 基準周波数発振器
- 12 逡倍器
- 13 移相回路
- 14 アンプ
- 15 アンテナ
- 16 ボックスキャッタ信号受信機
- 17 制御装置
- 21 アンテナ
- 22 整流回路
- 23 ボックスキャッタ変調回路
- 231 インピーダンス変調素子
- 232 波形整形回路

10

20

30

40

50

- 2 3 3 発振回路
- 2 4 ダイオード
- 2 5 蓄電回路
- 2 6 負荷
- 2 7 逆流防止回路
- 2 7 2 ノンオーバーラップ制御回路
- 5 0 0 無線電力伝送システム

【要約】

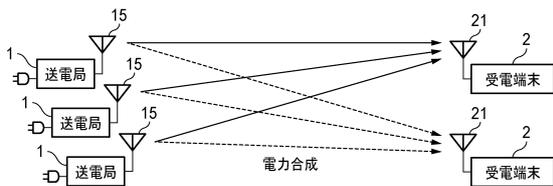
【課題】低消費電力で、受電電力を向上させる無線送電器を提供する。

【解決手段】無線送電器が、電波を送信するアンテナと、前記アンテナにより送信される電波の位相を変える移相回路と、少なくとも前記移相回路を制御する制御装置と、バックスキヤッタ信号を受信するバックスキヤッタ信号受信機と、を備え、前記制御装置は、前記無線送電器が受信する前記バックスキヤッタ信号の強度が最大になるように前記移相回路を制御する位相最適化処理を実行する。

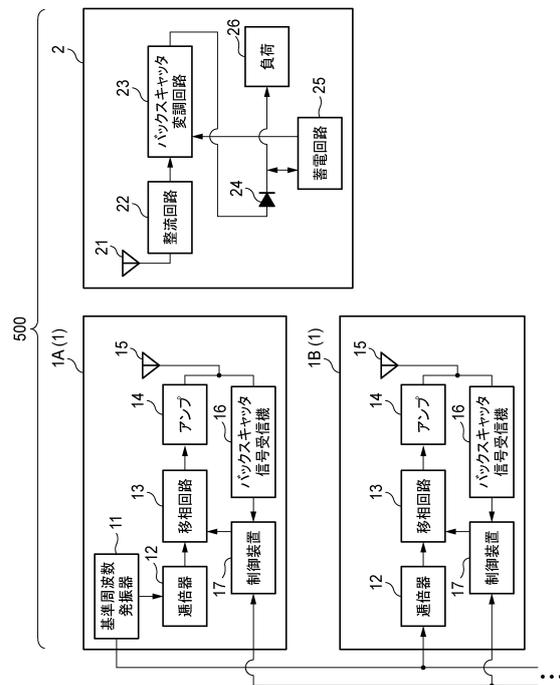
10

【選択図】図3

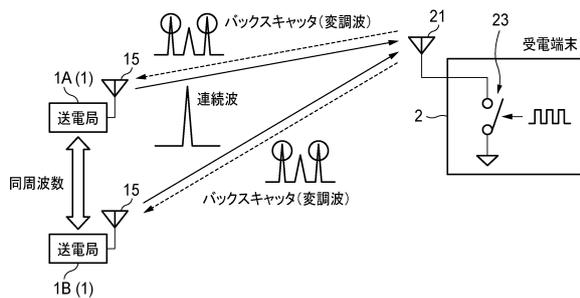
【図1】



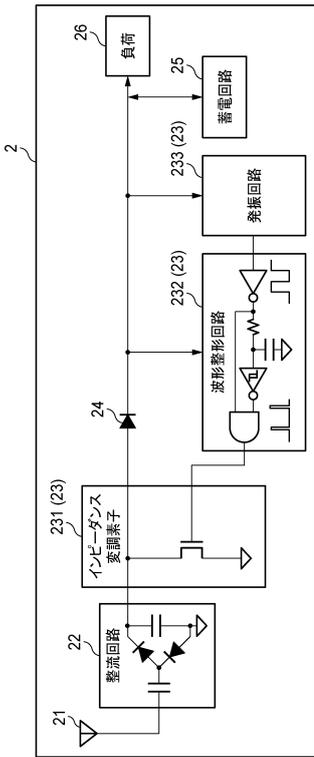
【図3】



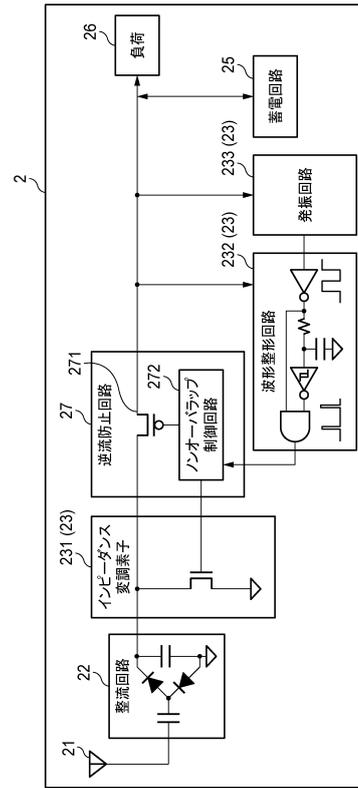
【図2】



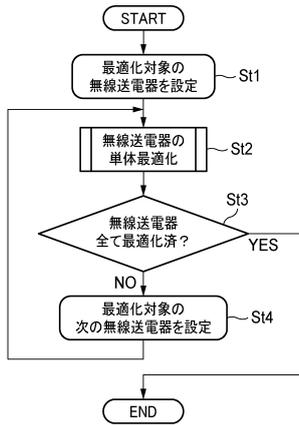
【図4】



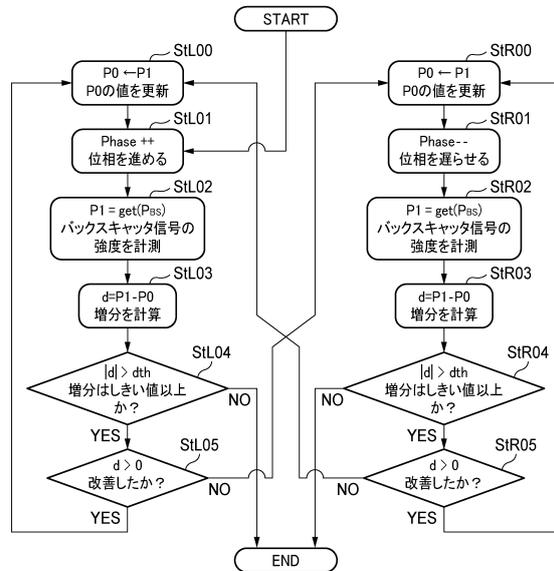
【図5】



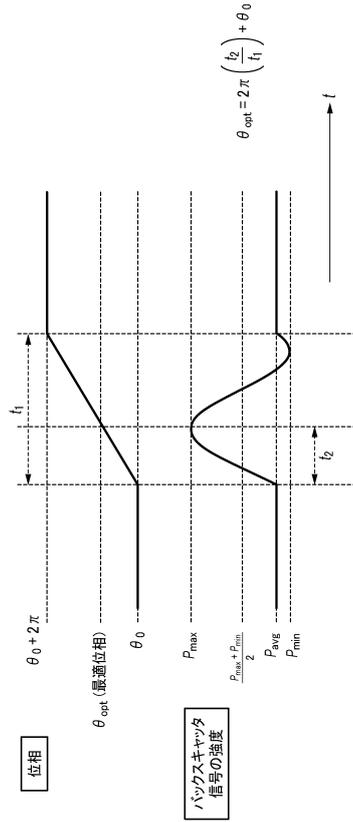
【図6】



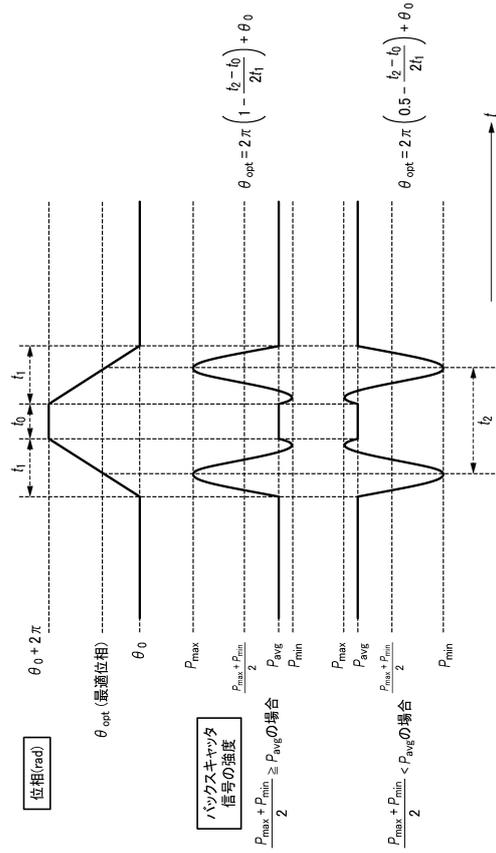
【図7】



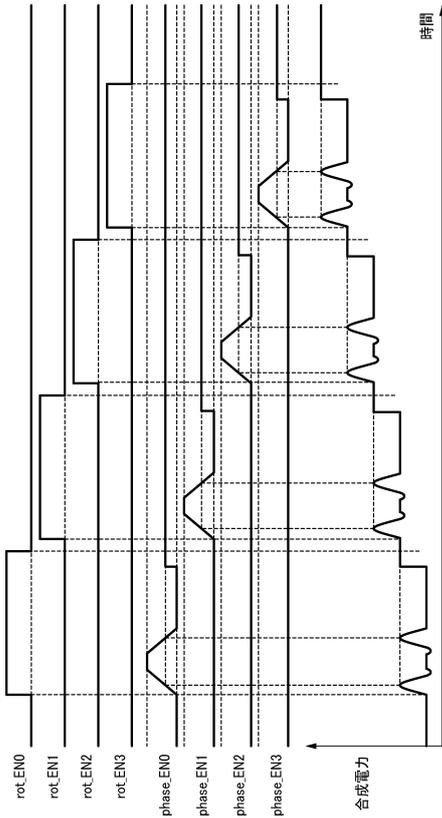
【 図 8 】



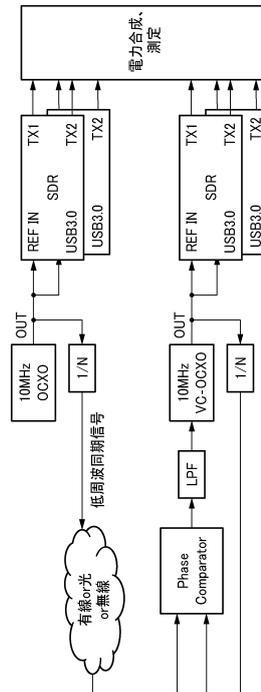
【 図 9 】



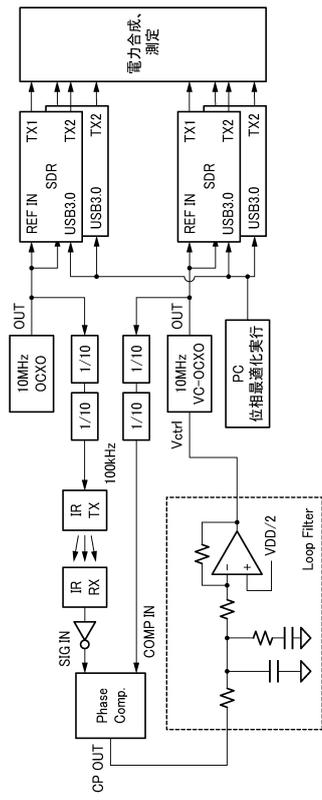
【 図 10 】



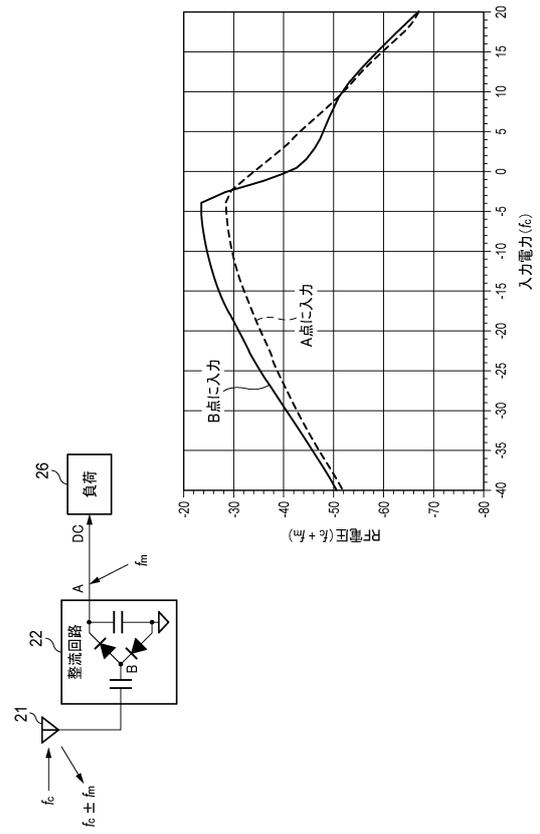
【 図 11 】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(72)発明者 金井 一輝
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

審査官 坂東 博司

(56)参考文献 再公表特許第2014/118919(JP, A1)
特開2012-200085(JP, A)
特開2016-101053(JP, A)
再公表特許第2018/221022(JP, A1)
特開2012-217323(JP, A)
山添孝徳, 映像情報メディア学会誌, Keywords you should know. 第3回 知っておきたいキーワード ICタグ, 日本, 映像情報メディア学会, 2006年 3月 1日, Vol. 60, No. 3, 326~328頁, 令和2年10月7日検索, URL, https://www.jstage.jst.go.jp/article/itej/60/3/60_3_326/_pdf/-char/ja

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02J 50/20