

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7706962号
(P7706962)

(45)発行日 令和7年7月14日(2025.7.14)

(24)登録日 令和7年7月4日(2025.7.4)

(51)国際特許分類 F I
H 0 2 J 50/12 (2016.01) H 0 2 J 50/12
H 0 2 J 50/05 (2016.01) H 0 2 J 50/05

請求項の数 10 (全15頁)

(21)出願番号	特願2021-111928(P2021-111928)	(73)特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22)出願日	令和3年7月6日(2021.7.6)	(74)代理人	100090273 弁理士 國分 孝悦
(65)公開番号	特開2023-8391(P2023-8391A)	(72)発明者	井出 武 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
(43)公開日	令和5年1月19日(2023.1.19)	審査官	新田 亮
審査請求日	令和6年6月17日(2024.6.17)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 制御システムおよび制御システムの制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

交流電圧を出力する交流電源と、
前記交流電圧の周波数より高い周波数で前記交流電圧のスイッチングを行うスイッチ回路と、
前記スイッチ回路から出力された電力を無線送電する送電アンテナと、
前記送電アンテナにより無線送電された電力を無線受電する受電アンテナと、
前記受電アンテナから出力される電圧を整流して負荷部に交流電圧を印加する整流回路と、
前記スイッチ回路に流れる前記交流電源から出力された交流電流を検出する電流検出部と、

前記電流検出部により検出された電流値に基づき、前記スイッチ回路に印加される交流電圧値を制御する制御部とを有することを特徴とする制御システム。

【請求項2】

クロック信号を生成するクロック生成回路と、
前記クロック生成回路により生成されたクロック信号に基づき、前記スイッチ回路を駆動する第1の駆動回路と、
前記クロック生成回路により生成されたクロック信号に基づき、送信信号を生成する送信回路と、
前記送信信号を無線送信する送信アンテナと、

10

20

前記送信アンテナにより無線送信された送信信号を無線受信する受信アンテナと、
前記受信アンテナが受信した信号に基づき、クロック信号を復元する受信回路と、
前記受信回路により復元されたクロック信号に基づき、前記整流回路を駆動する第2の
駆動回路とをさらに有することを特徴とする請求項1に記載の制御システム。

【請求項3】

前記制御部は、前記電流検出部により検出された電流値と目標値との差分に基づき、前
記スイッチ回路に印加される交流電圧値を制御することを特徴とする請求項1または2に
記載の制御システム。

【請求項4】

前記送電アンテナと前記受電アンテナの少なくともいずれかが移動可能であり、
前記制御部は、前記送電アンテナに対する前記受電アンテナの相対的位置と、前記電流
検出部により検出された電流値に基づき、前記スイッチ回路に印加される交流電圧値を制
御することを特徴とする請求項1または2に記載の制御システム。

10

【請求項5】

前記送電アンテナと前記受電アンテナの少なくともいずれかが移動可能であり、
前記目標値は、前記移動のシーケンスに基づく目標値であることを特徴とする請求項3
に記載の制御システム。

【請求項6】

前記スイッチ回路と前記整流回路は、それぞれ、双方向スイッチを有することを特徴と
する請求項1～5のいずれか1項に記載の制御システム。

20

【請求項7】

前記スイッチ回路と前記整流回路は、相互に同期したクロック信号に基づき駆動される
ことを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の制御システム。

【請求項8】

前記整流回路のクロック信号は、前記スイッチ回路のクロック信号が無線送信されたク
ロック信号であることを特徴とする請求項7に記載の制御システム。

【請求項9】

前記負荷部は、モータであることを特徴とする請求項1～8のいずれか1項に記載の制
御システム。

【請求項10】

交流電源が交流電圧を出力するステップと、
スイッチ回路が、前記交流電圧の周波数より高い周波数で前記交流電圧のスイッチング
を行うステップと、

30

送電アンテナが、前記スイッチ回路から出力された電力を無線送電するステップと、
受電アンテナが、前記送電アンテナにより無線送電された電力を無線受電するステッ
プと、

整流回路が、前記受電アンテナから出力される電圧を整流して負荷部に交流電圧を印加
するステップと、

電流検出部が、前記スイッチ回路に流れる前記交流電源から出力された交流電流を検出
するステップと、

40

制御部が、前記電流検出部により検出された電流値に基づき、前記スイッチ回路に印加
される交流電圧値を制御するステップとを有することを特徴とする制御システムの制御方
法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、制御システムおよび制御システムの制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

モータに電力を供給して駆動させるシステムがある。例えば、半導体露光装置では、ウ

50

エ八を露光位置に移動させるためのステージ上に、ウエ八上にパターンを形成するためにウエ八を微細移動させるモータが搭載されており、そのモータを駆動するための電力を供給する給電ケーブルがステージ上に接続されている。このケーブルは、ステージの移動に併せて動くため、ケーブルの張力がステージの位置決め精度に影響を与える。そこで、モータ駆動のための電力伝送を無線化することが考えられている。

【0003】

さらに、近年、モータ等の負荷部に印加する電圧を高精度に制御することが求められている。例えば、半導体露光装置において、ステージの位置決めの高精度化のためには、モータに印加する電圧の変動を数mV以下に抑えることが求められる。

【0004】

一般に、出力電圧の変動を抑えるためには、出力電圧の変動をフィードバックして、入力電圧を制御することで、出力電圧の変動を抑制するフィードバック制御が用いられる。特許文献1には、無線電力伝送により供給される電力に基づく無線受電電圧をフィードバックして、無線送電電圧を制御するモータ無線駆動システムの構成が記載されている。

【0005】

無線受電電圧をフィードバックして無線送電電圧を制御するためには、無線受電電圧値の情報を無線送電装置に無線で伝達する必要がある。特許文献1のシステムでは、無線受電電圧値の情報を、Bluetooth等の無線通信を用いて、無線送電装置に無線で伝達している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】特開2018-54847号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかし、無線送電装置へのフィードバックに無線通信を用いると、無線通信の通信遅延が発生するため、無線送電電圧を制御するタイミングが遅くなる。そのため、無線受電電圧の変動に素早く応答することができず、結果として、変動が抑制できない場合がある。

【0008】

本開示の目的は、負荷部に対して無線送電を行い、負荷部に印加する交流電圧を高精度で制御できるようにすることである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

制御システムは、交流電圧を出力する交流電源と、前記交流電圧の周波数より高い周波数で前記交流電圧のスイッチングを行うスイッチ回路と、前記スイッチ回路から出力された電力を無線送電する送電アンテナと、前記送電アンテナにより無線送電された電力を無線受電する受電アンテナと、前記受電アンテナから出力される電圧を整流して負荷部に交流電圧を印加する整流回路と、前記スイッチ回路に流れる前記交流電源から出力された交流電流を検出する電流検出部と、前記電流検出部により検出された電流値に基づき、前記スイッチ回路に印加される交流電圧値を制御する制御部とを有する。

【発明の効果】

【0010】

負荷部に対して無線送電を行い、負荷部に印加する交流電圧を高精度で制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】制御システムの構成例を示すブロック図である。

【図2】制御システムの外観例を示す斜視図である。

【図3】出力電圧と受電アンテナの位置の関係の例を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 4】モータへの印加電圧の波形の例を示す図である。

【図 5】制御システムの構成例を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、図面を参照して実施形態を詳しく説明する。尚、以下の実施形態は、特許請求の範囲を限定するものではない。実施形態には複数の特徴が記載されているが、これらの複数の特徴の全てが必須のものとは限らず、また、複数の特徴は任意に組み合わせられてもよい。さらに、図面においては、同一若しくは同様の構成に同一の参照番号を付し、重複した説明は省略する。

【0013】

(第1の実施形態)

[システム構成]

図1は、第1の実施形態による制御システム300の構成例を示すブロック図である。制御システム300は、送電部100と、受電部200と、交流電源401と、モータ402を有する。送電部100と受電部200の間は、物理的には接続されていない。送電アンテナ101から受電アンテナ201へ電力が非接触で送られる。送電アンテナ101と受電アンテナ201は、磁界結合しており、電界結合もしくは他の電磁界結合でもよい。

【0014】

制御システム300は、例えば、半導体露光装置であり、ウエハを露光位置に移動させるためのステージ上に、モータ402が搭載されている。モータ402は、ウエハ上にパターンを形成するために、ウエハを微細移動させる。

【0015】

送電部100は、送電アンテナ101と、スイッチ回路102と、電流検出部103と、制御部104を有する。制御部104は、交流電源401から供給される電流を検出し、その電流検出結果を交流電源401にフィードバックする。交流電源401は、その電流検出結果に基づいて、スイッチ回路102に交流電圧を供給する。スイッチ回路102は、交流電源401から供給された交流電圧を、交流電源401から供給された交流電圧の周波数よりも高い周波数でスイッチングし、スイッチングした電圧を送電アンテナ101に出力する。送電アンテナ101は、受電アンテナ201に対して、磁界結合により、電力を無線送電する。

【0016】

受電部200は、受電アンテナ201と、整流回路202を有する。受電アンテナ201は、送電アンテナ101から無線送電された電力を無線受電する。整流回路202は、受電アンテナ201が無線無電した電力を整流し、交流電源401が供給した交流電圧の波形を復元する。スイッチ回路102、送電アンテナ101、受電アンテナ201および整流回路202は、電力を効率的に無線伝送するための共振回路を形成している。

【0017】

モータ402は、整流回路202により復元された交流電圧に基づいて駆動し、ウエハ等を移動させる。

【0018】

図2は、第1の実施形態による制御システム300の外観例を示す斜視図である。制御システム300は、送電アンテナ101と、スイッチ回路102と、受電アンテナ201と、整流回路202と、モータ402と、ステージ502を有する。

【0019】

受電アンテナ201と整流回路202は、ステージ502の上に搭載されている。モータ402は、リニアモータであり、ステージ502を移動させる。送電アンテナ101とスイッチ回路102とモータ402は、位置が固定である。受電アンテナ201は、送電アンテナ101に対して、相対的に移動可能である。送電アンテナ101は、受電アンテナ201に対して、長尺となっている。送電アンテナ101と受電アンテナ201は、ステージ502がどの位置に移動しても、非接触で対向するようになっている。それにより

10

20

30

40

50

、ステージ502がどの位置であっても、受電アンテナ201が送電アンテナ101から電力を無線で受電することができる。

【0020】

制御部104は、交流電源401に対して、交流電圧の出力値の指令値を出力する。例えば、制御部104は、電流検出部103が検出した電流を基に、交流電圧の出力値の指令値を計算し、その交流電圧の出力値の指令値を交流電源401に出力する。なお、制御部104は、電流検出部103が検出した電流の他、ステージ502の位置情報または予め決められた指令シーケンスを基に、交流電圧の出力値の指令値を計算することができる。ステージ502の位置情報に関しては、第2の実施形態で詳細に説明する。

【0021】

電流検出部103は、交流電源401からスイッチ回路102へ流れる交流電流の瞬時値を検出し、その交流電流の瞬時値を制御部104に出力する。制御部104は、その交流電流の瞬時値に応じて、交流電源401の交流電圧の出力値を変化させる。制御部104は、検出した交流電流の瞬時値が所望の電流値よりも小さい場合には、交流電源401の交流電圧の出力値を大きくし、検出した交流電流の瞬時値が所望の電流値よりも大きい場合には、交流電源401の交流電圧の出力値を小さくする。

【0022】

[無線電力伝送するモータ駆動波形]

所望の電流値について詳しく説明する前に、モータ402を駆動するための交流電圧について説明する。モータ402は、その回転方向を正転または反転させるために、モータ402に印加する電圧の正負符号をプラスまたはマイナスに変化させる必要がある。すなわち、モータ402に交流電圧を与えることで、モータ402の回転方向を制御することができる。

【0023】

特許文献1では、モータ402の回転方向を制御するための交流電圧は、受電部200で生成されており、送電部100には直流電源により直流電圧が印加されている。送電部100は、直流電圧を無線電力伝送により受電部200へ供給し、受電部200にあるモータドライバへ直流電圧が供給される。そして、モータドライバがモータ402の回転方向を制御するための交流電圧を生成する。フィードバック制御は、モータドライバへ供給される直流電圧値が、負荷電流の変化または外来ノイズなどに起因した変動に対して、一定に保たれるように行われる。

【0024】

本実施形態による制御システム300は、特許文献1の構成とは異なり、受電部200にはモータドライバがなく、受電部200が小型である。交流電源401がモータドライバに対応する。交流電源401は、送電部100に対して、モータ402の回転方向を制御するための交流電圧を印加する。送電部100は、この交流電圧に基づく電力を無線電力伝送により受電部200へ供給する。受電部200は、受電した電力を基に、交流電源401の交流電圧を復元し、復元した交流電圧をモータ402に印加する。そのため、電流検出部103がフィードバック制御のために検出する電流も、交流電源401が制御する電圧も交流である。

【0025】

[所望の電流値]

次に、前述した所望の電流値について説明する。ここで説明する所望の電流値または電圧値とは、機能を実現させるために必要な電流値または電圧値という意味である。例えば、半導体露光装置において、所望の電流値または電圧値は、ウエハ上にパターンを形成するために必要な位置にステージ502を移動させるために、モータ402に印加すべき電流値または電圧値のことである。

【0026】

特許文献1のように、受電部200へ供給される直流電圧値を一定に保つようにフィードバック制御する場合、所望の電圧値は、直流なので、当然、不変の一定値である。そし

10

20

30

40

50

て、その所望の直流電圧値に対して実際に供給されている直流電圧値がどのくらいずれているかを求め、それらの差分を埋めるように、送電部 100 の直流電圧値を変化させればよい。このような制御により、受電部 200 へ供給される直流電圧値が所望の直流電圧値に保たれる。

【0027】

それに対して、本実施形態の送電部 100 は、交流電圧を無線電力伝送により受電部 200 へ供給しているため、所望の電圧値は一定値ではなく、時間とともに変化する。例えば、半導体露光装置のステージ 502 の位置決めモータ 402 は、ステージ 502 を時間とともに様々な位置に移動させる必要があるため、正電圧または負電圧を含めた様々な値の電圧を印加する必要がある。この制御周期が 10 kHz の場合、所望の電圧値は、正電圧または負電圧を含めた様々な値であり、100 μ s ごとに値が異なる。ステージ 502 の位置を高精度に制御するためには、100 μ s ごとに、この電圧値を正確にモータ 402 に印加する必要がある。よって、制御部 104 は、100 μ s ごとにフィードバック制御を行う必要がある。

10

【0028】

[変動要因]

無線電力伝送により受電部 200 へ供給される交流電圧は、外来要因によって変動してしまう。例えば、送電部 100 または受電部 200 が機器内の別のモータなどから発生する電磁ノイズを受けてしまうことで、受電部 200 へ供給される交流電圧が変動する。

【0029】

また、受電部 200 は、ステージ 502 と一緒に移動するため、ステージ 502 の位置によって、送電アンテナ 101 と受電アンテナ 201 の周囲の電磁環境が変化し、無線電力伝送により受電部 200 へ供給される交流電圧が変動する。特に、受電アンテナ 201 が送電アンテナ 101 の端部に移動した場合と中央部に移動した場合とで、受電アンテナ 201 が受ける電磁界の強度が変化するため、受電部 200 へ供給される交流電圧が変動する。

20

【0030】

さらに、ステージ 502 が移動する際、加速度がかかるため、ステージ 502 自体に物理的な歪みが生じ、送電アンテナ 101 と受電アンテナ 201 の間の距離が変化する。この距離は、送電アンテナ 101 と受電アンテナ 201 の間の結合係数と関係しており、結合係数は無線電力伝送の伝送効率に大きく影響する。よって、ステージ 502 に加速度がかかると、結合係数が変化し、無線電力伝送により受電部 200 へ供給される交流電圧が変動してしまう。

30

【0031】

[フィードバック制御]

これらの変動を抑制し、100 μ s ごとに正確な電圧をモータ 402 に印加するためには、100 μ s 以内にフィードバック制御を完了しなければならない。具体的には、制御システム 300 は、受電部 200 に供給されている交流電圧の瞬時値を検出し、送電部 100 へ無線で伝達し、瞬時値と所望の電圧値とを比較し、外来要因による変動によって発生した差分の算出を行う。そして、制御システム 300 は、この差分を基に、交流電源 401 の交流電圧の出力値を制御する。さらに、制御システム 300 は、次の 100 μ s 以降も遅れなく、この動作を継続し続けなければならない。

40

【0032】

受電部 200 に供給されている交流電圧の瞬時値を、特許文献 1 のように受電部 200 から送電部 100 へ無線通信によって伝達する場合、もし無線通信の遅延が 100 μ s があると、100 μ s 以内にフィードバック制御をすることはできない。無線通信には、パケット処理または電波環境によってエラー訂正が必要になるなどの処理時間が必ず必要である。その処理時間による遅延は、一般的に 1ms 以上あり、10 kHz といった高速な制御に対して無線通信を用いてフィードバック制御をすることはできない。よって、フィードバック制御に遅れが生じ、受電部 200 に供給されている交流電圧の変動に素早く応答

50

することができず、結果として変動が抑制できない場合がある。

【 0 0 3 3 】

そこで、本実施形態の制御部 1 0 4 は、送電部 1 0 0 に設けられた電流検出部 1 0 3 が検出する交流電流を基に、交流電源 4 0 1 にフィードバックして交流電源 4 0 1 の交流電圧の出力値を制御する。この構成では、フィードバック制御が送電部 1 0 0 のみで閉じているため、受電部 2 0 0 からの無線通信を用いる必要がなく、前述した遅延による制御の遅れは発生しない。よって、高速にフィードバック制御することができ、無線電力伝送により供給される電力に基づいてモータ（負荷部） 4 0 2 に印加する電圧を高精度に制御することができる。

【 0 0 3 4 】

制御部 1 0 4 が送電部 1 0 0 の交流電流を基に交流電源 4 0 1 の交流電圧の出力値をフィードバック制御することで、モータ 4 0 2 の変動を抑制する原理を説明する。簡易的に説明すると、モータ 4 0 2 は、固定インダクタとみなせるため、モータ 4 0 2 の印加電圧と電流の関係は一意に決まり、電流値がわかれば電圧値が推算できる。よって、モータ 4 0 2 に流れる電流と相関がある送電部 1 0 0 の交流電流がわかれば、モータ 4 0 2 に印加されている電圧がわかり、交流電源 4 0 1 の交流電圧の出力値をどのように変えればよいかがわかる。

【 0 0 3 5 】

より詳細に説明すると、制御部 1 0 4 が送電部 1 0 0 の交流電流を基に交流電源 4 0 1 の交流電圧の出力値をフィードバック制御するためには、モータ 4 0 2 に印加される電圧と送電部 1 0 0 の交流電流の関係式を導き出す必要がある。制御部 1 0 4 は、モータ 4 0 2 に印加する電圧値を所望の電圧値にしたいときは、この関係式に基づいて交流電流の目標値、すなわち所望の電流値を算出し、所望の電流値と現在の交流電流の瞬時値との差分を計算する。そして、制御部 1 0 4 は、その差分を 0 に近づけるように、交流電源 4 0 1 の交流電圧の出力値を変化させる。

【 0 0 3 6 】

しかし、半導体露光装置などの決まったステージ 5 0 2 の動作を繰り返す場合などは、モータ 4 0 2 に印加すべき所望の電圧波形がわかっているため、事前測定により、送電部 1 0 0 の交流電流の所望の電流値を求めておいてもよい。具体的には、ステージ 5 0 2 を静止させた状態で、モータ 4 0 2 を実際に駆動するシーケンスで電圧を印加し、その時の送電部 1 0 0 の交流電流を測定することで、所望の電流値を求める。そして、制御部 1 0 4 は、実際に動作させたときに、前述した変動要因により、現在の交流電流の瞬時値がこの所望の電流値とずれた分だけ交流電源 4 0 1 の交流電圧の出力値を変化させればよい。交流電源 4 0 1 の交流電圧の出力値の変化量を決めるために、交流電圧の出力値と交流電流の変化量の関係も事前測定により求めておいてもよい。

【 0 0 3 7 】

電流検出部 1 0 3 は、交流電流を検出する必要があるため、負電圧も検出できる差動入力の検出回路を有することが望ましい。電流検出部 1 0 3 は、シャント抵抗を用いて電流値を測定する場合、モータ駆動回路などではコモンモード電圧が高くなるため、入出力絶縁型の検出回路を用いてもよい。

【 0 0 3 8 】

以上のように、交流電源 4 0 1 は、制御部 1 0 4 の制御に基づき、スイッチ回路 1 0 2 に交流電圧を印加する。スイッチ回路 1 0 2 は、その交流電圧についてのスイッチングを行う。送電アンテナ 1 0 1 は、スイッチ回路 1 0 2 のスイッチングにより決定された交流電圧に基づき、電力を無線送電する。受電アンテナ 2 0 1 は、送電アンテナ 1 0 1 により無線送電された電力を無線受電する。整流回路 2 0 2 は、受電アンテナ 2 0 1 から出力される電圧を整流してモータ 4 0 2 に交流電圧を印加する。モータ 4 0 2 は、負荷部の一例である。

【 0 0 3 9 】

電流検出部 1 0 3 は、スイッチ回路 1 0 2 に流れる交流電流を検出する。制御部 1 0 4

10

20

30

40

50

は、電流検出部 103 により検出された電流値に基づき、交流電源 401 を介して、スイッチ回路 102 に印加される交流電圧値を制御する。具体的には、制御部 104 は、電流検出部 103 により検出された電流値と目標値との差分に基づき、交流電源 401 を介して、スイッチ回路 102 に印加される交流電圧値を制御する。送電アンテナ 101 と受電アンテナ 201 の少なくともいずれかが移動可能である。上記の目標値は、その移動のシークェンスに基づく目標値である。

【0040】

本実施形態によれば、制御システム 300 は、送電アンテナ 101 から受電アンテナ 201 に無線電力伝送により電力を供給する。制御部 104 は、モータ 402 に印加する電圧を高精度で制御することができる。制御システム 300 は、モータ 402 に対して無線送電を行い、モータ 402 に印加する交流電圧を高精度で制御することができる。

10

【0041】

(第2の実施形態)

次に、第2の実施形態による制御システム 300 を説明する。以下、第2の実施形態が第1の実施形態と異なる点について説明する。第2の実施形態による制御システム 300 は、図1に示す制御システム 300 に対して、交流電源 401 にステージ 502 の位置情報を基にしたフィードフォワード制御が追加される。制御システム 300 は、フィードフォワード制御で、変動の一部を抑制することにより、フィードバック制御で抑制すべき変動量が少なくなり、モータ 402 をより高精度に制御できる。

【0042】

次に、位置情報を基にしたフィードフォワード制御を追加することにより抑制される変動要因について説明する。図2では、ステージ 502 は、モータ 402 によって1軸上を往復動作し、それに伴って受電アンテナ 201 は、送電アンテナ 101 上を往復動作する。

20

【0043】

図3は、受電アンテナ 201 の位置に対する、無線電力伝送により受電部 200 の整流回路 202 から出力された電圧値を測定した結果の例を示す図である。ステージ 502 の往復動作中の振動等の影響と切り分け、受電アンテナ 201 の位置に対する出力電圧の変動量を確認するために、受電アンテナ 201 を 1 mm ごとに移動させて静止した状態での出力電圧を測定している。交流電源 401 の出力電圧は直流 1 V で一定とし、整流回路 202 の出力ノードは 10 の抵抗負荷に接続されている。送電アンテナ 101 の長さは 600 mm であり、受電アンテナ 201 の長さは 100 mm であり、受電アンテナ 201 の可動ストロークは 500 mm である。図3の測定結果は、50 mm から 450 mm の間の受電アンテナ 201 の位置に対する結果である。白丸と黒三角の2種類のプロットは、同じ条件で2度測定した結果を示す。

30

【0044】

図3の結果より、整流回路 202 の出力電圧の平均値は、1.076 V である。整流回路 202 の出力電圧は、平均値 (1.076 V) に対して 14 mV (1.3%) 程度の変動が、受電アンテナ 201 の位置によって生じていることがわかる。この変動の要因は、送電アンテナ 101 の位置に対する材料や形状の製造ばらつき、モータ 402 のメカ公差による送電アンテナ 101 および受電アンテナ 201 間の距離の変動などが挙げられ、この変動を完全になくすことは難しい。

40

【0045】

しかし、2種類のプロットをみると、2回の測定結果の差は最大 4 mV (0.4%) となっており、受電アンテナ 201 の位置に対する無線電力伝送の出力電圧の変動は再現性がある。よって、図3のように変動分を事前に測定しておき、その分予め補正值として含めておいて、モータ 402 を制御するというフィードフォワード制御が可能となる。

【0046】

このフィードフォワード制御について詳細に説明する。制御部 104 は、ステージ 502 の現在の位置情報などを基に、次の位置に移動させるための指令値を計算する。そして、制御部 104 は、交流電源 401 へ指令値を伝達し、交流電源 401 は、指令値を基に

50

、出力する交流電圧の出力値を変更する。例として、モータ 402 が図 3 で示す 100 mm の位置から 400 mm の位置にステージ 502 の受電アンテナ 201 を移動させる間、モータ 402 にある一定の電圧値を印加し続けたい場合を考える。受電アンテナ 201 の位置に対する出力電圧の変動がない場合は、制御部 104 は、そのある一定の電圧値を指令値として交流電源 401 に伝達する。そして、ステージ 502 が 100 mm の位置から 400 mm の位置まで移動する間、交流電源 401 は、その指令値に基づく電圧を出力すればよい。

【0047】

しかし、図 3 に示すように、受電アンテナ 201 の位置に対する出力電圧の変動がある場合は、交流電源 401 が一定の電圧を出力し続けても、モータ 402 に印加される電圧は変動してしまう。そこで、受電アンテナ 201 が 100 mm の位置から 400 mm の位置まで移動する間に、出力電圧が変動する分を事前に測定し、予め制御部 104 にベースデータとして持たせておき、制御部 104 が交流電源 401 へ伝達する指令値に補正を加える。

10

【0048】

具体的には、制御部 104 は、図 3 の変動分を補正して一定にするような補正値を、元の指令値に加える。制御部 104 がこのようなフィードフォワード制御をすることで、交流電源 401 は、図 3 と逆方向に変動した電圧を出力し、受電アンテナ 201 が 100 mm の位置から 400 mm の位置まで移動する間に変動する分と相殺する。その結果として、制御部 104 は、モータ 402 には一定の電圧値を印加し続けることができる。

20

【0049】

さらに、第 1 の実施形態で述べたように、ステージ 502 の振動などによる変動も加わるため、制御部 104 は、電流検出部 103 で検出した交流電流の変動を基に、交流電源 401 の交流電圧の出力のフィードバック制御も行う。具体的には、制御部 104 は、電流検出部 103 が検出した交流電流の瞬時値を基に、補正値を指令値にさらに加える。

【0050】

図 4 (a) ~ (d) は、上記の補正を説明するための電圧波形を示す図であり、横軸が時間であり、縦軸がモータ 402 への印加電圧値である。図 4 (a) は、前述したフィードバック制御とフィードフォワード制御を行わなかった場合に、100 mm の位置から 400 mm の位置までステージ 502 の受電アンテナ 201 が移動した場合の、モータ 402 への印加電圧の時間波形を示す。図 4 (a) では、図 3 に示した受電アンテナ 201 の位置による出力電圧の変動に対して、ステージ 502 の振動による出力電圧の変動を疑似的に 1 次曲線として加えている。

30

【0051】

図 4 (b) は、前述したフィードフォワード制御の補正値の電圧波形を示す図である。図 4 (b) は、100 mm の位置から 400 mm の位置までステージ 502 の受電アンテナ 201 が移動したときの出力電圧の変動を事前測定した結果を補正値として示す。

【0052】

図 4 (c) は、前述したフィードバック制御の補正値の電圧波形を示す図である。制御部 104 は、電流検出部 103 が検出した交流電流の瞬時値と事前に測定した所望の電流値の差分から、図 4 (c) の補正値を算出する。

40

【0053】

図 4 (d) は、図 4 (b) のフィードフォワード制御の補正値と図 4 (c) のフィードバック制御の補正値による補正を行った場合のモータ 402 への印加電圧の時間波形を示す図である。図 4 (d) の電圧は、図 4 (a) の電圧に対して、図 4 (b) の電圧を減算し、図 4 (c) の電圧を加算した電圧である。制御部 104 が指令値に対して図 4 (b) のフィードフォワード制御の補正値と図 4 (c) のフィードバック制御の補正値に基づく補正を行うことにより、図 4 (d) のように所望の一定の電圧をモータ 402 に印加し続けることができる。

【0054】

50

尚、説明を簡易にするために、モータ402にある一定の電圧値を印加し続けたい場合について説明したが、一定の電圧値ではなく、電圧値が負電圧を含めた様々な値となる交流電圧の場合でも、補正の方法は同様である。また、フィードフォワード制御のための事前測定による補正值は、受電アンテナ201の各位置における静止状態での出力電圧を測定して得ると説明したが、実際のステージ502の動作シーケンスで動作させた状態で事前測定をしてもよい。そうすることで、受電アンテナ201の位置による出力電圧の変動だけでなく、ステージ502の動作による振動等の影響も含めた補正值を作ることができ、フィードバック制御による補正量をより少なくでき、モータ402をより高精度に制御できる。

【0055】

以上のように、制御部104は、第1の実施形態で述べた電流検出部103の交流電流によるフィードバック制御に対して、受電アンテナ201の位置による出力電圧の変動を補正したフィードフォワード制御を組み合わせる。これにより、制御部104は、無線電力伝送により供給される電力に基づいてモータ（負荷部）402に印加する電圧を高精度に制御することができる。

【0056】

送電アンテナ101と受電アンテナ201の少なくともいずれかが移動可能である。制御部104は、図4(b)の送電アンテナ101に対する受電アンテナ201の相対的位置に対応する補正值と、図4(c)の電流検出部103により検出された電流値に対応する補正值に基づき、スイッチ回路102に印加される交流電圧値を制御する。

【0057】

本実施形態によれば、制御部104は、フィードフォワード制御とフィードバック制御により、モータ402に印加する交流電圧を高精度で制御することができる。

【0058】

（第3の実施形態）

次に、第3の実施形態による制御システム300を説明する。以下、第3の実施形態が第1の実施形態および第2の実施形態と異なる点について説明する。

【0059】

図5は、第3の実施形態による制御システム300の構成例を示すブロック図である。図5の制御システム300は、図1の制御システム300に対して、ゲート駆動回路105と、クロック生成回路106と、送信回路107と、送信アンテナ108と、ゲート駆動回路203と、受信回路204と、受信アンテナ205を追加したものである。

【0060】

送電部100は、送電アンテナ101と、スイッチ回路102と、電流検出部103と、制御部104と、ゲート駆動回路105と、クロック生成回路106と、送信回路107と、送信アンテナ108を有する。受電部200は、受電アンテナ201と、整流回路202と、ゲート駆動回路203と、受信回路204と、受信アンテナ205を有する。

【0061】

クロック生成回路106は、クロック信号を生成し、クロック信号をゲート駆動回路105と送信回路107に出力する。ゲート駆動回路105は、クロック信号を基に、スイッチ回路102を駆動する。送信回路107は、クロック信号を基に、無線送信信号を生成し、無線送信信号を送信アンテナ108に供給する。送信アンテナ108は、無線送信信号を受信アンテナ205に無線送信する。無線送信信号は、送信アンテナ108から受信アンテナ205へ非接触で送信される。送信アンテナ108と受信アンテナ205は、電磁界結合、光結合、または電波等により無線通信を行う。

【0062】

受信アンテナ205は、送信アンテナ108により無線送信された無線送信信号を無線受信する。受信回路204は、受信アンテナ205が受信した無線送信信号を基に、クロック生成回路106が生成したクロック信号を復元する。ゲート駆動回路203は、クロック信号を基に、整流回路202を駆動する。整流回路202は、受電アンテナ201が

10

20

30

40

50

無線無電した電力を整流し、交流電源 4 0 1 が供給した交流電圧の波形を復元する。

【 0 0 6 3 】

スイッチ回路 1 0 2 と整流回路 2 0 2 は、負電圧を含んだ交流波形を入出力するため、双方向スイッチのフルブリッジ回路を有する。双方向スイッチは、双方向スイッチにかかる電圧が正電圧でも負電圧でも導通と非導通を、クロック信号に基づいたタイミングで切り替えることができるスイッチであり、例えば 2 つの M O S F E T のソースとゲートをそれぞれ接続した回路である。双方向スイッチは、2 つの M O S F E T のドレイン間に正電圧または負電圧がかかると、ゲート - ソース間電圧によりオンとなったタイミングのみ導通し、それ以外は非導通となる。スイッチ回路 1 0 2 と整流回路 2 0 2 を同期させるために、送信回路 1 0 7 は、送信アンテナ 1 0 8 を介して、クロック信号を無線送信信号として送信する。

10

【 0 0 6 4 】

上記の構成により、スイッチ回路 1 0 2 と整流回路 2 0 2 が同期して交流電圧をスイッチングできるため、整流回路 2 0 2 は、交流電源 4 0 1 から出力された交流電圧を高精度で復元することができる。よって、整流回路 2 0 2 は、無線電力伝送により供給される電力に基づいて、モータ 4 0 2 に印加する電圧を高精度に制御することができる。

【 0 0 6 5 】

ゲート駆動回路 2 0 3 と受信回路 2 0 4 を動作させるための電源電圧は、モータ 4 0 2 への印加電圧から昇降圧回路等を用いて生成してもよい。また、ゲート駆動回路 2 0 3 と受信回路 2 0 4 の電源電圧用に、送電アンテナ 1 0 1 と受電アンテナ 2 0 1 を別途設けてもよい。

20

【 0 0 6 6 】

送電アンテナ 1 0 1 と受電アンテナ 2 0 1 は、プリント基板の配線で形成してもよく、さらに、プリント基板に磁性シートを貼付して電磁界結合時の損失や電磁ノイズの放射を低減してもよい。また、送電アンテナ 1 0 1 と受電アンテナ 2 0 1 は、フェライト等の磁性体とリッツ線等の巻線を用いた巻線トランスでもよい。

【 0 0 6 7 】

以上のように、クロック生成回路 1 0 6 は、クロック信号を生成する。ゲート駆動回路 1 0 5 は、クロック生成回路 1 0 6 により生成されたクロック信号に基づき、スイッチ回路 1 0 2 を駆動する。送信回路 1 0 7 は、クロック生成回路 1 0 6 により生成されたクロック信号に基づき、無線送信信号を生成する。送信アンテナ 1 0 8 は、その無線送信信号を無線送信する。

30

【 0 0 6 8 】

受信アンテナ 2 0 5 は、送信アンテナ 1 0 8 により無線送信された無線送信信号を無線受信する。受信回路 2 0 4 は、受信アンテナ 2 0 5 が受信した信号に基づき、クロック信号を復元する。ゲート駆動回路 2 0 3 は、受信回路 2 0 4 により復元されたクロック信号に基づき、整流回路 2 0 2 を駆動する。

【 0 0 6 9 】

スイッチ回路 1 0 2 と整流回路 2 0 2 は、それぞれ、双方向スイッチを有する。スイッチ回路 1 0 2 と整流回路 2 0 2 は、相互に同期したクロック信号に基づき駆動される。整流回路 2 0 2 のクロック信号は、スイッチ回路 1 0 2 のクロック信号が無線送信されたクロック信号である。

40

【 0 0 7 0 】

本実施形態によれば、制御システム 3 0 0 は、スイッチ回路 1 0 2 のクロック信号と整流回路 2 0 2 のクロック信号を同期させることにより、モータ 4 0 2 に印加する交流電圧を高精度で制御することができる。

【 0 0 7 1 】

なお、上述の実施形態は、何れも本開示を実施するにあたっての具体例を示したものに過ぎず、これらによって本開示の技術的範囲が限定的に解釈されない。すなわち、本開示はその技術思想、又はその主要な特徴から逸脱することなく、様々な形で実施することが

50

できる。

【符号の説明】

【0072】

100 送電部、101 送電アンテナ、102 スイッチ回路、103 電流検出部、104 制御部、105 ゲート駆動回路、106 クロック生成回路、107 送信回路、108 送信アンテナ、200 受電部、201 受電アンテナ、202 整流回路、203 ゲート駆動回路、204 受信回路、205 受信アンテナ、300 制御システム、401 交流電源、402 モータ、502 ステージ

10

20

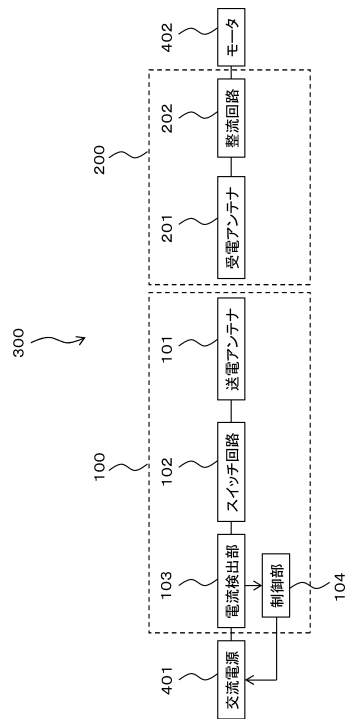
30

40

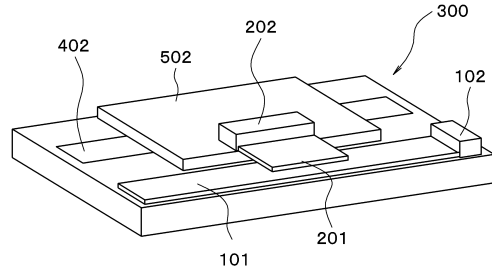
50

【図面】

【図 1】



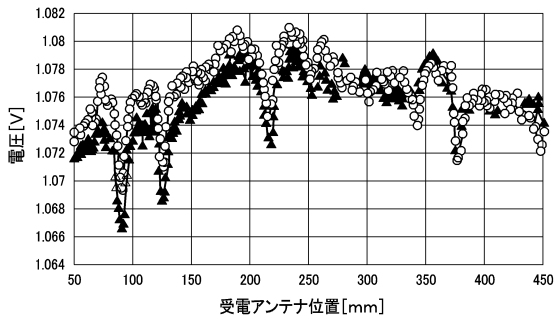
【図 2】



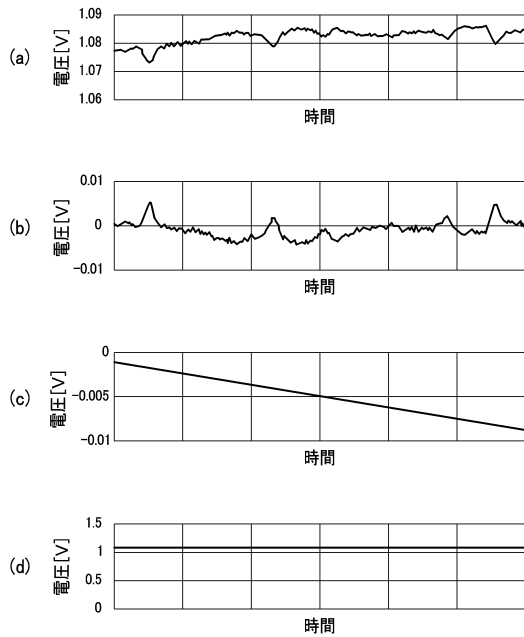
10

20

【図 3】



【図 4】

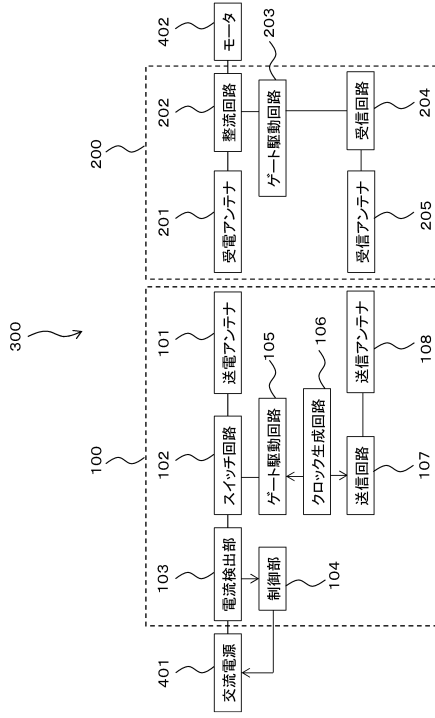


30

40

50

【図5】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2015 - 228739 (JP, A)
特開 2020 - 191758 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
- H02J 50/12
H02J 50/05