

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6350399号
(P6350399)

(45) 発行日 平成30年7月4日(2018.7.4)

(24) 登録日 平成30年6月15日(2018.6.15)

(51) Int.Cl.		F 1			
HO2J 50/10	(2016.01)	HO2J 50/10			
HO2M 7/48	(2007.01)	HO2M 7/48			R

請求項の数 6 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2015-117277 (P2015-117277)	(73) 特許権者	000003207 トヨタ自動車株式会社
(22) 出願日	平成27年6月10日 (2015.6.10)		愛知県豊田市トヨタ町1番地
(65) 公開番号	特開2017-5865 (P2017-5865A)	(74) 代理人	110001195 特許業務法人深見特許事務所
(43) 公開日	平成29年1月5日 (2017.1.5)	(72) 発明者	三澤 崇弘 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
審査請求日	平成29年6月23日 (2017.6.23)	(72) 発明者	杉山 義信 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
		審査官	永井 啓司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 非接触送電装置及び電力伝送システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

受電装置へ非接触で送電するように構成された送電部と、
 駆動周波数に応じた送電電力を前記送電部へ供給する電圧形のインバータと、
 前記インバータを制御する制御部とを備え、
 前記制御部は、
 前記インバータの出力電圧のデューティを調整することによって前記送電電力を目標電力に制御する第1の制御と、
 前記駆動周波数を調整することによって、前記出力電圧の立上り時における前記インバータの出力電流を示すターンオン電流を制御する第2の制御とを実行し、
 前記制御部は、前記第1の制御により前記送電電力を前記目標電力に制御しつつ、前記ターンオン電流が所定の制限値以下となる範囲において、前記インバータから前記送電部へ供給される電流が低下するように前記デューティ及び前記駆動周波数を調整する、非接触送電装置。

【請求項2】

前記制御部は、前記第1の制御により前記送電電力を前記目標電力に制御しつつ、前記ターンオン電流が前記制限値以下となる範囲において、前記インバータから前記送電部へ供給される電流が最小となるように前記デューティ及び前記駆動周波数を調整する、請求項1に記載の非接触送電装置。

【請求項3】

10

20

前記送電電力が一定の下で、前記ターンオン電流が前記制限値以下の所定値となる前記駆動周波数が2点存在する場合に、

前記制御部は、前記インバータの起動処理の実行時に、前記2つの駆動周波数のうち前記インバータから前記送電部へ供給される電流の大きさが小さくなる方の駆動周波数を、前記第2の制御における前記駆動周波数の初期調整値とする、請求項1又は請求項2に記載の非接触送電装置。

【請求項4】

送電装置と、

受電装置とを備え、

前記送電装置は、

受電装置へ非接触で送電するように構成された送電部と、

駆動周波数に応じた送電電力を前記送電部へ供給する電圧形のインバータと、

前記インバータを制御する制御部とを備え、

前記制御部は、

前記インバータの出力電圧のデューティを調整することによって前記送電電力を目標電力に制御する第1の制御と、

前記駆動周波数を調整することによって、前記出力電圧の立上り時における前記インバータの出力電流を示すターンオン電流を制御する第2の制御とを実行し、

前記制御部は、前記第1の制御により前記送電電力を前記目標電力に制御しつつ、前記ターンオン電流が所定の制限値以下となる範囲において、前記インバータから前記送電部へ供給される電流が低下するように前記デューティ及び前記駆動周波数を調整する、電力伝送システム。

【請求項5】

前記制御部は、前記第1の制御により前記送電電力を前記目標電力に制御しつつ、前記ターンオン電流が前記制限値以下となる範囲において、前記インバータから前記送電部へ供給される電流が最小となるように前記デューティ及び前記駆動周波数を調整する、請求項4に記載の電力伝送システム。

【請求項6】

前記送電電力が一定の下で、前記ターンオン電流が前記制限値以下の所定値となる前記駆動周波数が2点存在する場合に、

前記制御部は、前記インバータの起動処理の実行時に、前記2つの駆動周波数のうち前記インバータから前記送電部へ供給される電流の大きさが小さくなる方の駆動周波数を、前記第2の制御における前記駆動周波数の初期調整値とする、請求項4又は請求項5に記載の電力伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、非接触送電装置及び電力伝送システムに関し、特に、受電装置へ非接触で送電する非接触送電装置における電力制御技術に関する。

【背景技術】

【0002】

特開2014-207795号公報(特許文献1)は、給電装置(送電装置)から車両(受電装置)へ非接触で給電する非接触給電システムを開示する。この非接触給電システムでは、給電装置は、送電コイルと、インバータと、制御部とを備える。送電コイルは、車両に搭載された受電コイルへ非接触で送電する。インバータは、駆動周波数に応じた交流電流を生成して送電コイルへ出力する。制御部は、バッテリーへの充電電力指令とバッテリーへの出力電力とを車両側から取得し、出力電力が充電電力指令に追従するようにインバータの駆動周波数をフィードバック制御する。

【0003】

そして、この非接触給電システムにおいては、給電装置から車両への電力供給が開始さ

10

20

30

40

50

れる場合に、バッテリーの状態と、コイル間（送電コイルと受電コイル）の結合係数とに基づいて初期周波数が設定され、その初期周波数を駆動周波数の初期値に用いて上記フィードバック制御が開始される（特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2014-207795号公報

【特許文献2】特開2013-154815号公報

【特許文献3】特開2013-146154号公報

【特許文献4】特開2013-146148号公報

【特許文献5】特開2013-110822号公報

【特許文献6】特開2013-126327号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

インバータが、電圧形のインバータであり、駆動周波数に応じた送電電力を送電部へ供給する場合に、インバータ出力電圧のデューティ（duty）を調整することによって送電電力を制御することができる。また、インバータの駆動周波数を制御することによって、インバータ出力電圧の立上り時におけるインバータ出力電流を示すターンオン電流を制御することができる。

【0006】

電圧形インバータにおいては、出力電圧の立上り時に出力電圧と同符号の出力電流（正のターンオン電流）が流れると、インバータの還流ダイオードにリカバリー電流が流れることが知られている。リカバリー電流が流れると、還流ダイオードが発熱し、損失が増大する。そこで、インバータの駆動周波数を制御してターンオン電流を0以下に制御することにより、リカバリー電流による損失を抑えることができる。

【0007】

しかしながら、ターンオン電流を制御するためにインバータの駆動周波数を変化させると、送電部（送電コイル）から受電部（受電コイル）へ伝送される電力の周波数が変化し、送電部と受電部との間の電力伝送効率が低下する可能性がある。

【0008】

それゆえに、この発明の目的は、受電装置へ非接触で送電する非接触送電装置において、インバータにおいてリカバリー電流が生じない範囲で、受電装置への電力伝送効率を高めることである。

【0009】

また、この発明の別の目的は、送電装置から受電装置へ非接触で送電する電力伝送システムにおいて、インバータにおいてリカバリー電流が生じない範囲で、送電装置と受電装置との間の電力伝送効率を高めることである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

この発明によれば、非接触送電装置は、送電部と、電圧形のインバータと、インバータを制御する制御部とを備える。送電部は、受電装置へ非接触で送電するように構成される。インバータは、駆動周波数に応じた送電電力を送電部へ供給する。制御部は、第1の制御と、第2の制御とを実行する。第1の制御は、インバータの出力電圧のデューティ（duty）を調整することによって送電電力を目標電力に制御するものである（送電電力制御）。第2の制御は、インバータの駆動周波数を調整することによって、出力電圧の立上り時におけるインバータの出力電流を示すターンオン電流を目標値に制御するものである（ターンオン電流制御）。目標値は、インバータの還流ダイオードにリカバリー電流が生じない範囲に設定される。そして、制御部は、第1の制御により送電電力を目標電力に制御しつつ、リカバリー電流が生じない範囲において、送電部に流れる電流が低下するようにタ

10

20

30

40

50

ーンオン電流の目標値を変更する。

【0011】

送電部と受電装置との間の電力伝送効率は、送電電力が一定の下では、送電部に流れる電流の2乗に反比例する。そこで、この発明においては、第1の制御により送電電力を目標電力に制御しつつ、リカバリー電流が生じない範囲において、送電部に流れる電流が低下するようにターンオン電流の目標値が変更される。したがって、この発明によれば、インバータにおいてリカバリー電流が生じない範囲で電力伝送効率を高めることができる。

【0012】

好ましくは、制御部は、第1の制御により送電電力を目標電力に制御しつつ、リカバリー電流が生じない範囲において、送電部に流れる電流が最小となるようにターンオン電流の目標値を変更する。

10

【0013】

このような構成とすることにより、リカバリー電流が生じない範囲で電力伝送効率を最大限高めることができる。

【0014】

好ましくは、送電電力が一定の下で、ターンオン電流がしきい値以下の所定値となる駆動周波数が2点存在する場合に、制御部は、インバータの起動処理の実行時に、その2つの駆動周波数のうち送電部に流れる電流の大きさが小さくなる方の駆動周波数を、第2の制御における駆動周波数の初期調整値とする。

【0015】

20

この発明においては、インバータの起動処理の実行時に、駆動周波数が上記の初期調整値に調整される。そして、リカバリー電流が生じない範囲において、送電部に流れる電流が低下するようにターンオン電流の目標値が変更される。これにより、インバータの起動後に、送電部に流れる電流を速やかに低下させることができる。したがって、この発明によれば、インバータの起動後、リカバリー電流が生じない範囲で電力伝送効率を速やかに高めることができる。

【0016】

また、この発明によれば、非接触送電装置は、送電部と、電圧形のインバータと、インバータを制御する制御部とを備える。送電部は、受電装置へ非接触で送電するように構成される。インバータは、駆動周波数に応じた送電電力を送電部へ供給する。制御部は、第1の制御と、第2の制御とを実行する。第1の制御は、インバータの出力電圧のデューティ(duty)を調整することによって送電電力を目標電力に制御するものである(送電電力制御)。第2の制御は、インバータの駆動周波数を調整することによって、出力電圧の立上り時におけるインバータの出力電流を示すターンオン電流を目標値に制御するものである(ターンオン電流制御)。目標値は、インバータの還流ダイオードにリカバリー電流が生じない範囲に設定される。そして、制御部は、第1の制御により送電電力を目標電力に制御しつつ、リカバリー電流が生じない範囲において、インバータの出力電流が低下するようにターンオン電流の目標値を変更する。

30

【0017】

上述のように、送電部と受電装置との間の電力伝送効率は、送電電力が一定の下では、送電部に流れる電流の2乗に反比例する。そこで、この発明においては、第1の制御により送電電力を目標電力に制御しつつ、リカバリー電流が生じない範囲において、送電部に流れる電流と相関の強いインバータ出力電流が低下するようにターンオン電流の目標値が変更される。したがって、この発明によれば、インバータにおいてリカバリー電流が生じない範囲で電力伝送効率を高めることができる。

40

【0018】

好ましくは、制御部は、第1の制御により送電電力を目標電力に制御しつつ、リカバリー電流が生じない範囲において、インバータ出力電流が最小となるようにターンオン電流の目標値を変更する。

【0019】

50

このような構成とすることにより、リカバリー電流が生じない範囲で電力伝送効率を最大限高めることができる。

【0020】

好ましくは、送電電力が一定の下で、ターンオン電流がしきい値以下の所定値となる駆動周波数が2点存在する場合に、制御部は、インバータの起動処理の実行時に、その2つの駆動周波数のうちインバータ出力電流の大きさが小さくなる方の駆動周波数を、第2の制御における駆動周波数の初期調整値とする。

【0021】

この発明においては、インバータの起動処理の実行時に、駆動周波数が上記の初期調整値に調整される。そして、リカバリー電流が生じない範囲において、インバータの出力電流が低下するようにターンオン電流の目標値が変更される。これにより、インバータの起動後に、インバータの出力電流を速やかに低下させることができる。したがって、この発明によれば、インバータの起動後、リカバリー電流が生じない範囲で電力伝送効率を速やかに高めることができる。

10

【0022】

また、この発明によれば、電力伝送システムは、送電装置と、受電装置とを備える。送電装置は、送電部と、電圧形のインバータと、インバータを制御する制御部とを備える。送電部は、受電装置へ非接触で送電するように構成される。インバータは、駆動周波数に応じた送電電力を送電部へ供給する。制御部は、第1の制御と、第2の制御とを実行する。第1の制御は、インバータの出力電圧のデューティ(duty)を調整することによって送電電力を目標電力に制御するものである(送電電力制御)。第2の制御は、インバータの駆動周波数を調整することによって、出力電圧の立上り時におけるインバータの出力電流を示すターンオン電流を目標値に制御するものである(ターンオン電流制御)。目標値は、インバータの還流ダイオードにリカバリー電流が生じない範囲に設定される。そして、制御部は、第1の制御により送電電力を目標電力に制御しつつ、リカバリー電流が生じない範囲において、送電部に流れる電流が低下するようにターンオン電流の目標値を変更する。

20

【0023】

このような構成とすることにより、インバータにおいてリカバリー電流が生じない範囲で電力伝送効率を高めることができる。

30

【0024】

好ましくは、制御部は、第1の制御により送電電力を目標電力に制御しつつ、リカバリー電流が生じない範囲において、送電部に流れる電流が最小となるようにターンオン電流の目標値を変更する。

【0025】

このような構成とすることにより、リカバリー電流が生じない範囲で電力伝送効率を最大限高めることができる。

【0026】

好ましくは、送電電力が一定の下で、ターンオン電流がしきい値以下の所定値となる駆動周波数が2点存在する場合に、制御部は、インバータの起動処理の実行時に、その2つの駆動周波数のうち送電部に流れる電流の大きさが小さくなる方の駆動周波数を、第2の制御における駆動周波数の初期調整値とする。

40

【0027】

このような構成とすることにより、インバータの起動後に、送電部に流れる電流を速やかに低下させることができる。したがって、この発明によれば、インバータの起動後、リカバリー電流が生じない範囲で電力伝送効率を速やかに高めることができる。

【0028】

また、この発明によれば、電力伝送システムは、送電装置と、受電装置とを備える。送電装置は、送電部と、電圧形のインバータと、インバータを制御する制御部とを備える。送電部は、受電装置へ非接触で送電するように構成される。インバータは、駆動周波数に

50

応じた送電電力を送電部へ供給する。制御部は、第1の制御と、第2の制御とを実行する。第1の制御は、インバータの出力電圧のデューティ(duty)を調整することによって送電電力を目標電力に制御するものである(送電電力制御)。第2の制御は、インバータの駆動周波数を調整することによって、出力電圧の立上り時におけるインバータの出力電流を示すターンオン電流を目標値に制御するものである(ターンオン電流制御)。目標値は、インバータの還流ダイオードにリカバリー電流が生じない範囲に設定される。そして、制御部は、第1の制御により送電電力を目標電力に制御しつつ、リカバリー電流が生じない範囲において、インバータの出力電流が低下するようにターンオン電流の目標値を変更する。

【0029】

このような構成とすることにより、インバータにおいてリカバリー電流が生じない範囲で電力伝送効率を高めることができる。

【0030】

好ましくは、制御部は、第1の制御により送電電力を目標電力に制御しつつ、リカバリー電流が生じない範囲において、インバータ出力電流が最小となるように目標値を変更する。

【0031】

このような構成とすることにより、リカバリー電流が生じない範囲で電力伝送効率を最大限高めることができる。

【0032】

好ましくは、送電電力が一定の下で、ターンオン電流がしきい値以下の所定値となる駆動周波数が2点存在する場合に、制御部は、インバータの起動処理の実行時に、その2つの駆動周波数のうちインバータ出力電流の大きさが小さくなる方の駆動周波数を、第2の制御における駆動周波数の初期調整値とする。

【0033】

このような構成とすることにより、インバータの起動後に、インバータの出力電流を速やかに低下させることができる。したがって、この発明によれば、インバータの起動後、リカバリー電流が生じない範囲で電力伝送効率を速やかに高めることができる。

【0034】

なお、上記の各発明において、インバータの還流ダイオードにリカバリー電流が生じない範囲として、ターンオン電流の目標値は、たとえば0以下の所定値に設定される。

【発明の効果】

【0035】

この発明によれば、受電装置へ非接触で送電する非接触送電装置において、インバータにおいてリカバリー電流が生じない範囲で、受電装置への電力伝送効率を高めることができる。

【0036】

また、この発明によれば、送電装置から受電装置へ非接触で送電する電力伝送システムにおいて、インバータにおいてリカバリー電流が生じない範囲で、送電装置と受電装置との間の電力伝送効率を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【0037】

【図1】この発明の実施の形態1による非接触送電装置が適用される電力伝送システムの全体構成図である。

【図2】図1に示す送電部及び受電部の回路構成の一例を示した図である。

【図3】図1に示すインバータの回路構成を示した図である。

【図4】インバータのスイッチング波形と、出力電圧及び出力電流の波形とを示した図である。

【図5】電源ECUにより実行される送電電力制御及びターンオン電流制御の制御ブロック図である。

10

20

30

40

50

【図6】送電電力及びターンオン電流の等高線の一例を示した図である。

【図7】送電部から受電部への電力伝送効率を説明するための等価回路図である。

【図8】図1に示す電源ECUにより実行されるインバータの動作点探索処理を説明するためのフローチャートである。

【図9】送電電力が一定の下での、ターンオン電流とインバータの駆動周波数との関係を示した図である。

【図10】送電電力が一定の下での、送電部に流れる電流とインバータの駆動周波数との関係を示した図である。

【図11】送電電力及びターンオン電流の等高線の一例を示した図である。

【図12】実施の形態2における電源ECUにより実行されるインバータの動作点探索処理を説明するためのフローチャートである。

【図13】実施の形態1の変形例における電源ECUにより実行されるインバータの動作点探索処理を説明するためのフローチャートである。

【図14】実施の形態2の変形例における電源ECUにより実行されるインバータの動作点探索処理を説明するためのフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0038】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。以下では、複数の実施の形態について説明するが、各実施の形態で説明された構成を適宜組み合わせることは出願当初から予定されている。なお、図中同一又は相当部分には同一符号を付してその説明は繰返さない。

【0039】

[実施の形態1]

図1は、この発明の実施の形態1による非接触送電装置が適用される電力伝送システムの全体構成図である。図1を参照して、この電力伝送システムは、送電装置10と、受電装置20とを備える。受電装置20は、たとえば、送電装置10から供給され蓄えられた電力を用いて走行可能な車両等に搭載され得る。

【0040】

送電装置10は、力率改善(PFC(Power Factor Correction))回路210と、インバータ220と、フィルタ回路230と、送電部240とを含む。また、送電装置10は、電源ECU(Electronic Control Unit)250と、通信部260と、電圧センサ270と、電流センサ272, 274とをさらに含む。

【0041】

PFC回路210は、交流電源100(たとえば系統電源)から受ける交流電力を整流及び昇圧してインバータ220へ供給するとともに、入力電流を正弦波に近づけることで力率を改善することができる。このPFC回路210には、公知の種々のPFC回路を採用し得る。なお、PFC回路210に代えて、力率改善機能を有しない整流器を採用してもよい。

【0042】

インバータ220は、PFC回路210から受ける直流電力を、所定の伝送周波数を有する送電電力(交流)に変換する。インバータ220によって生成された送電電力は、フィルタ回路230を通じて送電部240へ供給される。インバータ220は、電圧形インバータであり、インバータ220を構成する各スイッチング素子に逆並列に還流ダイオードが接続されている。インバータ220は、たとえば単相フルブリッジ回路によって構成される。

【0043】

フィルタ回路230は、インバータ220と送電部240との間に設けられ、インバータ220から発生する高調波ノイズを抑制する。フィルタ回路230は、たとえば、インダクタ及びキャパシタを含むLCフィルタによって構成される。

【0044】

10

20

30

40

50

送電部 240 は、伝送周波数を有する交流電力（送電電力）をインバータ 220 からフィルタ回路 230 を通じて受け、送電部 240 の周囲に生成される電磁界を通じて、受電装置 20 の受電部 310 へ非接触で送電する。送電部 240 は、たとえば、受電部 310 へ非接触で送電するための共振回路を含む。共振回路は、コイルとキャパシタとによって構成され得るが、コイルのみで所望の共振状態が形成される場合には、キャパシタを設けなくてもよい。

【0045】

電圧センサ 270 は、インバータ 220 の出力電圧を検出し、その検出値を電源 ECU 250 へ出力する。電流センサ 272 は、インバータ 220 の出力電流を検出し、その検出値を電源 ECU 250 へ出力する。電圧センサ 270 及び電流センサ 272 の検出値に基づいて、インバータ 220 から送電部 240 へ供給される送電電力（すなわち、送電部 240 から受電装置 20 へ出力される電力）を検出することができる。電流センサ 274 は、送電部 240 に流れる電流を検出し、その検出値を電源 ECU 250 へ出力する。

10

【0046】

電源 ECU 250 は、CPU（Central Processing Unit）、記憶装置、入出力バッファ等を含み（いずれも図示せず）、各種センサや機器からの信号を受けるとともに、送電装置 10 における各種機器の制御を行なう。一例として、電源 ECU 250 は、送電装置 10 から受電装置 20 への電力伝送の実行時に、インバータ 220 が送電電力（交流）を生成するようにインバータ 220 のスイッチング制御を行なう。各種制御については、ソフトウェアによる処理に限られず、専用のハードウェア（電子回路）で処理することも可能である。

20

【0047】

電源 ECU 250 により実行される主要な制御として、電源 ECU 250 は、送電装置 10 から受電装置 20 への電力伝送の実行時に、送電電力を目標電力に制御するためのフィードバック制御（以下「送電電力制御」とも称する。）を実行する。具体的には、電源 ECU 250 は、インバータ 220 の出力電圧のデューティ（duty）を調整することによって、送電電力を目標電力に制御する。なお、出力電圧のデューティとは、出力電圧波形（矩形波）の周期に対する正（又は負）の電圧出力時間の比として定義される。インバータ 220 のスイッチング素子（オン/オフデューティ 0.5）の動作タイミングを変化させることによって、インバータ出力電圧のデューティを調整することができる。目標電力は、たとえば、受電装置 20 の受電状況に基づいて生成され得る。この実施の形態 1 では、受電装置 20 において、受電電力の目標値と検出値との偏差に基づいて送電電力の目標電力が生成され、受電装置 20 から送電装置 10 へ送信される。

30

【0048】

また、電源 ECU 250 は、上記の送電電力制御を実行するとともに、インバータ 220 におけるターンオン電流を目標値に制御するためのフィードバック制御（以下「ターンオン電流制御」とも称する。）を実行する。ターンオン電流とは、インバータ 220 の出力電圧の立上り時におけるインバータ 220 の出力電流の瞬時値である。ターンオン電流が正であると、インバータ 220 の還流ダイオードに逆方向のリカバリー電流が流れ、還流ダイオードにおいて発熱すなわち損失が発生する。そこで、ターンオン電流制御の上記目標値（ターンオン電流目標値）は、インバータ 220 の還流ダイオードにリカバリー電流が生じない範囲に設定され、基本的には 0 以下の所定値とされる（力率が良くなる「0」が理想的であるが、マージンをとって負値に設定してもよく、また、リカバリー電流による損失が問題とならない程度に小さい正值に設定してもよい。）。

40

【0049】

さらに、この実施の形態 1 に従う送電装置 10 においては、送電部 240 と受電装置 20 の受電部 310 との間の電力伝送効率を高めるために、リカバリー電流が生じない範囲において、送電部 240 に流れる電流が低下するようにターンオン電流の目標値が変更される。このターンオン電流制御及び上述の送電電力制御については、後ほど詳しく説明する。

50

【 0 0 5 0 】

通信部 260 は、受電装置 20 の通信部 370 と無線通信するように構成され、受電装置 20 から送信される送電電力の目標値（目標電力）を受信するほか、送電の開始 / 停止や受電装置 20 の受電状況等の情報を受電装置 20 とやり取りする。

【 0 0 5 1 】

一方、受電装置 20 は、受電部 310 と、フィルタ回路 320 と、整流部 330 と、リレー回路 340 と、蓄電装置 350 とを含む。また、受電装置 20 は、充電 ECU 360 と、通信部 370 と、電圧センサ 380 と、電流センサ 382 とをさらに含む。

【 0 0 5 2 】

受電部 310 は、送電装置 10 の送電部 240 から出力される電力（交流）を非接触で受電する。受電部 310 は、たとえば、送電部 240 から非接触で受電するための共振回路を含む。共振回路は、コイルとキャパシタとによって構成され得るが、コイルのみで所望の共振状態が形成される場合には、キャパシタを設けなくてもよい。受電部 310 は、受電した電力をフィルタ回路 320 を通じて整流部 330 へ出力する。

10

【 0 0 5 3 】

フィルタ回路 320 は、受電部 310 と整流部 330 との間に設けられ、受電時に発生する高調波ノイズを抑制する。フィルタ回路 320 は、たとえば、インダクタ及びキャパシタを含む LC フィルタによって構成される。整流部 330 は、受電部 310 によって受電された交流電力を整流して蓄電装置 350 へ出力する。

【 0 0 5 4 】

蓄電装置 350 は、再充電可能な直流電源であり、たとえばリチウムイオン電池やニッケル水素電池などの二次電池によって構成される。蓄電装置 350 は、整流部 330 から出力される電力を蓄える。そして、蓄電装置 350 は、その蓄えられた電力を図示しない負荷駆動装置等へ供給する。なお、蓄電装置 350 として大容量のキャパシタも採用可能である。

20

【 0 0 5 5 】

リレー回路 340 は、整流部 330 と蓄電装置 350 との間に設けられ、送電装置 10 による蓄電装置 350 の充電時にオンされる。なお、特に図示しないが、整流部 330 と蓄電装置 350 との間（たとえば、整流部 330 とリレー回路 340 との間）に、整流部 330 の出力電圧を調整する DC / DC コンバータを設けてもよい。

30

【 0 0 5 6 】

電圧センサ 380 は、整流部 330 の出力電圧（受電電圧）を検出し、その検出値を充電 ECU 360 へ出力する。電流センサ 382 は、整流部 330 からの出力電流（受電電流）を検出し、その検出値を充電 ECU 360 へ出力する。電圧センサ 380 及び電流センサ 382 の検出値に基づいて、受電部 310 による受電電力（すなわち、蓄電装置 350 の充電電力）を検出することができる。なお、電圧センサ 380 及び電流センサ 382 は、受電部 310 と整流部 330 との間（たとえば、フィルタ回路 320 と整流部 330 との間）に設けてもよい。

【 0 0 5 7 】

充電 ECU 360 は、CPU、記憶装置、入出力バッファ等を含み（いずれも図示せず）、各種センサや機器からの信号を受けるとともに、受電装置 20 における各種機器の制御を行なう。各種制御については、ソフトウェアによる処理に限られず、専用のハードウェア（電子回路）で処理することも可能である。

40

【 0 0 5 8 】

充電 ECU 360 により実行される主要な制御として、充電 ECU 360 は、送電装置 10 からの受電中に、受電装置 20 における受電電力が所望の目標値となるように、送電装置 10 における送電電力の目標値（目標電力）を生成する。具体的には、充電 ECU 360 は、受電電力の検出値と目標値との偏差に基づいて、送電装置 10 における送電電力の目標値を生成する。そして、充電 ECU 360 は、生成された送電電力の目標値（目標電力）を通信部 370 によって送電装置 10 へ送信する。

50

【 0 0 5 9 】

通信部 3 7 0 は、送電装置 1 0 の通信部 2 6 0 と無線通信するように構成され、充電 ECU 3 6 0 において生成される送電電力の目標値（目標電力）を送電装置 1 0 へ送信するほか、電力伝送の開始 / 停止に関する情報を送電装置 1 0 とやり取りしたり、受電装置 2 0 の受電状況（受電電圧や受電電流、受電電力等）を送電装置 1 0 へ送信したりする。

【 0 0 6 0 】

図 2 は、図 1 に示した送電部 2 4 0 及び受電部 3 1 0 の回路構成の一例を示した図である。図 2 を参照して、送電部 2 4 0 は、コイル 2 4 2 と、キャパシタ 2 4 4 とを含む。キャパシタ 2 4 4 は、送電電力の力率を補償するために設けられ、コイル 2 4 2 に直列に接続される。受電部 3 1 0 は、コイル 3 1 2 と、キャパシタ 3 1 4 とを含む。キャパシタ 3 1 4 は、受電電力の力率を補償するために設けられ、コイル 3 1 2 に直列に接続される。なお、このような回路構成は、S S 方式（一次直列二次直列方式）とも称される。

10

【 0 0 6 1 】

なお、特に図示しないが、送電部 2 4 0 及び受電部 3 1 0 の構成は、このような S S 方式のものに限定されない。たとえば、受電部 3 1 0 において、コイル 3 1 2 にキャパシタ 3 1 4 が並列接続される S P 方式（一次直列二次並列方式）や、さらに送電部 2 4 0 において、コイル 2 4 2 にキャパシタ 2 4 4 が並列接続される P P 方式（一次並列二次並列方式）等も採用され得る。

【 0 0 6 2 】

再び図 1 を参照して、この電力伝送システムにおいては、インバータ 2 2 0 からフィルタ回路 2 3 0 を通じて送電部 2 4 0 へ送電電力（交流）が供給される。送電部 2 4 0 及び受電部 3 1 0 の各々は、コイルとキャパシタとを含み、伝送周波数において共振するように設計されている。送電部 2 4 0 及び受電部 3 1 0 の共振強度を示す Q 値は、1 0 0 以上であることが好ましい。

20

【 0 0 6 3 】

送電装置 1 0 において、インバータ 2 2 0 から送電部 2 4 0 へ送電電力が供給されると、送電部 2 4 0 のコイルと受電部 3 1 0 のコイルとの間に形成される電磁界を通じて、送電部 2 4 0 から受電部 3 1 0 へエネルギー（電力）が移動する。受電部 3 1 0 へ移動したエネルギー（電力）は、フィルタ回路 3 2 0 及び整流部 3 3 0 を通じて蓄電装置 3 5 0 へ供給される。

30

【 0 0 6 4 】

図 3 は、図 1 に示したインバータ 2 2 0 の回路構成を示した図である。図 3 を参照して、インバータ 2 2 0 は、電圧型インバータであり、電力用半導体スイッチング素子（以下、単に「スイッチング素子」とも称する。）Q 1 ~ Q 4 と、還流ダイオード D 1 ~ D 4 とを含む。直流側の端子 T 1 , T 2 には、P F C 回路 2 1 0（図 1）が接続され、交流側の端子 T 3 , T 4 には、フィルタ回路 2 3 0 が接続される。

【 0 0 6 5 】

スイッチング素子 Q 1 ~ Q 4 は、たとえば、I G B T（Insulated Gate Bipolar Transistor）、バイポーラトランジスタ、M O S F E T（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）、G T O（Gate Turn Off thyristor）等によって構成される。還流ダイオード D 1 ~ D 4 は、それぞれスイッチング素子 Q 1 ~ Q 4 に逆並列に接続される。

40

【 0 0 6 6 】

端子 T 1 , T 2 間には、P F C 回路 2 1 0 から出力される直流電圧 V 1 が印加される。そして、スイッチング素子 Q 1 ~ Q 4 のスイッチング動作に伴って、端子 T 3 , T 4 間に出力電圧 V o 及び出力電流 I o が生じる（図中、矢印で示される方向を正值とする）。この図 3 では、一例として、スイッチング素子 Q 1 , Q 4 が O N であり、スイッチング素子 Q 2 , Q 3 が O F F である状態が示されており、この場合の出力電圧 V o はほぼ電圧 V 1（正值）となる。

【 0 0 6 7 】

50

図4は、インバータ220のスイッチング波形と、出力電圧 V_o 及び出力電流 I_o の波形とを示した図である。図4とともに図3を参照して、時刻 $t_4 \sim t_8$ の1周期を例に説明する。時刻 t_4 において、スイッチング素子 Q_2, Q_4 がそれぞれOFF, ONの状態、スイッチング素子 Q_1 がOFFからONに切替わるとともにスイッチング素子 Q_3 がONからOFFに切替わると(図3に示される状態)、インバータ220の出力電圧 V_o が0から V_1 (正值)に立上がる。

【0068】

時刻 t_5 において、スイッチング素子 Q_1, Q_3 がそれぞれON, OFFの状態、スイッチング素子 Q_2 がOFFからONに切替わるとともにスイッチング素子 Q_4 がONからOFFに切替わると、出力電圧 V_o は0となる。

10

【0069】

時刻 t_6 において、スイッチング素子 Q_2, Q_4 がそれぞれON, OFFの状態、スイッチング素子 Q_1 がONからOFFに切替わるとともにスイッチング素子 Q_3 がOFFからONに切替わると、出力電圧 V_o は $-V_1$ (負値)となる。

【0070】

時刻 t_7 において、スイッチング素子 Q_1, Q_3 がそれぞれOFF, ONの状態、スイッチング素子 Q_2 がONからOFFに切替わるとともにスイッチング素子 Q_4 がOFFからONに切替わると、出力電圧 V_o は再び0となる。

【0071】

そして、時刻 t_4 から1周期後の時刻 t_8 において、スイッチング素子 Q_2, Q_4 がそれぞれOFF, ONの状態、スイッチング素子 Q_1 がOFFからONに切替わるとともにスイッチング素子 Q_3 がONからOFFに切替わると、出力電圧 V_o が0から V_1 (正值)に立上がる(時刻 t_4 と同じ状態)。

20

【0072】

この図4では、出力電圧 V_o のデューティが0.25である場合が示されている。そして、スイッチング素子 Q_1, Q_3 のスイッチングタイミングと、スイッチング素子 Q_2, Q_4 のスイッチングタイミングとを変化させることによって、出力電圧 V_o のデューティを変化させることができる。たとえば、図4に示されるケースに対して、スイッチング素子 Q_2, Q_4 のスイッチングタイミングを早めると、出力電圧 V_o のデューティを0.25よりも小さくすることができ(最小値は0)、スイッチング素子 Q_2, Q_4 のスイッチングタイミングを遅めると、出力電圧 V_o のデューティを0.25よりも大きくすることができる(最大値は0.5)。

30

【0073】

この出力電圧 V_o のデューティを調整することによって、送電電力を変化させることができる。定性的には、デューティを大きくすることによって送電電力を増加させることができ、デューティを小さくすることによって送電電力を減少させることができる。そこで、この実施の形態1では、電源ECU250は、出力電圧 V_o のデューティを調整することによって、送電電力を目標電力に制御する送電電力制御を実行する。

【0074】

また、出力電圧 V_o の立上り時(時刻 t_4 や時刻 t_8)における出力電流 I_o の瞬時値 I_t は、上述のターンオン電流に相当する。このターンオン電流 I_t の値は、PFC回路210からインバータ220に与えられる電圧 V_1 やインバータ220の駆動周波数(スイッチング周波数)によって変化し、ここでは正のターンオン電流 I_t が流れる場合が示されている。

40

【0075】

正のターンオン電流 I_t が流れると、スイッチング素子 Q_3 に逆並列に接続される還流ダイオード D_3 (図3)に逆方向の電流すなわちリカバリ電流が流れる。還流ダイオード D_3 にリカバリ電流が流れると、還流ダイオード D_3 の発熱が大きくなり、インバータ220の損失が大きくなる。ターンオン電流 I_t が0以下であれば、還流ダイオード D_3 にリカバリ電流は流れず、インバータ220の損失は抑制される。

50

【 0 0 7 6 】

インバータ 2 2 0 の駆動周波数（スイッチング周波数）が変化するとターンオン電流 I_t が変化するので、インバータ 2 2 0 の駆動周波数（スイッチング周波数）を調整することによって、ターンオン電流 I_t を制御し得る。そこで、この実施の形態 1 では、電源 ECU 2 5 0 は、インバータ 2 2 0 の駆動周波数（スイッチング周波数）を調整することによって、ターンオン電流 I_t を目標値に制御するターンオン電流制御を実行する。そして、ターンオン電流 I_t の目標値は、インバータ 2 2 0 においてリカバリー電流が生じないように、基本的に 0 以下の値とされる。

【 0 0 7 7 】

図 5 は、電源 ECU 2 5 0 により実行される送電電力制御及びターンオン電流制御の制御ブロック図である。図 5 を参照して、電源 ECU 2 5 0 は、減算部 4 1 0、4 3 0 と、コントローラ 4 2 0、4 4 0 とを含む。減算部 4 1 0、コントローラ 4 2 0 及び制御対象のインバータ 2 2 0 によって構成されるフィードバックループが、送電電力制御を構成する。一方、減算部 4 3 0、コントローラ 4 4 0 及びインバータ 2 2 0 によって構成されるフィードバックループが、ターンオン電流制御を構成する。

10

【 0 0 7 8 】

減算部 4 1 0 は、送電電力の目標値を示す目標電力 P_{sr} から送電電力 P_s の検出値を減算し、その演算値をコントローラ 4 2 0 へ出力する。なお、送電電力 P_s の検出値は、たとえば、図 1 に示した電圧センサ 2 7 0 及び電流センサ 2 7 2 の検出値に基づいて算出することができる。

20

【 0 0 7 9 】

コントローラ 4 2 0 は、目標電力 P_{sr} と送電電力 P_s との偏差に基づいて、インバータ 2 2 0 の出力電圧 V_o のデューティ指令値を生成する。コントローラ 4 2 0 は、たとえば、目標電力 P_{sr} と送電電力 P_s との偏差を入力とする P I 制御（比例積分制御）等を実行することによって操作量を算出し、その算出された操作量をデューティ指令値とする。これにより、送電電力 P_s が目標電力 P_{sr} に近づくように出力電圧 V_o のデューティが調整され、送電電力 P_s が目標電力 P_{sr} に制御される。

【 0 0 8 0 】

一方、減算部 4 3 0 は、ターンオン電流の目標値 I_{tr} からターンオン電流 I_t の検出値を減算し、その演算値をコントローラ 4 4 0 へ出力する。なお、ターンオン電流の目標値 I_{tr} は、上述のように基本的に 0 以下の値とされる。また、ターンオン電流 I_t の検出値は、電圧センサ 2 7 0（図 1）により出力電圧 V_o の立上りが検知されたときの電流センサ 2 7 2（図 1）の検出値（瞬時値）である。

30

【 0 0 8 1 】

コントローラ 4 4 0 は、ターンオン電流の目標値 I_{tr} とターンオン電流 I_t との偏差に基づいて、インバータ 2 2 0 の駆動周波数（スイッチング周波数）指令値を生成する。コントローラ 4 4 0 は、たとえば、ターンオン電流の目標値 I_{tr} とターンオン電流 I_t との偏差を入力とする P I 制御等を実行することによって操作量を算出し、その算出された操作量を上記の周波数指令値とする。これにより、ターンオン電流 I_t が目標値 I_{tr} に近づくようにインバータ 2 2 0 の駆動周波数が調整され、ターンオン電流 I_t が目標値 I_{tr} に制御される。

40

【 0 0 8 2 】

インバータ 2 2 0 の出力電圧 V_o のデューティを調整する送電電力制御と、インバータ 2 2 0 の駆動周波数を調整するターンオン電流制御とは互いに干渉し、送電電力制御によって調整されるデューティによっては、ターンオン電流制御によってターンオン電流 I_t を目標値 I_{tr} に制御できない場合もあり得る。

【 0 0 8 3 】

図 6 は、送電電力 P_s 及びターンオン電流 I_t の等高線の一例を示した図である。図 6 を参照して、横軸はインバータ 2 2 0 の駆動周波数（スイッチング周波数）を示し、縦軸はインバータ 2 2 0 の出力電圧 V_o のデューティを示す。

50

【 0 0 8 4 】

点線で示される線 $PL1$, $PL2$ の各々は、送電電力 P_s の等高線を示す。線 $PL1$ によって示される送電電力は、線 $PL2$ によって示される送電電力よりも大きい。図から分かるように、ある送電電力を実現するデューティは、周波数依存性を示す。また、一点鎖線で示される線 $IL1$ は、ターンオン電流の等高線を示す。図示される線 $IL1$ は、ターンオン電流が 0 以下の所定値となる等高線であり（ここでは、一例としてターンオン電流が 0 となる等高線が示されている。）、デューティが増大し、かつ、周波数が低下するにつれて、ターンオン電流は小さくなる（負方向へ増大）。

【 0 0 8 5 】

斜線で示される領域 S は、インバータ 220 においてリカバリー電流が生じる領域である。すなわち、領域 S に含まれるインバータ 220 の動作点では、ターンオン電流が 0 よりも大きくなり、インバータ 220 においてリカバリー電流が生じる。以下では、この領域 S を「禁止帯 S 」とも称する。なお、この実施の形態 1 では、禁止帯 S の境界は、ターンオン電流が 0 のラインではなく、小さい正值のターンオン電流は許容するものとしている。

10

【 0 0 8 6 】

動作点 P_0 は、インバータ 220 の起動処理の実行時における、インバータ 220 の動作点の初期目標値である。すなわち、線 $PL1$, $IL1$ がそれぞれ目標電力 P_{sr} 及びターンオン電流目標値 I_{tr} を示すものとして、インバータ 220 は、その起動処理において、線 $PL1$, $IL1$ の交点である動作点 P_0 に制御される。なお、禁止帯 S は、図示されるように、デューティが小さいときに拡大する傾向にある。そこで、この実施の形態 1 では、インバータ 220 の起動時（デューティが 0 から増大する送電電力立上げ時）に、動作点が禁止帯 S を速やかに通過するように、デューティを調整する送電電力制御のゲインを大きくするなどして、太線で示されるように動作点を推移させている。

20

【 0 0 8 7 】

上記の動作点 P_0 は、インバータ 220 においてリカバリー電流が生じない範囲で目標電力 P_{sr} を実現する動作点ではあるけれども、動作点 P_0 は、送電部 240（送電装置 10）との受電部 310（受電装置 20）との間の電力伝送効率の観点では、必ずしも適切な動作点であるとは限らない。すなわち、インバータ 220 が動作点 P_0 で動作するようにインバータ 220 の駆動周波数を調整する（変化させる）と、送電部 240 から受電部 310 へ伝送される電力の周波数が変化し、その結果、送電部 240 と受電部 310 との間の電力伝送効率が低下する可能性がある。

30

【 0 0 8 8 】

そこで、この実施の形態 1 に従う送電装置 10 では、送電電力制御により送電電力 P_s を目標電力 P_{sr} に制御しつつインバータ 220 においてリカバリー電流が生じない範囲で、送電部 240 と受電部 310 との間の電力伝送効率を向上可能な動作点の探索が行なわれる。以下、この動作点の探索について説明する。

【 0 0 8 9 】

図 7 は、送電部 240 から受電部 310 への電力伝送効率を説明するための等価回路図である。図 7 を参照して、送電部 240 において、コイル 242 のインダクタンスは L_1 であり、キャパシタ 244 のキャパシタンスは C_1 であるものとする。抵抗成分 246 は、コイル 242 の巻線抵抗を示し、その抵抗値は r_1 であるものとする。なお、この等価回路図では、送電装置 10 のフィルタ回路 230（図 1）は省略されている。

40

【 0 0 9 0 】

一方、受電部 310 において、コイル 312 のインダクタンスは L_2 であり、キャパシタ 314 のキャパシタンスは C_2 であるものとする。抵抗成分 316 は、コイル 312 の巻線抵抗を示し、その抵抗値は r_2 であるものとする。負荷 390 は、受電装置 20 において、フィルタ回路 320（図 1）以降の回路を統括的に示したものであり、その抵抗値を R とする。

【 0 0 9 1 】

50

コイル 2 4 2 , 3 1 2 間の電力伝送効率 は、これらの回路定数を用いて次式のように表すことができる。

【 0 0 9 2 】

$$= R / \{ R + r_2 + r_1 (| I_1 / I_2 |^2) \} \dots (1)$$

ここで、 I_1 は送電部 2 4 0 に流れる電流を示し、 I_2 は受電部 3 1 0 に流れる電流を示す。受電電力が一定であれば電流 I_2 はほぼ一定となるので、電力伝送効率 は、電流 I_1 の 2 乗に反比例することが式 (1) から分かる。

【 0 0 9 3 】

そこで、この実施の形態 1 に従う送電装置 1 0 においては、送電電力制御により送電電力 P_s を目標電力 P_{sr} に制御しつつインバータ 2 2 0 においてリカバリー電流が生じない範囲で、送電部 2 4 0 に流れる電流 I_1 が低下するようにインバータ 2 2 0 の動作点を探索することとしたものである。具体的には、送電電力制御のゲインを高めるなどして送電電力 P_s の目標電力 P_{sr} への追従性を高めつつ、リカバリー電流が生じない範囲において電流 I_1 が低下するようにターンオン電流の目標値 I_{tr} (負値) が変更される (すなわちインバータ 2 2 0 の駆動周波数が調整される。) 。これにより、送電電力 P_s を目標電力 P_{sr} に制御しつつインバータ 2 2 0 においてリカバリー電流が生じない範囲で、送電部 2 4 0 と受電部 3 1 0 との間の電力伝送効率 を高めることができる。

【 0 0 9 4 】

好ましくは、送電電力 P_s を目標電力 P_{sr} に制御しつつリカバリー電流が生じない範囲において、電流 I_1 が最小となるようにインバータ 2 2 0 の動作点が探索される。具体的には、リカバリー電流が生じない範囲において電流 I_1 が最小となるようにターンオン電流の目標値 I_{tr} (負値) が変更される。これにより、送電電力 P_s を目標電力 P_{sr} に制御しつつインバータ 2 2 0 においてリカバリー電流が生じない範囲で、電力伝送効率 を最大限高めることができる。なお、ここで「最小」とは、禁止帯 S (図 6) を超えない範囲での電流 I_1 の最小を意味する。

【 0 0 9 5 】

図 8 は、図 1 に示した電源 ECU 2 5 0 により実行されるインバータ 2 2 0 の動作点探索処理を説明するためのフローチャートである。なお、このフローチャートに示される処理は、所定時間毎又は所定条件の成立時にメインルーチンから呼び出されて実行される。

【 0 0 9 6 】

図 8 を参照して、電源 ECU 2 5 0 は、送電装置 1 0 から受電装置 2 0 への送電の開始指示があったか否かを判定する (ステップ S 1 0) 。この送電開始指示は、送電装置 1 0 又は受電装置 2 0 において利用者による指示に基づくものであってもよいし、タイマー等による充電開始時刻の到来に伴ない発生させてもよい。送電開始指示が無いときは (ステップ S 1 0 において NO) 、電源 ECU 2 5 0 は、以降の一連の処理を実行することなくステップ S 1 0 0 へ処理を移行する。

【 0 0 9 7 】

ステップ S 1 0 において送電開始指示があったものと判定されると (ステップ S 1 0 において YES) 、電源 ECU 2 5 0 は、送電電力 P_s の目標電力 P_{sr} 及びターンオン電流 I_t の目標値 I_{tr} (初期値) を設定する (ステップ S 2 0) 。なお、目標電力 P_{sr} は、上述のように受電装置 2 0 の受電状況に基づいて生成されるところ、送電が開始されていないこの時点では、予め定められた初期値に設定される。ターンオン電流目標値 I_{tr} の初期値には、たとえば 0 が設定される。

【 0 0 9 8 】

目標電力 P_{sr} 及びターンオン電流目標値 I_{tr} (初期値) が設定されると、電源 ECU 2 5 0 は、送電電力制御及びターンオン電流制御を実行する (ステップ S 3 0) 。なお、送電電力制御の実行に伴ない送電装置 1 0 から受電装置 2 0 への送電が開始されると、受電装置 2 0 の受電状況に応じて目標電力 P_{sr} が修正され、受電装置 2 0 において受電電力が目標値に近づくと、目標電力 P_{sr} も安定する。このときの目標電力 P_{sr} 及びターンオン電流目標値 I_{tr} (初期値) が、図 6 に示した動作点 P 0 に相当する。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 9 】

送電電力制御及びターンオン電流制御が開始されると、電源 ECU 250 は、インバータ 220 の動作点が初期動作点（図 6 の動作点 P0）に達したか否かを判定する（ステップ S40）。そして、インバータ 220 の動作点が初期動作点に達したと判定されると（ステップ S40 において YES）、電源 ECU 250 は、送電電力制御（デューティ調整）のゲインをそれまでのデフォルト値（通常値）よりも大きくする（ステップ S50）。これにより、送電電力制御の目標値追従性が高められ、以下のステップ S60～S80 において実行される動作点探索処理において、送電電力 P_s を目標電力 P_{sr} に制御しつつ動作点探索を行なうことができる。

【 0 1 0 0 】

次いで、電源 ECU 250 は、送電部 240 に流れる電流 I_1 の検出値を電流センサ 274（図 1）から取得する（ステップ S60）。そして、電源 ECU 250 は、送電電力 P_s を目標電力 P_{sr} に制御しつつ、インバータ 220 においてリカバリー電流が生じない範囲で、送電部 240 に流れる電流 I_1 の大きさが低下する方向にインバータ 220 の動作点を変更する（ステップ S70）。具体的には、ステップ S50 において送電電力制御のゲインを大きくすることにより送電電力の目標値追従性を高めたいうで、電源 ECU 250 は、インバータ 220 においてリカバリー電流が生じない範囲で、送電部 240 に流れる電流 I_1 の大きさが低下するようにターンオン電流制御の目標値 I_{tr} を変更する。

【 0 1 0 1 】

続いて、電源 ECU 250 は、インバータ 220 の動作点の探索が完了したか否かを判定する（ステップ S80）。この探索完了は、種々の観点で判定し得る。たとえば、電流 I_1 の最小値が見出されたり、電流 I_1 の低下率が所定値よりも小さくなったり、ターンオン電流目標値 I_{tr} が所定の下限值に到達した場合等に、動作点の探索が完了したものと判定し得る。

【 0 1 0 2 】

ステップ S80 において動作点の探索はまだ完了していないと判定されると（ステップ S80 において NO）、電源 ECU 250 は、ステップ S60 へ処理を戻す。そして、ステップ S80 において動作点の探索が完了したものと判定されると（ステップ S80 において YES）、電源 ECU 250 は、ステップ S50 において変更した送電電力制御のゲインをデフォルト値（通常値）に復帰する（ステップ S90）。

【 0 1 0 3 】

以上のように、この実施の形態 1 においては、送電電力制御により送電電力 P_s を目標電力 P_{sr} に制御しつつ、インバータ 220 においてリカバリー電流が生じない範囲で、送電部 240 に流れる電流 I_1 が低下するようにターンオン電流制御の目標値 I_{tr} が変更される。これにより、リカバリー電流が生じない範囲で送電部 240 と受電部 310 との間の電力伝送効率を高めることができる。

【 0 1 0 4 】

また、上記において、送電部 240 に流れる電流 I_1 が最小となるようにターンオン電流制御の目標値 I_{tr} を変更することで、リカバリー電流が生じない範囲で送電部 240 と受電部 310 との間の電力伝送効率を最大限高めることができる。

【 0 1 0 5 】

[実施の形態 2]

上述のように、インバータ 220 のターンオン電流は、インバータ 220 においてリカバリー電流が生じない範囲に制御され、基本的には 0 以下の所定値に制御される。ここで、送電電力が一定の下では、ターンオン電流が上記の所定値（たとえば 0）となるインバータ 220 の動作点（駆動周波数）は、実際には 2 点存在する（詳しくは後述）。この実施の形態 2 では、この 2 つの動作点のうち、送電部 240 に流れる電流 I_1 が小さくなる方の動作点を、インバータ 220 の起動処理実行時における初期動作点（駆動周波数の初期調整点）とする。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 6 】

図 9 は、送電電力が一定の下での、ターンオン電流とインバータ 2 2 0 の駆動周波数との関係を示した図である。図 9 を参照して、横軸はインバータ 2 2 0 の駆動周波数を示し、縦軸はターンオン電流を示す。線 k 1 は、送電電力を一定とした場合に、インバータ 2 2 0 の駆動周波数を変化させたときのターンオン電流を示す。一例として、ターンオン電流が 0 (リカバリー電流が生じない値) に制御される場合、ターンオン電流を 0 にするインバータ 2 2 0 の駆動周波数には、 f_a と f_b の 2 点が存在する。

【 0 1 0 7 】

図 1 0 は、送電電力が一定の下での、送電部 2 4 0 に流れる電流 I_1 とインバータ 2 2 0 の駆動周波数との関係を示した図である。図 1 0 を参照して、横軸はインバータ 2 2 0 の駆動周波数を示し、縦軸は送電部 2 4 0 に流れる電流 I_1 の大きさを示す。線 k 2 は、図 9 と同条件下でインバータ 2 2 0 の駆動周波数を変化させたときの電流 I_1 の大きさ (たとえば電流 I_1 の実効値) を示す。図 9 で説明したように、周波数 f_a , f_b は、ある一定の送電電力の下でターンオン電流が 0 となる周波数であるが、周波数が f_a のときの電流 I_1 の大きさと、周波数が f_b のときの電流 I_1 の大きさは異なる。この図 1 0 で示される例では、インバータ 2 2 0 の駆動周波数が f_a のときの電流 I_1 の大きさ (I_a) は、駆動周波数が f_b のときの電流 I_1 の大きさ (I_b) よりも小さい。

【 0 1 0 8 】

そこで、この実施の形態 2 に従う送電装置 1 0 では、ターンオン電流がしきい値 (禁止帯 S の境界) 以下の所定値 (たとえば 0) となる周波数が 2 点存在する場合に、インバータ 2 2 0 の起動処理の実行時に、上記 2 つの周波数のうち電流 I_1 の大きさが小さくなる方の周波数 (上記の例では周波数 f_a) を、ターンオン電流制御における駆動周波数の初期調整値とすることとしたものである。

【 0 1 0 9 】

なお、ターンオン電流制御は、図 5 で説明したように、ターンオン電流目標値 I_{tr} とターンオン電流 I_t との偏差に基づいてインバータ 2 2 0 の駆動周波数指令値を生成するものとしている。そこで、たとえば、インバータ 2 2 0 の起動処理の実行時は、ターンオン電流制御による駆動周波数指令値を上記の周波数 f_a とすることによって、インバータ 2 2 0 の駆動周波数を初期調整値 f_a に調整することができる。

【 0 1 1 0 】

図 1 1 は、送電電力 P_s 及びターンオン電流 I_t の等高線の一例を示した図である。図 1 1 を参照して、この図 1 1 は、実施の形態 1 において説明した図 6 に対応するものである。図 6 においても説明した線 IL_1 は、ターンオン電流が 0 となる等高線であるが、それと同値のターンオン電流の等高線は、実際には、線 IL_2 で示されるように、禁止帯 S を挟んだ反対側の領域にもう 1 本存在する (図 6 では図示及び説明を省略)。

【 0 1 1 1 】

そして、送電電力 P_s の等高線を示す線 PL_1 と線 IL_1 との交点によって規定される動作点 P_a が、図 9 , 1 0 で説明した周波数 f_a の動作点に相当し、線 PL_1 と線 IL_2 との交点によって規定される動作点 P_b が、図 9 , 1 0 で説明した周波数 f_b の動作点に相当する。

【 0 1 1 2 】

送電電力 P_s を実現しつつターンオン電流を所定の目標値 (たとえば 0) に制御するのであれば、インバータ 2 2 0 の動作点の初期目標値として動作点 P_a , P_b のいずれも選択し得るところ、この実施の形態 2 では、動作点 P_a , P_b のうち送電部 2 4 0 に流れる電流 I_1 の大きさが小さくなる方の動作点 P_a (駆動周波数 f_a) がインバータ 2 2 0 の動作点の初期目標値として選択される。すなわち、この実施の形態 2 では、インバータ 2 2 0 の起動処理の実行時に、インバータ 2 2 0 の駆動周波数 f_a , f_b のうち電流 I_1 の大きさが小さくなる方の周波数 f_a がインバータ 2 2 0 の駆動周波数の初期調整値とされる。そして、その動作点 P_a (周波数 f_a) を起点として、送電部 2 4 0 に流れる電流 I_1 の大きさが低下するようにターンオン電流制御の目標値 I_{tr} が変更される。

10

20

30

40

50

【 0 1 1 3 】

図 1 2 は、実施の形態 2 における電源 E C U 2 5 0 により実行されるインバータ 2 2 0 の動作点探索処理を説明するためのフローチャートである。なお、このフローチャートに示される処理も、所定時間毎又は所定条件の成立時にメインルーチンから呼び出されて実行される。

【 0 1 1 4 】

図 1 2 を参照して、このフローチャートは、図 8 に示した実施の形態 1 におけるフローチャートにおいて、ステップ S 2 2 をさらに含む。すなわち、ステップ S 2 0 において目標電力 P_{sr} 及びターンオン電流目標値 I_{tr} (初期値) が設定されると、電源 E C U 2 5 0 は、ターンオン電流目標値 I_{tr} (初期値) を実現する 2 つの駆動周波数 (たとえば図 9 , 1 0 の周波数 f_a , f_b) のうち、送電部 2 4 0 に流れる電流 I_1 の大きさが小さくなる方の周波数 (たとえば図 9 , 1 0 の周波数 f_a) を選択する。そして、電源 E C U 2 5 0 は、その選択された周波数を、ターンオン電流制御による周波数の初期調整値とする (ステップ S 2 2) 。

10

【 0 1 1 5 】

その後、ステップ S 3 0 において送電電力制御及びターンオン電流制御が実行され、初期動作点の探索が行なわれる。具体的には、目標電力 P_{sr} 及びターンオン電流目標値 I_{tr} (初期値) を実現する 2 つの駆動周波数 (f_a , f_b) のうち電流 I_1 の大きさが小さくなる方の周波数 (f_a) であって、送電電力 P_s が目標電力 P_{sr} となる動作点 (図 1 1 の動作点 P_a) に向けて、送電電力制御及びターンオン電流制御が実行される。

20

【 0 1 1 6 】

なお、ステップ S 3 0 以降の各処理については、図 8 で説明したとおりである。

以上のように、この実施の形態 2 においては、インバータ 2 2 0 の起動処理の実行時に、目標電力 P_{sr} 及びターンオン電流目標値 I_{tr} (初期値) を実現する 2 つの駆動周波数のうち送電部 2 4 0 に流れる電流 I_1 の大きさが小さくなる方の周波数にインバータ 2 2 0 の駆動周波数が調整される。そして、インバータ 2 2 0 においてリカバリー電流が生じない範囲で、電流 I_1 の大きさが低下するようにターンオン電流の目標値 I_{tr} が変更される。これにより、インバータ 2 2 0 の起動後に、送電部 2 4 0 に流れる電流 I_1 を速やかに低下させることができる。したがって、この実施の形態 2 によれば、インバータ 2 2 0 の起動後、リカバリー電流が生じない範囲で電力伝送効率を速やかに高めることができる。

30

【 0 1 1 7 】

[変形例]

上記の各実施の形態 1 , 2 では、送電電力を目標電力に制御しつつ、インバータ 2 2 0 においてリカバリー電流が生じない範囲で、送電部 2 4 0 に流れる電流 I_1 の大きさが低下するように動作点を変更 (ターンオン電流目標値を変更) するものとしたが、電流 I_1 に代えてインバータ 2 2 0 の出力電流 I_o を用いてもよい。すなわち、送電電力を目標電力に制御しつつリカバリー電流が生じない範囲において、インバータ 2 2 0 の出力電流 I_o の大きさが低下するように動作点を変更 (ターンオン電流目標値を変更) するようにしてもよい。

40

【 0 1 1 8 】

図 1 3 は、実施の形態 1 の変形例における電源 E C U 2 5 0 により実行されるインバータ 2 2 0 の動作点探索処理を説明するためのフローチャートである。なお、このフローチャートに示される処理も、所定時間毎又は所定条件の成立時にメインルーチンから呼び出されて実行される。

【 0 1 1 9 】

図 1 3 を参照して、このフローチャートは、図 8 に示したフローチャートにおいて、ステップ S 6 0 , S 7 0 に代えてステップ S 6 5 , S 7 5 を含む。すなわち、ステップ S 5 0 において送電電力制御 (デューティ調整) のゲインが大きくなると、電源 E C U 2 5 0 は、インバータ 2 2 0 の出力電流 I_o の検出値を電流センサ 2 7 2 (図 1) から取得す

50

る（ステップS65）。

【0120】

そして、電源ECU250は、送電電力 P_s を目標電力 P_{sr} に制御しつつ、インバータ220においてリカバリー電流が生じない範囲で、出力電流 I_o の大きさが低下する方向にインバータ220の動作点を変更する（ステップS75）。具体的には、ステップS50において送電電力制御のゲインを大きくすることにより送電電力の目標値追従性を高めたうえで、電源ECU250は、インバータ220においてリカバリー電流が生じない範囲で、インバータ220の出力電流 I_o の大きさが低下するようにターンオン電流制御の目標値 I_{tr} を変更する。

【0121】

その後、ステップS80へ処理が移行され、インバータ220の動作点の探索が完了したか否かが判定される。なお、ステップS80以降の各処理については、図8で説明したとおりである。

【0122】

図14は、実施の形態2の変形例における電源ECU250により実行されるインバータ220の動作点探索処理を説明するためのフローチャートである。なお、このフローチャートに示される処理も、所定時間毎又は所定条件の成立時にメインルーチンから呼び出されて実行される。

【0123】

図14を参照して、このフローチャートは、図12に示したフローチャートにおいて、ステップS22、S60、S70に代えてステップS24、S65、S75を含む。すなわち、ステップS20において目標電力 P_{sr} 及びターンオン電流目標値 I_{tr} （初期値）が設定されると、電源ECU250は、ターンオン電流目標値 I_{tr} （初期値）を実現する2つの駆動周波数のうち、インバータ220の出力電流 I_o の大きさが小さくなる方の周波数を選択する。そして、電源ECU250は、その選択された周波数を、ターンオン電流制御による周波数の初期調整値とする（ステップS24）。

【0124】

その後、ステップS30において送電電力制御及びターンオン電流制御が実行され、初期動作点の探索が行なわれる。

【0125】

また、ステップS50において送電電力制御（デューティ調整）のゲインが大きくなると、ステップS65において、インバータ220の出力電流 I_o が検出される。そして、ステップS75において、送電電力 P_s を目標電力 P_{sr} に制御しつつ、インバータ220においてリカバリー電流が生じない範囲で、出力電流 I_o の大きさが低下する方向にインバータ220の動作点が変更される。なお、ステップS30以降の各処理については、図13で説明したとおりである。

【0126】

以上のように、実施の形態1の変形例によっても、実施の形態1と同様の作用効果が得られる。また、実施の形態2の変形例によっても、実施の形態2と同様の作用効果が得られる。

【0127】

なお、上記において、電源ECU250は、この発明における「制御部」の一実施例に対応する。また、送電電力制御は、この発明における「第1の制御」に対応し、ターンオン電流制御は、この発明における「第2の制御」に対応する。

【0128】

今回開示された各実施の形態は、適宜組合わせて実施することも予定されている。そして、今回開示された実施の形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施の形態の説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味及び範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

10

20

30

40

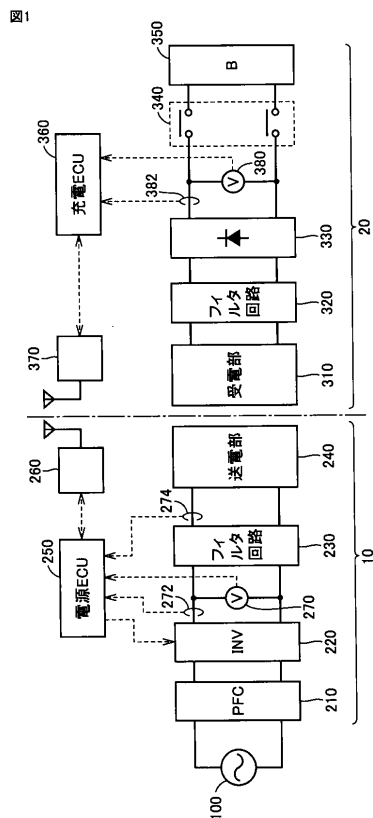
50

【符号の説明】

【0129】

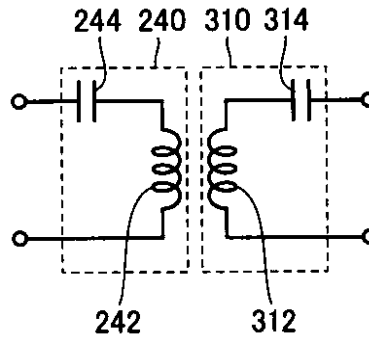
10 送電装置、20 受電装置、100 交流電源、210 PFC回路、220 インバータ、230、320 フィルタ回路、240 送電部、242、312 コイル、244、314 キャパシタ、246、316、390 抵抗、250 電源ECU、260、370 通信部、270、380 電圧センサ、272、274、382 電流センサ、310 受電部、330 整流部、340 リレー回路、350 蓄電装置、360 充電ECU、410、430 減算部、420、440 コントローラ、Q1~Q4 スwitching素子、D1~D4 還流ダイオード、T1~T4 端子。

【図1】



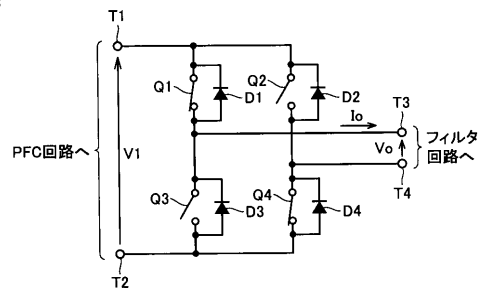
【図2】

図2

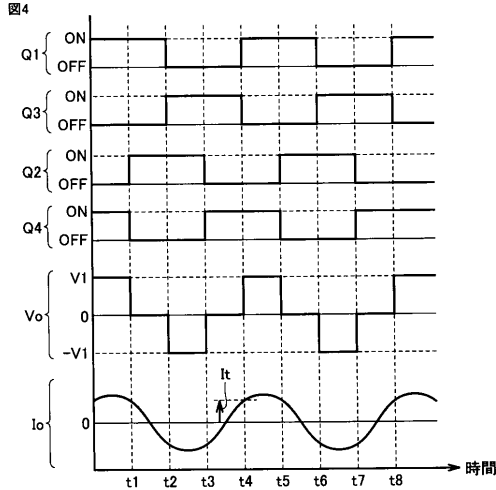


【図3】

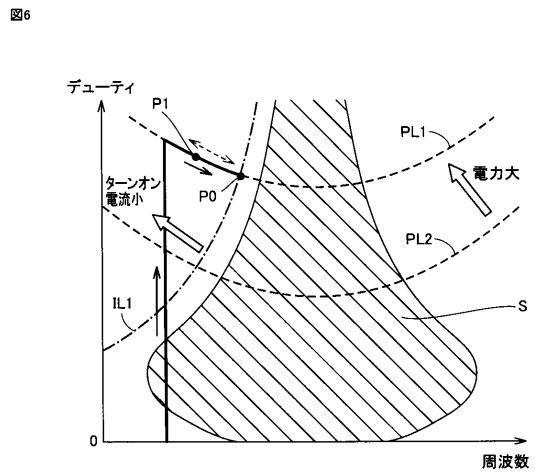
図3



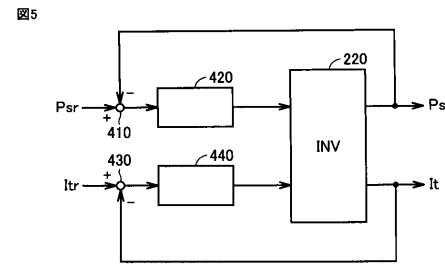
【図4】



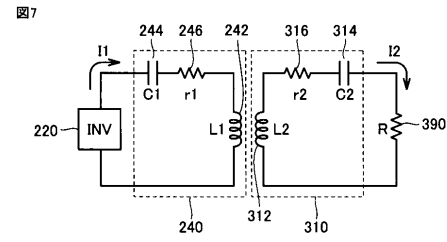
【図6】



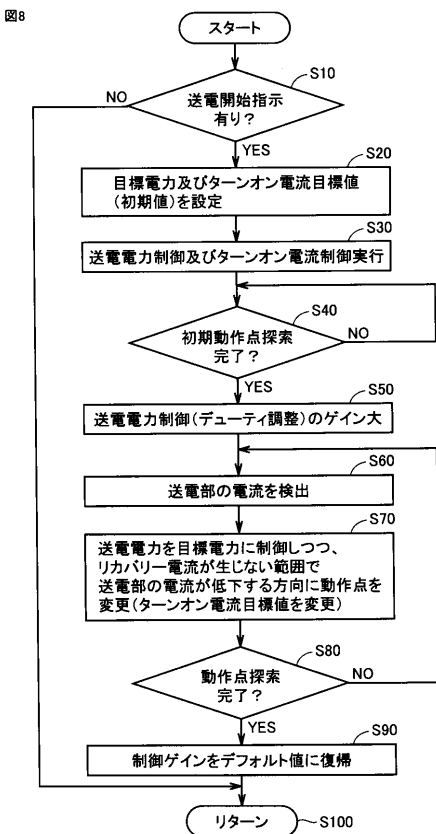
【図5】



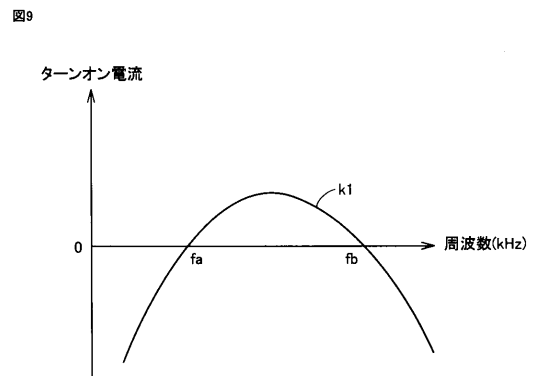
【図7】



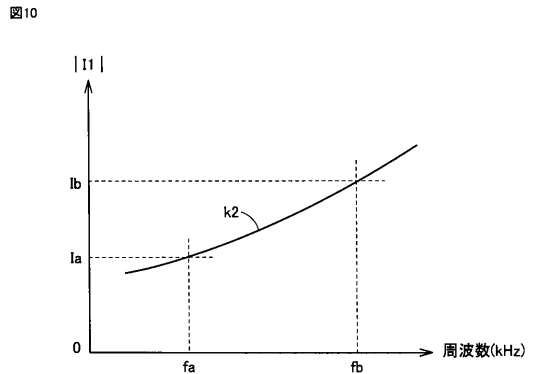
【図8】



【図9】

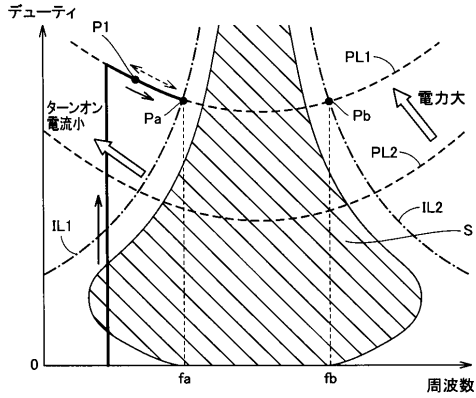


【図10】



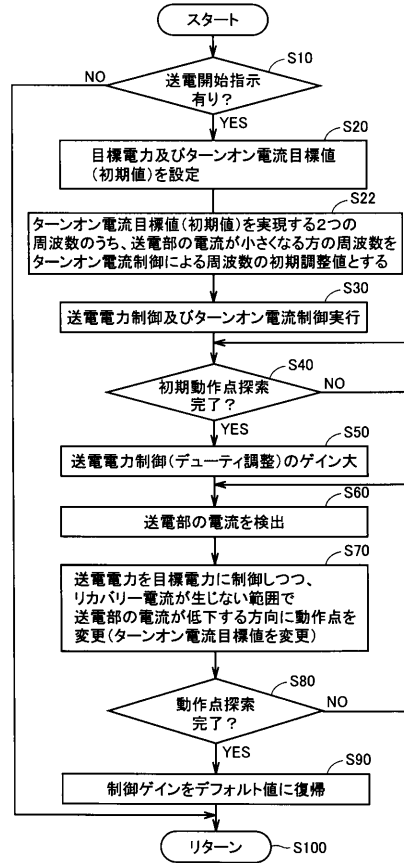
【図11】

図11



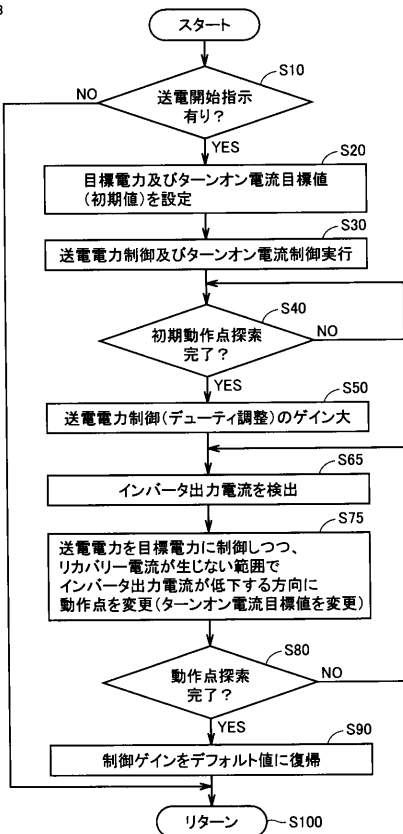
【図12】

図12



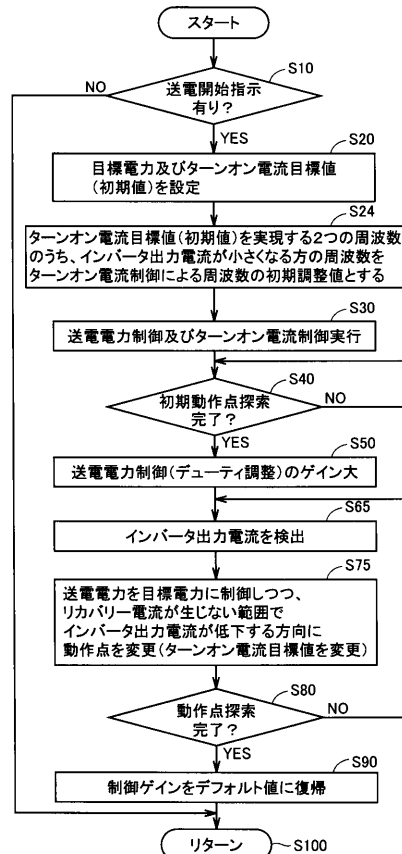
【図13】

図13



【図14】

図14



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2014-132828(JP,A)
特開2002-299028(JP,A)
特開平10-174206(JP,A)
特開平01-318560(JP,A)
米国特許第04471196(US,A)
国際公開第2015/015771(WO,A1)
国際公開第2012/073379(WO,A1)
特開2015-223042(JP,A)
特開2015-216739(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02J50/00-50/90

H02M7/42-7/98