

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-5865

(P2017-5865A)

(43) 公開日 平成29年1月5日(2017.1.5)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H02J 50/00 (2016.01)	H02J 17/00 B	5H125
B60M 7/00 (2006.01)	H02J 17/00 Z	5H770
B60L 11/18 (2006.01)	B60M 7/00 X	
H02M 7/48 (2007.01)	B60L 11/18 C	
	H02M 7/48 R	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2015-117277 (P2015-117277)
 (22) 出願日 平成27年6月10日 (2015.6.10)

(71) 出願人 000003207
 トヨタ自動車株式会社
 愛知県豊田市トヨタ町1番地
 (74) 代理人 110001195
 特許業務法人深見特許事務所
 (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
 (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
 Fターム(参考) 5H125 AA01 AC12 AC27 BE02

最終頁に続く

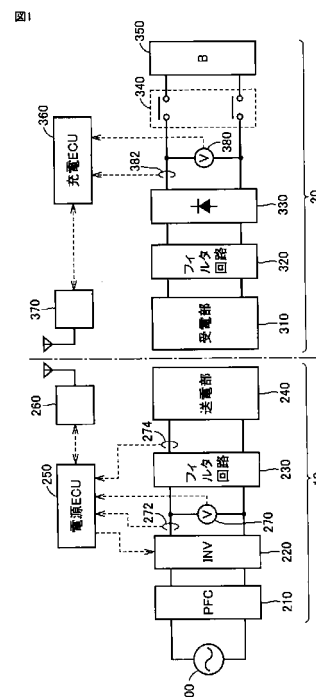
(54) 【発明の名称】 非接触送電装置及び電力伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 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。

【解決手段】 電源ECU250は、インバータ220の出力電圧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と、インバータ220の駆動周波数を調整することによってターンオン電流を目標値に制御するターンオン電流制御とを実行する。ターンオン電流の目標値は、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る。電源ECU250は、送電電力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240に流れる電流の大きさが低下するようにターンオン電流の目標値を変更する。

【選択図】 図1



【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目標値に制御する第 2 の制御とを実行し、
前記目標値は、前記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、
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、前記リカバリー電流が生じない範囲において、前記送電部に流れる電流が低下するように前記目標値を変更する、非接触送電装置。

10

【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、前記リカバリー電流が生じない範囲において、前記送電部に流れる電流が最小となるように前記目標値を変更する、請求項 1 に記載の非接触送電装置。

20

【請求項 3】

前記送電電力が一定の下で、前記ターンオン電流がしきい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、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】

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目標値に制御する第 2 の制御とを実行し、
前記目標値は、前記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、
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、前記リカバリー電流が生じない範囲において、前記インバータの出力電流が低下するように前記目標値を変更する、非接触送電装置。

30

【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、前記リカバリー電流が生じない範囲において、前記出力電流が最小となるように前記目標値を変更する、請求項 4 に記載の非接触送電装置。

40

【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しきい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出力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 に記載の非接触送電装置。

【請求項 7】

50

前記目標値は、0以下の所定値に設定される、請求項1から請求項6のいずれか1項に記載の非接触送電装置。

【請求項8】

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目標値に制御する第2の制御とを実行し、

前記目標値は、前記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、

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、前記リカバリー電流が生じない範囲において、前記送電部に流れる電流が低下するように前記目標値を変更する、電力伝送システム。

【請求項9】

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、前記リカバリー電流が生じない範囲において、前記送電部に流れる電流が最小となるように前記目標値を変更する、請求項8に記載の電力伝送システム。

【請求項10】

前記送電電力が一定の下で、前記ターンオン電流がしきい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、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8又は請求項9に記載の電力伝送システム。

【請求項11】

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目標値に制御する第2の制御とを実行し、

前記目標値は、前記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、

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、前記リカバリー電流が生じない範囲において、前記インバータの出力電流が低下するように前記目標値を変更する、電力伝送システム。

【請求項12】

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、前記リカバリー電流が生じない範囲において、前記出力電流が最小となるように前記目標値を変更する、請求項11に記載の電力伝送システム。

【請求項 13】

前記送電電力が一定の下で、前記ターンオン電流がしきい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出力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11又は請求項12に記載の電力伝送システム。

【請求項 14】

前記目標値は、0以下の所定値に設定される、請求項8から請求項13のいずれか1項に記載の電力伝送システム。

【発明の詳細な説明】

10

【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。

20

【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】

30

【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】

40

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

50

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。

【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】

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

10

20

30

40

50

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。

10

【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。

20

【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】

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。

30

【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。

【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

40

50

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。

【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。

【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。

【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】

10

20

30

40

50

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。

10

【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。

20

【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。

【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。

30

【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。

40

【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

50

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。

10

【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。

20

【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】

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。

30

【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。

【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。

40

【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

50

ECU250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。

【0048】

また、電源ECU250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。)

【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。

【0050】

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。

【0051】

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ECU360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。

【0052】

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。

【0053】

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。

【0054】

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。

10

20

30

40

50

【0055】

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。

【0056】

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ECU360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ECU360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。

10

【0057】

充電ECU360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。

【0058】

充電ECU360により実行される主要な制御として、充電ECU360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ECU360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ECU360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。

20

【0059】

通信部370は、送電装置10の通信部260と無線通信するように構成され、充電ECU360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10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10とやり取りしたり、受電装置20の受電状況（受電電圧や受電電流、受電電力等）を送電装置10へ送信したりする。

30

【0060】

図2は、図1に示した送電部240及び受電部310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240は、コイル242と、キャパシタ244とを含む。キャパシタ244は、送電電力の力率を補償するために設けられ、コイル242に直列に接続される。受電部310は、コイル312と、キャパシタ314とを含む。キャパシタ314は、受電電力の力率を補償するために設けられ、コイル312に直列に接続される。なお、このような回路構成は、SS方式（一次直列二次直列方式）とも称される。

【0061】

なお、特に図示しないが、送電部240及び受電部310の構成は、このようなSS方式のものに限定されない。たとえば、受電部310において、コイル312にキャパシタ314が並列接続されるSP方式（一次直列二次並列方式）や、さらに送電部240において、コイル242にキャパシタ244が並列接続されるPP方式（一次並列二次並列方式）等も採用され得る。

40

【0062】

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220からフィルタ回路230を通じて送電部240へ送電電力（交流）が供給される。送電部240及び受電部310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240及び受電部310の共振強度を示すQ値は、100以上であることが好ましい。

【0063】

50

送電装置 10 において、インバータ 220 から送電部 240 へ送電電力が供給されると、送電部 240 のコイルと受電部 310 のコイルとの間に形成される電磁界を通じて、送電部 240 から受電部 310 へエネルギー（電力）が移動する。受電部 310 へ移動したエネルギー（電力）は、フィルタ回路 320 及び整流部 330 を通じて蓄電装置 350 へ供給される。

【0064】

図 3 は、図 1 に示したインバータ 220 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 220 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。）Q1～Q4 と、還流ダイオード D1～D4 とを含む。直流側の端子 T1, T2 には、PFC 回路 210（図 1）が接続され、交流側の端子 T3, T4 には、フィルタ回路 230 が接続される。

10

【0065】

スイッチング素子 Q1～Q4 は、たとえば、IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）、バイポーラトランジスタ、MOSFET（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）、GTO（Gate Turn Off thyristor）等によって構成される。還流ダイオード D1～D4 は、それぞれスイッチング素子 Q1～Q4 に逆並列に接続される。

【0066】

端子 T1, T2 間には、PFC 回路 210 から出力される直流電圧 V1 が印加される。そして、スイッチング素子 Q1～Q4 のスイッチング動作に伴って、端子 T3, T4 間 20 に出力電圧 Vo 及び出力電流 Io 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 Q1, Q4 が ON であり、スイッチング素子 Q2, Q3 が OFF である状態が示されており、この場合の出力電圧 Vo はほぼ電圧 V1（正值）となる。

20

【0067】

図 4 は、インバータ 220 のスイッチング波形と、出力電圧 Vo 及び出力電流 Io 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 t4～t8 の 1 周期を例に説明する。時刻 t4 において、スイッチング素子 Q2, Q4 がそれぞれ OFF, ON の状態で、スイッチング素子 Q1 が OFF から ON に切替わるとともにスイッチング素子 Q3 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 Vo 30 が 0 から V1（正值）に立上がる。

30

【0068】

時刻 t5 において、スイッチング素子 Q1, Q3 がそれぞれ ON, OFF の状態で、スイッチング素子 Q2 が OFF から ON に切替わるとともにスイッチング素子 Q4 が ON から OFF に切替わると、出力電圧 Vo は 0 となる。

【0069】

時刻 t6 において、スイッチング素子 Q2, Q4 がそれぞれ ON, OFF の状態で、スイッチング素子 Q1 が ON から OFF に切替わるとともにスイッチング素子 Q3 が OFF から ON に切替わると、出力電圧 Vo は -V1（負値）となる。

【0070】

時刻 t7 において、スイッチング素子 Q1, Q3 がそれぞれ OFF, ON の状態で、スイッチング素子 Q2 が ON から OFF に切替わるとともにスイッチング素子 Q4 が OFF から ON に切替わると、出力電圧 Vo は再び 0 となる。

40

【0071】

そして、時刻 t4 から 1 周期後の時刻 t8 において、スイッチング素子 Q2, Q4 がそれぞれ OFF, ON の状態で、スイッチング素子 Q1 が OFF から ON に切替わるとともにスイッチング素子 Q3 が ON から OFF に切替わると、出力電圧 Vo が 0 から V1（正值）に立上がる（時刻 t4 と同じ状態）。

【0072】

この図 4 では、出力電圧 Vo のデューティが 0.25 である場合が示されている。そし

50

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）。

【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 ECU 250 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。

【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ー電流が流れる。還流ダイオード D 3 にリカバリー電流が流れると、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 にリカバリー電流は流れず、インバータ 220 の損失は抑制される。

【0076】

インバータ 220 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 220 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 250 は、インバータ 220 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 220 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。

【0077】

図 5 は、電源 ECU 250 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 250 は、減算部 410, 430 と、コントローラ 420, 440 とを含む。減算部 410、コントローラ 420 及び制御対象のインバータ 220 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 430、コントローラ 440 及びインバータ 220 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。

【0078】

減算部 410 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 420 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 270 及び電流センサ 272 の検出値に基づいて算出することができる。

【0079】

コントローラ 420 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 220 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 420 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 PI 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

10

20

30

40

50

。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。

【0080】

一方、減算部 430 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 440 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 270（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 272（図 1）の検出値（瞬時値）である。

【0081】

コントローラ 440 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 220 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 440 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 PI 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 220 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。

【0082】

インバータ 220 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 220 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。

【0083】

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 220 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 220 の出力電圧 V_o のデューティを示す。

【0084】

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）。

【0085】

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。

【0086】

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。

【0087】

上記の動作点 P 0 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範囲で目標電力 P s r 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 2 4 0（送電装置 1 0）との受電部 3 1 0（受電装置 2 0）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 2 2 0 が動作点 P 0 で動作するようにインバータ 2 2 0 の駆動周波数を調整する（変化させる）と、送電部 2 4 0 から受電部 3 1 0 へ伝送される電力の周波数が変化し、その結果、送電部 2 4 0 と受電部 3 1 0 との間の電力伝送効率が低下する可能性がある。

【0088】

そこで、この実施の形態 1 に従う送電装置 1 0 では、送電電力制御により送電電力 P s を目標電力 P s r 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。

10

【0089】

図 7 は、送電部 2 4 0 から受電部 3 1 0 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 2 4 0 において、コイル 2 4 2 のインダクタンスは L 1 であり、キャパシタ 2 4 4 のキャパシタンスは C 1 であるものとする。抵抗成分 2 4 6 は、コイル 2 4 2 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 1 0 のフィルタ回路 2 3 0（図 1）は省略されている。

【0090】

一方、受電部 3 1 0 において、コイル 3 1 2 のインダクタンスは L 2 であり、キャパシタ 3 1 4 のキャパシタンスは C 2 であるものとする。抵抗成分 3 1 6 は、コイル 3 1 2 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 3 9 0 は、受電装置 2 0 において、フィルタ回路 3 2 0（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。

20

【0091】

コイル 2 4 2，3 1 2 間の電力伝送効率 η 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。

【0092】

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

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 η は、電流 I 1 の 2 乗に反比例することが式（1）から分かる。

30

【0093】

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 s r 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 s r 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 t r（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 s r 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 η を高めることができる。

40

【0094】

好ましくは、送電電力 P s を目標電力 P s r 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 t r（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 s r 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 η 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。

50

【0095】

図8は、図1に示した電源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。

【0096】

図8を参照して、電源ECU250は、送電装置10から受電装置20への送電の開始指示が有ったか否かを判定する（ステップS10）。この送電開始指示は、送電装置10又は受電装置20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S10においてNO）、電源ECU250は、以降の一連の処理を実行することなくステップS100へ処理を移行する。

10

【0097】

ステップS10において送電開始指示が有ったものと判定されると（ステップS10においてYES）、電源ECU250は、送電電力Psの目標電力Psr及びターンオン電流Itの目標値It_r（初期値）を設定する（ステップS20）。なお、目標電力Psrは、上述のように受電装置20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It_rの初期値には、たとえば0が設定される。

【0098】

目標電力Psr及びターンオン電流目標値It_r（初期値）が設定されると、電源ECU250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S30）。なお、送電電力制御の実行に伴ない送電装置10から受電装置20への送電が開始されると、受電装置20の受電状況に応じて目標電力Psrが修正され、受電装置20において受電電力が目標値に近づくと、目標電力Psrも安定する。このときの目標電力Psr及びターンオン電流目標値It_r（初期値）が、図6に示した動作点P0に相当する。

20

【0099】

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ECU250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ECU250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Psを目標電力Psrに制御しつつ動作点探索を行なうことができる。

30

【0100】

次いで、電源ECU250は、送電部240に流れる電流I1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ECU250は、送電電力Psを目標電力Psr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I1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、送電部240に流れる電流I1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It_rを変更する。

40

【0101】

続いて、電源ECU250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I1の最小値が見出されたり、電流I1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It_r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。

50

【0102】

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ECU250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ECU250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）。

【0103】

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。

10

【0104】

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。

【0105】

〔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。

20

【0106】

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220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220の駆動周波数を示し、縦軸はターンオン電流を示す。線k1は、送電電力を一定とした場合に、インバータ220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220の駆動周波数には、 f_a と f_b の2点が存在する。

30

【0107】

図10は、送電電力が一定の下での、送電部240に流れる電流 I_1 とインバータ220の駆動周波数との関係を示した図である。図10を参照して、横軸はインバータ220の駆動周波数を示し、縦軸は送電部240に流れる電流 I_1 の大きさを示す。線k2は、図9と同条件下でインバータ220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10で示される例では、インバータ220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。

40

【0108】

そこで、この実施の形態2に従う送電装置10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220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。

【0109】

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

50

ターンオン電流 I_t との偏差に基づいてインバータ 220 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 220 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 220 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。

【0110】

図 11 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 11 を参照して、この図 11 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 $IL1$ 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 $IL2$ 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）。

10

【0111】

そして、送電電力 P_s の等高線を示す線 $PL1$ と線 $IL1$ との交点によって規定される動作点 Pa が、図 9, 10 で説明した周波数 f_a の動作点に相当し、線 $PL1$ と線 $IL2$ との交点によって規定される動作点 Pb が、図 9, 10 で説明した周波数 f_b の動作点に相当する。

【0112】

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 220 の動作点の初期目標値として動作点 Pa , Pb 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 Pa , Pb のうち送電部 240 に流れる電流 I_1 の大きさが小さくなる方の動作点 Pa （駆動周波数 f_a ）がインバータ 220 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 220 の起動処理の実行時に、インバータ 220 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 220 の駆動周波数の初期調整値とされる。そして、その動作点 Pa （周波数 f_a ）を起点として、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} が変更される。

20

【0113】

図 12 は、実施の形態 2 における電源 ECU 250 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。

30

【0114】

図 12 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 S22 をさらに含む。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 ECU 250 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, 10 の周波数 f_a , f_b ）のうち、送電部 240 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, 10 の周波数 f_a ）を選択する。そして、電源 ECU 250 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 S22）。

【0115】

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。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 11 の動作点 Pa ）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。

40

【0116】

なお、ステップ S30 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 220 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 240 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

50

20の駆動周波数が調整される。そして、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、電流I1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220の起動後に、送電部240に流れる電流I1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220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。

【0117】

〔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I1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I1に代えてインバータ220の出力電流Io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220の出力電流Io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）するにしてもよい。

10

【0118】

図13は、実施の形態1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。

20

【0119】

図13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S60, S70に代えてステップS65, S75を含む。すなわち、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、電源ECU250は、インバータ220の出力電流Ioの検出値を電流センサ272（図1）から取得する（ステップS65）。

【0120】

そして、電源ECU250は、送電電力Ps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Io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Io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。

30

【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。

40

【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Io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

50

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）のゲインが大きくされると、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。

10

【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。

20

【符号の説明】

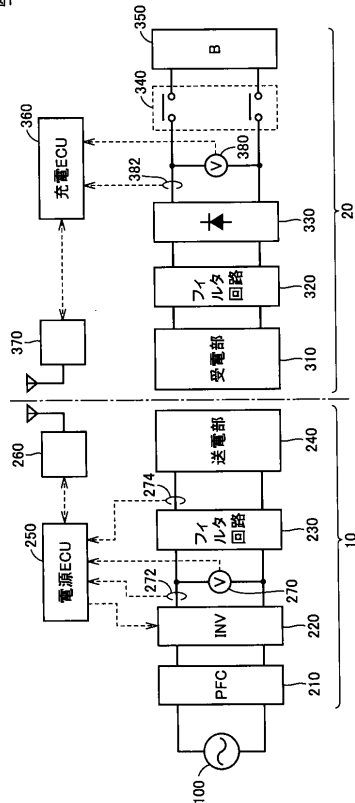
【0129】

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 スイッチング素子、D1～D4 還流ダイオード、T1～T4 端子。

30

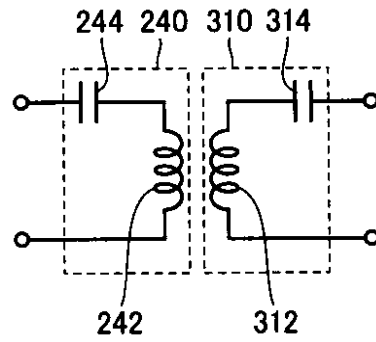
【 図 1 】

图 1



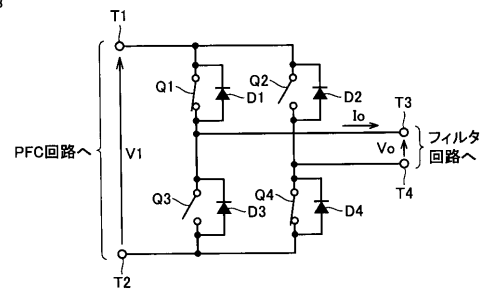
【図 2】

图2



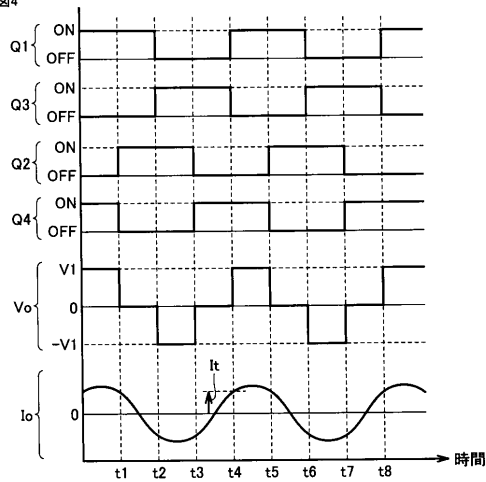
【 図 3 】

图 3



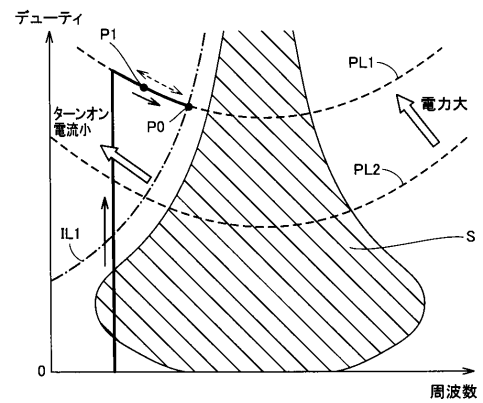
【图 4】

图4



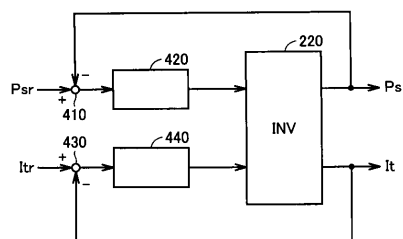
【図 6】

☒ 6



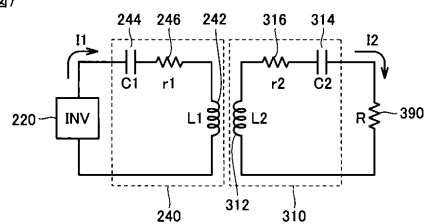
【図 5】

图5



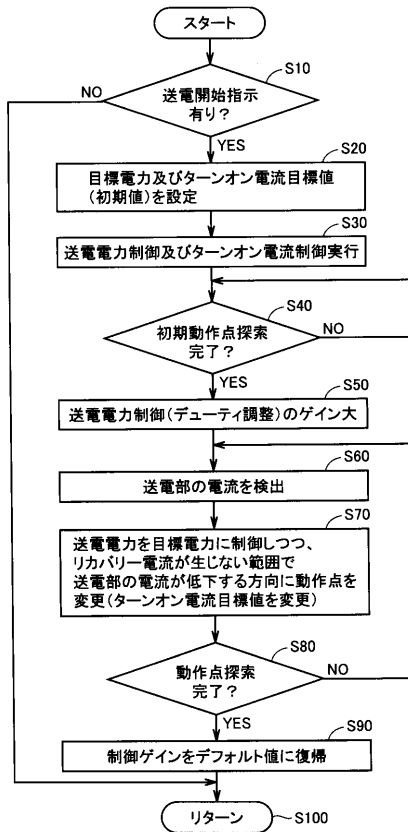
【图 7】

图7



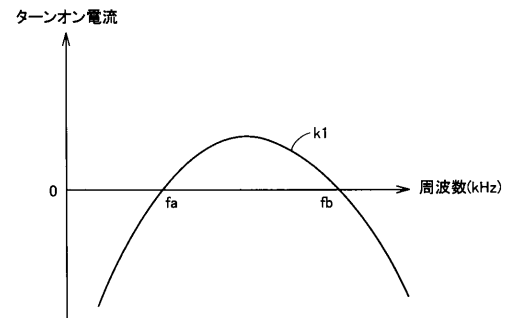
【図 8】

図8



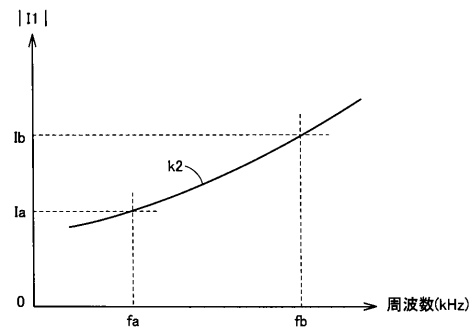
【図 9】

図9



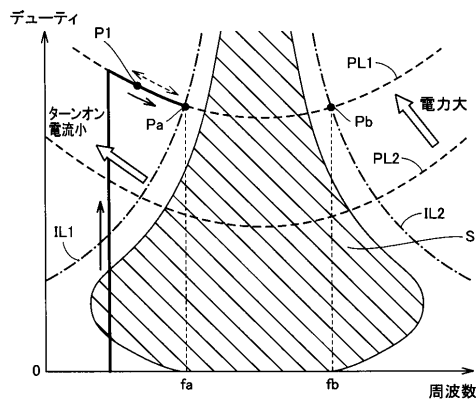
【図 10】

図10



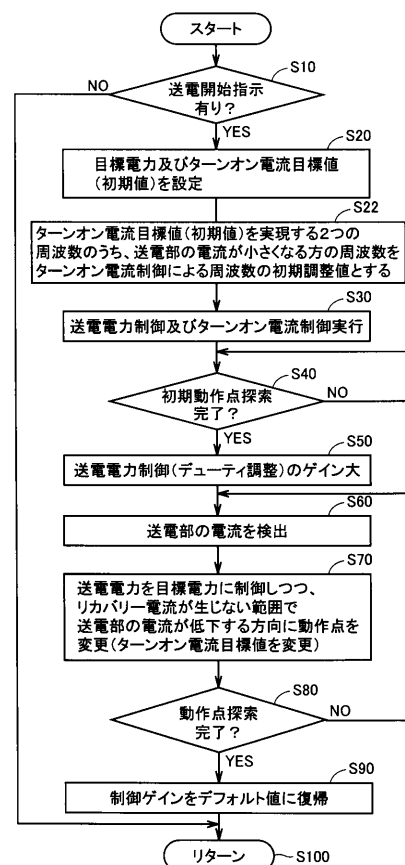
【図 11】

図11



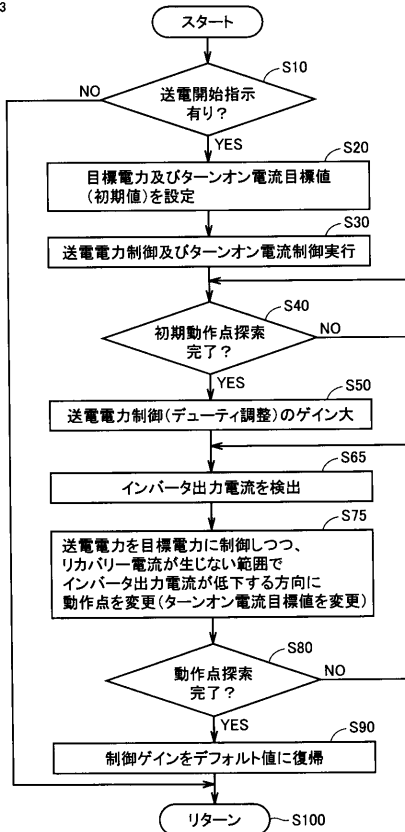
【図 12】

図12



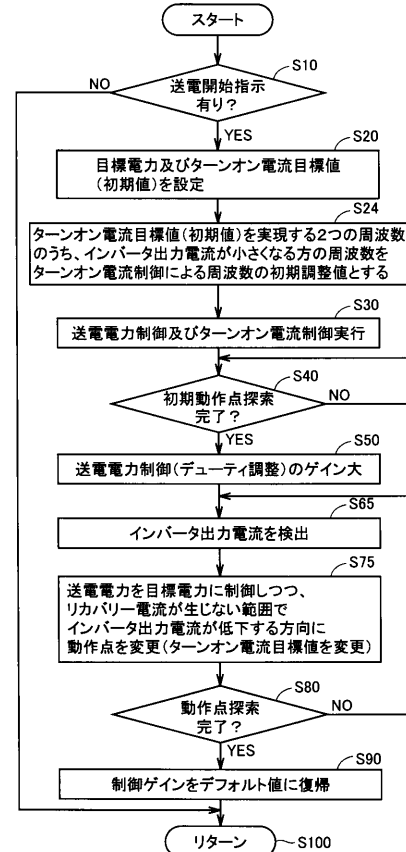
【図 13】

図13



【図 14】

図14



【手続補正書】

【提出日】平成28年4月8日(2016.4.8)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【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】

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。

フロントページの続き

Fターム(参考) 5H770 AA01 AA02 AA05 AA09 BA20 CA02 DA01 DA11 DA18 DA41
EA01 EA30 FA01 GA03 GA20 HA02Y HA02Z HA03Y HA04Z KA01Y
LA04X