

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5481305号
(P5481305)

(45) 発行日 平成26年4月23日(2014.4.23)

(24) 登録日 平成26年2月21日(2014.2.21)

(51) Int.Cl.	F 1
HO2J 3/46 (2006.01)	HO2J 3/46 G
HO2J 3/32 (2006.01)	HO2J 3/32
HO2J 7/00 (2006.01)	HO2J 7/00 302C

請求項の数 6 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2010-172756 (P2010-172756)
(22) 出願日	平成22年7月30日 (2010.7.30)
(65) 公開番号	特開2012-34514 (P2012-34514A)
(43) 公開日	平成24年2月16日 (2012.2.16)
審査請求日	平成25年2月27日 (2013.2.27)

(73) 特許権者	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(74) 代理人	100108855 弁理士 蔵田 昌俊
(74) 代理人	100088683 弁理士 中村 誠
(74) 代理人	100109830 弁理士 福原 淑弘
(74) 代理人	100075672 弁理士 峰 隆司
(74) 代理人	100103034 弁理士 野河 信久
(74) 代理人	100153051 弁理士 河野 直樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】出力配分制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

発電機群、負荷群、および二次電池群が接続された電力系統に適用される出力配分制御装置であって、

少なくとも前記負荷群の需要を示す情報と、前記発電機群の出力および運用上の制約を示す情報と、前記二次電池群の蓄電量および運用上の制約を示す情報とに基づき、各制約が存在する中で、前記発電機群の燃料費が最小となるように、前記発電機群の出力配分と、前記二次電池群を1つの仮想的な二次電池とみなしたときの当該仮想二次電池の出力配分とを決定する第1の出力配分決定手段と、

少なくとも前記第1の出力配分決定手段により決定された仮想二次電池の出力配分と、前記二次電池群の蓄電量および運用上の制約を示す情報とに基づき、各制約が存在する中で、前記二次電池群の制御余力の合計が最大となるように、或いは当該電力系統の送電損失が最小となるように、前記二次電池群のそれぞれの出力配分を決定する第2の出力配分決定手段と

を具備することを特徴とする出力配分制御装置。

【請求項2】

前記第1の出力配分決定手段は、前記発電機群の出力を変数として含む前記発電機群の燃料費を表す関数を用いて、当該燃料費が最小となる前記発電機群の出力を求め、求めた前記発電機群の出力を前記負荷群の需要から差し引くことによって前記仮想二次電池の出力を求めることを特徴とする請求項1に記載の出力配分制御装置。

【請求項 3】

前記第2の出力配分決定手段は、前記二次電池群のそれぞれの蓄電量の上下限の中間値からの当該二次電池群のそれぞれの蓄電量の偏差を表す関数を用いて、それぞれの偏差が最小となる前記二次電池群のそれぞれの蓄電量を求め、求めた蓄電量の時間変位から前記二次電池群のそれぞれの出力を決定することを特徴とする請求項2に記載の出力配分制御装置。

【請求項 4】

前記第2の出力配分決定手段は、前記電力系統内のそれぞれの潮流を変数として含む当該電力系統の送電損失を表す関数を用いて、当該送電損失が最小となるそれぞれの潮流を求める、求めたそれぞれの潮流から前記二次電池群のそれぞれの出力を決定することを特徴とする請求項2に記載の出力配分制御装置。

10

【請求項 5】

前記第2の出力配分決定手段は、前記電力系統内のそれぞれの潮流の上下限を示す潮流制約が存在する中で、前記二次電池群のそれぞれの出力を決定することを特徴とする請求項3又は4に記載の出力配分制御装置。

【請求項 6】

発電機群、負荷群、および二次電池群が接続された電力系統に適用される出力配分制御方法であって、

第1の出力配分決定手段が、少なくとも前記負荷群の需要を示す情報と、前記発電機群の出力および運用上の制約を示す情報と、前記二次電池群の蓄電量および運用上の制約を示す情報とに基づき、各制約が存在する中で、前記発電機群の燃料費が最小となるように、前記発電機群の出力配分と、前記二次電池群を1つの仮想的な二次電池とみなしたときの当該仮想二次電池の出力配分とを決定し、

20

第2の出力配分決定手段が、少なくとも前記第1の出力配分決定手段により決定された仮想二次電池の出力配分と、前記二次電池群の蓄電量および運用上の制約を示す情報とに基づき、各制約が存在する中で、前記二次電池群のそれぞれの制御余力の合計が最大となるように、或いは当該電力系統での送電損失が最小となるように、前記二次電池群のそれぞれの出力配分を決定する

ことを特徴とする出力配分制御方法。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】**【0001】**

本発明の実施形態は、二次電池群が接続された電力系統に適用される出力配分制御装置および出力配分制御方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

近年、地球環境問題への関心の高まりから、太陽光発電や風力発電など自然エネルギーを利用した分散型電源の電力系統への連系が急増している。これらの自然エネルギーを利用した分散型電源は、天候・気象などの自然条件によって出力変動が生じやすく、連系している電力系統の周波数変動や電圧変動に悪影響を与えててしまう。そのため、一般に、二次電池などの電力貯蔵装置を用いて電力の充放電を行うことにより、自然エネルギーを利用した分散型電源の出力変動を補償することが行われている。

40

【0003】

なお、電力貯蔵装置に関する技術としては、例えば特許文献1～5が挙げられる。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0004】**

【特許文献1】特開2006-094649号公報

【特許文献2】特開2007-129803号公報

【特許文献3】特開2007-330017号公報

50

【特許文献4】特開2008-067418号公報

【特許文献5】特開2008-141926号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

電力貯蔵装置は一般に高価であり、これが大規模な太陽光発電等の普及の障害となっていたが、昨今、電気自動車やプラグイン・ハイブリッド自動車に備えられる二次電池を電力貯蔵装置として活用しようという動きが見られ、これによって太陽光発電等の電源に加え、電力貯蔵装置が一般家庭にまで益々普及してくることが予想される。

【0006】

10

そのような状況のもとでは、各需要家は各二次電池を個別に使用することから、系統全体としてはそれら二次電池の余剰能力を活かしきれない可能性がある。そのような余剰能力は、無駄なく活せるようにすることが望ましい。その一方で、自然エネルギーを利用する太陽光発電等の電源の出力変動を補償する観点から、各二次電池の制御余力を確保し、電力品質を確保することも求められる。

【0007】

上記実情に鑑みると、二次電池群を有する電力系統において経済性の確保と電力品質の確保の両方を実現する技術の提示が望まれる。

【課題を解決するための手段】

【0008】

20

本発明のある実施形態によれば、発電機群、負荷群、および二次電池群が接続された電力系統に適用される出力配分制御装置であって、少なくとも前記負荷群の需要を示す情報と、前記発電機群の出力および運用上の制約を示す情報と、前記二次電池群の蓄電量および運用上の制約を示す情報とに基づき、各制約が存在する中で、前記発電機群の燃料費が最小となるように、前記発電機群の出力配分と、前記二次電池群を1つの仮想的な二次電池とみなしたときの当該仮想二次電池の出力配分とを決定する第1の出力配分決定手段と、少なくとも前記第1の出力配分決定手段により決定された仮想二次電池の出力配分と、前記二次電池群の蓄電量および運用上の制約を示す情報とに基づき、各制約が存在する中で、前記二次電池群の制御余力の合計が最大となるように、或いは当該電力系統の送電損失が最小となるように、前記二次電池群のそれぞれの出力配分を決定する第2の出力配分決定手段とを具備することを特徴とする出力配分制御装置が提供される。

30

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の各実施形態に係る出力配分制御装置が適用される電力系統の構成の一例を示す図。

【図2】各実施形態に係る出力配分制御装置の機能を実現する基本的なハードウェア構成の一例を示す図。

【図3】本発明の第1の実施形態に係る出力配分制御装置の機能構成の一例を示す図。

【図4】同実施形態に係る出力配分制御装置の動作の一例を示すフローチャート。

【図5】同実施形態における仮想二次電池の蓄電量状態の離散化を説明するための図。

40

【図6】図5に示される離散化をより詳細に説明するための図。

【図7】本発明の第2の実施形態に係る出力配分制御装置の機能構成の一例を示す図。

【図8】同実施形態に係る出力配分制御装置の動作の一例を示すフローチャート。

【図9】ブランチ潮流を説明するための図。

【図10】本発明の第3の実施形態に係る出力配分制御装置の動作の一例を示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について説明する。

【0011】

50

(各実施形態に共通)

まず、図1および図2を参照して、本発明の各実施形態に共通する事項について説明する。

【0012】

図1は、本発明の各実施形態に係る出力配分制御装置が適用される電力系統の構成の一例を示す図である。

【0013】

図1に示される電力系統1においては、電力会社が管理する商用系統10、系統全体の需給バランス維持に使用されるガスエンジン(GE)や燃料電池(FC)などの基幹系発電機群11、およびそれらの電力を使用する基幹系負荷群(学校、病院、工場など)12、ならびに、電気自動車やプラグイン・ハイブリッド自動車などに備えられる二次電池を電力貯蔵装置(BT)として活用する多数の需要家の設備群(一般家庭を含む)13が接続されている。需要家の設備群13は、それぞれ、二次電池である上記電力貯蔵装置(BT)のほかに、分散型電源を構成する太陽光発電(PV)や風力発電(WP)などの自然エネルギーを利用する電源、および負荷を含む。

10

【0014】

さらに、上記電力系統1には、出力配分制御装置15が備えられる。この出力配分制御装置15は、同系統内に電力貯蔵装置として導入されている多数の二次電池群に対し、同系統内に近接して設置された自然エネルギーを利用した分散型電源の出力変動を抑制するために、それら二次電池群の制御余力を確保するための制御を行いつつ、一方でそれら二次電池群の余剩能力を最大限に活用するために、同系統内における化石燃料等で運転される発電機の経済性を確保するための制御を行う。なお、基幹系負荷群12および需要家設備群13の負荷電力はそれぞれ図1中の負荷電力計測点にて計測器により計測され、計測結果が出力配分制御装置15に伝えられるようになっている。

20

【0015】

出力配分制御装置15の機能は、例えば図2に示されるような既知のプロセッサ101、メモリ102、入力装置103、表示装置104などの基本的なハードウェアを備えたコンピュータにより実行されるコンピュータプログラムとして構成することができる。この場合、プロセッサ101は、メモリ102を作業領域にしてコンピュータプログラムを実行することができる。また、入力装置103を通じてコンピュータプログラムや関連するデータに対する各種の設定を行ったり、表示装置104に各種の情報を表示させたりすることができる。

30

【0016】

(第1の実施形態)

最初に、第1の実施形態について説明する。

図3は、本発明の第1の実施形態に係る出力配分制御装置の機能構成の一例を示す図である。

【0017】

図3に示される出力配分制御装置15は、主な機能として、二次電池現在情報収集部201、負荷現在情報収集部202、基幹系発電機現在情報収集部203、仮想二次電池情報作成部204、予想総需要作成部205、基幹系発電機・仮想二次電池出力配分値計算部(第1の出力配分決定部)206、個別二次電池出力配分値計算部(第2の出力配分決定部)207、二次電池制御部208、および基幹系発電機制御部209を有する。

40

【0018】

図3中の二次電池群21は、図1中の需要家設備群13の電力貯蔵装置群(BT)に相当するものである。また、図3中の負荷群22は、図1中の基幹系負荷群12および需要家設備群13の負荷群に相当するものである。また、図3中の基幹系発電機群23は、図1中の基幹系発電機群11に相当するものである。

【0019】

なお、二次電池現在情報収集部201は、二次電池群21に備えられていてもよい。ま

50

た、負荷現在情報収集部 202 は、負荷群 22 に備えられていてもよい。また、基幹系発電機現在情報収集部 203 は、基幹系発電機群 23 に備えられていてもよい。

【0020】

二次電池現在情報収集部 201 は、二次電池群 21 のそれぞれの現在の状態（現在の充放電出力もしくは蓄電量など）を示す個別二次電池情報 D1 を収集するものである。

【0021】

負荷現在情報収集部 202 は、負荷群 22 のそれぞれの現在の状態（図 1 中の負荷電力計測点にて計測されるそれぞれの現在の負荷電力など）を示す負荷情報 D2 を収集するものである。

【0022】

基幹系発電機現在情報収集部 203 は、基幹系発電機群 23 のそれぞれの現在の状態（現在の発電機出力など）を示す基幹系発電機現在情報 D3 を収集するものである。

【0023】

仮想二次電池情報作成部 204 は、前記個別二次電池現在情報 D1 と、二次電池群 21 のそれぞれの設備仕様を示す個別二次電池設備情報 D4 と、二次電池群 21 のそれについて各需要家が設定した運用上の制約（各二次電池の出力や容量について各需要家が設定した運用上の上下限値など）を示す個別二次電池設定値 D5 とに基づき、二次電池群 21 を 1 つの仮想的な二次電池とみなしたときの当該仮想二次電池の現在の状態や運用上の制約（仮想二次電池の現在の充放電出力もしくは蓄電量、出力や容量についての運用上の上下限値など）を示す仮想二次電池情報 D6 を作成するものである。なお、個別二次電池設備情報 D4 は、オフラインで予め登録され、また、個別二次電池設定値 D5 は、オフラインで予め設定される。

【0024】

予想総需要作成部 205 は、前記負荷情報 D2 と、負荷群 22 のそれぞれの想定される需要の経時変化を示す想定需要カーブ D7 とに基づき、予想される総需要の経時変化を示す予想総需要カーブ D8 を作成するものである。

【0025】

基幹系発電機・仮想二次電池出力配分値計算部 206 は、前記基幹系発電機現在情報 D3 と、前記仮想二次電池情報 D6 と、前記予想総需要カーブ D8 と、基幹系発電機群 23 のそれぞれの設備仕様を示す発電機設備情報 D9 とに基づき、基幹系発電機群 23 の出力配分値を示す基幹系発電機出力配分値（運転スケジュール）D10 と、仮想二次電池の出力配分値を示す仮想二次電池出力配分値（運転スケジュール）D11 とを決定する。特に、この基幹系発電機・仮想二次電池出力配分値計算部 206 は、各制約が存在する中で、基幹系発電機群 23 の燃料費が最小となるような、基幹系発電機群 23 の出力配分値と仮想二次電池の出力配分値とを決定する。例えば、この基幹系発電機・仮想二次電池出力配分値計算部 206 は、基幹系発電機群 23 の出力を変数として含む基幹系発電機群 23 の燃料費を表す関数を用いて、当該燃料費が最小となる基幹系発電機群 23 の出力を求め、求めた基幹系発電機群 23 の出力を負荷群 22 の需要から差し引くことによって仮想二次電池の出力を求める。

【0026】

個別二次電池出力配分値計算部 207 は、前記個別二次電池現在情報 D1 と、個別二次電池設備情報 D4 と、個別二次電池設定値 D5 と、前記仮想二次電池出力配分値 D11 とに基づき、二次電池群 21 のそれぞれの出力配分値を示す個別二次電池出力配分値（運転スケジュール）D12 を決定する。特に、この個別二次電池出力配分値計算部 207 は、各制約が存在する中で、二次電池群 21 の制御余力の合計が最大となるように、二次電池群 21 のそれぞれの出力配分を決定する。例えば、この個別二次電池出力配分値計算部 207 は、二次電池群 21 のそれぞれの蓄電量の上下限の中間値からの当該二次電池群 21 のそれぞれの蓄電量の偏差を表す関数を用いて、それぞれの偏差が最小となる二次電池群 21 のそれぞれの蓄電量を求め、求めた蓄電量の時間変位から二次電池群 21 のそれぞれの出力を決定する。

10

20

30

40

50

【0027】

二次電池制御部208は、前記個別二次電池出力配分値（運転スケジュール）D12に基づき、二次電池群21のそれぞれの出力を制御するものである。

【0028】

基幹系発電機制御部209は、前記基幹系発電機出力配分値D10に基づき、基幹系発電機群23のそれぞれの出力を制御するものである。

【0029】

次に、上記のように構成した出力配分制御装置15の動作について、図4に示すフローチャートを用いて説明する。

【0030】

ステップS1では、二次電池現在情報収集部201が、二次電池群21のそれぞれの現在の状態（現在の充放電出力もしくは蓄電量など）を示す個別二次電池情報D1を収集する。

【0031】

ステップS2では、負荷現在情報収集部202が、負荷群22のそれぞれの現在の状態（図1中の負荷電力計測点にて計測されるそれぞれの現在の負荷電力など）を示す負荷情報D2を収集する。

【0032】

ステップS3では、基幹系発電機現在情報収集部203が、基幹系発電機群23のそれぞれの現在の状態（現在の発電機出力など）を示す基幹系発電機現在情報D3を収集する。

【0033】

ステップS4では、仮想二次電池情報作成部204が、個別二次電池現在情報D1と、個別二次電池設備情報D4と、個別二次電池設定値D5に基づき、仮想二次電池情報D6を作成する。すなわち、N個の二次電池群21を1つの仮想二次電池とみなすため、N個の二次電池群21のそれぞれに関する情報の総和を、時刻（もしくは時間帯） t_0, \dots, T 毎に求める。具体的には、例えば以下の式を用いる。

【数1】

$$VES_{t_0} = \sum_{i=1}^N VBT_{i,t_0}$$

$$\overline{VES}_t = \sum_{i=1}^N \overline{VBT}_{i,t} \quad (t = t_0, \dots, T)$$

$$\underline{VES}_t = \sum_{i=1}^N \underline{VBT}_{i,t} \quad (t = t_0, \dots, T)$$

$$\overline{ES}_t = \sum_{i=1}^N \overline{BT}_{i,t} \quad (t = t_0, \dots, T)$$

$$\underline{ES}_t = \sum_{i=1}^N \underline{BT}_{i,t} \quad (t = t_0, \dots, T)$$

$$\overline{ESV} = \sum_{i=1}^N \overline{BT}_{i,t}$$

$$\underline{ESV} = \sum_{i=1}^N \underline{BT}_{i,t}$$

【0034】

ここで、

10

20

30

40

【数2】

VBT_{i,t_0} : 個別二次電池現在蓄電量

VES_{i,t_0} : 仮想二次電池現在蓄電量

\overline{VES}_i : 仮想二次電池容量運用上限

\underline{VES}_i : 仮想二次電池容量運用下限

$\overline{VBT}_{i,t}$: 個別二次電池容量運用上限

$\underline{VBT}_{i,t}$: 個別二次電池容量運用下限

\overline{ES}_i : 仮想二次電池運用上限出力

\underline{ES}_i : 仮想二次電池運用下限出力

$\overline{BT}_{i,t}$: 個別二次電池運用上限出力

$\underline{BT}_{i,t}$: 個別二次電池運用下限出力

\overline{ESV} : 仮想二次電池上げ方向出力変化速度

\underline{ESV} : 仮想二次電池下げ方向出力変化速度

\overline{BTV}_i : 個別二次電池上げ方向出力変化速度

\underline{BTV}_i : 個別二次電池下げ方向出力変化速度

t_0 : 現在時刻

T : 仮想二次電池計算期間最終時刻

10

20

30

【0035】

なお、「個別二次電池運用上限出力」、「個別二次電池運用下限出力」は、各需要家が時間帯毎に設定した設定値である。「個別二次電池容量運用上限」、「個別二次電池容量運用下限」は、各需要家が自然エネルギーを利用した分散型電源の出力変動抑制のために、制御余力として確保するように時間帯毎に設定した上下限である。これらは、個別二次電池設定値D5から得ることができる。また、「個別二次電池上げ方向出力変化速度」、「個別二次電池下げ方向出力変化速度」は、個別二次電池設備情報D4から得ることができる。

【0036】

需要家が主体的にスケジュール運転を実施したい場合には、例えば以下の数式で表される制約を設定すればよい。

【数3】

$$\overline{VBT}_{i,t} = \underline{VBT}_{i,t} = SCH_{i,t} \quad \text{for } \forall t$$

$SCH_{i,t}$: スケジュール値

40

【0037】

ステップS5では、予想総需要作成部205が、負荷情報D2と、想定需要カーブD7とに基づき、予想総需要カーブD8を作成する。具体的には、例えば以下の数式を用いる。

【数4】

$$SD_t' = SD_t + \left(\sum_j LD_{j,t_0} - SD_{t_0} \right) \quad (t = t_0, \dots, T)$$

LD_{j,t_0} : 現在負荷

SD_t : 想定需要

SD_t' : 予想総需要

【0038】

ステップS6では、基幹系発電機・仮想二次電池出力配分値計算部206が、基幹系発電機現在情報D3と、仮想二次電池情報D6と、予想総需要カーブD8と、発電機設備情報D9とに基づき、基幹系発電機出力配分値（運転スケジュール）D10と、仮想二次電池出力配分値（運転スケジュール）D11とを決定する。すなわち、各制約が存在する中で、基幹系発電機群23の燃料費が最小となるように、基幹系発電機群23の出力配分値と仮想二次電池の出力配分値とを決定する。具体的には、例えば以下のようない法を用いる。

10

【0039】

まず、動的計画法により、基幹系発電機群23の燃料費が最小となる、仮想二次電池の一定時間毎の蓄電量を計算する。

【0040】

20

図5に示すように、現在時刻 t_0 から仮想二次電池計算期間最終時刻Tまでの蓄電量について考える。なお、仮想二次電池計算期間最終時刻TおよびTにおける目標となる蓄電量 V_E は、例えば前日に立てた計画値または当日運用者が与えた蓄電目標量とする。ここで蓄電量を連続値として扱うと、現在蓄電量 V_S から目標となる蓄電量 V_E に至るまでには無数の経路が出現してしまうため、蓄電量を離散化する。

【0041】

例えば、時間 t における蓄電量状態数（蓄電量 $V_E S$ が異なる個々の状態に離散化された数）を S_t とすると、時間 $t-1$ における $S_{(t-1)}$ 個の蓄電量状態から、出力 E_S （充電または放電）により、時間 t におけるある蓄電量状態 A に至るまでには、 $S_{(t-1)}$ 個のパス（経路）が存在する。

30

【0042】

この場合、図6に示すように、時間帯 $t-1$ において $S_{(t-1)}$ 個に離散化された蓄電量 $V_E S$ は、 $S_{(t-1)}$ 個に離散化された燃料費 $C(V_E S)$ を生じさせる。また、時間帯 $t-1$ において $S_{(t-1)}$ 個に離散化された蓄電量 $V_E S$ に対する出力 E_S （充電または放電）は、 $S_{(t-1)}$ 個に離散化された燃料費 $C(E_S)$ を生じさせる。

【0043】

例えば、時間帯 $t-1$ における任意の蓄電量状態 s （但し、 $1 \leq s \leq S_{(t-1)}$ ）の蓄電量 $V_E S_{t-1,s}$ は、燃料費 $C(V_E S_{t-1,s})$ を生じさせる。また、当該蓄電量 $V_E S_{t-1,s}$ に対する出力 $E_S_{t,s}$ （充電または放電）は、燃料費 $C(E_S_{t-1,s})$ を生じさせる。

40

【0044】

ここで、 $S_{(t-1)}$ 個のパスの中から、 $C(V_E S) + C(E_S)$ が最小となるパスを選択するための処理を行う。また、時間 t における状態 A 以外の蓄電量状態に至るパスについても同様な処理を行う（すなわち、 S_t 個の各状態に至るパスの全てについて実施する）。さらには、時間 $t-1$ と t との間のパス以外のパスについても同様な処理を行う（すなわち、時間 $t_0 \sim T$ の間に存在する全てのパスについて実施する）。具体的には、例えば以下の式を用いる。

【数5】

(動的計画法の基本式)

$$C(VES_{t,m}) = \min_{1 \leq s \leq S(t-1)} [C(VES_{t-1,s}) + C(ES_{t-1,s})] \quad m = 1, \dots, S(t)$$

(蓄電効率の制約)

$$VES_t = VES_{t-1} - \begin{cases} ES_t \\ \eta ES_t \end{cases} \quad (t = t_0, \dots, T)$$

(蓄電量上下限の制約)

$$VES_t \leq \overline{VES}_t$$

$$VES_t \geq \underline{VES}_t$$

10

(出力変化速度の制約)

$$ES_t - ES_{t-1} \leq \overline{ESV}$$

$$ES_{t-1} - ES_t \leq \underline{ESV}$$

 η : 二次電池充電効率 $S(t)$: 時間帯 t における蓄電量状態数

【0045】

20

ここで、基幹系発電機群23の燃料費の最小とするような $ES_{t,s}$ は、例えば以下の非線形計画問題を解くことで求めることができる。一般には基幹系発電機燃料費特性は2次式で近似できる場合がほとんどであるため、2次計画問題として定式化することができる。2次計画問題は比較的高速に解けることが知られている。

【0046】

例えば、目的関数を「燃料費最小化」とする以下の式を用いる。

【数6】

$$\sum_k f_k(GP_{k,t}) \rightarrow \min$$

 f_k : 基幹系発電機燃料費特性

30

【0047】

また、制約条件を「需給バランス制約」とする以下の式を用いる(但し、 ES_t は所与とする)。

【数7】

(需給バランス制約)

$$SD_t = \sum_k GP_{k,t} + ES_{t,l} \quad (t = t_0, \dots, T)$$

(発電機出力上下限制約)

$$GP_{k,t} \leq \overline{GP}_k$$

$$GP_{k,t} \geq \underline{GP}_k$$

(発電機出力変化速度制約)

$$GP_{k,t-1} - GP_{k,t} \leq \overline{GPv}_k$$

$$GP_{k,t} - GP_{k,t-1} \leq \underline{GPv}_k$$

(仮想二次電池出力上下限制約)

$$ES_t \leq \overline{ES}_t$$

$$ES_t \geq \underline{ES}_t$$

ここで、

 $GP_{k,t}$: 基幹系発電機出力 $\overline{GP}_{k,t}$: 基幹系発電機上限出力 $\underline{GP}_{k,t}$: 基幹系発電機下限出力 \overline{GPv}_k : 基幹系発電機上げ方向出力変化速度 \underline{GPv}_k : 基幹系発電機下げ方向出力変化速度 ES_t : 仮想二次電池出力 \overline{ES}_t : 仮想二次電池運用上限出力 \underline{ES}_t : 仮想二次電池運用下限出力

10

20

30

【0048】

すなわち、基幹系発電機群23の出力 $GP_{k,t}$ を変数として含む基幹系発電機群23の燃料費の特性を表す関数 f_k を用いて、当該燃料費が最小となる基幹系発電機群23の出力を求め、求めた基幹系発電機群23の出力を負荷群22の需要から差し引くことによって仮想二次電池の出力を求めることができる。

【0049】

なお、上記「基幹系発電機上限出力」、「基幹系発電機下限出力」、「基幹系発電機上げ方向出力変化速度」、「基幹系発電機下げ方向出力変化速度」は、発電機設備情報D9から得ることができる。

【0050】

ステップS7では、個別二次電池出力配分値計算部207は、仮想二次電池出力配分値D11と、個別二次電池現在情報D1とに基づき、個別二次電池出力配分値D12を作成する。具体的には、例えば以下のような線形計画問題を解くことで個別二次電池出力配分値D12を求めることができる。このような線形計画問題は数万変数の問題でも高速に解けることが知られている。

【0051】

例えば、目的関数を「制御余力最大化」(=蓄電量の中間値からの偏差最小化)とする以下の式を用いる。

40

【数8】

$$\sum_i |VBT_{i,t} - VBT_{ref,i,t}| \rightarrow \min \quad (t = t_0, \dots, T)$$

ここで、

$$VBT_{ref,i,t} = (\overline{VBT}_{i,t} + \underline{VBT}_{i,t}) / 2$$

(個別二次電池蓄電量合計 = 仮想二次電池蓄電量)

$$\sum_i VBT_{i,t} = VES_{i,t}$$

10

(個別二次電池蓄電量上下限)

$$VBT_{i,t} \leq \overline{VBT}_{i,t}$$

$$VBT_{i,t} \geq \underline{VBT}_{i,t}$$

【0052】

すなわち、一般に二次電池の容量は有限であり、蓄電量が上限、或いは下限に達するとそれ以上の電力補償ができなくなるため、出力変動を補償する観点から、できるだけ蓄電量を中間値程度に保ち、常に制御余力を確保するようにしている。

20

【0053】

上記計算結果から、各二次電池の出力配分値が以下のように求まる。

【数9】

$$BT_{i,t} = \begin{cases} VBT_{i,t-1} - VBT_{i,t} & (VBT_{i,t} < VBT_{i,t-1} \text{ の場合: 放電}) \\ (VBT_{i,t} - VBT_{i,t-1}) / \eta & (VBT_{i,t} > VBT_{i,t-1} \text{ の場合: 充電}) \\ 0 & (VBT_{i,t} = VBT_{i,t-1} \text{ の場合}) \end{cases}$$

【0054】

30

ステップS8では、二次電池制御部208が、ステップS7で求めた個別二次電池出力配分値D12に基づき、二次電池群21のそれぞれの制御を行う。

【0055】

ステップS9では、基幹系発電機制御部209が、ステップS6で求めた基幹系発電機出力配分値D10に基づき、基幹系発電機群23のそれぞれの制御を行う。

【0056】

この第1の実施形態によれば、出力配分制御装置が、電力系統内に電力貯蔵装置として導入されている多数の二次電池群に対し、同系統内に近接して設置された自然エネルギーを利用した分散型電源の出力変動を抑制するために、それら二次電池群の制御余力を確保するための制御を行いつつ、一方でそれら二次電池群の余剩能力を最大限に活用するために、同系統内における化石燃料等で運転される発電機の経済性を確保するための制御を行うので、経済性の確保と電力品質の確保の両方を実現することができる。また、二次電池の最適な運転スケジュールの作成・計算のためには、一般に、多数の非線形計画問題を解かねばならず、計算負荷が高いが、本実施形態では、個別の二次電池について計算を実施する前に、集約した仮想的な二次電池について計算を実施することで、計算負荷を低減させることができ、計算の高速性を実現することができる。

40

【0057】

(第2の実施形態)

次に、第2の実施形態について説明する。

なお、この第2の実施形態においては、第1の実施形態の構成と共通する部分には同一

50

の符号を付し、重複する説明を省略する。以下では、第1の実施形態と異なる部分を中心に説明する。

【0058】

図7は、本発明の第2の実施形態に係る出力配分制御装置の機能構成の一例を示す図である。

【0059】

第2の実施形態の出力配分制御装置15(図7)が、第1の実施形態の出力配分制御装置15(図3)と異なる点は、個別二次電池出力配分値計算部207が、個別二次電池出力配分値を計算するに際し、目的関数を「制御余力最大化」(=蓄電量の中間値からの偏差最小化)とする式を用いる代わりに、目的関数を「送電損失電力最小化」とする式を用いる点と、その計算のために系統接続・インピーダンス情報D101および前述の負荷情報D2(現在の負荷電力など)をさらに取得する点にある。系統接続・インピーダンス情報D101は、電力系統1を構成するノードおよびブランチの接続関係や各部のインピーダンス(もしくは抵抗)を示す情報である。これらの情報を利用することにより、個別二次電池出力配分値計算部207は、各制約が存在する中で、電力系統内のそれぞれのブランチ潮流やブランチ抵抗を変数として含む当該電力系統の送電損失を表す関数を用いて当該送電損失が最小となるそれぞれの潮流を求め、求めたそれぞれの潮流から二次電池群21のそれぞれの出力を決定する。

【0060】

次に、上記のように構成した出力配分制御装置15の動作について、図8に示すフローチャートを用いて説明する。

【0061】

ステップS1～S6の処理については、図4のフローチャートで説明した通りであるため、その説明を省略する。

【0062】

ステップS101では、個別二次電池出力配分値計算部207が、ステップS2で求めた負荷情報D2(現在の負荷電力など)と、系統接続・インピーダンス情報D101とを取得する。これらの情報は、後述するブランチ潮流の計算や送電損失の算定を行うために使用される。

【0063】

ところで、直流法による潮流計算では、下記のようにブランチ潮流をノード注入電力(但し、発電はプラス、負荷はマイナスとする)の一次式で表現する方法がある。

【数10】

$$\mathbf{F} = \mathbf{AP}$$

ここで、

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_i \\ \vdots \\ F_m \end{pmatrix}, \quad \mathbf{P} = \begin{pmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_j \\ \vdots \\ P_n \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & a_{ij} & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

【0064】

ここで、行列Pは、個々のノードへのノード注入電力を表し、行列Aは、個々のノードにおける個々のブランチ潮流を表している。また、iは、m個のブランチのうちの任意のブランチを表し、jは、n個のノードのうちの任意のノードを表している。

【0065】

行列Aの成分は潮流分流係数と呼ばれるものである。潮流分流係数は、図9に示されるように、任意のノードjに電力P_jを1PU注入し、スイングノード(基準ノード)に逃

10

20

30

40

50

がした場合に、任意のブランチ i に流れるブランチ潮流 F_i を表している。したがって、直流法による潮流計算を、ノード数分実行すれば、潮流分流係数を求めるこができる。すなわち、1ノード分計算すれば行列 A の1列分が求まるので、これをノード数分実行する。

【0066】

このようなブランチ潮流を用いた送電損失電力は、近似的に以下の式で表されることが知られている。

【数11】

$$P_L \approx \sum_{k=1}^m r_k F_k^2$$

10

【0067】

ここで、 F_k は、任意のブランチ k に流れるブランチ潮流を表し、 r_k は、ブランチの抵抗を表している。

【0068】

ステップ S 102 では、個別二次電池出力配分値計算部 207 は、ステップ S 6 で求めた仮想二次電池出力配分値 D_{11} と、ステップ S 1 で求めた個別二次電池現在情報 D_1 と、ステップ S 101 で取得した負荷情報 D_2 および系統接続・インピーダンス情報 D_{10} 1 とに基づき、個別二次電池出力配分値 D_{12} を作成する。具体的には、例えば以下のよ 20 うな最適化問題を解くことで個別二次電池出力配分値 D_{12} を求めることができる。このような問題は2次計画問題であるため、実用的な時間で計算することが可能である。

【0069】

例えば、目的関数を「送電損失電力最小化」とする以下の式を用いる。

【数12】

$$\sum_{k=1}^m r_k F_{k,t}^2 \rightarrow \min$$

【0070】

また、制約条件については、以下の式を用いる。

【数13】

(個別二次電池蓄電量合計 = 仮想二次電池蓄電量)

$$\sum_i VBT_{i,t} = VES_{i,t}$$

(個別二次電池蓄電量上下限)

$$VBT_{i,t} \leq \overline{VBT}_{i,t}$$

$$VBT_{i,t} \geq \underline{VBT}_{i,t}$$

(潮流方程式)

$$\begin{pmatrix} F_{1,t} \\ F_{2,t} \\ \vdots \\ F_{m,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & & \cdots & a_{1n} \\ & \ddots & & \\ & & a_{ij} & \vdots \\ & & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} BT_{1,t} \\ BT_{2,t} \\ \vdots \\ BT_{n,t} \end{pmatrix}$$

$$BT_{i,t} = \begin{cases} VBT_{i,t-1} - VBT_{i,t} & (VES_{i,t} < VES_{i,t-1} \text{ の場合: 放電}) \\ (VBT_{i,t} - VBT_{i,t-1}) / \eta & (VES_{i,t} > VES_{i,t-1} \text{ の場合: 充電}) \\ 0 & (VES_{i,t} = VES_{i,t-1} \text{ の場合}) \end{cases}$$

10

20

【0071】

すなわち、電力系統内のそれぞれのブランチ潮流 F_k やブランチ抵抗 r_k を変数として含む当該電力系統の送電損失を表す関数を用いて、当該送電損失が最小となるそれぞれの潮流 $F_{k,t}$ を求め、求めたそれぞれの潮流を生じさせるノード注入電力 $BT_{i,t}$ を、二次電池群21のそれぞれの出力とする。

【0072】

ステップS8～S9の処理については、図4のフローチャートで説明した通りであるため、その説明を省略する。

30

【0073】

この第2の実施形態によれば、個別二次電池出力配分値計算において、時々刻々と変化する負荷状況に合わせて送電損失を最小にする手法を適用することにより、前述の第1の実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0074】

(第3の実施形態)

次に、第3の実施形態について説明する。

なお、この第3の実施形態においては、第2の実施形態の構成と共通する部分には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。以下では、第2の実施形態と異なる部分を中心に説明する。

40

【0075】

第3実施形態に係る出力配分制御装置の機能構成は、図7に示した構成と同じである。

【0076】

但し、個別二次電池出力配分値計算部207は、個別二次電池出力配分値を計算するに際し、目的関数を「送電損失電力最小化」とする式、または、目的関数を「制御余力最大化」(=蓄電量の中間値からの偏差最小化)とする式を用いる。また、制約条件としては、前述の第2の実施形態で説明したものを用いることに加え、電力系統内のそれぞれの潮流の上下限を示す潮流制約を用いる。すなわち、個別二次電池出力配分値計算部207は、電力系統内のそれぞれの潮流の上下限を示す潮流制約が存在する中で、二次電池群21のそれぞれの出力を決定する機能を有する。

50

【0077】

次に、上記のように構成した出力配分制御装置15の動作について、図10に示すフローチャートを用いて説明する。

【0078】

ステップS1～S6およびS101の処理については、図8のフローチャートで説明した通りであるため、その説明を省略する。

【0079】

ステップS201では、個別二次電池出力配分値計算部207は、個別二次電池出力配分値D12を作成するに際し、具体的には、例えば以下のような最適化問題を解くことで個別二次電池出力配分値D12を求める。

10

【0080】

例えば、目的関数を「送電損失電力最小化」とする以下の式、または、目的関数を「制御余力最大化」(=蓄電量の中間値からの偏差最小化)とする以下の式を用いる。このような問題は2次計画問題であるため、実用的な時間で計算することが可能である。

【数14】

$$\sum_{k=1}^m r_k F_{k,t}^2 \rightarrow \min$$

または

$$\sum_i |VBT_{i,t} - VBT_{ref,i,t}| \rightarrow \min \quad (t = t_0, \dots, T)$$

20

ここで、

$$VBT_{ref,i,t} = (\overline{VBT}_{i,t} + \underline{VBT}_{i,t}) / 2$$

【0081】

また、制約条件については、以下の式を用いる。

【数15】

(個別二次電池蓄電量合計 = 仮想二次電池蓄電量)

$$\sum_i VBT_{i,t} = VES_{i,t}$$

(個別二次電池蓄電量上下限)

$$VBT_{i,t} \leq \overline{VBT}_{i,t}$$

$$VBT_{i,t} \geq \underline{VBT}_{i,t}$$

(潮流方程式)

$$\begin{pmatrix} F_{1,t} \\ F_{2,t} \\ \vdots \\ F_{m,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & & \cdots & a_{1n} \\ & \ddots & & \\ \vdots & & a_{ij} & \vdots \\ & & \ddots & \\ a_{m1} & \cdots & & a_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} BT_{1,t} \\ BT_{2,t} \\ \vdots \\ BT_{n,t} \end{pmatrix}$$

$$BT_{i,t} = \begin{cases} VBT_{i,t-1} - VBT_{i,t} & (VES_{i,t} < VES_{i,t-1} \text{ の場合: 放電}) \\ (VBT_{i,t} - VBT_{i,t-1})/\eta & (VES_{i,t} > VES_{i,t-1} \text{ の場合: 充電}) \\ 0 & (VES_{i,t} = VES_{i,t-1} \text{ の場合}) \end{cases}$$

(潮流制約)

$$\underline{F}_{i,t} \leq F_{i,t} \leq \overline{F}_{i,t} \quad t = t_0, \dots, T \quad i = 1, \dots, m$$

【0082】

すなわち、ステップS201では、個別二次電池出力配分値計算部207が、電力系統内のそれぞれの潮流 $F_{i,t}$ の上下限を示す潮流制約が存在する中で、電力系統の送電損失が最小となるそれぞれの潮流、または、二次電池群21の制御余力が最大となるそれぞれの潮流を求め、求めたそれぞれの潮流から二次電池群21のそれぞれの出力を決定する。

【0083】

ステップS8～S9の処理については、図8のフローチャートで説明した通りであるため、その説明を省略する。

【0084】

この第3の実施形態によれば、潮流制約が存在する中で個別二次電池出力配分値計算を行うことにより、電力品質の確保をより一層確実なものとすることができます。

【0085】

上述した各実施形態で述べた各種の機能や処理手順は、コンピュータプログラムとして、コンピュータにより読み取り可能な記憶媒体（例えば磁気ディスク、光ディスク、半導体メモリ）に記憶させておき、必要に応じてそれをプロセッサにより読み出して実行するようにもよい。また、このようなコンピュータプログラムは、通信媒体を介してあるコンピュータから他のコンピュータに伝送することにより配布することも可能である。

【0086】

本発明は上記実施形態そのままで限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化できる。また、上記実施形態に開示されている複数の構成要素の適宜な組み合わせにより、種々の発明を形成できる。例えば、実施形態に示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよい。さらに、異なる実施形態にわたる構成要素を適宜組み合わせてもよい。

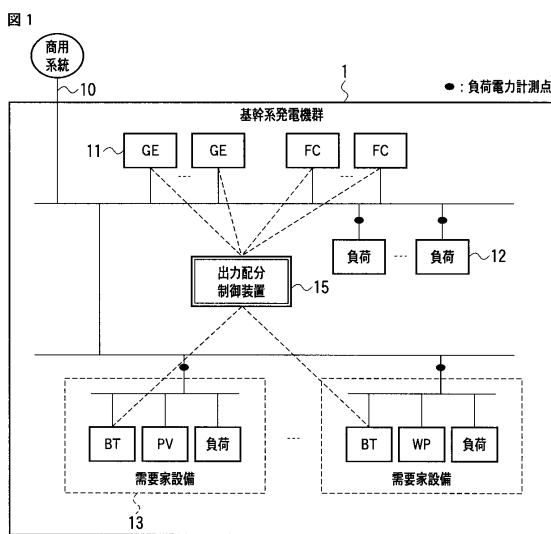
【符号の説明】

【0087】

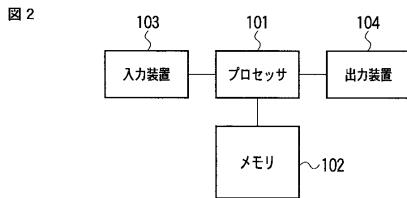
1 ... 電力系統、10 ... 商用系統、11 ... 基幹系発電機群、12 ... 基幹系負荷群、13 ... 需要家設備群、15 ... 出力配分制御装置、21 ... 二次電池群、22 ... 負荷群、23 ... 基幹系発電機群、101 ... プロセッサ、102 ... メモリ、103 ... 入力装置、104 ... 出力装置、201 ... 二次電池現在情報収集部、202 ... 負荷現在情報収集部、203 ... 基幹系発電機現在情報収集部、204 ... 仮想二次電池情報作成部、205 ... 予想總需要作成部、206 ... 基幹系発電機・仮想二次電池出力配分値計算部（第1の出力配分決定部）、207 ... 個別二次電池出力配分値計算部（第2の出力配分決定部）、208 ... 二次電池制御部、209 ... 基幹系発電機制御部。

10

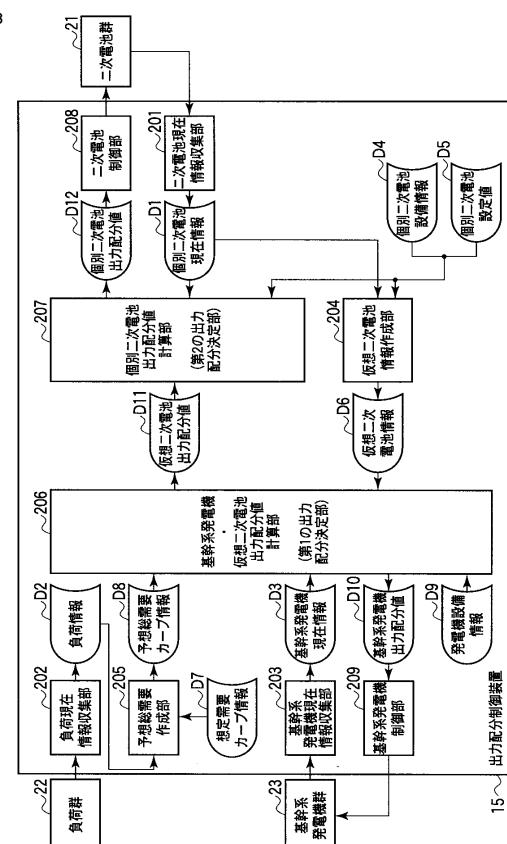
【図1】



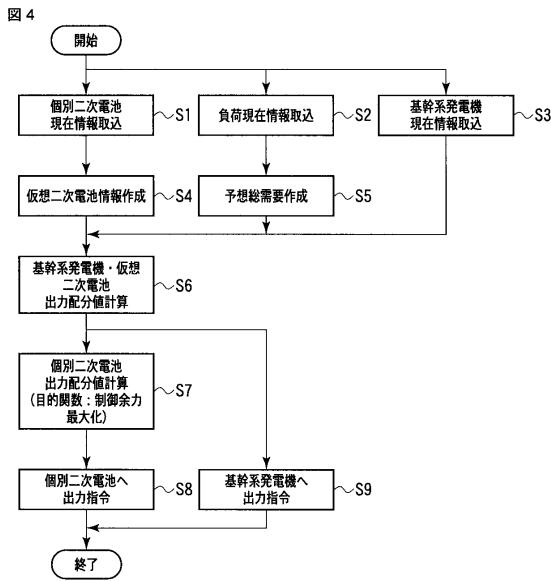
【図2】



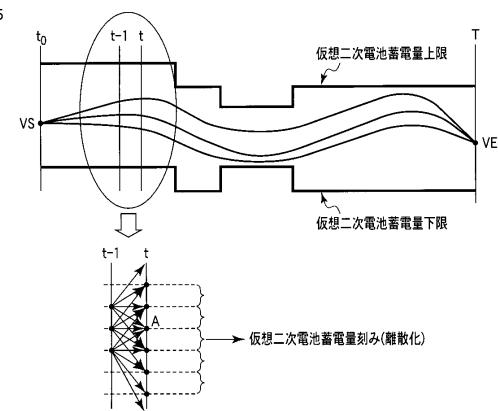
【図3】



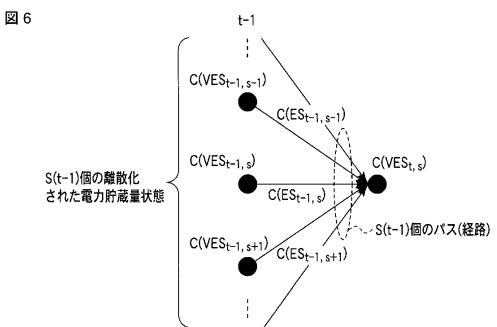
【図4】



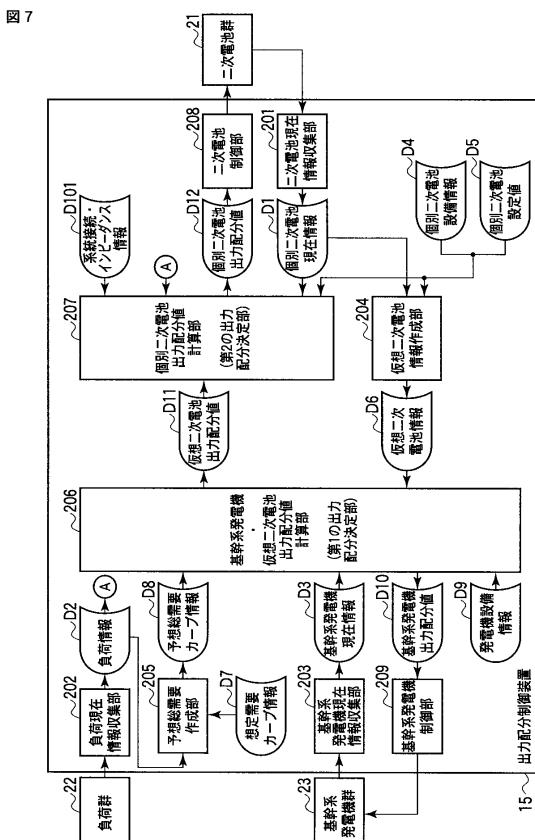
【図5】



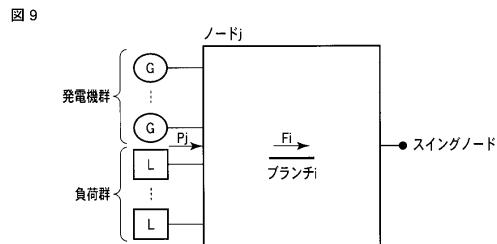
【図6】



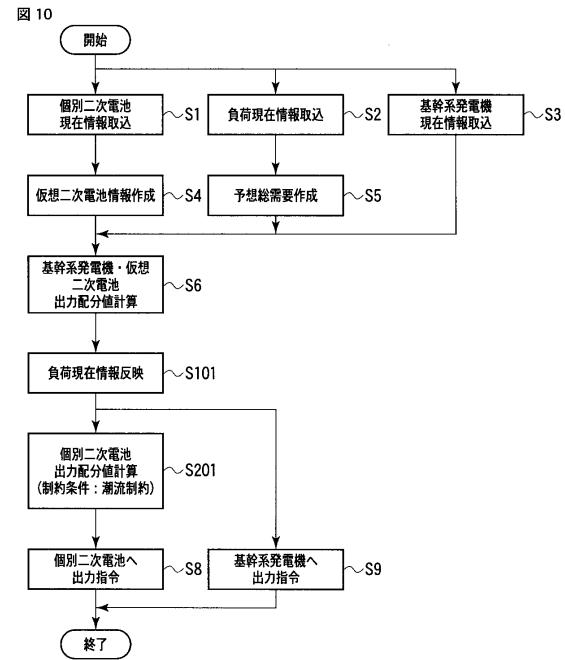
【図7】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(74)代理人 100140176
弁理士 砂川 克
(74)代理人 100101812
弁理士 勝村 紘
(74)代理人 100124394
弁理士 佐藤 立志
(74)代理人 100112807
弁理士 岡田 貴志
(74)代理人 100111073
弁理士 堀内 美保子
(74)代理人 100127144
弁理士 市原 卓三
(72)発明者 平戸 康太
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 宮本 秀一

(56)参考文献 特開2006-094648(JP, A)
特開2010-098793(JP, A)
特開2008-067481(JP, A)
特開2003-163013(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02J 3/00 - 7/12, 7/34 - 7/36, 13/00