

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6536346号
(P6536346)

(45) 発行日 令和1年7月3日(2019.7.3)

(24) 登録日 令和1年6月14日(2019.6.14)

(51) Int. Cl. F I
HO2M 7/48 (2007.01)
 HO2M 7/48 E
 HO2M 7/48 T
 HO2M 7/48 R

請求項の数 6 (全 17 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2015-205364 (P2015-205364) (22) 出願日 平成27年10月19日(2015.10.19) (65) 公開番号 特開2017-79509 (P2017-79509A) (43) 公開日 平成29年4月27日(2017.4.27) 審査請求日 平成30年4月23日(2018.4.23)</p>	<p>(73) 特許権者 000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 (74) 代理人 110000280 特許業務法人サンクレスト国際特許事務所 (72) 発明者 綾井 直樹 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電気工業株式会社大阪製作所内 審査官 東 昌秋</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電力変換装置及びその制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

中間バスを介して、複数の直流電源と交流系統との間での電力変換を行う電力変換装置であって、

前記中間バスと前記複数の直流電源との間にそれぞれ設けられる、複数のDC/DCコンバータと、

前記中間バスに接続された中間コンデンサと、

前記中間バスと前記交流系統との間に設けられるDC/ACコンバータと、

前記複数のDC/DCコンバータ及び前記DC/ACコンバータを制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記DC/ACコンバータが出力する有効電力を前記複数のDC/DCコンバータに配分するとともに、前記DC/ACコンバータ及び前記中間コンデンサが出力する無効電力の合計値を、前記有効電力の配分係数とは異なる配分係数で前記複数のDC/DCコンバータに配分する制御を行う電力変換装置。

【請求項2】

前記制御部は、前記複数のDC/DCコンバータの電力又は電流のピーク値が均等になるように前記無効電力の合計値を前記複数のDC/DCコンバータに配分する制御を行う請求項1に記載の電力変換装置。

【請求項3】

前記複数のDC/DCコンバータの最大出力が互いに同一である場合、前記制御部は、

前記複数のDC/DCコンバータの無効電力又は無効電流が均等になるように前記無効電力の合計値を前記複数のDC/DCコンバータに配分する制御を行う請求項1に記載の電力変換装置。

【請求項4】

前記制御部は、前記複数のDC/DCコンバータの各々に対する入力電圧の二乗に比例して、無効電力の前記配分係数を設定する請求項1に記載の電力変換装置。

【請求項5】

前記制御部は、前記複数のDC/DCコンバータのうち、蓄電池が接続されたDC/DCコンバータを、無効電力の配分の対象から除外する請求項1～請求項4のいずれか1項に記載の電力変換装置。

10

【請求項6】

中間バスと複数の直流電源との間にそれぞれ設けられる、複数のDC/DCコンバータと、前記中間バスに接続された中間コンデンサと、前記中間バスと交流系統との間に設けられるDC/ACコンバータと、前記複数のDC/DCコンバータ及び前記DC/ACコンバータを制御する制御部とを備え、前記中間バスを介して、前記複数の直流電源と前記交流系統との間での電力変換を行う電力変換装置について、前記制御部が実行する電力変換装置の制御方法であって、

前記DC/ACコンバータが出力する有効電力を前記複数のDC/DCコンバータに配分するとともに、前記DC/ACコンバータ及び前記中間コンデンサが出力する無効電力の合計値を、前記有効電力の配分係数とは異なる配分係数で前記複数のDC/DCコンバータに配分する電力変換装置の制御方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、直流/交流の電力変換を、スイッチング動作によって行う電力変換装置に関する。

【背景技術】

【0002】

直流電源の電圧を単相交流電圧に変換するには、例えば、昇圧回路(DC/DCコンバータ)及びインバータ回路を含む電力変換装置が用いられる。伝統的な電力変換装置では、直流電源の電圧を、交流側のピーク電圧より高い一定電圧まで昇圧回路で昇圧した後、当該電圧を、インバータ回路で交流電圧に変換している。この場合、昇圧回路及びインバータ回路は、常時高速なスイッチング動作を行っている。そのため、各スイッチング素子ではスイッチング損失が発生し、リアクトルでは鉄損が発生する。これらの損失は、変換効率の向上を妨げる要因となる。

30

【0003】

一方、直流電源の電圧と交流側の瞬時電圧の絶対値とを常に比較して、昇圧回路については昇圧が必要な期間のみスイッチング動作させ、インバータ回路については降圧が必要な期間のみスイッチング動作させる、という制御が提案されている(例えば特許文献1参照)。このような制御によれば、昇圧回路及びインバータ回路にスイッチング動作の休止期間ができる。休止期間ができれば、その分、スイッチング損失やリアクトルの鉄損が抑制されるので、変換効率の向上に資することになる。

40

【0004】

また、複数の直流電源があり、これに対応して複数のDC/DCコンバータを備えている電力変換装置においても、同様に、変換効率を向上させることができる(例えば特許文献2参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特許第5618022号

50

【特許文献2】特許第5618023号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1, 2の電力変換装置では、当該装置から交流系統に出力される電力と一致する電力を、DC/DCコンバータが出力するようにスイッチング制御が行われる。そのため、DC/DCコンバータは、有効電流及び無効電流を中間バスに供給する。また、特許文献2のように複数のDC/DCコンバータを備える場合、電流の配分が行われる。この電流配分の要点を示す式は以下の通りである。なお、以下における文字フォントの違い(立体/イタリック体)には意味は無く、同じ文字は同じ量を表している(以下同様)。

10

【0007】

まず、記号を、以下のように定義する。

I_a^* 電力変換装置から交流系統への出力電流指令値

C_a 交流側コンデンサのキャパシタンス

V_a 交流系統電圧

I_{inv}^* 交流側コンデンサに電流を流す前の段階でのインバータ回路の電流指令値

L_a 交流リアクトルのインダクタンス

V_{inv}^* 交流リアクトルを通る前の段階でのインバータ回路の電圧指令値

V_o^* 中間バスに現れるべき電圧指令値 ($V_{g,i}^*$ の最も大きい値と、 V_{inv}^* のいずれか大きい方)

20

C_o 中間コンデンサのキャパシタンス

$V_{g,i}^*$ 直流入力電圧値 (i は、複数の直流電源及びDC/DCコンバータを特定する番号1, 2, ...である。)

$I_{g,i}^*$ 直流入力電流指令値

s ラプラス演算子

また、 $\langle \rangle$ は、括弧内の値の平均値を示している。

【0008】

$$I_{in,i}^* = (I_{inv}^* \times V_{inv}^* + sC_o V_o^* \times V_o^*) \times \frac{I_{g,i}^*}{\sum_{i=1}^n \langle I_{g,i}^* \times V_{g,i}^* \rangle} \quad (1)$$

30

【0009】

$$I_{in,i}^* = \frac{I_{inv}^* \times V_{inv}^* + sC_o V_o^* \times V_o^*}{V_{g,i}^*} \times \frac{I_{g,i}^* \times V_{g,i}^*}{\sum_{i=1}^n \langle I_{g,i}^* \times V_{g,i}^* \rangle} \quad (2)$$

【0010】

$$I_{inv}^* = I_a^* + sC_a V_a \quad (3)$$

【0011】

$$V_{inv}^* = V_a + sL_a I_{inv}^* \quad (4)$$

40

【0012】

上記の式(1)右辺の()内は、DC/DCコンバータが出力する電力であり、これには有効電力と無効電力とが含まれる。式(1)を変形した式(2)において、電流指令値 $I_{in,i}^*$ は、直流電源が供給する有効電力 $I_{g,i}^* \times V_{g,i}^*$ に比例するようにDC/DCコンバータが出力する電力を配分し、これを直流電源の電圧 $V_{g,i}^*$ で割ることによって得られる。すなわち、この場合、DC/DCコンバータが出力する有効電力と無効電力とが共に、直流電源が出力する有効電力に比例するように配分される。

【0013】

ここで、例えば、直流電源が太陽光発電パネルである場合、DC/DCコンバータは、出力する有効電力が、太陽光発電パネルの出力が最大になる最適動作点となるように、制

50

御される。

しかしながら、特許文献2の電力変換装置では、大きな有効電力を出力する太陽光発電パネルが接続されたDC/DCコンバータほど無効電力が多く割り当てられ、特定のDC/DCコンバータに電流が集中する傾向が生じ、当該DC/DCコンバータにおいて発生する電力の損失が大きくなる。

【0014】

かかる課題に鑑み、本発明は、電力変換装置において電力の損失をさらに低減することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明は、中間バスを介して、複数の直流電源と交流系統との間での電力変換を行う電力変換装置であって、前記中間バスと前記複数の直流電源との間にそれぞれ設けられる、複数のDC/DCコンバータと、前記中間バスに接続された中間コンデンサと、前記中間バスと前記交流系統との間に設けられるDC/ACコンバータと、前記複数のDC/DCコンバータ及び前記DC/ACコンバータを制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記DC/ACコンバータが出力する有効電力を前記複数のDC/DCコンバータに配分するとともに、前記DC/ACコンバータ及び前記中間コンデンサが出力する無効電力の合計値を、前記有効電力の配分係数とは異なる配分係数で前記複数のDC/DCコンバータに配分する制御を行う電力変換装置である。

【0016】

制御方法の観点からは、中間バスと複数の直流電源との間にそれぞれ設けられる、複数のDC/DCコンバータと、前記中間バスに接続された中間コンデンサと、前記中間バスと交流系統との間に設けられるDC/ACコンバータと、前記複数のDC/DCコンバータ及び前記DC/ACコンバータを制御する制御部とを備え、前記中間バスを介して、前記複数の直流電源と前記交流系統との間での電力変換を行う電力変換装置について、前記制御部が実行する電力変換装置の制御方法であって、前記DC/ACコンバータが出力する有効電力を前記複数のDC/DCコンバータに配分するとともに、前記DC/ACコンバータ及び前記中間コンデンサが出力する無効電力の合計値を、前記有効電力の配分係数とは異なる配分係数で前記複数のDC/DCコンバータに配分する電力変換装置の制御方法である。

【発明の効果】

【0017】

本発明の電力変換装置及びその制御方法によれば、電力の損失をさらに低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】複数の直流電源と交流系統との間に設けられた電力変換装置の概略構成を示す単線接続図である。

【図2】図1の電力変換装置の回路図の一例である。

【図3】第1DC/DCコンバータと第2DC/DCコンバータの出力を2067W、第3DC/DCコンバータと第4DC/DCコンバータの出力を1033Wとしたときの、各DC/DCコンバータのピーク電流 I_{peak} ($I_{peak_1} \sim I_{peak_4}$)及び、電流の二乗和を便宜上(1/20)スケールで表した結果を示す棒グラフである。

【図4】蓄電池が充放電を停止しており、残り3台の太陽電池用DC/DCコンバータが最大出力で動作している場合の各DC/DCコンバータを流れる電流のピーク値と、全DC/DCコンバータの電流二乗和を示す棒グラフである。

【図5】太陽電池用の第1～第3DC/DCコンバータが2067Wを出力し、蓄電池の第4DC/DCコンバータの出力(充電)が0W、-2067W、-3100W、-4133Wと、変化するときの、各DC/DCコンバータの電流ピーク値と、全DC/DCコンバータの電流二乗和を示す棒グラフである。

10

20

30

40

50

【図6】太陽光発電と同時に蓄電池の放電を行う場合の各DC/DCコンバータの電流ピーク値と全DC/DCコンバータの電流二乗和を示す棒グラフである。

【図7】太陽光発電パネルを解列し、発電停止中に無効電流を供給するDC/DCコンバータを1台に限るとして、電流ピーク値と二乗和を計算した結果を示す棒グラフである。

【発明を実施するための形態】

【0019】

[実施形態の要旨]

本発明の実施形態の要旨としては、少なくとも以下のものが含まれる。

【0020】

(1)これは、中間バスを介して、複数の直流電源と交流系統との間での電力変換を行う電力変換装置であって、前記中間バスと前記複数の直流電源との間にそれぞれ設けられる、複数のDC/DCコンバータと、前記中間バスに接続された中間コンデンサと、前記中間バスと前記交流系統との間に設けられるDC/ACコンバータと、前記複数のDC/DCコンバータ及び前記DC/ACコンバータを制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記DC/ACコンバータが出力する有効電力を前記複数のDC/DCコンバータに配分するとともに、前記DC/ACコンバータ及び前記中間コンデンサが出力する無効電力の合計値を、前記有効電力の配分係数とは異なる配分係数で前記複数のDC/DCコンバータに配分する制御を行う電力変換装置である。

10

【0021】

上記のように構成された電力変換装置では、無効電力を、有効電力の配分係数とは異なる配分係数で最適に配分することができる。従って、例えば、各DC/DCコンバータの電力のピーク値が均等になるように配分係数を設定することにより、各DC/DCコンバータに流れる電流のピーク値を最小にする配分が可能となる。また、例えば、各DC/DCコンバータで発生する電力損失に着目して、これを最小にする配分係数の設定も可能となる。

20

【0022】

(2)また、(1)の電力変換装置において、前記制御部は、前記複数のDC/DCコンバータの電力又は電流のピーク値が均等になるように前記無効電力の合計値を前記複数のDC/DCコンバータに配分する制御を行ってもよい。

この場合、各DC/DCコンバータに流れる電流のピーク値を、最小にすることができる。

30

【0023】

(3)また、(1)の電力変換装置において、前記複数のDC/DCコンバータの最大出力が互いに同一である場合、前記制御部は、前記複数のDC/DCコンバータの無効電力又は無効電流が均等になるように前記無効電力の合計値を前記複数のDC/DCコンバータに配分する制御を行ってもよい。

この場合、各DC/DCコンバータに流れる電流のピーク値を、最小にすることができる。

【0024】

(4)また、(1)の電力変換装置において、前記制御部は、前記複数のDC/DCコンバータの各々に対する入力電圧の二乗に比例して、無効電力の前記配分係数を設定するようにしてもよい。

40

この場合、各DC/DCコンバータで発生する電力損失を最小にすることができる。

【0025】

(5)また、(1)~(4)のいずれかの電力変換装置において、前記制御部は、前記複数のDC/DCコンバータのうち、蓄電池が接続されたDC/DCコンバータを、無効電力の配分の対象から除外するようにしてもよい。

この場合、蓄電池に無効電流が流れて電力損失が発生することを、防止できる。

【0026】

(6)制御方法の観点からは、中間バスと複数の直流電源との間にそれぞれ設けられる

50

、複数のDC/DCコンバータと、前記中間バスに接続された中間コンデンサと、前記中間バスと交流系統との間に設けられるDC/ACコンバータと、前記複数のDC/DCコンバータ及び前記DC/ACコンバータを制御する制御部とを備え、前記中間バスを介して、前記複数の直流電源と前記交流系統との間での電力変換を行う電力変換装置について、前記制御部が実行する電力変換装置の制御方法であって、前記DC/ACコンバータが出力する有効電力を前記複数のDC/DCコンバータに配分するとともに、前記DC/ACコンバータ及び前記中間コンデンサが出力する無効電力の合計値を、前記有効電力の配分係数とは異なる配分係数で前記複数のDC/DCコンバータに配分する電力変換装置の制御方法である。

【0027】

このような電力変換装置の制御方法によれば、無効電力を、有効電力の配分係数とは異なる配分係数で最適に配分することができる。従って、例えば、各DC/DCコンバータの電力のピーク値が均等になるように配分係数を設定することにより、各DC/DCコンバータに流れる電流のピーク値を最小にする配分が可能となる。また、例えば、各DC/DCコンバータで発生する電力損失に着目して、これを最小にする配分係数の設定も可能となる。

【0028】

[実施形態の詳細]

以下、本発明の実施形態の詳細について図面を参照して説明する。

【0029】

《回路構成例》

図1は、複数の直流電源3と交流系統との間に設けられた電力変換装置1の概略構成を示す単線接続図である。図において、この電力変換装置1は、直流から交流への電力変換を行うものであり、昇圧回路としての複数のDC/DCコンバータ2及び、これに、中間バス(DCバス)6を介して接続されたインバータ回路としてのDC/ACコンバータ8を備えている。なお、この例では4組の直流電源3及びDC/DCコンバータ2を示しているが、「4組」は複数の一例に過ぎない。

【0030】

各DC/DCコンバータ2は、対応する直流電源3と中間バス6との間に設けられている。また、各DC/DCコンバータ2は、直流電源3との間に、直流側コンデンサ4及びスイッチ5を介して設けられている。なお、ここでは全ての直流電源3に対応してスイッチ5を設けた例を示しているが、スイッチ5は必要な直流電源3に限定して設けてもよい。中間バス6には中間コンデンサ7が接続されている。DC/ACコンバータ8は、中間バス6と交流系統との間に、交流側コンデンサ9を介して設けられている。なお、直流電源3とは、例えば太陽光発電パネル、又は、蓄電池である。

【0031】

この電力変換装置1は、直流電源3の電圧と交流側の瞬時電圧の絶対値とを常に比較して、DC/DCコンバータ2については昇圧が必要な期間のみスイッチング動作させ、DC/ACコンバータ8については降圧が必要な期間のみスイッチング動作させる、という最小スイッチング方式の制御を行う。このような制御によれば、DC/DCコンバータ2及びDC/ACコンバータ8にそれぞれ、スイッチング動作の休止期間ができる。休止期間ができれば、その分、スイッチング損失やリアクトルの鉄損が抑制されるので、変換効率が向上する。但し、直流電源3の電圧が異なる場合には、最も高い値を基準とした制御が行われる。

【0032】

図2は、図1の電力変換装置1の回路図の一例である。但し、図示の都合上、4組の直流電源3及びDC/DCコンバータ2のうち、2組のみを示しているが、他の2組も同様に中間バス6に対して並列的に接続されている。

図1と対応する部分には同一符号を付している。図において、電力変換装置1は、前述の直流側コンデンサ4、DC/DCコンバータ2、中間コンデンサ7、DC/ACコンバ

10

20

30

40

50

ータ 8 の他、フィルタ回路 14 及び制御部 20、また、計測用の後述のセンサ類を備えている。

【0033】

DC/DCコンバータ 2 は、直流リアクトル 11 と、一对のスイッチング素子 Q11, Q12 とを備えた昇圧（降圧も可）チョップである。スイッチング素子 Q11, Q12 としては、例えば、IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）が用いられる。スイッチング素子 Q11, Q12 には、それぞれに並列逆極性に、ダイオード d11, d12 が接続されている。なお、スイッチング素子 Q11, Q12 としては、その他、FET（Field Effect Transistor）も使用可能である。

【0034】

DC/ACコンバータ 8 は、フルブリッジを構成する 4 つのスイッチング素子 Q81, Q82, Q83, Q84 を備えている。スイッチング素子 Q81 ~ Q84 は、例えば FET である。

フィルタ回路 14 は、交流リアクトル 13 と、交流側コンデンサ 9 とによって構成され、DC/ACコンバータ 8 の交流出力に含まれる高周波成分が交流系統 17 に漏れ出ることを防止している。なお、交流系統 17 は、交流負荷 15 及び商用電力系統 16 を含む。

【0035】

前述のセンサ類としては、直流側コンデンサ 4 の両端電圧 (V_g) を検出する電圧センサ 31 と、DC/DCコンバータ 2 に流れる電流 (I_{in}) を検出する電流センサ 32 と、中間コンデンサ 7 の両端電圧すなわち中間バス 6 の 2 線間電圧 (V_o) を検出する電圧センサ 33 と、DC/ACコンバータ 8 の交流側に流れる電流 (I_{inv}) を検出する電流センサ 34 と、交流側コンデンサ 9 の両端電圧を検出する電圧センサ 35 とが設けられている。全てのセンサの計測出力信号は、制御部 20 に送られる。制御部 20 は、DC/DCコンバータ 2 及び DC/ACコンバータ 8 のスイッチング制御を行う。

【0036】

制御部 20 は例えば、CPU を含み、ソフトウェア（コンピュータプログラム）をコンピュータが実行することで、必要な制御機能を実現する。ソフトウェアは、制御部 20 の記憶装置（図示せず。）に格納される。但し、CPU を含まないハードウェアのみの回路で制御部 20 を構成することも可能ではある。

【0037】

《制御理論》

次に、上記のように構成された電力変換装置 1 の制御理論について説明する。まず、以下のように諸量を定義する。

【0038】

V_a : 電圧センサ 35 によって検出される交流系統電圧
 I_a^* : 交流系統 17 へ流そうとする交流電流指令値
 I_{inv} : 電流センサ 34 によって検出される交流電流
 C_a : 交流側コンデンサ 9 のキャパシタンス
 I_{inv}^* : DC/ACコンバータ 8 から交流リアクトル 13 に流そうとする電流指令値
 V_{inv}^* : DC/ACコンバータ 8 の交流側での電圧指令値
 R_{inv} : DC/ACコンバータ 8 の抵抗成分
 L_{inv} : 交流リアクトル 13 のインダクタンス
 I_{in}^* : DC/DCコンバータ 2 の直流リアクトル 11 に流そうとする電流指令値
 I_{in} : 電流センサ 32 によって検出される直流電流
 C_o : 中間コンデンサ 7 のキャパシタンス
 V_o^* : 中間コンデンサ 7 の両端に現れるべき電圧指令値
 V_o : 電圧センサ 33 によって検出される中間電圧
 V_g : 電圧センサ 31 によって検出される直流電圧
 R_{in} : DC/DCコンバータ 2 の抵抗成分

10

20

30

40

50

L_{inv} : 直流リアクトル 11 のインダクタンス
【 0 0 3 9 】

中間バス 6 における瞬時電力の等式は、以下の式 (5) によって表される。(t) は時間の関数であることを示している。

【 0 0 4 0 】

$$\sum_{i=1}^n I_{in_i}^*(t) \times \left[V_{g_i} - \left(R_{in_i} I_{in_i}^*(t) + L_{in_i} \frac{dI_{in_i}^*(t)}{dt} \right) \right] = I_{inv}^*(t) V_{inv}^*(t) + C_o \frac{dV_o^*(t)}{dt} V_o^*(t) \quad (5)$$

【 0 0 4 1 】

式 (5) の左辺は、複数の DC / DC コンバータ 2 から供給される電力の総和を示す。右辺の第 1 項は、DC / AC コンバータ 8 に供給される電力を表し、第 2 項は、中間コンデンサ 7 に係る無効電力を表している。

ここから、以下のように式を分析していく。

【 0 0 4 2 】

$$I_{inv}^*(t) = I_a^*(t) + C_a \frac{dV_a(t)}{dt} \quad (6)$$

$$= I_a^* \sin \omega t + C_a V_a \cos \omega t \quad (7)$$

$$= I_{inv}^* \sin(\omega t + \varphi) \quad I_{inv}^* = \sqrt{I_a^{*2} + (C_a V_a)^2} \quad \varphi = \tan^{-1} \frac{C_a V_a}{I_a^*} \quad (8)$$

$$\approx I_{inv}^* \sin \omega t \quad (9)$$

【 0 0 4 3 】

$$V_{inv}^*(t) = V_a^*(t) - \left(R_{inv} I_{inv}^*(t) + L_{inv} \frac{dI_{inv}^*(t)}{dt} \right) \quad (10)$$

$$= V_a^* \sin \omega t - (R_{inv} I_{inv}^* \sin(\omega t + \varphi) + \omega L_{inv} I_{inv}^* \cos(\omega t + \varphi)) \quad (11)$$

$$= V_a^* \sin \omega t - V_\delta \sin(\omega t + \varphi + \varphi') \quad (12)$$

$$V_\delta = \sqrt{I_{inv}^{*2} (R_{inv}^2 + (\omega L_{inv})^2)} \quad \varphi' = \tan^{-1} \frac{\omega L_{inv}}{R_{inv}}$$

$$\approx V_{inv}^* \sin \omega t \quad (13)$$

【 0 0 4 4 】

$$V_o^*(t) = \begin{cases} V_g'(t) & V_g'(t) \geq V_{inv}^*(t) \\ V_{inv}^*(t) & V_g'(t) < V_{inv}^*(t) \end{cases} \quad (14)$$

【 0 0 4 5 】

$$V_g' = \max_{i=1 \sim n} \left[V_{g_i} - \left(R_{in_i} I_{in_i}^*(t) + L_{in_i} \frac{dI_{in_i}^*(t)}{dt} \right) \right] \quad (15)$$

【 0 0 4 6 】

10

20

30

40

$$\sum_{i=1}^n I_{in,i}^*(t) \times \left[V_{g,i} - \left(R_{in,i} I_{in,i}^*(t) + L_{in,i} \frac{dI_{in,i}^*(t)}{dt} \right) \right]$$

$$\approx \begin{cases} I_{inv}^* V_{inv}^* \sin^2(\omega t) + C_o V_{inv}^{*2} \frac{d|\sin \omega t|}{dt} |\sin \omega t| & (|V_{inv}^*| \geq V_g') \\ I_{inv}^* V_{inv}^* \sin^2(\omega t) & (|V_{inv}^*| < V_g') \end{cases} \quad (16)$$

$$= \frac{I_{inv}^* V_{inv}^*}{2} - \frac{I_{inv}^* V_{inv}^*}{2} \cos(2\omega t) + F(2\omega t) \quad (17)$$

$$F(2\omega t) = \begin{cases} \frac{C_o V_{inv}^{*2}}{2} \sin(2\omega t) & (|V_{inv}^*| \geq V_g' \ \& \ 0 \leq \omega t \leq \pi) \\ -\frac{C_o V_{inv}^{*2}}{2} \sin(2\omega t) & (|V_{inv}^*| \geq V_g' \ \& \ \pi \leq \omega t \leq 2\pi) \\ 0 & (|V_{inv}^*| < V_g') \end{cases}$$

$$= \sum_{i=1}^n \left[g_i \frac{|I_{inv}^* V_{inv}^*|}{2} + w_i \left\{ -\frac{|I_{inv}^* V_{inv}^*|}{2} \cos(2\omega t) + F(2\omega t) \right\} \right] \quad (18)$$

【 0 0 4 7 】

$$\sum_{i=1}^n g_i = \sum_{i=1}^n w_i = \begin{cases} 1 & DC \rightarrow AC \\ -1 & AC \rightarrow DC \end{cases} \quad (19)$$

【 0 0 4 8 】

式(9)、式(13)に示すように、 $I_{inv}^*(t)$ と $V_{inv}^*(t)$ とが互いに同期した正弦波で表すことができる、と近似をすると、式(5)の右辺は式(17)のように整理される。さらに、右辺を各DC/DCコンバータ2から供給される電力に対応するように線形結合の方に書き換えて、式(18)が得られる。

【 0 0 4 9 】

g_i 、 w_i は、それぞれ、各DC/DCコンバータから供給する有効電力と無効電力との比率を示す配分係数で、直流電源から交流側に送られる電力の符号を、正と定義している。 g_i の符号は、太陽光発電と蓄電池の放電では正、蓄電池の充電では負である。

【 0 0 5 0 】

式(19)に示したように、全体として電力の流れが直流から交流のときには、

$$\sum_{i=1}^n g_i = \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

である。交流から直流のときは、

$$\sum_{i=1}^n g_i = \sum_{i=1}^n w_i = -1$$

とする。

【 0 0 5 1 】

$$I_{in,i}^*(t) = \frac{g_i \frac{I_{inv}^* V_{inv}^*}{2} + w_i \left\{ -\frac{I_{inv}^* V_{inv}^*}{2} \cos(2\omega t) + F(2\omega t) \right\}}{V_{g,i} - \left(R_{in,i} I_{in,i}^*(t) + L_{in,i} \frac{dI_{in,i}^*(t)}{dt} \right)} \quad (20)$$

【 0 0 5 2 】

10

20

30

40

$$I_{in_i}^*(t) \approx \frac{I_{inv}^* V_{inv}^* \{g_i - w_i \cos(2\omega t)\}}{2V_{g_i}} \quad (21)$$

【 0 0 5 3 】

$$\langle I_{in_i}^* \rangle_{rms} = \frac{I_{inv}^* V_{inv}^*}{2V_{g_i}} \sqrt{g_i^2 + \frac{w_i^2}{2}} \quad (22)$$

【 0 0 5 4 】

ここで、参考までに、例えば、 $g_i = w_i$ とすれば、無効電力は有効電力に比例して配分される（有効電力比例配分）。しかしながらこの配分では、 g_i の符号が互いに一致していないとき、すなわち、太陽光発電と蓄電池の充電とが同時に行われるときに、太陽光発電パネルから供給する無効電力を打ち消す無効電力が蓄電池から供給されており、各 DC / DC コンバータ 2 から不必要に多くの無効電力を供給していることになる。この場合には g_i の絶対値を ($= w_i$) として、各 DC / DC コンバータ 2 から供給する無効電力の符号、すなわち無効電流の位相を揃えて比例配分すればよい。

10

【 0 0 5 5 】

一方、 $g_i (I_{inv}^* \cdot V_{inv}^* / 2) + w_i \{ - (I_{inv}^* \cdot V_{inv}^* / 2) \cos(2t) + F(2t) \}$ が一定になるように w_i を決めれば、無効電力は各 DC / DC コンバータ 2 から供給される電力が均等になるように配分される（電力均等配分）。この配分方法では有効電力の供給量が少ない DC / DC コンバータ 2 ほど、多くの無効電力が割り当てられる。

20

【 0 0 5 6 】

また、これとよく似ているが、式 (20) の電流が均等になるように配分する方法も考えられる（電流均等配分）。電流を均等配分すると各 DC / DC コンバータ 2 を流れる電流のピーク値が最小となるので、直流リアクトル 11 とスイッチング素子 Q11, Q12 の電流容量を最小とすることができる。

【 0 0 5 7 】

なお、式 (20) は、分母 $V_{g_i} - (R_{in_i} I_{in_i}^*(t) + L_{in_i} (dI_{in_i}^*(t) / dt))$ の後半の電圧降下を表す部分に時間変動成分が含まれるため、厳密には第 1 項にも無効電流成分が含まれる。しかし、電源電圧が 200 V 程度であるのに対して、変動成分は数 V 程度と小さいため、以下の解析ではこれを無視する。また、中間コンデンサ 7 を流れる無効電力 $F(2t)$ も同様に小さいので無視すると式 (21) が得られる。さらに、式 (21) の二乗平均の平方根を計算することにより、DC / DC コンバータ 2 を流れる電流の実効値の式 (22) が得られる。

30

【 0 0 5 8 】

式 (22) における $(g_i^2 + (w_i^2 / 2))^{1/2}$ が一定になるように w_i を設定すれば電力を均等配分することができる。また、 $(g_i^2 + (w_i^2 / 2))^{1/2} / V_{g_i}$ が一定になるように w_i を設定すれば電流を均等配分することができる。

例えば、太陽光発電パネルに接続された 3 台の DC / DC コンバータ 2 が均等に出力し、蓄電池が停止しているときには、 g_i の値は、太陽光発電パネル用の DC / DC コンバータ 2 では 1 / 3、蓄電池用の DC / DC コンバータ 2 では 0 である。このとき、 w_i を、太陽光発電パネル用の DC / DC コンバータ 2 では 1 / 6、蓄電池用の DC / DC コンバータ 2 では 1 / 2 とすれば、式 (22) のルートの部分の値は、共に、 $(2) / 4$ となり、電力が均等になる。

40

【 0 0 5 9 】

$$\sum_{i=1}^n \{I_{in,i}^*(t)\}^2 R_i \approx \sum_{i=1}^n \left(\frac{I_{inv}^* V_{inv}^*}{2V_{g,i}} \right)^2 \{g_i^2 - 2g_i w_i \cos(2\omega t) + w_i^2 \cos^2(2\omega t)\} R_i \quad (23)$$

$$= \sum_{i=1}^n \left(\frac{I_{inv}^* V_{inv}^*}{2V_{g,i}} \right)^2 \left\{ g_i^2 - 2g_i w_i \cos(2\omega t) + w_i^2 \frac{\cos(4\omega t) + 1}{2} \right\} R_i$$

$$\rightarrow \text{Av.} \sum_{i=1}^n \left(\frac{I_{inv}^* V_{inv}^*}{2V_{g,i}} \right)^2 \left\{ g_i^2 + \frac{w_i^2}{2} \right\} R_i = \left(\frac{I_{inv}^* V_{inv}^*}{2} \right)^2 \sum_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{g_i}{V_{g,i}} \right)^2 R_i + \frac{1}{2} \left(\frac{w_i}{V_{g,i}} \right)^2 R_i \right\} \quad (24)$$

10

【 0 0 6 0 】

$$w_i = \frac{V_{g,i}^2}{\sum_{i=1}^n V_{g,i}^2} \quad (R_1 = R_2 = \dots = R_n) \quad (25)$$

【 0 0 6 1 】

$$w_i = \frac{1}{n} \quad (V_{g,1} = V_{g,2} = \dots = V_{g,n}) \quad (26)$$

【 0 0 6 2 】

一方、DC / DCコンバータの抵抗によって発生する電力損失を最小にするには、式(24)が最小になるように w_i を設定して配分すればよい。式(24)において、 g_i は w_i と直交しているため、第2項の

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{w_i}{V_{g,i}} \right)^2 R_i$$

が最小になるように w_i を設定して配分すればよい。

【 0 0 6 3 】

全てのDC / DCコンバータ2が同じものであって抵抗成分 R_i が互いに等しいときには、式(25)に従って w_i を設定し配分すれば電力損失が最小になる。さらに、各DC / DCコンバータ2に接続する直流電源の電圧が全て同じであれば、式(26)のとおり単純に w_i をDC / DCコンバータ2の数で均等配分すれば損失は最小になる。よって、 g_i が全て等しくない限り、電流のピーク値が最小になる w_i の設定配分は、電力損失が最小になる条件と一致しない。

【 0 0 6 4 】

以上に述べてきた無効電流の配分法は全てのDC / DCコンバータ2から無効電流を供給することを前提としているが、この場合には蓄電池に無効電流が流れるため蓄電池の内部抵抗による損失が増えるという問題がある。太陽光発電パネルの場合には出力インピーダンスが比較的大きいため、DC / DCコンバータ2と太陽光発電パネルの間にキャパシタンスの大きなコンデンサを配置すれば無効電流はこのコンデンサで吸収されるため太陽光発電パネルには無効電流はほとんど流れない。

【 0 0 6 5 】

しかしながら、蓄電池はインピーダンスが小さいため、蓄電池とDC / DCコンバータ2との間にコンデンサを置いても効果が乏しく、無効電流がほぼそのまま蓄電池に流れる。そこで、蓄電池用のDC / DCコンバータ2は除外して太陽光発電パネル用のDC / DCコンバータ2のみで無効電流を配分することが好ましい。ただし、蓄電池が充放電を停止しているときには、蓄電池とDC / DCコンバータ2との間に置いたスイッチ5を開路していれば蓄電池には電流は流れないので、蓄電池用のDC / DCコンバータ2にも無効電流を割り当てることができる。

【 0 0 6 6 】

《 実施例 1 》

(直流電源が全て太陽光発電パネルのとき)

50

【 0 0 6 7 】

具体例を示して、無効電流の最適配分についてさらに検討するが、計算を簡略化するため直流電源の電圧は全て200V、交流系統の電圧は200V（実効値）とした。

4台のDC/DCコンバータに全て太陽光発電パネルを接続したときの、各DC/DCコンバータを流れる電流のピーク値と、電流の二乗和を、無効電流の配分方法を変えて計算した。以下、4台のDC/DCコンバータを、第1DC/DCコンバータ、第2DC/DCコンバータ、第3DC/DCコンバータ、第4DC/DCコンバータと称する。

【 0 0 6 8 】

第1DC/DCコンバータと第2DC/DCコンバータの出力を2067W、第3DC/DCコンバータと第4DC/DCコンバータの出力を1033Wとしたときの、各DC/DCコンバータのピーク電流 I_{peak} ($I_{peak_1} \sim I_{peak_4}$)及び、電流の二乗和を便宜上(1/20)スケールで表した結果を図3の棒グラフに示す。棒グラフは、ハッチング付きが有効電流比例、黒塗りが無効電流均等、白抜きが電流均等の配分を表している。

10

【 0 0 6 9 】

図示のように、有効電流比例配分とすると第1DC/DCコンバータ及び第2DC/DCコンバータのピーク電流が最大となり、20.7Aとなった。無効電流均等配分とすると第1DC/DCコンバータ及び第2DC/DCコンバータのピーク電流が17.1Aに下がる。電流均等配分ではさらに小さくなり、15.5Aに下がる。電流の二乗和については、無効電流均等配分が最も小さい。電流均等配分の二乗和と比べると、その差は-3.3%である。

20

【 0 0 7 0 】

この例のようにDC/DCコンバータによって最大出力が異なるときには、電流均等配分を採用して全てのDC/DCコンバータの電流を平均化し、直流リアクトル、スイッチング素子等の部品は同じ定格ものを用いる設計も考えられる。全てのDC/DCコンバータの最大出力が同じときには、無効電流均等配分を採用して損失を最小にする設計が良いと考えられる。

【 0 0 7 1 】

《 実施例 2 》

(太陽電池用DC/DCコンバータ3台、蓄電池用DC/DCコンバータ1台のとき)

30

【 0 0 7 2 】

(太陽光発電の余剰電力を売電するとき)

次に、太陽電池用DC/DCコンバータが3台(第1～第3)、蓄電池用DC/DCコンバータが1台(第4)の場合を考える。まず、蓄電池が充放電を停止しており、残り3台の太陽電池用DC/DCコンバータが最大出力で動作している場合を考える。このとき蓄電池はDC/DCコンバータから解列しており、蓄電池用DC/DCコンバータは無効電流のみを供給できるものとする。この場合の各DC/DCコンバータを流れる電流のピーク値と、全DC/DCコンバータの電流2乗和を図4に示す。

【 0 0 7 3 】

第1～第3DC/DCコンバータの電流ピーク値 I_{peak_1} , I_{peak_2} , I_{peak_3} は、有効電流比例配分で20.7A、無効電流均等配分で18.1A、電流均等配分で15.5Aとなる。電流二乗和は、有効電流比例配分と電流均等配分とで互いに同じで、無効電流比例配分はこれらと比べて8.3%小さくなる。このように、太陽光発電パネルが発電をしているときに蓄電池を停止して、その間に無効電流均等配分に従って蓄電池用DC/DCコンバータから無効電流を供給すれば変換効率を上げることができる。あるいは電流均等配分をすれば効率に変化はないが、太陽電池用DC/DCコンバータに流れる電流のピーク値を低減できるので、直流リアクトル等の部品の定格を下げるができる。太陽光発電の余剰電力を売電し、蓄電池による押上、いわゆるダブル発電を行わないときには、これらの方法は有効である。

40

【 0 0 7 4 】

50

(太陽光発電の余剰電力を蓄電池に充電するとき)

今後は、余剰電力の買取価格が更に低下していくので、売電のメリットが期待できなくなる。そこで、太陽光発電の余剰電力を売電しないで蓄電池に充電して自家消費に使うようになる。この場合、太陽光発電をしているときには蓄電池は充電をしているので、蓄電池用DC/DCコンバータから無効電流を供給することはできない。よって、太陽電池用DC/DCコンバータのみで無効電流を供給しなければならないが、自家消費が少なく蓄電池の充電の割合が大きいほど、インバータの出力は小さくなるので、無効電流の必要量も小さくなる。

【0075】

太陽電池用の第1～第3DC/DCコンバータが2067Wを出力し、蓄電池の第4DC/DCコンバータの出力(充電)が0W、-2067W、-3100W、-4133Wと、変化するときの、各DC/DCコンバータの電流ピーク値と、全DC/DCコンバータの電流二乗和を図5に示す。無効電流は蓄電池用の第4DC/DCコンバータには流さず、第1～第3DC/DCコンバータのみで均等配分している。

10

【0076】

太陽電池用DC/DCコンバータの電流ピークは蓄電池の充電が0のときに最大で20.7Aだが、蓄電池の充電量が増えるに従って、無効電流の負担が小さくなるため電流ピークは小さくなる。一方、蓄電池用DC/DCコンバータに流れるのは有効電流のみのため、電流値が太陽電池用DC/DCコンバータの電流ピーク値と同じ20.7Aになるのは充電量が4133Wのときである。

20

【0077】

よって、必要な冷却さえできれば太陽電池用DC/DCコンバータに使用しているのと同じ直流リアクトル、半導体デバイスで4kWまで充電することができる。昼間に不在であることが多く電力消費が少ない家では、太陽光発電の余剰が多いので、充電能力が大きい方が良い。蓄電池DC/DCコンバータには有効電流のみを負担させることによって、その分、有効電流を多く流すことができれば充電能力を上げることができるので、余剰電流を自家消費する運用には都合が良い。

【0078】

(太陽光発電と蓄電池の放電を同時に行うとき)

自家消費が発電よりも多い時には、発電と同時に蓄電池の放電を行う。この場合の各DC/DCコンバータの電流ピーク値と全DC/DCコンバータの電流二乗和を図6に示す。太陽電池用の第1～第3DC/DCコンバータの出力は電力変換装置の最大出力6200Wから蓄電池用の第4DC/DCコンバータの出力を引いた残りを均等配分し、第4DC/DCコンバータの出力は0W、2067W、3100W、4133Wと変化させている。

30

【0079】

無効電流は太陽電池用の第1～第3DC/DCコンバータのみで均等配分した。蓄電池用の第4DC/DCコンバータの出力が0Wのときは図5と同じである。図5では蓄電池の充電が増えるに従って、太陽電池用の第4DC/DCコンバータの無効電流負担が小さくなったが、図6では太陽電池用の第4DC/DCコンバータの無効電流負担は変化せず、蓄電池の放電が増えるに従って有効電流が小さくなっている。電流二乗和は蓄電池の放電が4133Wのときに最大になっている。

40

【0080】

(太陽光発電の停止中に蓄電池が充電・放電を行うとき)

太陽光発電停止中に蓄電池が充電または放電を行うときに、蓄電池に無効電流を流さないためには太陽電池用のDC/DCコンバータが無効電流を供給する必要がある。太陽光発電していないときに太陽電池用DC/DCコンバータを動作させると、中間バスから流れる電流によってDC/DCコンバータの太陽電池側にあるコンデンサが充電されてその電圧が上昇する。このとき太陽電池の各PN接合に外部から順方向電圧が加わるため導通状態となり、DC/DCコンバータの電池側が短絡する。

50

【 0 0 8 1 】

この状態では太陽電池用 D C / D C コンバータのコンデンサから無効電力を供給することができないので、太陽電池が発電していないときに D C / D C コンバータから無効電流を供給するためには、太陽電池と D C / D C コンバータの間に制御部 2 0 により開閉を制御できるスイッチ 5 を設けて太陽光発電パネルを解列する必要がある。コスト上昇をできるだけ抑えるために、発電停止中に無効電流を供給する D C / D C コンバータを 1 台に限るとして、電流ピーク値と二乗和を計算した。図 7 は、この計算結果を示す棒グラフである。

【 0 0 8 2 】

無効電流供給用は第 1 D C / D C コンバータで行うとして、第 2 D C / D C コンバータ、第 3 D C / D C コンバータは停止している。蓄電池用の第 4 D C / D C コンバータは有効電流のみを供給するとして、出力が 2 0 6 7 W、3 1 0 0 W、4 1 3 3 W の場合を計算した。蓄電池の放電が 4 1 3 3 W のときに第 4 D C / D C コンバータに流れる有効電流、第 1 D C / D C コンバータに流れる無効電流のピーク値は共に 1 0 . 7 A になる。図 7 は蓄電池が放電を行っている場合を示したが、充電を行っているときも電流の向きが変わるだけで結果は同じになる。

10

【 0 0 8 3 】

《 補 記 》

なお、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全ての変更が含まれることが意図される。

20

【 符号の説明 】

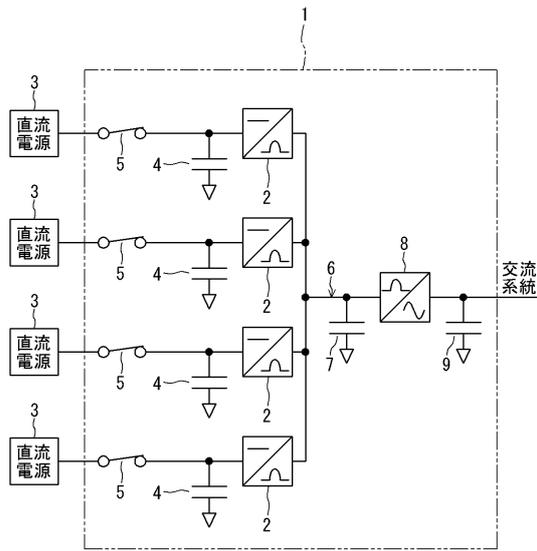
【 0 0 8 4 】

- 1 電力変換装置
- 2 D C / D C コンバータ
- 3 直流電源
- 4 直流側コンデンサ
- 5 スイッチ
- 6 中間バス
- 7 中間コンデンサ
- 8 D C / A C コンバータ
- 9 交流側コンデンサ
- 1 1 直流リアクトル
- 1 3 交流リアクトル
- 1 4 フィルタ回路
- 1 5 交流負荷
- 1 6 商用電力系統
- 1 7 交流系統
- 2 0 制御部
- 3 1 電圧センサ
- 3 2 電流センサ
- 3 3 電圧センサ
- 3 4 電流センサ
- 3 5 電圧センサ
- Q 1 1 , Q 1 2 , Q 8 1 , Q 8 2 , Q 8 3 , Q 8 4 スイッチング素子
- d 1 1 , d 1 2 ダイオード

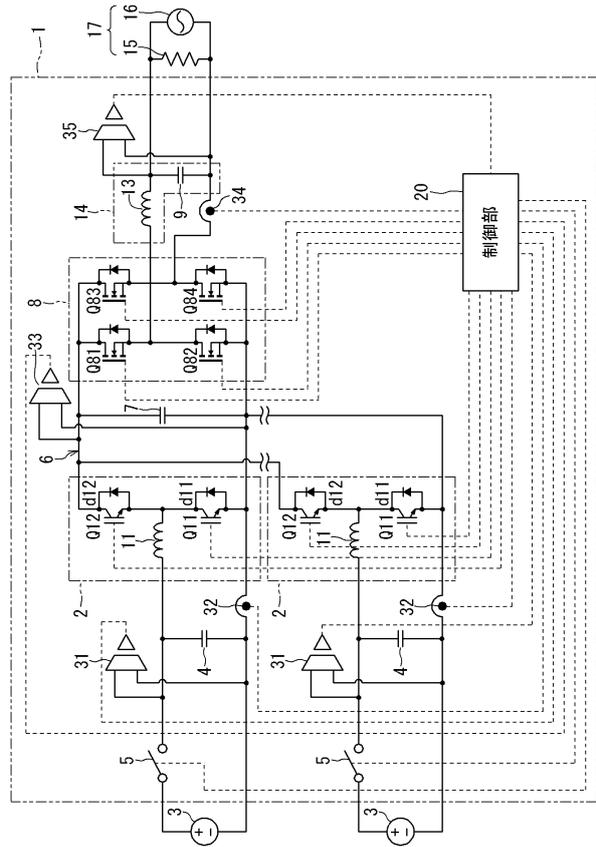
30

40

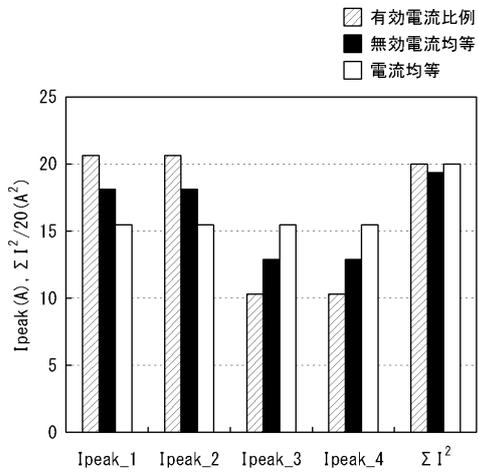
【 図 1 】



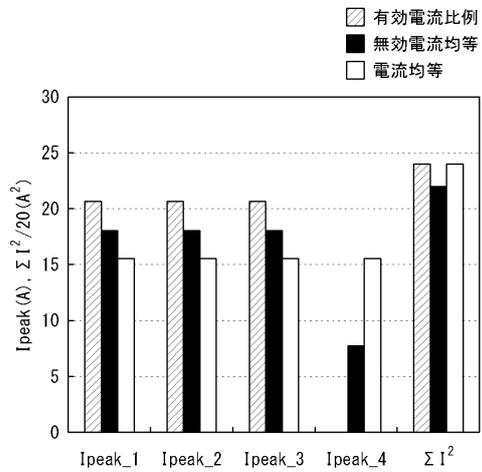
【 図 2 】



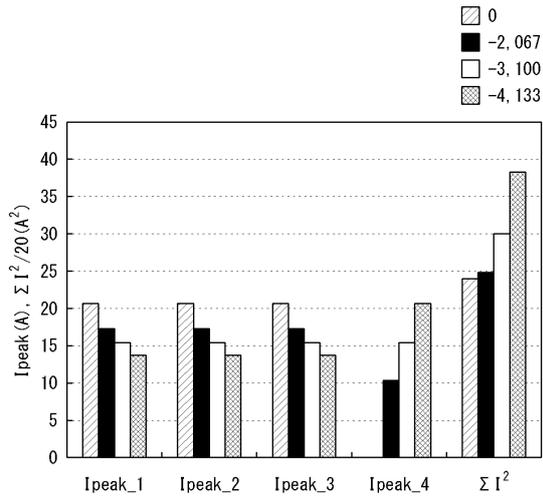
【 図 3 】



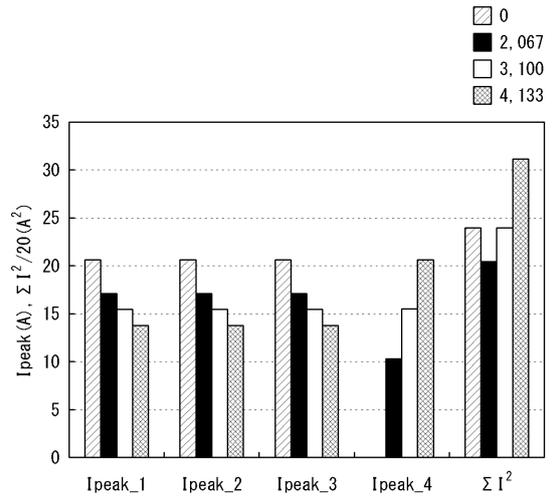
【 図 4 】



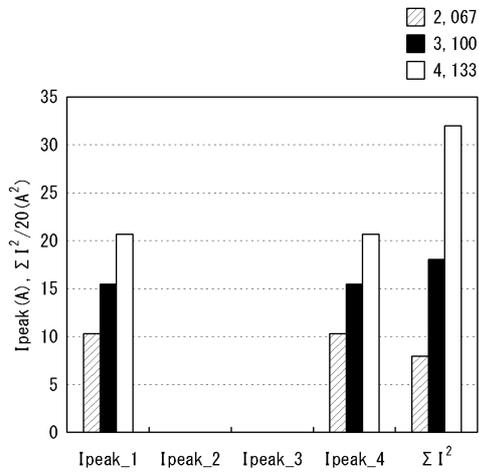
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2014/199795(WO, A1)

特開2014-099986(JP, A)

特開2006-060983(JP, A)

特開2015-180125(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02M 7/00 - 7/98

H02M 3/00 - 3/44

H02J 1/00 - 7/12

H02J 7/34 - 7/36