

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7366263号
(P7366263)

(45)発行日 令和5年10月20日(2023.10.20)

(24)登録日 令和5年10月12日(2023.10.12)

(51)国際特許分類 F I
H 0 2 J 3/00 (2006.01) H 0 2 J 3/00 1 7 0
H 0 2 J 3/18 (2006.01) H 0 2 J 3/18

請求項の数 15 (全32頁)

(21)出願番号	特願2022-531272(P2022-531272)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日	令和2年6月23日(2020.6.23)	(74)代理人	100088672 弁理士 吉竹 英俊
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/024582	(74)代理人	100088845 弁理士 有田 貴弘
(87)国際公開番号	WO2021/260788	(72)発明者	山根 啓介 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開日	令和3年12月30日(2021.12.30)	(72)発明者	高口 雄介 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
審査請求日	令和4年7月11日(2022.7.11)	(72)発明者	安並 一浩 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 調相設備の制御装置、および調相設備の制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

電力システムに含まれる調相設備を制御する指令である制御指令を出力する出力部と、
現在情報と、複数の将来情報と、電力設備情報と、目的関数および複数の制約式とを格納する格納部と、

最適潮流計算問題に対して最適潮流計算を行う演算部と
を備え、

前記現在情報は、前記電力システムについての現在の時間断面である現在断面についての情報であり、

前記複数の将来情報の各々は、前記電力システムについての将来の複数の前記時間断面である複数の将来断面の各々についての情報であり、

前記電力設備情報は前記電力システムを構成する設備に関する情報であり、

前記最適潮流計算問題は前記電力システムについての前記最適潮流計算の対象となる問題であり、

前記現在情報と、前記複数の将来情報と、前記電力設備情報とに基づいて、前記最適潮流計算問題が前記目的関数および前記複数の制約式によって定式化され、

前記演算部は前記最適潮流計算を行って前記目的関数についての変数を求め、

前記制御指令は前記最適潮流計算を行って求められた前記変数に基づいて設定され、

前記複数の制約式および前記目的関数のうちの少なくとも一つにおいて、前記調相設備の前記現在断面および前記複数の将来断面において前記調相設備の投入量が変動する量が

10

20

積算される、調相設備の制御装置。

【請求項 2】

前記目的関数において、前記調相設備の前記現在断面および前記複数の将来断面において前記調相設備が出力する無効電力が変動する量の積算が行われ、

前記最適潮流計算によって前記目的関数を最小とする前記変数が求められる、請求項 1 に記載の調相設備の制御装置。

【請求項 3】

前記複数の制約式に用いられる関数の少なくとも一つは、前記調相設備の前記現在断面および前記複数の将来断面において前記調相設備が出力する無効電力が変動する量の積算の上限を設定する、請求項 1 または請求項 2 に記載の調相設備の制御装置。

10

【請求項 4】

前記無効電力が変動する量の前記積算においては、前記量に対して正の重み係数が乗じられて積算され、

前記重み係数は、前記重み係数に対応する前記将来断面が前記現在断面から遠いほど小さく設定される、請求項 2 または請求項 3 に記載の調相設備の制御装置。

【請求項 5】

前記複数の制約式に用いられる関数の少なくとも一つは、前記時間断面の間において前記調相設備が出力する無効電力が変動する量が採る値を設定する、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の調相設備の制御装置。

【請求項 6】

前記電力系統は負荷を含み、
前記目的関数において、前記現在断面および前記複数の将来断面における前記負荷における電圧の変動が積算され、

前記最適潮流計算によって前記目的関数を最小とする前記変数が求められる、請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の調相設備の制御装置。

20

【請求項 7】

前記電力系統は複数の前記調相設備を含み、
前記複数の制約式および前記目的関数のうちの少なくとも一つにおいて、第 1 の前記調相設備の投入量の前記現在断面および前記複数の将来断面における変動が積算された結果と、第 2 の前記調相設備の投入量の前記現在断面および前記複数の将来断面における変動が積算された結果との分散が用いられる、請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の調相設備の制御装置。

30

【請求項 8】

電力系統に含まれる複数の調相設備を制御する指令である制御指令を出力する出力部と、
現在情報と、複数の将来情報と、電力設備情報と、目的関数および複数の制約式とを格納する格納部と、

最適潮流計算問題に対して最適潮流計算を行う演算部と
を備え、

前記現在情報は、前記電力系統についての現在の時間断面である現在断面についての情報であり、

40

前記複数の将来情報の各々は、前記電力系統についての将来の複数の前記時間断面である複数の将来断面の各々についての情報であり、

前記電力設備情報は前記電力系統を構成する設備に関する情報であり、

前記最適潮流計算問題は前記電力系統についての前記最適潮流計算の対象となる問題であり、

前記現在情報と、前記複数の将来情報と、前記電力設備情報とに基づいて、前記最適潮流計算問題が前記目的関数および前記複数の制約式によって定式化され、

前記演算部は前記最適潮流計算を行って前記目的関数についての変数を求め、

前記制御指令は前記最適潮流計算を行って求められた前記変数に基づいて設定され、

前記複数の制約式および前記目的関数のうちの少なくとも一つにおいて、第 1 の前記調

50

相設備の投入量の前記現在断面および前記複数の将来断面における変動が積算された結果と、第2の前記調相設備の投入量の前記現在断面および前記複数の将来断面における変動が積算された結果との分散が用いられる、調相設備の制御装置。

【請求項9】

前記目的関数において前記分散が用いられ、

前記最適潮流計算によって前記目的関数を最小とする前記変数が求められる、請求項7または請求項8に記載の調相設備の制御装置。

【請求項10】

前記複数の制約式の少なくとも一つは、前記分散が採る値を設定する、請求項7または請求項8に記載の調相設備の制御装置。

【請求項11】

前記電力系統は複数の前記調相設備を含み、

前記複数の制約式および前記目的関数のうちの少なくとも一つにおいて、第1の前記調相設備の投入量の前記現在断面および前記複数の将来断面における変動が積算された結果と第1の重み係数との積と、第2の前記調相設備の投入量の前記現在断面および前記複数の将来断面における変動が積算された結果と第2の重み係数との積とが用いられ、

前記第1の重み係数および前記第2の重み係数のいずれもが、前記第1の前記調相設備の前記投入量が前記現在断面までに変動する量を積算した第1値と、前記第2の前記調相設備の前記投入量が前記現在断面までに変動する量を積算した第2値とを用いて設定される、請求項1から6のいずれか1項に記載の調相設備の制御装置。

【請求項12】

前記第1の重み係数および前記第2の重み係数は、前記第1の前記調相設備の前記投入量が変動する量と、前記第2の前記調相設備の前記投入量が変動する量との差が低減するように設定される、請求項11に記載の調相設備の制御装置。

【請求項13】

前記第1値が前記第2値よりも大きいとき、前記第1の重み係数は前記第2の重み係数よりも大きい、請求項12に記載の調相設備の制御装置。

【請求項14】

電力系統に含まれる調相設備を制御する指令である制御指令が出力部によって出力されるステップと、

現在情報と、複数の将来情報と、電力設備情報と、目的関数および複数の制約式とが格納部によって格納されるステップと、

最適潮流計算問題に対して最適潮流計算が演算部によって行われるステップとを備え、

前記現在情報は、前記電力系統についての現在の時間断面である現在断面についての情報であり、

前記複数の将来情報の各々は、前記電力系統についての将来の複数の前記時間断面である複数の将来断面の各々についての情報であり、

前記電力設備情報は前記電力系統を構成する設備に関する情報であり、

前記最適潮流計算問題は前記電力系統についての前記最適潮流計算の対象となる問題であり、

前記現在情報と、前記複数の将来情報と、前記電力設備情報とに基づいて、前記最適潮流計算問題が前記目的関数および前記複数の制約式によって定式化され、

前記演算部は前記最適潮流計算を行って前記目的関数についての変数を求め、

前記制御指令は前記最適潮流計算を行って求められた前記変数に基づいて設定され、

前記複数の制約式および前記目的関数のうちの少なくとも一つにおいて、前記調相設備の前記現在断面および前記複数の将来断面において前記調相設備の投入量が変動する量が積算される、調相設備の制御方法。

【請求項15】

電力系統に含まれる複数の調相設備を制御する指令である制御指令が出力部によって出

10

20

30

40

50

力されるステップと、

現在情報と、複数の将来情報と、電力設備情報と、目的関数および複数の制約式とが格納部によって格納されるステップと、

最適潮流計算問題に対して最適潮流計算が演算部によって行われるステップとを備え、

前記現在情報は、前記電力系統についての現在の時間断面である現在断面についての情報であり、

前記複数の将来情報の各々は、前記電力系統についての将来の複数の前記時間断面である複数の将来断面の各々についての情報であり、

前記電力設備情報は前記電力系統を構成する設備に関する情報であり、

前記最適潮流計算問題は前記電力系統についての前記最適潮流計算の対象となる問題であり、

前記現在情報と、前記複数の将来情報と、前記電力設備情報とに基づいて、前記最適潮流計算問題が前記目的関数および前記複数の制約式によって定式化され、

前記演算部は前記最適潮流計算を行って前記目的関数についての変数を求め、

前記制御指令は前記最適潮流計算を行って求められた前記変数に基づいて設定され、

前記複数の制約式および前記目的関数のうちの少なくとも一つにおいて、第1の前記調相設備の投入量の前記現在断面および前記複数の将来断面における変動が積算された結果と、第2の前記調相設備の投入量の前記現在断面および前記複数の将来断面における変動が積算された結果との分散が用いられる、調相設備の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は調相設備を制御する装置（本開示において「調相設備の制御装置」とも称される）、および調相設備を制御する方法（本開示において「調相設備の制御方法」とも称される）に関する。

【背景技術】

【0002】

電力系統には調相設備が含まれる。調相設備は、調相設備が含まれた電力系統における電圧を適正化する。電力系統が運用される際には、調相設備が無効電力を調整する。調相設備には、例えばコンデンサが採用される容量性素子の複数と、例えばタップ付きのリアクトルが採用される誘導性素子とが利用される。以下、容量性素子と誘導性素子との総称として「リアクタンス素子」が採用される。

【0003】

電力系統において無効電力が調整されるに際しては、調相設備の投入量が調整される。調相設備の投入量は、調相設備におけるリアクタンス素子と電力系統との間の接続と遮断との間における切り替えによって調整される。投入量の変動が多いと上記の切り替えを多くする。当該切り替えが多いと、当該切り替えに採用される素子、例えば遮断器が摩耗しやすい。遮断器が摩耗することは、調相設備の寿命を減少させる。

【0004】

近年、電力系統へ導入される再生可能エネルギーが増加し、これにより電力系統における電圧の変動が増大する傾向にある。当該変動の増大に伴って調相設備の投入量が変動する頻度が増加する。当該頻度の増加は調相設備の寿命を減少させる。

【0005】

調相設備は、経年劣化によっても機器寿命が減少する。投入量の変動および調相設備が運用された年数のどちらか一方が、それぞれに対して設定された基準値以上となった場合に調相設備が交換される。

【0006】

特許文献1において、電力系統についての過去の運用実績と将来の予測情報とから、調相設備についての運転計画を作成する技術が開示される。特許文献1において開示される

10

20

30

40

50

技術においては、電力需要の翌日についての予測値に対して、過去における電力需要の値のうち最も近い日の調相設備の運用実績がベース計画として、運転計画が定められる。ベース計画において運用制約に対する違反する可能性がある場合には、運転計画が適宜に修正される。

【0007】

本開示に関連する他の先行技術として、更に特許文献2, 3, 4および非特許文献1を下記に挙げる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【文献】特開2013-179752号公報

特開2010-136600号公報

特開2019-154204号公報

特開2018-191482号公報

【非特許文献】

【0009】

【文献】電力系統標準モデルの普及・拡充調査専門委員会、「3. 拡充システムモデル等を用いた解析例」、拡充システムモデル報告書(マニュアル)、電気学会、2001年10月、[令和2年5月7日検索]、インターネット<URL: http://denki.tee.jp/wp-content/uploads/pes/23-st_model/data/3.1.1_3.1.2a.pdf>

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

特許文献1に開示された技術においては、調相設備の投入量のある一つの時刻において決める処理が、運転の対象となる期間(以下において「運転対象期間」と称される)において繰り返される。かかる技術によっては、調相設備の投入量の、運転対象期間の全体に亘る変動の総量が最小にされるとは限らない。従って、調相設備においてリアクタンス素子が接続および遮断される切り替えの回数を低減できるとは限らない。

【0011】

本開示は、調相設備の投入量の変動を小さくする制御を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本開示にかかる調相設備の制御装置は、出力部と、格納部と、演算部とを備える。前記出力部は、電力系統に含まれる調相設備を制御する指令である制御指令を出力する。前記格納部は、現在情報と、複数の将来情報と、電力設備情報と、目的関数および複数の制約式とを格納する。前記演算部は、最適潮流計算問題に対して最適潮流計算を行う。

【0013】

前記現在情報は、前記電力系統についての現在の時間断面である現在断面についての情報である。前記複数の将来情報の各々は、前記電力系統についての将来の複数の前記時間断面である複数の将来断面の各々についての情報である。前記電力設備情報は前記電力系統を構成する設備に関する情報である。

【0014】

前記最適潮流計算問題は前記電力系統についての前記最適潮流計算の対象となる問題である。前記現在情報と、前記複数の将来情報と、前記電力設備情報とに基づいて、前記最適潮流計算問題が前記目的関数および前記複数の制約式によって定式化される。

【0015】

前記演算部は前記最適潮流計算を行って前記目的関数についての変数を求める。前記制御指令は前記最適潮流計算を行って求められた前記変数に基づいて設定される。

【0016】

前記複数の制約式および前記目的関数のうちの少なくとも一つにおいて、前記調相設備

10

20

30

40

50

の前記現在断面および前記複数の将来断面において前記調相設備の投入量が変動する量が積算される。あるいは、前記電力系統に複数の前記調相設備が含まれるとき、前記複数の制約式および前記目的関数のうちの少なくとも一つにおいて、第1の前記調相設備の投入量の前記現在断面および前記複数の将来断面における変動が積算された結果と、第2の前記調相設備の投入量の前記現在断面および前記複数の将来断面における変動が積算された結果との分散が用いられる。

【発明の効果】

【0017】

本開示によれば、調相設備の投入量の変動を小さくする制御が提供される。

【0018】

本開示の目的、特徴、態様、および利点は、以下の詳細な説明と添付図面とによって、より明白となる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】実施の形態1に係る制御装置の機能を構成として例示するブロック図である。

【図2】実施の形態1において複数の時間断面を時系列に沿って並べた概念図である。

【図3】実施の形態1における現在情報の内容を例示するブロック図である。

【図4】将来情報の内容を例示するブロック図である。

【図5】電力設備情報の内容を例示するブロック図である。

【図6】設定情報の内容を例示するブロック図である。

【図7】制御装置のハードウェアとしての構成を例示するブロック図である。

【図8】制御装置の動作を例示するフローチャートである。

【図9】制御装置の動作の一つのステップの詳細を例示するフローチャートである。

【図10】負荷における負荷需要の変動を、時間断面毎に例示するグラフである。

【図11】最適潮流計算によって求められた調相設備の無効電力と、負荷における電圧とを示すグラフである。

【図12】最適潮流計算によって求められた調相設備の無効電力と、負荷における電圧とを示すグラフである。

【図13】無効電力の値の推移を示す図である。

【図14】実施の形態2において複数の時間断面を時系列に沿って並べた概念図である。

【図15】実施の形態2における現在情報の内容を例示するブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

[最適潮流計算の定式化]

実施の形態の詳細な説明に先立ち、電力系統についての最適潮流計算を定式化する手法が説明される。

【0021】

最適潮流計算において、変数 x , u , z について式(1)によって表現される目的関数が用いられる。例えば目的関数は単数である。最適潮流計算は、この目的関数を最小とする変数 x , u , z を求める。

【0022】

【数1】

$$f(x, u, z) \quad \dots(1)$$

【0023】

変数 x , u , z には後述される制約が存在し、当該制約は複数の制約式によって定式化される。制約式および目的関数は、最適潮流計算の対象となる問題(本開示において「最適潮流計算問題」と称される)を規定する。最適潮流計算問題に対して最適潮流計算が行われることにより、目的関数を最小とする変数 x , u , z が求められる。

【0024】

10

20

30

40

50

変数 x , u , z の各々は、複数の変数（これは変数の集合と考えられ得る）を意味する。

【 0 0 2 5 】

変数 x は電圧解である。電圧解は、電源系統に含まれる母線における電圧（母線電圧）の大きさおよび位相角から構成される電圧ベクトルの集合である。

【 0 0 2 6 】

変数 u は制御変数であり、電力系統を構成する諸要素（以下において「電力系統の構成要素」とも称される）において設定され得る制御量の集合である。たとえば、制御変数 u の例として、調相設備が出力する無効電力、電力系統に含まれる発電機が出力する有効電力、発電機における端子電圧、電力系統に含まれる変圧器に採用されるタップ比、電力系統に含まれる負荷における有効電力、負荷における無効電力が挙げられる。

10

【 0 0 2 7 】

変数 z は従属変数であり、制御変数 u が設定されることによって従属的に決まる変数の集合である。従属変数 z の例としては発電機が出力する無効電力、母線同士の間における位相角の差が挙げられる。当該無効電力は、発電機が出力する有効電力と発電機の端子電圧とが設定されることによって決まる。

【 0 0 2 8 】

目的関数の例としては、発電機を駆動させるために必要な燃料にかかる費用の総量（総燃料費）、送電損失が挙げられる。式（ 2 ）によって示されるような、複数の目的関数 $f_A(x, u, z)$, $f_B(x, u, z)$ を正の重み係数 K_A , K_B によって重み付けして加算した結果（重み付け和）が一つの目的関数として扱われてもよい。

20

【 0 0 2 9 】

【数 2】

$$K_A \times f_A(x, u, z) + K_B \times f_B(x, u, z) \quad \dots (2)$$

【 0 0 3 0 】

但し、本開示における実施の形態においては、後述されるように、他の形式によって表される目的関数が採用される。

【 0 0 3 1 】

制約式は、変数 x , u , z が満たすべき一連の等式および不等式として、たとえば式（ 3 ） , （ 4 ） , （ 5 ）として表される。

30

【 0 0 3 2 】

【数 3】

$$g_A(x, u, z) = 0 \quad \dots (3)$$

$$g_B(x, u, z) = 0 \quad \dots (4)$$

$$h_A(x, u, z) \leq 0 \quad \dots (5)$$

【 0 0 3 3 】

式（ 3 ）は一連の状態方程式であり、潮流方程式と称される。式（ 4 ）は、電力系統に含まれる機器（例えば変圧器および調相設備）が、機器の特性および安定度の制約によって満たすべき一連の方程式である。当該制約は機器の特性および安定度の制約に限定されない。式（ 5 ）は、変数 x , u , z が満たすべき上下限值を示す一連の不等式（以下において「上下限制約式」と称される）である。

40

【 0 0 3 4 】

上記の目的関数および制約式のいずれもが、可変値である上記の変数 x , u , z の他に、固定値によって与えられるパラメータによって記述される。パラメータは、電力系統に含まれる機器の定数、線路インピーダンス、母線電圧の上下限、発電機が出力する有効電力および無効電力のそれぞれの上下限、調相設備の投入量の上下限などである。これらのパラメータには、電力系統の構成要素の状態に応じて適切な値が設定される。

【 0 0 3 5 】

50

<実施の形態 1 >

[調相設備についての運転計画のための定式化]

上記の最適潮流計算を利用して調相設備についての運転計画を作成する方法について説明される。当該運転計画の作成においては、電力システムの将来における複数の時間断面について最適潮流計算が行われる。

【 0 0 3 6 】

図 1 は実施の形態 1 に係る制御装置 2 0 0 の機能を構成として例示するブロック図である。制御装置 2 0 0 は調相設備の制御装置として機能する。制御装置 2 0 0 は、入力部 3 0 1 と、設定部 3 0 2 と、演算部 3 0 3 と、出力部 3 0 4 と、格納部 3 0 5 とを含む。

【 0 0 3 7 】

入力部 3 0 1 には、現在情報 3 1 0 と、第 1 時刻情報 3 1 1、第 2 時刻情報 3 1 2、... 第 n 時刻情報 3 1 n (n は 2 以上の正の整数) と、電力設備情報 3 2 0 とが入力される。第 2 時刻情報 3 1 2、... 第 n 時刻情報 3 1 n はいずれも将来情報と称されることがある。以下においては 1 以上 n 以下の整数 k が導入され、将来情報 3 1 1 ~ 3 1 n は第 k 時刻情報 3 1 k という表現によって代表されることもある。

【 0 0 3 8 】

入力部 3 0 1 に入力される現在情報 3 1 0 と、第 k 時刻情報 3 1 k と、電力設備情報 3 2 0 とは、最適潮流計算の目的関数および制約式において固定値として与えられるパラメータに相当する。

【 0 0 3 9 】

設定部 3 0 2 には設定情報 3 3 0 が入力される。設定情報 3 3 0 は調相設備についての運転計画のための最適潮流計算問題が定式化された情報である。

【 0 0 4 0 】

現在情報 3 1 0 と、第 k 時刻情報 3 1 k と、電力設備情報 3 2 0 と、設定情報 3 3 0 とは、格納部 3 0 5 に格納される。

【 0 0 4 1 】

演算部 3 0 3 は、最適潮流計算問題に対して、いずれも格納部 3 0 5 に格納されている現在情報 3 1 0、第 k 時刻情報 3 1 k、および電力設備情報 3 2 0 をパラメータとして用いて、最適潮流計算を実行する。

【 0 0 4 2 】

最適潮流計算においては、制約付きの非線形計画問題において最適解が求められる。最適潮流計算は例えば内点法を用いて計算される。演算部 3 0 3 は、例えば汎用の非線形計画問題の演算プログラムを利用して、最適潮流計算を実行する。

【 0 0 4 3 】

この最適潮流計算によって得られた変数 x 、 u 、 z の最適値は、格納部 3 0 5 に格納される。制御変数 u の最適値には、時間断面毎の調相設備の無効電力の計算結果が含まれる。運転対象期間における複数の時間断面にわたって求められた調相設備の無効電力の計算結果が、時系列順に整理され、調相設備についての運転計画となる。当該運転計画に基づいて、調相設備が制御される。例えば運転計画は格納部 3 0 5 に格納される。

【 0 0 4 4 】

出力部 3 0 4 は制御指令 3 0 6 を出力する。制御指令 3 0 6 は制御装置 2 0 0 が制御する対象となる調相設備を制御する指令として機能する。制御指令 3 0 6 は演算部 3 0 3 によって求められてもよいし、出力部 3 0 4 において求められてもよい。

【 0 0 4 5 】

図 2 は、実施の形態 1 において制御装置 2 0 0 が制御する対象となる調相設備 1 0 7 を含む電力系統 1 0 0 について、複数の時間断面 S_0 、 S_1 、 S_2 、... S_n を時系列に沿って並べた概念図である。

【 0 0 4 6 】

時間断面 S_0 は電力系統 1 0 0 についての現在の時間断面であり、以下においては現在断面 S_0 あるいは第 0 断面 S_0 とも称される。時間断面 S_1 、 S_2 、... S_n は電力系統 1 0

10

20

30

40

50

0 についての将来の時間断面であり、以下においては将来断面と表現されることもある。以下においては上述の整数 k が導入されて、将来断面 S_1, S_2, \dots, S_n を代表する第 k 断面 S_k という表現が採用されることもある。

【0047】

実施の形態 1 においては簡単のため、現在および将来に亘って、電力系統 100 の構成要素は同一である場合についての説明が行われる。実施の形態 1 においては電力系統 100 が母線 101, 102, 103, 104、発電機 105、負荷 106、調相設備 107、送電線 108、変圧器 109 を含む場合が例示される。

【0048】

母線 101 には発電機 105 が接続される。母線 101 と母線 102 とは送電線 108 を介して接続される。母線 103 には負荷 106 が接続される。母線 104 には調相設備 107 が接続される。母線 102, 103, 104 は変圧器 109 を介して接続される。

10

【0049】

図 2 においては第 0 断面 S_0 における電力系統 100、母線 101, 102, 103, 104、発電機 105、負荷 106、調相設備 107、送電線 108、変圧器 109 について、現在時刻（以下において「第 0 時刻」として参照されることもある） T_0 におけるそれぞれの状態を示すべく、それぞれの符号の末尾に「(T_0)」が付記される。

【0050】

同様にして、第 k 断面 S_k における電力系統 100、母線 101, 102, 103, 104、発電機 105、負荷 106、調相設備 107、送電線 108、変圧器 109 について、将来の第 k 時刻 T_k におけるそれぞれの状態を示すべく、それぞれの符号の末尾に「(T_k)」が付記される。第 k 時刻 T_k は第 $(k-1)$ 時刻 T_{k-1} よりも後である。第 k 断面 S_k は第 $(k-1)$ 断面 S_{k-1} よりも後の将来断面である。

20

【0051】

図 3 は実施の形態 1 における現在情報 310 の内容を例示するブロック図である。現在情報 310 は現在断面（第 0 断面） S_0 についての情報である。現在情報 310 は情報 310a, 310b, 310c, 310d, 310e, 310f を有する。

【0052】

情報 310a は現在断面 S_0 に対応する時刻（具体的には現在時刻である第 0 時刻 T_0 ）を示す。情報 310b は電力系統 100 の現在の構成（具体的には電力系統 100 (T_0) における母線 101 (T_0), 102 (T_0), 103 (T_0), 104 (T_0)、発電機 105 (T_0)、負荷 106 (T_0)、調相設備 107 (T_0)、送電線 108 (T_0)、変圧器 109 (T_0) およびこれら同士の間接続関係（当該接続関係それ自体もしくは推定される接続関係を含む）を示す。

30

【0053】

情報 310c は、発電機 105 の現在の運転状態（具体的には発電機 105 (T_0) の運転状態（当該運転状態それ自体もしくはその推定される状態を含む））を示す。

【0054】

情報 310d は、負荷 106 における電力の需要量（負荷需要）の現在の値（具体的には負荷 106 (T_0) における負荷需要もしくはその推定値）を示す。

40

【0055】

情報 310e は、現在の再生可能エネルギーの出力（具体的には発電機 105 (T_0) のうち再生可能エネルギーの出力もしくはその推定値）を示す。

【0056】

情報 310f は、調相設備 107 の現在の状態（具体的には調相設備 107 (T_0) の投入量それ自体もしくはその推定値、または調相設備 107 (T_0) が出力する無効電力それ自体もしくはその推定値を含む）を示す。

【0057】

図 4 は実施の形態 1 における将来情報 311 ~ 31n の内容を、第 k 時刻情報 31k として例示するブロック図である。第 k 時刻情報 31k は第 k 断面 S_k について予測される

50

情報（予測情報）である。第 k 時刻情報 $31k$ は情報 $31ka$, $31kb$, $31kc$, $31kd$, $31ke$ を有する ($k = 1 \sim n$)。

【0058】

情報 $31ka$ は第 k 時刻 T_k を示す。情報 $31kb$ は、電力系統 100 の第 k 時刻 T_k における構成（具体的には電力系統 100 (T_k) における母線 101 (T_k) , 102 (T_k) , 103 (T_k) , 104 (T_k)、発電機 105 (T_k)、負荷 106 (T_k)、調相設備 107 (T_k)、送電線 108 (T_k)、変圧器 109 (T_k) およびこれら同士の間接続関係) を示す。

【0059】

情報 $31kc$ は、発電機 105 の第 k 時刻 T_k における運転状態の予定（運転計画：具体的には発電機 105 (T_k) についての運転計画) を示す。

10

【0060】

情報 $31kd$ は、第 k 時刻 T_k における負荷需要の予測値（具体的には負荷 106 (T_k) における負荷需要の予測値) を示す。

【0061】

情報 $31ke$ は再生可能エネルギーの出力の第 k 時刻 T_k における予定（具体的には発電機 105 (T_k) のうち再生可能エネルギーの出力についての運転計画もしくは予測値) を示す。

【0062】

図 5 は電力設備情報 320 の内容を例示するブロック図である。電力設備情報 320 は、電力系統を構成する設備に関する情報を有する。電力設備情報 320 は情報 $320a$, $320b$, $320c$, $320d$, $320e$ を含む。

20

【0063】

情報 $320a$ は調相設備 107 が出力する無効電力の上下限を示す。情報 $320b$ は発電機 105 が出力する電力の上下限を示す。情報 $320c$ は母線 101 ~ 104 における母線電圧の上下限を示す。情報 $320d$ は送電線 108 の容量を示す。情報 $320e$ は変圧器 109 におけるタップ制御の上下限を示す。

【0064】

図 6 は設定情報 330 の内容を例示するブロック図である。設定情報 330 は目的関数についての情報 $330a$ と、第 1 制約式についての情報 $330b$ と、第 2 制約式についての情報 $330c$ とを有する。

30

【0065】

[将来断面が 2 つの場合の例示]

2 つの将来断面 S_1 , S_2 が考慮される場合が例として説明される。目的関数 f は、式 (1) と類似して式 (6) によって表される。

【0066】

【数 4】

$$f(x_1, u_1, z_1; x_2, u_2, z_2) \quad \dots (6)$$

【0067】

あるいは目的関数 f は、式 (2) と類似して式 (7) によって表される。

40

【0068】

【数 5】

$$K_{A1} \times f_{A1}(x_1, u_1, z_1) + K_{B1} \times f_{B1}(x_1, u_1, z_1) \\ + K_{A2} \times f_{A2}(x_2, u_2, z_2) + K_{B2} \times f_{B2}(x_2, u_2, z_2) \quad \dots (7)$$

【0069】

重み係数 K_{A1} および重み係数 K_{A2} 、重み係数 K_{B1} および重み係数 K_{B2} はそれぞれ同じ値である必要はない。例えば第 2 断面 S_2 よりも第 1 断面 S_1 が重視される場合には

50

、重み係数 K_{A2} よりも重み係数 K_{A1} が、重み係数 K_{B2} よりも重み係数 K_{B1} が、それぞれ大きな値に設定される。

【0070】

情報 330b が規定する第 1 制約式は、将来断面の各々における潮流方程式と制約式とを含む。第 1 制約式は例えば式 (3) ~ (5) を用いて表される。例えば式 (3) ~ (5) が表現する形式は、全ての時間断面において共通に用いられる。

【0071】

第 1 断面 S_1 における潮流方程式は、変数 x, u, z としてそれぞれ第 1 時刻 T_1 における変数 x_1, u_1, z_1 として表現されて、式 (3) と同様に式 (8A) によって表される。同様に、式 (4) に相当する方程式が式 (9A) によって、上下制限制約式が式 (5) と同様に不等式 (10A) によって、それぞれ表される。但し、第 1 時刻 T_1 における制約式であることが、左辺において関数を示す記号 g_A, g_B, h_A に対する添字 1 によって示される。

【0072】

【数 6】

$$g_{A1}(x_1, u_1, z_1) = 0 \quad \dots (8A)$$

$$g_{B1}(x_1, u_1, z_1) = 0 \quad \dots (9A)$$

$$h_{A1}(x_1, u_1, z_1) \leq 0 \quad \dots (10A)$$

10

20

【0073】

同様に、第 2 断面 S_2 における潮流方程式は式 (3) と同様に式 (8B) によって、式 (4) に相当する方程式は式 (9B) によって、上下制限制約式は式 (5) と同様に不等式 (10B) によって、それぞれ表される。但し、第 2 時刻 T_2 における制約式であることが、左辺において関数を示す記号 g_A, g_B, h_A に対する添字 2 によって示される。

【0074】

【数 7】

$$g_{A2}(x_2, u_2, z_2) = 0 \quad \dots (8B)$$

$$g_{B2}(x_2, u_2, z_2) = 0 \quad \dots (9B)$$

$$h_{A2}(x_2, u_2, z_2) \leq 0 \quad \dots (10B)$$

30

【0075】

第 1 制約式的具体例として、各時間断面における潮流方程式 (式 (8A), (8B)) と、発電機 105 が出力する有効電力および無効電力出力の上下限值、調相設備 107 の容量についての制約、母線 101 ~ 104 における母線電圧の上下限值、変圧器 109 におけるタップ制御の制約、送電線 108 や変圧器 109 の容量の制約を示す等式 (式 (9A), (9B) 参照) あるいは上下制限制約式 (式 (10A), (10B) 参照) が挙げられる。これらの制約や上下限値は、第 1 制約式において方程式、または不等式においてパラメータとして取り扱われて最適潮流計算問題が定式化される。

40

【0076】

情報 330c が規定する第 2 制約式は、将来断面の複数に亘る制約を規定する。第 2 制約式においては、第 1 断面 S_1 の少なくとも一部の変数と、それに対応する第 2 断面 S_2 の変数との関係が規定される。第 2 制約式は式 (11) によって例示される関数 g_C を用いた方程式と、式 (12) によって例示される関数 h_B を用いた不等式 (上下制限制約式) とを含む。

【0077】

【数 8】

50

$$g_C(x_1, u_1, z_1; x_2, u_2, z_2) = 0 \quad \dots (11)$$

$$h_B(x_1, u_1, z_1; x_2, u_2, z_2) \leq 0 \quad \dots (12)$$

【 0 0 7 8 】

目的関数、第 1 制約式および第 2 制約式は、電力系統 1 0 0 の運用に課せられた制約を規定する。実施の形態 1 において目的関数および第 2 制約式のうちの少なくとも一つは、調相設備 1 0 7 の投入量の変動の総量を低減するように設定される。当該総量を低減させる目的関数または第 2 制約式が少なくとも 1 つ以上含まれて、最適潮流計算が定式化される。

10

【 0 0 7 9 】

最適潮流計算問題を解くことによって得られる最適解となる変数 x_k, u_k, z_k のうち、制御変数 u_k には第 k 断面 S_k における調相設備 1 0 7 (T_k) が出力する無効電力が含まれる ($k = 1, 2$)。

【 0 0 8 0 】

調相設備 1 0 7 が出力する無効電力の、運転対象期間における複数の時間断面にわたって求められた計算結果が、時系列順に整理され、調相設備 1 0 7 についての運転計画となる。当該運転計画に基づいて、調相設備 1 0 7 が制御される。

【 0 0 8 1 】

[目的関数の具体例]

例えば、現在断面 S_0 から第 2 断面 S_2 にかけて調相設備 1 0 7 の投入量が変動する量 (以下において「調相設備変動量」とも称される) の総量を最小化するために、目的関数が式 (1 3) によって表される。

20

【 0 0 8 2 】

【 数 9 】

$$f(u_1; u_2) = (Q(T_2) - Q(T_1))^2 + (Q(T_1) - Q(T_0))^2 \quad \dots (13)$$

【 0 0 8 3 】

式 (1 3) においては第 j 断面 S_j における調相設備 1 0 7 (T_j) が出力する無効電力 $Q(T_j)$ が導入される ($j = 0, 1, 2$)。無効電力 $Q(T_0)$ は固定値として例えば情報 3 1 0 f に含まれるパラメータである。無効電力 $Q(T_1)$ は制御変数 u_1 として採用され、無効電力 $Q(T_2)$ は制御変数 u_2 として採用される。最適潮流計算は、第 1 制約式および第 2 制約式を満足させつつ当該目的関数を最小にする制御変数 u_1, u_2 を求める。

30

【 0 0 8 4 】

調相設備 1 0 7 が出力する無効電力 Q が変動する量 (以下において「無効電力変動量」とも称される) は調相設備 1 0 7 の調相設備変動量を反映する。この観点から、当該目的関数において調相設備 1 0 7 の調相設備変動量が積算されるといえる。

【 0 0 8 5 】

式 (7) と同様に、式 (1 3) によって示された目的関数と、これ以外の目的関数との重み付け和を目的関数として設定することも可能である。例えば他の目的関数の具体例として、発電機 1 0 5 の総燃料費、送電線 1 0 8 における損失 (送電損失)、母線 1 0 1 ~ 1 0 4 における母線電圧の目標値からの偏差が挙げられる。あるいは送電線 1 0 8 の送電余裕量を最大にするように上記目的関数が設定されてもよい。

40

【 0 0 8 6 】

例えば、調相設備 1 0 7 の無効電力変動量の総量を低減する条件が第 2 制約式として設定される。具体的には式 (1 1) は例えば式 (1 4 A) によって表される。式 (1 4 A) は第 1 時刻 T_1 と第 2 時刻 T_2 との相違によっては、調相設備 1 0 7 が出力する無効電力 Q が変動しないという制約を示す。

【 0 0 8 7 】

50

【数 1 0】

$$g_C(u_1; u_2) = Q(T_2) - Q(T_1) \quad \dots (14A)$$

【0 0 8 8】

例えば、現在断面 S_0 から第 2 断面 S_2 にかけて調相設備 1 0 7 の無効電力変動量の総和に上限値 Q_{max} を採用して、式 (1 4 B) によって表される不等式が第 2 制約式として用いられる。

【0 0 8 9】

【数 1 1】

$$h_B(u_1; u_2) = |Q(T_2) - Q(T_1)| + |Q(T_1) - Q(T_0)| - \Delta Q_{max} \leq 0 \quad \dots (14B)$$

10

【0 0 9 0】

式 (1 3) によって例示されるように目的関数において無効電力変動量が含められ、最適潮流計算が行われて目的関数を最小化する制御変数 u_k が求められるときには、第 2 制約式において調相設備 1 0 7 の無効電力変動量の総量を低減する条件が設定されることは必須ではない。

【0 0 9 1】

このようなときには、例えば第 2 制約式として、発電機 1 0 5 が出力する有効電力の変動速度の制約、母線 1 0 1 ~ 1 0 4 における母線電圧の変動量の上下限制約式が採用されてもよい。

20

【0 0 9 2】

式 (1 4 A) によって例示されるように、あるいは式 (1 4 B) によって例示されるように、第 2 制約式において無効電力変動量が含められ、その総和が制約されつつ最適潮流計算が行われるときには、目的関数において無効電力変動量が含められることは必須ではない。このようなときには、例えば発電機 1 0 5 の総燃料費、送電損失、母線 1 0 1 ~ 1 0 4 における母線電圧の目標値からの偏差のいずれか一つもしくは複数の重み付け和を目標関数として採用し、その最小値を与える制御変数 u_k が求められてもよい。あるいは送電線 1 0 8 の送電余裕量を目標関数として採用し、その最大値を与える制御変数 u_k が求められてもよい。

【0 0 9 3】

[将来断面の個数の拡張]

次に n 個の将来断面 $S_{\underline{1}} \sim S_{\underline{n}}$ が考慮される場合が例示される。情報 3 3 0 a は一つの目的関数 $f([x], [u], [z])$ を規定する。記号 $[x]$ は変数 x の、異なる時間断面に対応した時刻における値 (具体的には電圧解) の集合を示す。上述の例に沿ってみれば第 k 時刻 $T_{\underline{k}}$ における変数 x を変数 x_k と表して、記号 $[x]$ は変数 $x_{\underline{1}} \sim x_{\underline{n}}$ の集合を示す。同様に、第 k 時刻 $T_{\underline{k}}$ における制御変数 u を制御変数 u_k と表して、記号 $[u]$ は制御変数 $u_{\underline{1}} \sim u_{\underline{n}}$ の集合を示す。同様に、第 k 時刻 $T_{\underline{k}}$ における変数 z を変数 z_k と表して、記号 $[z]$ は変数 $z_{\underline{1}} \sim z_{\underline{n}}$ の集合を示す。

30

【0 0 9 4】

目的関数は n 個の将来断面 $S_{\underline{1}} \sim S_{\underline{n}}$ に共通する関数が一つ設定されて式 (1 5) によって示される。制約条件については、第 1 制約式が式 (1 6) ~ (1 8) によって、第 2 制約式が式 (1 9)、(2 0) によって、それぞれ表される。

40

【0 0 9 5】

【数 1 2】

50

$$f([x], [u], [z]) \quad \dots (15)$$

$$g_{Ak}(x_k, u_k, z_k) = 0 \quad \dots (16)$$

$$g_{Bk}(x_k, u_k, z_k) = 0 \quad \dots (17)$$

$$h_{Ak}(x_k, u_k, z_k) \leq 0 \quad \dots (18)$$

$$g_C([x], [u], [z]) = 0 \quad \dots (19)$$

$$h_B([x], [u], [z]) \leq 0 \quad \dots (20)$$

10

【0096】

2つの将来断面 S_1 , S_2 について示された例示と同様に、目的関数および第2制約式のいずれかもしくは両方において、調相設備107の無効電力変動量の総量を低減する式が少なくとも1つ設定される。

【0097】

調相設備107の無効電力変動量を、目的関数によって低減するときには、例えば目的関数として式(13)を拡張した式(21)が採用される。記号 \sum は整数 k についての $1 \sim n$ の総和を示す。

【0098】

【数13】

$$f([u]) = \sum (Q(T_k) - Q(T_{k-1}))^2 \quad \dots (21)$$

20

【0099】

調相設備107の無効電力変動量を第2制約式によって低減するときには、例えば式(22A)および式(22B)のいずれか一方もしくは両方が採用される。式(22A)は式(14A)を拡張して得られる。式(22B)は式(14B)を拡張して得られる。

【0100】

【数14】

$$g_{Ck}([u]) = Q(T_k) - Q(T_{k-1}) = 0 \quad \dots (22A)$$

$$h_B([u]) = \sum (|Q(T_k) - Q(T_{k-1})|) - \Delta Q_{max} \leq 0 \quad \dots (22B)$$

30

【0101】

式(22A)によって採用される関数 g_{Ck} は、将来断面 S_{k-1} , S_k に共通する変数である無効電力 Q に基づいて、将来断面 S_k 毎に設定される。式(22B)において記号 \sum は整数 k についての $1 \sim n$ の総和を示す。上限値 Q_{max} は、調相設備107の無効電力変動量の和の上限値を意味し、正值もしくは零に設定される。

【0102】

目的関数および制約式のいずれか一方もしくは両方において、将来断面 S_k における電力系統100 (T_k) の状態を予測する精度を考慮することも可能である。一般的に、現在時刻よりも遠い将来の時間断面ほど予測精度は悪化すると想定される。

40

【0103】

例えば現在に近い将来断面ほど重要視されるように、最適潮流計算が定式化される。例えば調相設備107の無効電力変動量について時間断面間ごとに計算される。無効電力変動量のそれぞれに正の重み付けがされた上で加算されて目的関数が設定される。

【0104】

当該目的関数は具体的には式(21)に対して、第 k 断面 S_k における無効電力 $Q(T_k)$ についての重み係数 $K_k (> 0)$ を導入して、式(23)によって表される。予測精度の観点から、全ての整数 k について $K_k > K_{k+1}$ である。重み係数 K_k は、当該重み係数 K_k に対応する将来断面 S_k が現在断面 S_0 から遠いほど、小さく設定される。このような

50

重み係数 K_k が採用された目的関数を用いることにより、予測精度を反映した最適潮流計算が行われる。

【 0 1 0 5 】

【数 1 5】

$$f([u]) = \sum (K_k \times (Q(T_k) - Q(T_{k-1}))^2) \quad \dots (23)$$

【 0 1 0 6 】

例えば式 (2 2 B) に対して、重み係数 $K_k (> 0)$ を導入して、式 (2 4) によって表される第 2 制約式が用いられる。式 (2 4) においても記号 k は整数 k についての $1 \sim n$ の総和を示す。

【 0 1 0 7 】

【数 1 6】

$$h_B([u]) = \sum (K_k \times |Q(T_k) - Q(T_{k-1})|) - \Delta Q_{\max} \leq 0 \quad \dots (24)$$

【 0 1 0 8 】

例えば第 i 断面 S_i 以降の将来断面 $S_{i+1} \sim S_n$ における無効電力変動量が考慮されなくてもよい。このときには $k = i$ において、 $K_k > 0$ に対する例外として、 $K_k = 0$ と設定される。

【 0 1 0 9 】

目的関数、第 1 制約式、第 2 制約式が設定されて最適潮流計算が定式化される。実施の形態 1 においては、目的関数および第 2 制約式のいずれかもしくは両方において、調相設備 1 0 7 の無効電力変動量の総量を低減する式が少なくとも 1 つ設定される。実施の形態 1 においては、目的関数および制約式のうち少なくとも一つには、調相設備 1 0 7 の調相投入変動量を抑制する定式化が行われる。実施の形態 1 においては、目的関数および第 2 制約式の少なくとも一つにおいて、調相設備 1 0 7 の調相設備変動量が調相設備 1 0 7 の現在断面 S_0 および複数の将来断面 $S_1 \sim S_n$ において積算される。

【 0 1 1 0 】

最適潮流計算によって得られる変数 x, u, z の最適解に基づいて、調相設備 1 0 7 についての運転計画が設定される。当該運転計画は、電力系統 1 0 0 に課せられた制約を満たしつつ調相設備 1 0 7 の投入量の変動を抑制する。調相設備 1 0 7 の投入量の変動が抑制されることは、調相設備 1 0 7 の短命化を緩和する。当該運転計画の設定は、例えば演算部 3 0 3 において行われる。

【 0 1 1 1 】

制御装置 2 0 0 は、より具体的には出力部 3 0 4 は、当該運転計画に基づいた制御指令 3 0 6 を、調相設備 1 0 7 に対して出力する。制御指令 3 0 6 は、演算部 3 0 3 において作成されてもよい。あるいは出力部 3 0 4 が、演算部 3 0 3 または格納部 3 0 5 から調相設備 1 0 7 についての運転計画を得て、制御指令 3 0 6 を作成してもよい。制御装置 2 0 0 は、変数 x, u, z に対応する制御機器の最適潮流計算の結果、例えば発電機 1 0 5 が出力する電力、発電機 1 0 5 の端子電圧を出力してもよい。

【 0 1 1 2 】

運転計画の設定および制御指令 3 0 6 は、計算周期ごとに、現在断面 S_0 および将来断面 S_k の情報が更新されつつ行われる。運転計画は計算周期毎に更新される。制御指令 3 0 6 は更新された運転計画に基づいて作成され、調相設備 1 0 7 へ出力される。例えば計算周期は任意に設定される。計算周期は、制御装置 2 0 0 が動作しながら変更されてもよい。

【 0 1 1 3 】

[調相設備の制御装置の構成および動作]

図 7 は制御装置 2 0 0 のハードウェアとしての構成を例示するブロック図である。制御装置 2 0 0 は、コンピュータをベースに構成される。制御装置 2 0 0 は、CPU (Central Processing Unit) 2 0 1 と、主記憶装置 2 0 2 と、補助記憶装置 2 0 3 と、表示装置 2

10

20

30

40

50

04と、入力装置205と、制御指令装置206と、ネットワークインターフェース（以下および図7において「ネットワークI/F」と称される）207とを含む。これらの各構成要素は、バス208を介して相互に接続される。

【0114】

主記憶装置202の例としてRAM（Random Access Memory）、ROM（Read Only Memory）が挙げられる。補助記憶装置203の例としてハードディスク装置、光ディスク装置、USB（Universal Serial Bus）メモリが挙げられる。表示装置204の例として液晶ディスプレイが挙げられる。入力装置205の例としてキーボード、マウスが挙げられる。

【0115】

例えば入力装置205は、図1に示された現在情報310および将来情報311～31n、ならびに電力設備情報320を受ける。入力装置205は図1に示された入力部301および設定部302を実現する。

【0116】

現在情報310および将来情報311～31n、ならびに電力設備情報320が、制御装置200の外部から補助記憶装置203へ格納されてもよい。この場合には補助記憶装置203が、図1に示された入力部301および設定部302を実現する。この場合には入力装置205および設定部302は省略されてもよい。

【0117】

現在情報310および将来情報311～31n、ならびに電力設備情報320が、ネットワークI/F207を介して制御装置200に入力されてもよい。この場合にはネットワークI/F207が、図1に示された入力部301および設定部302を実現する。この場合には入力装置205および設定部302は省略されてもよい。

【0118】

あるいは現在情報310および将来情報311～31n、ならびに電力設備情報320が個別に、入力装置205、補助記憶装置203、およびネットワークI/F207によって制御装置200へ入力されてもよい。

【0119】

例えば主記憶装置202および補助記憶装置203のいずれか一方もしくは両方が、図1に示された格納部305の機能を実現する。CPU201は図1に示された演算部303の機能を実現する。制御指令装置206は図1に示された制御指令306を出力する。

【0120】

演算部303が制御指令306を生成する場合には制御指令装置206は単なる出力装置として出力部304の機能を実現する。あるいは、演算部303が制御指令306を生成し、かつ、補助記憶装置203およびネットワークI/F207のいずれかが制御指令306を出力してもよい。この場合には制御指令装置206は省略されてもよい。

【0121】

出力部304が制御指令306を生成する場合には、CPU201は図1に示された出力部304の機能のうち制御指令306を生成する機能をも実現する。この場合において制御指令装置206は出力部304の機能のうち制御指令306を出力する機能を実現する。あるいは、CPU201が制御指令306を生成し、かつ、補助記憶装置203およびネットワークI/F207のいずれかが制御指令306を出力してもよい。この場合には制御指令装置206は省略されてもよい。

【0122】

補助記憶装置203、表示装置204、およびネットワークI/F207のいずれか一つもしくは複数、変数 x 、 u 、 z に対応する制御機器の最適潮流計算の結果を出力してもよい。補助記憶装置203、表示装置204、およびネットワークI/F207のいずれか一つもしくは複数、調相設備107の運転計画を出力してもよい。かかる観点から、補助記憶装置203、表示装置204、およびネットワークI/F207のいずれか一つもしくは複数、出力部304の機能のうち、最適潮流計算の結果および運転計画のい

10

20

30

40

50

いずれか一つもしくは両方を出力する機能を実現することができる。

【 0 1 2 3 】

図 8 は制御装置 2 0 0 の動作を例示するフローチャートである。当該フローチャートにおいては、調相設備 1 0 7 についての一つの運転計画および当該運転計画に対応する制御指令 3 0 6 を作成する手順が例示される。

【 0 1 2 4 】

ステップ S 1 1 0 は、入力部 3 0 1 に時間断面毎の電力系統の情報を入力するステップである。具体的にはステップ S 1 1 0 において、入力部 3 0 1 に、現在情報 3 1 0 と、将来情報 3 1 1 ~ 3 1 n と、電力設備情報 3 2 0 とが入力される。

【 0 1 2 5 】

入力部 3 0 1 の機能が入力装置 2 0 5、補助記憶装置 2 0 3、ネットワーク I / F 2 0 7 のいずれか一つもしくは複数によって実現されるとき、ステップ S 1 1 0 は入力装置 2 0 5、補助記憶装置 2 0 3、ネットワーク I / F 2 0 7 のいずれか一つもしくは複数において実行される。

【 0 1 2 6 】

ステップ S 1 2 0 は、最適潮流計算の対象となる問題（つまり最適潮流計算問題）を目的関数、第 1 制約式、第 2 制約式を用いて設定するステップである。

【 0 1 2 7 】

図 9 はステップ S 1 2 0 の詳細を例示するフローチャートである。ステップ S 1 2 0 はステップ S 1 2 0 a、S 1 2 0 b、S 1 2 0 c、S 1 2 0 d を含む。ステップ S 1 2 0 a、S 1 2 0 b、S 1 2 0 c において設定部 3 0 2 に設定情報 3 3 0 が入力される。ステップ S 1 2 0 a において設定部 3 0 2 に情報 3 3 0 a が入力される。ステップ S 1 2 0 b において設定部 3 0 2 に情報 3 3 0 b が入力される。ステップ S 1 2 0 c において設定部 3 0 2 に情報 3 3 0 c が入力される。ステップ S 1 2 0 d においては情報 3 3 0 a が示す目的関数と、情報 3 3 0 b が示す第 1 制約式と、情報 3 3 0 c が示す第 2 制約式とが連立されて、最適潮流計算問題が設定される。

【 0 1 2 8 】

図 9 においてはステップ S 1 2 0 a、S 1 2 0 b、S 1 2 0 c がこの順に実行される態様が矢印によって例示される。ステップ S 1 2 0 a、S 1 2 0 b、S 1 2 0 c が実行される順序は不問であるし、これらが並行して実行されてもよい。

【 0 1 2 9 】

情報 3 3 0 a が示す目的関数と、情報 3 3 0 b が示す第 1 制約式と、情報 3 3 0 c が示す第 2 制約式とによって最適潮流計算問題が定式化されることに鑑みて、ステップ S 1 2 0 a、S 1 2 0 b、S 1 2 0 c の実行が全て完了することによって、ステップ S 1 2 0 d は設定部 3 0 2 において自動的に実行が完了するステップであるといえる。

【 0 1 3 0 】

設定部 3 0 2 の機能が入力装置 2 0 5、補助記憶装置 2 0 3、ネットワーク I / F 2 0 7 のいずれか一つもしくは複数によって実現されるとき、ステップ S 1 2 0 は入力装置 2 0 5、補助記憶装置 2 0 3、ネットワーク I / F 2 0 7 のいずれか一つもしくは複数において実行される。

【 0 1 3 1 】

図 8 においてはステップ S 1 1 0 が実行されてからステップ S 1 2 0 が実行される態様が矢印によって例示される。ステップ S 1 1 0、S 1 2 0 は並行して実行されてもよいし、ステップ S 1 2 0 がステップ S 1 1 0 に先行して実行されてもよい。

【 0 1 3 2 】

ステップ S 1 3 0 は、電力系統の情報および最適潮流計算問題（図 8 においては単に「問題」と略記）を格納部 3 0 5 へ格納するステップである。ステップ S 1 3 0 はステップ S 1 1 0、S 1 2 0 の実行が完了して実行される。具体的には、ステップ S 1 1 0 において入力部 3 0 1 へ入力された情報および設定情報 3 3 0 が、ステップ S 1 3 0 において格納部 3 0 5 に格納される。

10

20

30

40

50

【 0 1 3 3 】

ステップ S 1 3 0 のうち、入力部 3 0 1 に入力された情報が格納部 3 0 5 に格納されるステップが、ステップ S 1 1 0 の実行が完了してから、ステップ S 1 2 0 と並行して実行されてもよい。

【 0 1 3 4 】

ステップ S 1 3 0 のうち、設定情報 3 3 0 が格納部 3 0 5 に格納されるステップが、ステップ S 1 2 0 の実行が完了してから、ステップ S 1 1 0 と並行して実行されてもよい。

【 0 1 3 5 】

格納部 3 0 5 の機能が主記憶装置 2 0 2 および補助記憶装置 2 0 3 いずれか一方もしくは両方によって実現されるとき、ステップ S 1 3 0 は主記憶装置 2 0 2 および補助記憶装置 2 0 3 いずれか一方もしくは両方によって実行される。

10

【 0 1 3 6 】

ステップ S 1 4 0 は最適潮流計算問題（図 8 においては単に「問題」と略記）に対して最適潮流計算を実行するステップである。ステップ S 1 4 0 はステップ S 1 3 0 の実行が完了してから実行される。具体的には、入力部 3 0 1 に入力された情報および設定情報 3 3 0 が、ステップ S 1 4 0 において格納部 3 0 5 から演算部 3 0 3 に与えられる。演算部 3 0 3 は、入力部 3 0 1 に入力された情報を、設定情報 3 3 0 によって定式化される最適潮流計算問題において固定値として与えられるパラメータとして採用して、最適潮流計算を実行する。ステップ S 1 4 0 は CPU 2 0 1 によって実行される。

【 0 1 3 7 】

最適潮流計算によって、最適潮流計算問題における変数 x_k , u_k , z_k の最適解が決定される。当該最適解のうち、制御変数 u_k には調相設備 1 0 7 の無効電力 $Q(T_k)$ が含まれる。無効電力 $Q(T_k)$ が時系列順に整理され、調相設備 1 0 7 についての運転計画となる。例えば最適解および運転計画の一方もしくは両方が格納部 3 0 5 に格納される。

20

【 0 1 3 8 】

ステップ S 1 5 0 は最適潮流計算の結果を出力するステップである。ステップ S 1 5 0 はステップ S 1 4 0 の実行が完了してから実行される。ステップ S 1 5 0 はステップ S 1 5 0 a , S 1 5 0 b を含む。

【 0 1 3 9 】

ステップ S 1 5 0 a は調相設備 1 0 7 の運転計画を出力するステップである。具体的にはステップ S 1 5 0 a において、出力部 3 0 4 が運転計画を出力する。例えば運転計画が、補助記憶装置 2 0 3、表示装置 2 0 4、およびネットワーク I/F 2 0 7 のいずれか一つもしくは複数によって出力される。

30

【 0 1 4 0 】

ステップ S 1 5 0 b は調相設備 1 0 7 へ制御指令 3 0 6 を出力するステップである。具体的にはステップ S 1 5 0 b において、出力部 3 0 4 が制御指令 3 0 6 を出力する。例えば制御指令装置 2 0 6、補助記憶装置 2 0 3、およびネットワーク I/F 2 0 7 のいずれか一つもしくは複数によって制御指令 3 0 6 が出力される。

【 0 1 4 1 】

図 8 のフローチャートに示すステップ S 1 1 0 ~ S 1 5 0 の処理は、計算周期ごとに、現在断面 S_0 および将来断面 S_k の情報が更新されつつ行われる。運転計画は計算周期毎に更新される。制御指令 3 0 6 は最新の運転計画に基づいて作成され、調相設備 1 0 7 へ出力される。例えば計算周期は任意に設定される。計算周期は、制御装置 2 0 0 が動作しながら変更されても良い。

40

【 0 1 4 2 】

[数値計算例]

図 2 に示された電力系統 1 0 0 において $n = 4$ の場合についての数値計算が例示される。下記においては多目的最適化問題が最適潮流計算の対象となる場合が例示される。具体的には、調相設備 1 0 7 の無効電力変動量の総量の最小化と、負荷 1 0 6 における電圧（以下において「負荷電圧」と称される） V の変動の総量の最小化とが目的とされる。

50

【 0 1 4 3 】

上述の制御装置 2 0 0 の動作による効果を得るために、目的関数は複数の、ここにおいては 4 つの将来断面 $S_1 \sim S_4$ に亘る変数を用いて式 (2 5) によって表される。当該目的関数は以下において「提案目的関数」とも仮称される。

【 0 1 4 4 】

【数 1 7】

$$f([u]) = \sum (K_Q(Q(T_k) - Q(T_{k-1}))^2) + \sum (K_V(V(T_k) - V(T_{k-1}))^2) \quad \dots(25)$$

【 0 1 4 5 】

式 (2 5) において記号 \sum は整数 k についての 1 ~ 4 の総和を示す。変数の集合 $[u]$ には制御変数 u_k が含まれ、制御変数 u_k には無効電力 $Q(T_k)$ 、負荷電圧 $V(T_k)$ が含まれる ($k = 1 \sim 4$)。負荷電圧 (T_k) の現在断面 S_0 から将来断面 S_4 における変動が式 (2 5) において積算される。現在断面 S_0 における無効電力 $Q(T_0)$ および負荷電圧 $V(T_0)$ はパラメータとして採用される。式 (2 5) において正の重み係数 K_Q, K_V が導入される。

10

【 0 1 4 6 】

上述の制御装置 2 0 0 の動作と比較するために、最適潮流計算が将来断面 S_1, S_2, S_3, S_4 毎に複数回行われる場合が例示される。比較のための目的関数 (以下において「比較目的関数」とも仮称される) は、隣接する二つの時間断面における変数によって設定される。具体的には比較目的関数は、整数 k 毎に式 (2 6) によって表され、合計 4 つの目的関数が設定される。

20

【 0 1 4 7 】

【数 1 8】

$$f([u]) = K_Q(Q(T_k) - Q(T_{k-1}))^2 + K_V(V(T_k) - V(T_{k-1}))^2 \quad \dots(26)$$

【 0 1 4 8 】

図 1 0 は、図 1 における負荷 1 0 6 (T_k) における負荷需要 $P(T_k)$ の変動を、時間断面毎に例示するグラフである。負荷需要 $P(T_k)$ は予測値であって情報 3 1 k d として第 k 時刻情報 3 1 k に含まれる。負荷需要 $P(T_k)$ は現在断面 S_0 における負荷需要 $P(T_0)$ を基準 (ゼロ) とした増減によって表される。負荷需要 $P(T_k)$ は現在時刻 T_0 と比較して第 1 時刻 T_1 には大きく減少し、その後増加するという変動が例示される。

30

【 0 1 4 9 】

図 1 1 および図 1 2 はいずれも、最適潮流計算によって求められた調相設備の無効電力 $Q(T_k)$ と負荷電圧 $V(T_k)$ とを、時間断面 $S_0 \sim S_4$ に亘って示すグラフである。現在断面 S_0 における無効電力 $Q(T_0)$ は零である。負荷電圧 $V(T_k)$ は現在断面 S_0 における負荷電圧 $V(T_0)$ を基準とした偏差 (負荷電圧 $V(T_0)$ からの偏差) として表される。

【 0 1 5 0 】

図 1 1 は提案目的関数が用いられた最適潮流計算の結果から得られたグラフを示す。折れ線 Q_1 は無効電力 $Q(T_k)$ を示す。折れ線 V_1 は負荷電圧 $V(T_k)$ を示す。

40

【 0 1 5 1 】

図 1 2 は時間断面毎に比較目的関数が用いられた最適潮流計算の結果から得られたグラフを示す。折れ線 Q_2 は無効電力 $Q(T_k)$ を示す。折れ線 V_2 は負荷電圧 $V(T_k)$ を示す。

【 0 1 5 2 】

図 1 3 は無効電力 $Q(T_k)$ の値の推移を示す図である。図 1 3 における無効電力 $Q(T_k)$ は、比較目的関数を用いた最適潮流計算によって得られた数値を示す欄には「単断面」と標記され、提案目的関数を用いた最適潮流計算によって得られた数値を示す欄には「多断面」と標記される。

50

【 0 1 5 3 】

図 1 1 および図 1 2 はいずれも、調相設備 1 0 7 の運転計画を示すということができる。図 1 2 を参照して、比較目的関数に基づいて得られた運転計画（以下において「比較運転計画」と仮称）は、第 1 断面 S_1 における大きな負荷需要の減少に伴う電圧増加を適正化するために、第 1 断面 S_1 における無効電力 $Q(T_1)$ を大きく減少させる。比較運転計画はその後、負荷需要の増加に伴う電圧低下を適正化するために、無効電力 $Q(T_2)$, $Q(T_3)$, $Q(T_4)$ を増加させる。

【 0 1 5 4 】

図 1 1 を参照して、提案目的関数に基づいて得られた運転計画（以下において「提案運転計画」と仮称）は、第 1 断面 S_1 ~ 第 4 断面 S_4 のいずれにおける負荷需要の変動も考慮されて作成される。図 1 1 に示された調相設備 1 0 7 の無効電力 $Q(T_1)$ の減少量は、図 1 2 に示された無効電力 $Q(T_1)$ の減少量よりも小さい。図 1 1 に示された無効電力 $Q(T_2)$, $Q(T_3)$, $Q(T_4)$ の増加は、図 1 2 に示された無効電力 $Q(T_2)$, $Q(T_3)$, $Q(T_4)$ の増加よりも小さい。

10

【 0 1 5 5 】

これらの比較から、隣接する二つの時間断面における変数によって設定される比較目的関数（式（26）参照）に基づいて得られた比較運転計画よりも、運転対象期間において 3 つ以上の時間断面に亘る提案目的関数（式（25）参照）に基づいて得られた提案運転計画の方が、調相設備 1 0 7 の無効電力 Q の変動が低減されることが理解される。提案目的関数を採用することは、比較目的関数を採用することに対して、調相設備の投入量の変動を小さくする効果が高い。

20

【 0 1 5 6 】

< 実施の形態 2 >

実施の形態 2 においても、制御装置 2 0 0 の機能としての構成は図 1 のブロック図によって例示され、制御装置 2 0 0 のハードウェアとしての構成は図 7 のブロック図によって例示される。

【 0 1 5 7 】

図 1 4 は制御装置 2 0 0 が制御する対象となる調相設備 1 1 7 A , 1 1 7 B を含む電力系統 1 1 0 について、複数の時間断面 J_0 , J_1 , J_2 を時系列に沿って並べた概念図である。時間断面 J_0 は電力系統 1 1 0 についての現在の時間断面であり、以下においては現在断面 J_0 あるいは第 0 断面 J_0 とも称される。時間断面 J_1 , J_2 は電力系統 1 1 0 についての将来の時間断面であり、将来断面 J_1 , J_2 とも称される。

30

【 0 1 5 8 】

実施の形態 1 において図 1 を用いて説明されたように、より多くの将来断面 J_3 , ... J_n を将来断面 J_1 , J_2 と同様に考慮することもできる。以下の例示においては整数 k は整数 1 , 2 のいずれをも代表する。

【 0 1 5 9 】

実施の形態 2 においても簡単のため、現在および将来に亘って、電力系統 1 1 0 の構成は、同一である場合についての説明が行われる。実施の形態 2 においては電力系統 1 1 0 が母線 1 1 1 , 1 1 2 , 1 1 3 , 1 1 4、発電機 1 1 5、負荷 1 1 6、調相設備 1 1 7 A , 1 1 7 B、送電線 1 1 8、変圧器 1 1 9 を含む場合が例示される。

40

【 0 1 6 0 】

母線 1 1 1 , 1 1 2 , 1 1 3 , 1 1 4、発電機 1 1 5、負荷 1 1 6、送電線 1 1 8、変圧器 1 1 9 は、それぞれ実施の形態 1 において示された電力系統 1 0 0 における母線 1 0 1 , 1 0 2 , 1 0 3 , 1 0 4、発電機 1 0 5、負荷 1 0 6、送電線 1 0 8、変圧器 1 0 9 に対応した設備である。

【 0 1 6 1 】

調相設備 1 1 7 A , 1 1 7 B は電力系統 1 0 0 に含まれる調相設備 1 1 7 に対応するものの、複数の（ここにおいては 2 つの）調相設備 1 1 7 A , 1 1 7 B が電力系統 1 1 0 に含まれる。

50

【 0 1 6 2 】

母線 1 1 1 には発電機 1 1 5 が接続される。母線 1 1 1 と母線 1 1 2 とは送電線 1 1 8 を介して接続される。母線 1 1 3 には負荷 1 1 6 が接続される。母線 1 1 4 には調相設備 1 1 7 A , 1 1 7 B が接続される。母線 1 1 2 , 1 1 3 , 1 1 4 は変圧器 1 1 9 を介して接続される。

【 0 1 6 3 】

図 1 4 においては第 0 断面 J_0 における電力系統 1 1 0、母線 1 1 1 , 1 1 2 , 1 1 3 , 1 1 4、発電機 1 1 5、負荷 1 1 6、調相設備 1 1 7 A , 1 1 7 B、送電線 1 1 8、変圧器 1 1 9 について、それぞれの現在時刻 T_0 における状態を示すべく、それぞれの符号の末尾に「 (T_0) 」が付記される。

10

【 0 1 6 4 】

同様にして、第 k 断面 J_k における電力系統 1 1 0、母線 1 1 1 , 1 1 2 , 1 1 3 , 1 1 4、発電機 1 1 5、負荷 1 1 6、調相設備 1 1 7 A , 1 1 7 B、送電線 1 1 8、変圧器 1 1 9 について、それぞれの将来の第 k 時刻 T_k における状態を示すべく、それぞれの符号の末尾に「 (T_k) 」が付記される。第 k 時刻 T_k は第 $(k - 1)$ 時刻 T_{k-1} よりも後である。第 k 断面 J_k は第 $(k - 1)$ 断面 J_{k-1} よりも後の将来断面である。

【 0 1 6 5 】

図 1 5 は実施の形態 2 における現在情報 3 1 0 の内容を例示するブロック図である。現在情報 3 1 0 は、現在断面（第 0 断面） J_0 についての情報である。現在情報 3 1 0 は、情報 3 1 0 a , 3 1 0 b , 3 1 0 c , 3 1 0 d , 3 1 0 e , 3 1 0 f , 3 1 0 g を有する。

20

【 0 1 6 6 】

実施の形態 2 における情報 3 1 0 a は現在時刻（具体的には第 0 時刻 T_0 ）を示す。情報 3 1 0 b は、電力系統 1 1 0 の現在の構成（具体的には電力系統 1 1 0 (T_0) ）における母線 1 1 1 (T_0) , 1 1 2 (T_0) , 1 1 3 (T_0) , 1 1 4 (T_0) 、発電機 1 1 5 (T_0) 、負荷 1 1 6 (T_0) 、調相設備 1 1 7 A (T_0) , 1 1 7 B (T_0) 、送電線 1 1 8 (T_0) 、変圧器 1 1 9 (T_0) およびこれら同士の間接続関係（当該接続関係それ自体もしくは推定される接続関係を含む）を示す。

【 0 1 6 7 】

情報 3 1 0 c は、発電機 1 1 5 の現在の運転状態（具体的には発電機 1 1 5 (T_0) ）の運転状態（当該運転状態それ自体もしくはその推定される状態を含む）を示す。

30

【 0 1 6 8 】

情報 3 1 0 d は、負荷 1 1 6 における電力の需要量（負荷需要）の現在の値（具体的には負荷 1 1 6 (T_0) ）における負荷需要もしくはその推定値）を示す。

【 0 1 6 9 】

情報 3 1 0 e は、現在の再生可能エネルギーの出力（具体的には発電機 1 1 5 (T_0) ）のうち再生可能エネルギーの出力もしくはその推定値）を示す。

【 0 1 7 0 】

情報 3 1 0 f は、調相設備 1 1 7 A , 1 1 7 B の現在の状態（具体的には調相設備 1 1 7 A (T_0) , 1 1 7 B (T_0) ）の投入量それ自体もしくはその推定される状態を含む）を示す。

40

【 0 1 7 1 】

情報 3 1 0 g は、調相設備 1 1 7 A , 1 1 7 B の投入量の変動の現在時刻 T_0 までの積算を示す。

【 0 1 7 2 】

実施の形態 2 における情報 3 1 0 a ~ 3 1 0 e は、実施の形態 1 における情報 3 1 0 a ~ 3 1 0 e のそれぞれに対して、調相設備 1 1 7 に関する情報に代えて、調相設備 1 1 7 A , 1 1 7 B に関連する情報が採用されている点において異なる。実施の形態 2 における現在情報 3 1 0 は、実施の形態 1 における現在情報 3 1 0 に対して、情報 3 1 0 g が付加されている点において異なる。

【 0 1 7 3 】

50

実施の形態 2 における第 k 時刻情報 3 1 k は、電力系統 1 1 0 についての第 k 断面 J_k についての情報である。実施の形態 2 における第 k 時刻情報 3 1 k は、実施の形態 1 における第 k 時刻情報 3 1 k と同様に、情報 3 1 k a , 3 1 k b , 3 1 k c , 3 1 k d , 3 1 k e を有する (図 4 参照) 。

【 0 1 7 4 】

情報 3 1 k a は第 k 時刻 T_k を示す。情報 3 1 k b は、電力系統 1 1 0 の第 k 時刻 T_k における構成 (具体的には電力系統 1 1 0 (T_k) における母線 1 1 1 (T_k) , 1 1 2 (T_k) , 1 1 3 (T_k) , 1 1 4 (T_k) 、発電機 1 1 5 (T_k) 、負荷 1 1 6 (T_k) 、調相設備 1 1 7 A (T_k) , 1 1 7 B (T_k) 、送電線 1 1 8 (T_k) 、変圧器 1 1 9 (T_k) およびこれら同士の間接続関係) を示す。

10

【 0 1 7 5 】

情報 3 1 k c は、発電機 1 1 5 の第 k 時刻 T_k における運転状態の予定 (運転計画 : 具体的には発電機 1 1 5 (T_k) についての運転計画) を示す。

【 0 1 7 6 】

情報 3 1 k d は、第 k 時刻 T_k における負荷需要の予測値 (具体的には負荷 1 1 6 (T_k) における負荷需要の予測値) を示す。

【 0 1 7 7 】

情報 3 1 k e は再生可能エネルギーの出力の第 k 時刻 T_k における予定についての (具体的には発電機 1 1 5 (T_k) のうち再生可能エネルギーの出力についての運転計画もしくは予測値) を示す。

20

【 0 1 7 8 】

実施の形態 2 における電力設備情報 3 2 0 は、実施の形態 1 における第 k 時刻情報 3 1 k と同様に、情報 3 2 0 a , 3 2 0 b , 3 2 0 c , 3 2 0 d , 3 2 0 e を含む (図 5 参照) 。

【 0 1 7 9 】

情報 3 2 0 a は調相設備 1 1 7 A , 1 1 7 B がそれぞれ出力する無効電力 Q_A , Q_B の上下限を示す。情報 3 2 0 b は発電機 1 1 5 が出力する電力の上下限を示す。情報 3 2 0 c は母線 1 1 1 ~ 1 1 4 における母線電圧の上下限を示す。情報 3 2 0 d は送電線 1 1 8 の容量を示す。情報 3 2 0 e は変圧器 1 1 9 におけるタップ制御の上下限を示す。

【 0 1 8 0 】

実施の形態 2 における電力系統 1 1 0 は、実施の形態 1 の電力系統 1 0 0 の調相設備 1 0 7 に代えて、複数の調相設備 1 1 7 A , 1 1 7 B を含む。実施の形態 2 においては調相設備 1 1 7 A , 1 1 7 B のそれぞれの調相設備変動量が低減される。実施の形態 2 においては調相設備 1 1 7 A の調相設備変動量の総量と、調相設備 1 1 7 B の調相設備変動量の総量との差 (以下において「総量差」と称される) が低減される。総量差の低減は、複数の調相設備の各々の投入量の変動が、調相設備同士で偏ることを小さくし、以て調相設備の劣化の進行が偏ることが低減される。

30

【 0 1 8 1 】

実施の形態 2 において目的関数、第 1 制約式および第 2 制約式は、電力系統 1 1 0 の運用に課せられた制約を設定する。実施の形態 2 において目的関数、および第 2 制約式のうちの少なくとも一つは、調相設備 1 1 7 A の調相設備変動量の総量と、調相設備 1 1 7 B の調相設備変動量の総量と、調相設備 1 1 7 A , 1 1 7 B の総量差とを低減するように設定される。実施の形態 2 において目的関数は、調相設備 1 1 7 A の無効電力変動量 (これは調相設備 1 1 7 A が出力する無効電力 Q_A の変動量である) の総量と、調相設備 1 1 7 B の無効電力変動量 (これは調相設備 1 1 7 B が出力する無効電力 Q_B の変動量である) の総量と、総量差とを低減するような目的関数または第 2 制約式が少なくとも一つ以上含まれて、最適潮流計算が定式化される。

40

【 0 1 8 2 】

例えば実施の形態 2 において目的関数は式 (2 7) , (2 8) , (2 9) によって示される。式 (2 8) , (2 9) はそれぞれ式 (2 7) において採用される重み係数 K_{QA} ,

50

$K_{\underline{Q}_B}$ を示す。式(28)、(29)においては、それぞれ総量 \underline{Q}_{Asum} 、 \underline{Q}_{Bsum} が導入される。

【0183】

【数19】

$$f(u_1; u_2) = K_{\Delta QA} \times ((Q_A(T_2) - Q_A(T_1))^2 + (Q_A(T_1) - Q_A(T_0))^2) \\ + K_{\Delta QB} \times ((Q_B(T_2) - Q_B(T_1))^2 + (Q_B(T_1) - Q_B(T_0))^2) \dots (27)$$

$$K_{\Delta QA} = \Delta Q_{Asum} / (\Delta Q_{Asum} + \Delta Q_{Bsum}) \dots (28)$$

$$K_{\Delta QB} = \Delta Q_{Bsum} / (\Delta Q_{Asum} + \Delta Q_{Bsum}) \dots (29)$$

10

【0184】

総量 \underline{Q}_{Asum} は、現在時刻 T_0 までに電力系統110が運用されることによって発生した、調相設備117Aの投入量の変動が積算された結果を示す。総量 \underline{Q}_{Bsum} は、現在時刻 T_0 までに電力系統110が運用されることによって発生した、調相設備117Bの投入量の変動が積算された結果を示す。総量 \underline{Q}_{Asum} 、 \underline{Q}_{Bsum} は情報310gによって示される、最適潮流計算におけるパラメータである。

【0185】

実施の形態2における目的関数の他の例は、式(30)、(31)、(32)によって示される。当該目的関数を最小化する最適潮流計算によって、無効電力 Q_A の変動量の総量と、無効電力 Q_B の変動量の総量と、分散 V_Q とが低減される。

20

【0186】

【数20】

$$f(u_1; u_2) = K_A \times ((Q_A(T_2) - Q_A(T_1))^2 + (Q_A(T_1) - Q_A(T_0))^2) \\ + (Q_B(T_2) - Q_B(T_1))^2 + (Q_B(T_1) - Q_B(T_0))^2) + K_B \times V_{\Delta Q} \dots (30)$$

$$V_{\Delta Q} = ((|Q_A(T_2) - Q_A(T_1)| + |Q_A(T_1) - Q_A(T_0)| + \Delta Q_{Asum} - \Delta Q_{ave})^2 \\ + (|Q_B(T_2) - Q_B(T_1)| + |Q_B(T_1) - Q_B(T_0)| + \Delta Q_{Bsum} - \Delta Q_{ave})^2) / 2 \dots (31)$$

30

$$\Delta Q_{ave} = ((|Q_A(T_2) - Q_A(T_1)| + |Q_A(T_1) - Q_A(T_0)| + \Delta Q_{Asum}) \\ + (|Q_B(T_2) - Q_B(T_1)| + |Q_B(T_1) - Q_B(T_0)| + \Delta Q_{Bsum})) / 2 \dots (32)$$

【0187】

式(30)において分散 V_Q 、平均値 Q_{ave} が示される。式(30)において正の重み係数 K_A 、 K_B が導入される。式(31)によって示される分散 V_Q は、第2時刻 T_2 までに電力系統110が運用されることによって発生した、調相設備117A、117Bの投入量の変動の積算値の、分散を示す。式(32)によって示される平均値 Q_{ave} は、当該積算値の平均を示す。

40

【0188】

分散 V_Q は、調相設備117Aの投入量の現在断面 J_0 および将来断面 J_1 、 J_2 における変動が積算された結果と、調相設備117Bの投入量の現在断面 J_0 および将来断面 J_1 、 J_2 における変動が積算された結果との分散であるともいえる。

【0189】

分散 V_Q の低減は、複数の調相設備117A、117Bの各々の投入量の変動が、相互に偏ることを小さくし、以て調相設備117A、117Bの劣化の進行が偏ることが低減される。

【0190】

50

式(30), (31), (32)に加え、例えば式(33)によって表される第2制約式が採用されることにより、分散 V_Q が低減される。式(33)において上限値 V_{max} が導入される。この場合には式(30)において重み係数 K_B が零とされてもよい。

【0191】

【数21】

$$h_B(u_1; u_2) = V_{\Delta Q} - V_{\Delta Q_{max}} \leq 0 \quad \dots (33)$$

【0192】

式(34A), (34B)によって表される第2制約式が採用されることにより、式(22A), (22B)によって表される第2制約式が採用される場合と同様に、調相設備117A, 117Bの無効電力変動量が低減される。式(34B)において $k = 1, 2$ である。式(34B)において記号 Σ は整数 k の1, 2についての和を示す。式(34B)において、現在断面 J_0 から第2断面 J_2 にかけて調相設備117A, 117Bの無効電力変動量の総和に上限値 Q_{max} が採用される。

10

【0193】

【数22】

$$g_{CA}(u_1; u_2) = Q_A(T_2) - Q_A(T_1) = 0,$$

$$g_{CB}(u_1; u_2) = Q_B(T_2) - Q_B(T_1) = 0$$

…(34A)

$$h_B(u_1; u_2) = \Sigma (|Q_A(T_k) - Q_A(T_{k-1})| + |Q_B(T_k) - Q_B(T_{k-1})|) - \Delta Q_{max} \leq 0 \quad \dots (34B)$$

20

【0194】

実施の形態2における制御装置200の動作は、図8に示されるフローチャートによって例示される。実施の形態2においては、ステップS140における最適潮流計算によって最適解が決定される制御変数 u_k に、調相設備117Aの無効電力 $Q_A(T_k)$ および調相設備117Bの無効電力 $Q_B(T_k)$ が含まれる($k = 1, 2$)。無効電力 $Q_A(T_k)$, $Q_B(T_k)$ が時系列順に整理され、調相設備117A, 117Bについての運転計画となる。例えば最適解および運転計画の一方もしくは両方が格納部305に格納される。制御指令306は最新の運転計画に基づいて作成され、調相設備117A, 117Bへ出力される。

30

【0195】

実施の形態2における制御装置200のその他の動作の説明は、実施の形態1における制御装置200のその他の動作の説明が妥当するので、説明が省略される。

【0196】

実施の形態2においても実施の形態1と同様に、図8のフローチャートに示すステップS110~S150の処理は、計算周期ごとに、現在断面 J_0 および将来断面 J_k の情報が更新されつつ行われる。運転計画は計算周期毎に更新される。例えば計算周期は任意に設定される。計算周期は、制御装置200が動作しながら更新されても良い。

【0197】

実施の形態2においても実施の形態1と同様に、考慮される将来断面の数が3つ以上へ拡張されてもよい。実施の形態2において電力系統110に含まれる調相設備が3つ以上であっても、上記の式(27)~(33)を拡張して最適潮流計算が定式化される。

40

【0198】

以上のような定式化と最適潮流計算とによって得られる運転計画、ひいては制御指令306は、電力系統110の運用制約を満たしつつ、調相設備117A, 117Bの投入量の変動の総量を抑制し、調相設備117A, 117Bの寿命の偏りを低減することに資する。調相設備117A, 117Bの寿命の偏りを低減することは、調相設備117A, 117Bを効率的に運用することに資する。

【0199】

50

実施の形態 1, 2 については例えば下記のように説明される。以下の説明において記号「;」は、実施の形態 1 において採用された符号と実施の形態 2 において採用された符号とを分ける目的で採用される。記号「;」の前に記載された符号は実施の形態 1 において採用された符号である。記号「;」の後に記載された符号は実施の形態 2 において採用された符号である。

【0200】

制御装置 200 は電力系統 100; 110 に含まれる調相設備 117; 117A, 117B を制御する。制御装置 200 は、出力部 304 と、格納部 305 と、演算部 303 とを備える。

【0201】

出力部 304 は、電力系統 100; 110 に含まれる調相設備 117; 117A, 117B を制御する指令である制御指令 306 を出力する。格納部 305 は、現在情報 310 と、複数の将来情報 311 ~ 31n と、電力設備情報 320 と、目的関数（実施の形態 1 については式 (6), (13), (15), (21), (23), (25) のいずれかであり、実施の形態 2 については式 (27), (30) のいずれか）および複数の制約式（実施の形態 1 については式 (11), (12), (14A), (14B), (19), (20), (22A), (22B), (24) のいずれかを含み、実施の形態 2 については式 (33), (34A), (34B) のいずれかを含む）とを格納する。演算部 303 は、最適潮流計算問題に対して最適潮流計算を行う。

【0202】

かかる構成を調相設備の制御方法として見れば、当該制御方法は、電力系統 100; 110 に含まれる調相設備 117; 117A, 117B を制御する指令である制御指令 306 が出力部 304 によって出力されるステップと; 現在情報 310 と、複数の将来情報 311 ~ 31n と、電力設備情報 320 と、目的関数（実施の形態 1 については式 (6), (13), (15), (21), (23), (25) のいずれかであり、実施の形態 2 については式 (27), (30) のいずれか）および複数の制約式（実施の形態 1 については式 (11), (12), (14A), (14B), (19), (20), (22A), (22B), (24) のいずれかを含み、実施の形態 2 については式 (33), (34A), (34B) のいずれかを含む）とが格納部 305 によって格納されるステップと; 演算部 303 によって最適潮流計算問題に対して最適潮流計算が行われるステップとを備える。

【0203】

現在情報 310 は、電力系統 100; 110 についての現在の時間断面である現在断面 S_0 ; J_0 についての情報である。複数の将来情報 311 ~ 31n の各々（将来情報 31k）は、電力系統 100; 110 についての将来の複数の時間断面である複数の将来断面 $S_1 \sim S_n$; $J_1 \sim J_n$ の各々（ S_k ; J_k ）についての情報である。電力設備情報 320 は電力系統 100; 110 を構成する設備に関する情報である。

【0204】

最適潮流計算問題は電力系統 100; 110 についての最適潮流計算の対象となる問題である。最適潮流計算問題は、現在情報 310 と、複数の将来情報 311 ~ 31n と、電力設備情報 320 とに基づいて、目的関数および複数の制約式によって定式化される。

【0205】

演算部 303 は最適潮流計算を行って目的関数についての変数 u を求める。制御指令 306 は最適潮流計算を行って求められた変数 u に基づいて設定される。

【0206】

複数の制約式および目的関数のうちの少なくとも一つにおいて、調相設備 107; 117A, 117B の現在断面 S_0 ; J_0 および複数の将来断面 $S_1 \sim S_n$; $J_1 \sim J_n$ において調相設備 107; 117A, 117B の投入量が変動する量が積算される。

【0207】

このような構成を有する制御装置 200 は、調相設備 107; 117A, 117B の投

10

20

30

40

50

入量の変動を小さくする制御を行う。

【0208】

例えば目的関数において、調相設備107; 117A, 117Bの現在断面 S_0 ; J_0 および複数の将来断面 $S_1 \sim S_n$; $J_1 \sim J_n$ において調相設備107; 117A, 117Bが出力する無効電力 Q ; Q_A, Q_B が変動する量の積算が行われる。かかる目的関数は実施の形態1に即して言えば式(13), (21), (23), (25)で例示される。かかる目的関数は実施の形態2に即して言えば式(27), (30)で例示される。そして最適潮流計算によってかかる目的関数を最小とする変数 u が求められる。

【0209】

このような目的関数が採用されることにより、調相設備107; 117A, 117Bが出力する無効電力 Q ; Q_A, Q_B の変動が低減される。無効電力 Q ; Q_A, Q_B の変動が低減することは、調相設備107; 117A, 117Bの投入量の変動を低減することに寄与する。

10

【0210】

複数の制約式に用いられる関数の少なくとも一つは、調相設備107; 117A, 117Bの現在断面 S_0 ; J_0 および複数の将来断面 $S_1 \sim S_n$; $J_1 \sim J_n$ において調相設備107; 117A, 117Bが出力する無効電力 Q ; Q_A, Q_B が変動する量の積算の上限を設定する。かかる制約式は実施の形態1に即して言えば式(14B), (22B), (24)で例示される。かかる制約式は実施の形態2に即して言えば式(34B)で例示される。

20

【0211】

このような制約式が採用されることにより、調相設備107; 117A, 117Bが出力する無効電力 Q ; Q_A, Q_B の変動が低減される。無効電力 Q ; Q_A, Q_B の変動が低減することは、調相設備107; 117A, 117Bの投入量の変動を低減することに寄与する。

【0212】

式(23)を参照して、無効電力 Q が変動する量(無効電力変動量)の積算においては、無効電力変動量 $(Q(T_k) - Q(T_{k-1}))^2$ に対して正の重み係数 K_k が乗じられて積算される。重み係数 K_k は、重み係数 K_k に対応する将来断面 S_k が現在断面 S_0 から遠いほど小さく設定される。

30

【0213】

このような重み係数の採用は、予測精度を反映した最適潮流計算が行われることに寄与する。このような重み係数は実施の形態2においても採用され得る。

【0214】

複数の制約式に用いられる関数の少なくとも一つは、時間断面の間において調相設備107; 117A, 117Bが出力する無効電力 Q ; Q_A, Q_B が変動する量が採る値を設定する。かかる制約式は実施の形態1に即して言えば式(14A), (22A)で例示される。かかる制約式は実施の形態2に即して言えば式(34A)で例示される。

【0215】

このような制約式が採用されることにより、調相設備107; 117A, 117Bが出力する無効電力 Q ; Q_A, Q_B の変動が低減される。無効電力 Q ; Q_A, Q_B の変動が低減することは、調相設備107; 117A, 117Bの投入量の変動を低減することに寄与する。

40

【0216】

電力系統100; 110は負荷106; 116を含む。目的関数(実施の形態1に即して言えば式(25)で表される)において、負荷106; 116における電圧(負荷電圧) V の変動が、現在断面 S_0 ; J_0 および複数の将来断面 $S_1 \sim S_n$; $J_1 \sim J_n$ において積算される。最適潮流計算によって当該目的関数を最小とする変数 u が求められる。

【0217】

このような目的関数の採用は、負荷電圧の変動の低減に寄与する。このような目的関数

50

は実施の形態 2 においても採用され得る。

【0218】

電力系統 110 が複数の調相設備 117A, 117B を含むとき、複数の制約式および目的関数のうちの少なくとも一つにおいて、調相設備 117A の投入量の現在断面 J_0 および複数の将来断面 J_1, J_2 における変動が積算された結果と、調相設備 117B の投入量の現在断面 J_0 および複数の将来断面 J_1, J_2 における変動が積算された結果との分散 V_Q が用いられる。

【0219】

分散 V_Q の低減は、複数の調相設備 117A, 117B の各々の投入量の変動が、相互に偏ることを小さくし、以て調相設備 117A, 117B の劣化の進行が偏ることが低減される。

10

【0220】

例えば式(30), (31), (32) で例示されるように、目的関数において分散 V_Q が用いられる。最適潮流計算によってかかる目的関数を最小とする変数 u が求められる。

【0221】

例えば式(33) で例示されるように、制約式の少なくとも一つが、分散 V_Q が採る値を設定する。

【0222】

なお、各実施の形態を自由に組み合わせたり、各実施の形態を適宜、変形、省略することが可能である。例えば実施の形態 2 において、実施の形態 1 において紹介された数値計算例と同様に、目的関数 $f([u])$ において負荷 116 における負荷電圧 V の変動の積算が含まれてもよい。

20

【0223】

例えば実施の形態 2 において重み係数 K_A が零とされてもよい。このとき、目的関数を最小とする最適潮流計算によって、分散 V_Q を最小とする制御変数 u_k が求められる。このとき式(33) は用いられなくても構わない。あるいは例えば実施の形態 2 において他の目的関数が採用され、式(33) が採用される。

【0224】

複数の制約式(上述の例では式(33)) および目的関数(上述の例では式(30)) のうちの少なくとも一つにおいて分散 V_Q が用いられることは、調相設備 117A, 117B のそれぞれの調相設備変動量の低減を不問として、調相設備 117A, 117B の劣化の進行が偏ることが低減する。

30

【0225】

本開示は詳細に説明されたが、上記した説明は、すべての局面において、例示であって、限定的なものではない。例示されていない無数の変形例が想定され得るものと解される。

【符号の説明】

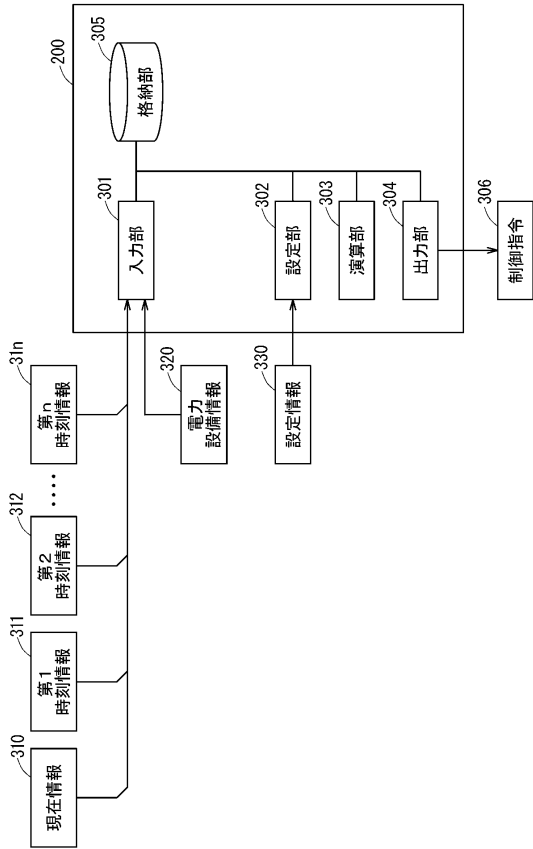
【0226】

100, 110 電力系統、106, 116 負荷、107, 117A, 117B 調相設備、200 制御装置、303 演算部、304 出力部、305 格納部、306 制御指令、310 現在情報、311~31n 将来情報、320 電力設備情報、 f 目的関数、 h_B, g_C, g_{Ck} 関数、 $J_1, J_2, S_1 \sim S_n$ 将来断面、 K_k 重み係数、 Q 無効電力、 S_0, J_0 現在断面、 V 負荷電圧。

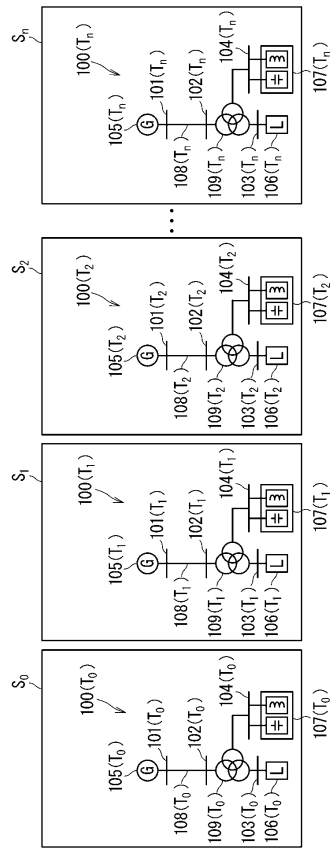
40

【図面】

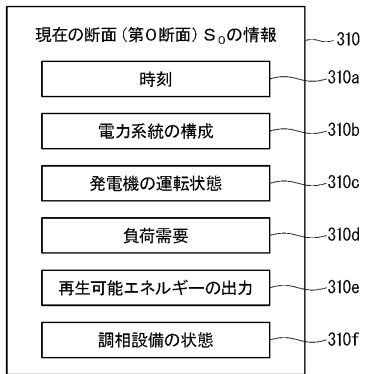
【図 1】



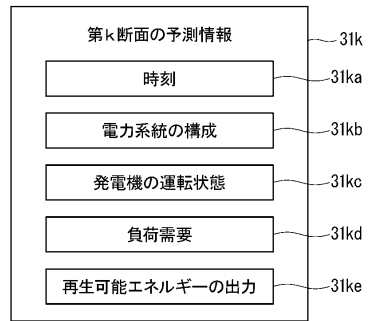
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

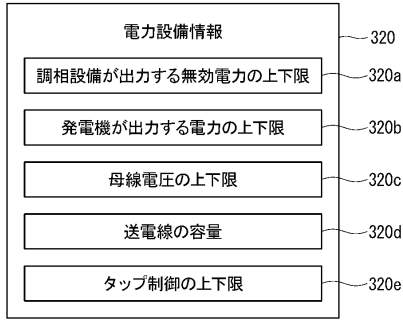
20

30

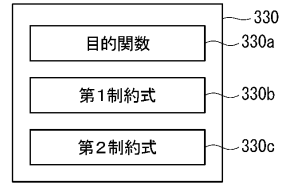
40

50

【図5】

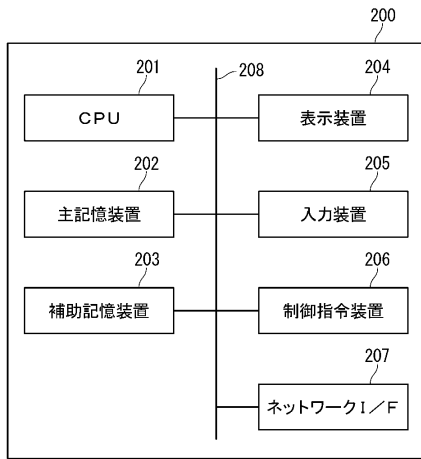


【図6】

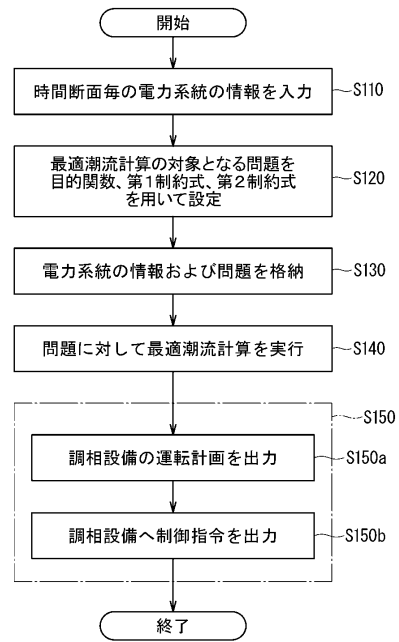


10

【図7】



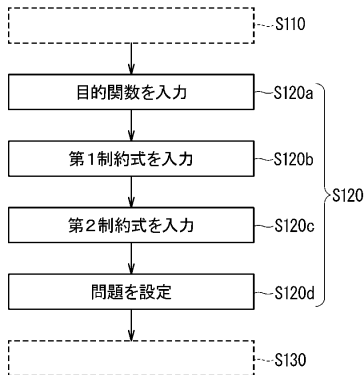
【図8】



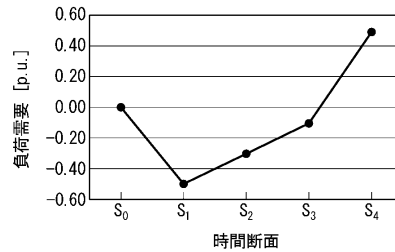
20

30

【図9】



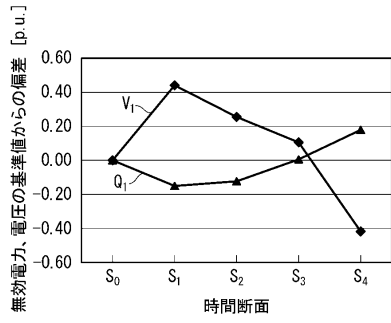
【図10】



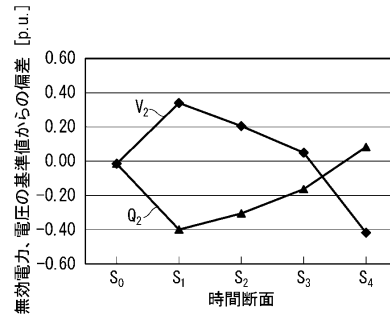
40

50

【図 1 1】



【図 1 2】

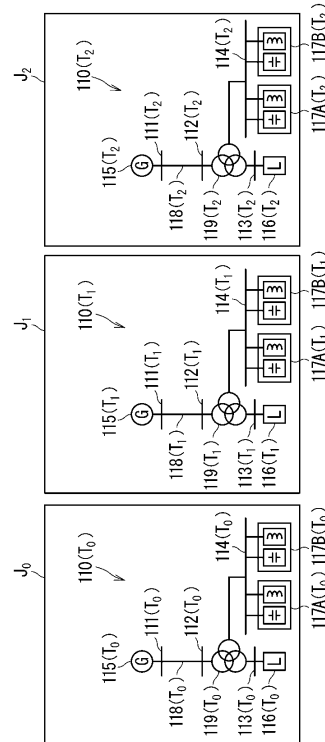


10

【図 1 3】

調相設備 107 の無効電力 $Q(T_k)$ [p.u.]		
時間断面	多断面	単断面
S_0	0.000	0.000
S_1	-0.015	-0.040
S_2	-0.012	-0.030
S_3	0.001	-0.015
S_4	0.018	0.010

【図 1 4】



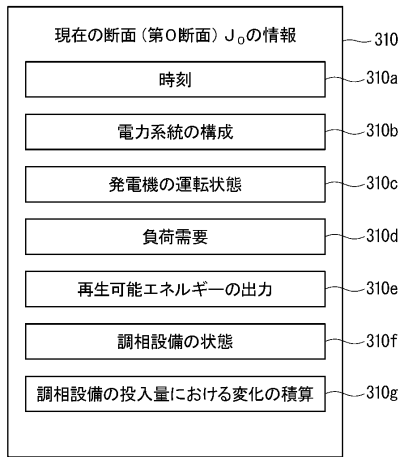
20

30

40

50

【 図 1 5 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

三菱電機株式会社内

審査官 辻丸 詔

- (56)参考文献 特開 2 0 1 8 - 1 9 1 4 8 2 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 1 3 6 6 0 0 (J P , A)
特開 2 0 0 6 - 1 7 4 5 6 4 (J P , A)
特開 2 0 1 8 - 1 5 2 9 6 8 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 2 3 5 6 8 0 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 2 / 0 1 9 3 9 8 4 (U S , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 2 J 3 / 0 0
H 0 2 J 3 / 1 8