

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5486847号  
(P5486847)

(45) 発行日 平成26年5月7日(2014.5.7)

(24) 登録日 平成26年2月28日(2014.2.28)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>H02P</b>	<b>9/00</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>H02P</b>	<b>9/00</b>	<b>B</b>
<b>H02P</b>	<b>9/04</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>H02P</b>	<b>9/04</b>	<b>H</b>

請求項の数 6 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2009-132658 (P2009-132658)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成21年6月2日(2009.6.2)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2010-283904 (P2010-283904A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成22年12月16日(2010.12.16)	(74) 代理人	100100310
審査請求日	平成23年8月3日(2011.8.3)		弁理士 井上 学
		(74) 代理人	100098660
			弁理士 戸田 裕二
		(72) 発明者	秋田 佳稔
			茨城県日立市大みか町五丁目2番1号
			株式会社 日立製作所
			情報制御システム事業部内
		(72) 発明者	飛世 正博
			茨城県日立市大みか町五丁目2番1号
			株式会社 日立製作所
			情報制御システム事業部内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電力変換装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

発電機を有する系統に接続され、前記発電機の出力する電力を所定の周波数の交流に電力変換して電動機を駆動する電力変換装置において、電気的な物理量である指令値を演算する指令値演算手段と、所定の応答で前記指令値に近づくように変換動作を制御する制御手段と、前記発電機の回転速度変動に応じた電力となるように前記応答を設定する応答設定手段を有し、前記電力変換されて前記電動機に対して供給される交流電力の電力量を検出する電力量検出手段を有し、前記発電機の回転速度変動を入力電圧の周波数変動または振幅変動として検出し、前記応答設定手段は、電力の変動量を前記回転速度変動量で除した値から、動作点における前記検出した電力を回転速度で除した値を減じた値と、電源側の機械定数に基づいて、機械ダンピング係数と電気ダンピング係数とで構成されるトータルダンピング係数が零以上に相当する電力となるように応答を設定することを特徴とする電力変換装置。

【請求項2】

請求項1に記載の電力変換装置において、前記指令値は電流指令値であり、前記応答は電流についての外乱応答であり、前記発電機の回転速度変動に応じて応答を低減させることを特徴とする電力変換装置。

【請求項3】

請求項1に記載の電力変換装置において、負荷側の振動現象を検出する検出手段と、前記検出に応じて前記応答を補正する補正手段を有することを特徴とする電力変換装置。

## 【請求項 4】

発電機を有する系統に接続され、前記発電機の出力する共通の電力を複数の交流に電力変換して対応する電動機を駆動する電力変換装置において、電氣的な物理量である指令値を演算する指令値演算手段と、所定の応答で前記指令値に近づくように各々の変換動作を制御する制御手段と、前記電力変換されて前記電動機に対して供給される各々の交流電力の電力量を検出する電力量検出手段を有し、前記発電機の回転速度変動に応じた電力となるように応答を設定する応答設定手段を有し、前記発電機の回転速度変動を入力電圧の周波数変動または振幅変動として検出し、前記応答設定手段は、各変換動作で供給される合計の電力の変動量を前記回転速度変動量で除した値から、動作点における前記検出した合計の電力を回転速度で除した値を減じた値と、電源側の機械定数に基づいて、機械ダンピング係数と電気ダンピング係数とで構成されるトータルダンピング係数が零以上に相当する電力となるように応答を設定することを特徴とする電力変換装置。

10

## 【請求項 5】

請求項 4 記載の電力変換装置において、各電力変換装置の負荷側の振動現象に応じて前記電力変換装置のうちの一部の電力変換装置の応答を制限する応答制限手段を有し、前記制限に応じて少なくとも他の電力変換器の一部の応答が決められることを特徴とする電力変換装置。

## 【請求項 6】

請求項 4 記載の電力変換装置において、前記各々の応答により、前記電力変換装置の総合的な電力が制御されることを特徴とする電力変換装置。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、電力変換装置、電力変換システム及び電力変換装置の制御方法に係り、特に電源側に発電機を有する系統に接続された場合において、タービンと発電機間に生じる軸ねじれ振動を抑制するのに最適な電力変換装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

タービン発電機間の軸ねじれ振動に関しては、直流送電系統において多数検討されており、例えば特開 2000 - 224896 号公報に、タービン発電機が直流送電系統の直流変換所近辺に連系されている場合、直流変換所で行われる電力制御の条件によっては、直流送電系統とタービン発電機とが干渉して、タービン発電機の軸が振動することが示されている。また、軸ねじれ振動は発電機の回転子に作用するトルクの状態に関係し、振動現象を直流送電系統の直流変換所の母線電圧の周波数変動から検出し、制御角を変化させて軸ねじれ振動を抑制する技術が示されている。

30

## 【0003】

また、直流送電系統以外でも、例えば特開平 11 - 27993 号公報に、エンジンと発電機の組合せ等で構成される発電装置を電源とする電力変換装置および電源システムにおいて、発電装置の共振周波数成分を検出し、共振周波数除去回路により発電装置の振動成分を打ち消すことで、発電装置の機械系の共振周波数と干渉して振動が持続・増加するのを抑制する電力変換装置の制御技術が示されている。

40

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0004】

【特許文献 1】特開 2000 - 224896 号公報

【特許文献 2】特開平 11 - 27993 号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

ここで、省エネルギーの観点から、タービン発電機の発電電力を電力変換器で可変周波

50

数に変換して応用する技術が多く用いられるようになってきた。例えば、これまで機械で直接駆動していたシステムを電動機と電力変換装置で可変速する電動化が行われてきており、システムによっては、電源設備としてタービン発電機を設置し、ここで得られた電気エネルギーを電力変換装置と電動機で再び調整可能な機械エネルギーに変換して可変速駆動する場合がある。

【0006】

この時、タービン発電機の軸ねじれ振動が発生する可能性がある。本発明の目的は、タービンと発電機の軸ねじれ振動を抑制可能な電力変換装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記目的を達成するために、本発明では、電気的な物理量である指令値を演算し、発電機の回転速度変動に応じた電力となるように応答値を演算し、演算された応答値に基づいて発電機を有する系統に接続された電力変換装置を制御するように構成した。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、電源設備としてタービン発電機を設置し、ここで得られた電気エネルギーを電力変換装置で変換し、例えば、電動機で再び調整可能な機械エネルギーに変換するものにおいて、タービンと発電機間の軸ねじれ振動を抑制して、電動機等を駆動することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の第1の実施形態を示す電力変換装置の構成図。

【図2】本発明の第2の実施形態を示す電力変換装置の構成図。

【図3】本発明の第3の実施形態を示す電力変換装置の構成図。

【図4】本発明の第4の実施形態を示す電力変換装置の構成図。

【図5】タービン発電機の振動系を示す2マスモデルブロック図。

【図6】トータルダンピング係数への  $P /$  の影響度を示す特性図。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下図面を用いて発明を実施するための最良の形態を説明する。

【実施例1】

【0013】

図1は、本発明の全体構成図である。1はガスタービン、2は前記ガスタービン1の機械エネルギーを電気エネルギーに変換する発電機でガスタービン1と発電機2は機械軸3で結合される。4は前記発電機2の出力電圧を系統電圧へ変換する変圧器、5は系統電圧を電力変換器の入力電圧に変換する変圧器で変圧器4と変圧器5は系統6を介して接続される。7は前記変圧器5から出力される電力を所望の電力に変換する電力変換器、8は前記電力変換器が出力する電力で駆動される電動機、9は前記電動機で駆動される被駆動装置で電動機8と被駆動装置9は機械軸10で結合される。ここで、電力変換器制御装置11の構成として、速度指令発生器111、ベクトル制御器112のように、～器と記載するが、これらの各構成は電子回路に限定されるものではなく、電力変換器制御装置11の全体或いは一部を電子計算機で構成し、速度指令発生器111、ベクトル制御器112のように～器と記載した構成要素の各機能をプログラムとして用いることができる。

【0014】

そして、11は前記電動機8の出力トルクや速度が所望の特性を満たすように前記電力変換器7を操作する電力変換器制御装置である。12は電力変換器出力電流検出器（以下、電流検出器と記す）で前記電力変換器7の出力電流を検出し出力する。13は電力変換器出力電圧検出器（以下、電圧検出器と記す）で前記電力変換器7の出力電圧を検出する。前記電流検出器12、電圧検出器13の出力信号は、電力変換器制御装置11に入力され、電力変換器制御装置11は、各種演算処理を行い、前記電力変換器7を操作する信号

10

20

30

40

50

を出力する。

【 0 0 1 5 】

次に電力変換器制御装置の主要動作について説明する。先ず、電力変換器制御装置 1 1 では、速度指令発生器 1 1 1 から出力される速度指令値と電流検出器 1 2 から出力される電流検出値が電動機ベクトル制御器 1 1 2 に入力され、電動機ベクトル制御器 1 1 2 では電動機 8 の出力トルクや速度が所望の特性となるように電力変換器 7 の電圧指令値を演算し出力する。具体的には、速度指令発生器 1 1 1 から出力される速度指令値と速度推定演算器 1 5 1 から出力される速度推定値との偏差が速度制御器 1 5 2 に入力され、速度制御器 1 5 2 では速度推定値が速度指令値に一致するように電流指令値を演算し出力する。ここで、速度推定演算器 1 5 1 には速度指令値、電流検出値及び電圧指令値が入力され、速度推定演算器 1 5 1 では、速度指令値から演算される電動機の誘起電圧成分、電流制御器が演算する電圧指令値、電流検出値を用いて電動機 8 の回転速度の推定値を演算する。尚、速度推定値を用いず、電動機 8 の回転速度を速度検出器で直接検出する場合もある。次に、速度制御器 1 5 2 で演算された電流指令値と電流検出器 1 2 から出力される電流検出値との偏差が電流制御器 1 5 3 に入力され、電流制御器 1 5 3 では電流検出値が電流指令値に一致するように電圧指令値を演算し出力する。そして、前記電圧指令値はパルス生成器 1 1 3 に入力され、パルス生成器 1 1 3 では、電力変換器 7 の出力電圧が出力電圧指令値に一致するように電力変換器 7 のスイッチング素子をオン・オフするパルス信号を演算し出力する。

10

【 0 0 1 6 】

ここで、電源側振動に関する関係式について説明する。図 5 はタービン発電機間の軸ねじり振動を 2 マス系で表現したものであり、K はバネ定数、D<sub>m</sub> は機械系のダンピング係数、J<sub>1</sub> はタービンのイナーシャ、J<sub>2</sub> は発電機のイナーシャで、J は J<sub>1</sub> と J<sub>2</sub> の合算で表されるトータルイナーシャ、n は J<sub>1</sub> と J<sub>2</sub> のイナーシャ比である。D<sub>e</sub> は電気系のダンピング係数で、発電機に接続される負荷（制御装置含む）により、発電機の世界変動が減少するようなトルクが電氣的に生じることを表している。図 5 から得られる 2 次振動系の状態方程式より、系の特性方程式は ( 1 ) 式となる。

20

【 0 0 1 7 】

【数 1】

$$S^3 + \left( \frac{D_m(J_1 + J_2)}{J_1 \cdot J_2} + \frac{D_e}{J_2} \right) S^2 + \left( \frac{K(J_1 + J_2)}{J_1 \cdot J_2} + \frac{D_m \cdot D_e}{J_1 \cdot J_2} \right) S + \frac{K \cdot D_e}{J_1 \cdot J_2} = 0 \quad \dots (数1)$$

30

【 0 0 1 8 】

この時の振動特性は ( 1 ) 式より、近似することで ( 2 ) , ( 3 ) 式となる。

【 0 0 1 9 】

【数 2】

$$2\xi \omega_n = \left( D_m + \frac{D_e}{1+n} \right) \cdot \frac{(1+n)^2}{n \cdot J} \quad \dots (数2)$$

40

【 0 0 2 0 】

【数 3】

$$\omega_n^2 = \left( K + \frac{D_m \cdot D_e}{J} \right) \cdot \frac{(1+n)^2}{n \cdot J} \quad \dots (数3)$$

【 0 0 2 1 】

50

ここで、 $\delta$  は減衰係数、 $n$  は固有振動数、 $\eta$  はイナーシャ比である。トータルのダンピング係数  $D_s$ 、バネ定数  $K_s$  は、(2)、(3)式より(4)、(5)式となり、電気系ダンピング係数によりシステムの振動特性( $\delta$ ,  $n$ )が変化する。

【0022】

【数4】

$$D_s = D_m + \frac{D_e}{1+n} \quad \dots(\text{数4})$$

【0023】

【数5】

$$K_s = K + \frac{D_m \cdot D_e}{J} \quad \dots(\text{数5})$$

【0024】

次に、電気系ダンピング係数について説明する。発電機の出力  $P$  は発電機の回転速度と発電機のトルクより  $P = \omega \cdot \tau$  で表され、動作点近傍での出力式  $P_0 = \omega_0 \cdot \tau_0$  に変化分を考慮すると(6)式が得られる。(6)式より電気系ダンピング係数  $D_e$  ( $= \tau / \omega$ ) を求めると(7)式となる。

【0025】

【数6】

$$P_0 + \Delta P = (\omega_0 + \Delta \omega)(\tau_0 + \Delta \tau) = (\omega_0 + \Delta \omega)\Delta \tau + \omega_0 \cdot \tau_0 + \Delta \omega \cdot \tau_0$$

$$\rightarrow \Delta \tau = \Delta P / (\omega_0 + \Delta \omega) - \Delta \omega \cdot \tau_0 / (\omega_0 + \Delta \omega) \quad \dots(\text{数6})$$

【0026】

【数7】

$$D_e = \Delta \tau / \Delta \omega = 1/\omega \cdot \Delta P / \Delta \omega - 1/\omega \cdot P_0 / \omega_0 \quad \dots(\text{数7})$$

【0027】

(7)式より、電気系ダンピング係数  $D_e$  は、定電力制御を行う場合( $P = 0$ )では  $D_e = -1/\omega \cdot P_0/\omega_0$  とネガティブダンピングとなり、機械系のダンピング値によっては、トータルダンピング係数が負となり不安定現象が生じる。電力変動の発電機回転速度変動に対する比率が動作点での比率と同じ場合( $P/\omega = P_0/\omega_0$ )では  $D_e = 0$  とトータルダンピング係数は機械系のダンピング値のみとなり、振動現象は機械系のダンピング係数で減衰する。そして、電力変動の発電機回転速度変動に対する比率が動作点での比率より大きい場合は、 $D_e > 0$  とトータルダンピング係数は機械系のダンピング値と電気系のダンピング係数の合計となり、より大きい減衰力が得られる。

【0028】

以上の関係に着目し、次に本発明における制御動作について説明する。(7)式より電気系ダンピング  $D_e$  を正にするには、電力を発電機回転速度の変動に応じて変化させればよい。ここで、発電機回転速度の変動分が、電力変換装置の入力電圧の振幅変動となる場合、電力変換装置の出力電流もこの電圧変動の影響を受け変動し、発電機側から見るとほぼ2乗の関係で電力が変動する負荷とみなせる。一方、電流制御器153は、負荷側が要求する電力を電力変換器7が出力するために、電流検出器12で検出される電力変換器7の出力電流が電流指令に一致するように動作する。そして、前記電流制御器153の応答が高い場合は、前記電圧変動の影響を電流制御器が補正し、出力電流を指令に一致させる電圧指令が出力されるため、発電機側の変動に関係なく例えば一定電力に制御されると、電気系ダンピングが負になる。そこで、発電機回転速度の変動分は、電力変換装置の入力電圧の周波数変動または振幅変動として現れるため、電圧検出器14で電圧を検出し、その検出値を変動量演算器114に入力する。変動量演算器114は変動量を演算し、出力する。また、電流検出器12で検出される電力変換器の出力電流と電圧検出器13で検出

10

20

30

40

50

される電力変換器 7 の出力電圧が電力演算器 115 に入力され、電力演算器 115 では電力変換器 7 の出力電力を演算し出力する。そして、変動量演算器 114 からの変動量と電力演算器 115 からの電力演算値を電力調整器 116 に入力し、電力調整器 116 では、電力演算値が変動量に応じて変化するように、例えば入力電圧の変動周波数に対する応答ゲインが低下するまで電力変換装置の電流制御器 153 の応答（制御ゲイン）を低減するようにした。

【0029】

ここで、電力調整器 116 において、電力変動  $P$  が発電機回転速度変動  $\Delta\omega$  に比例するように、すなわち、電力変動  $P$  / 発電機回転速度変動  $\Delta\omega$  = 動作点の電力  $P_0$  / 動作点の発電機回転速度  $\omega_0$  の関係（ $P / \Delta\omega = P_0 / \omega_0$  : 動作点での比と同じ）を満たすように外乱応答を低減すれば、電気系ダンピングは 0 となりタービン発電機の振動特性は機械系ダンピングのみの特性にできる。さらには、電力変動  $P$  と発電機回転速度変動  $\Delta\omega$  の関係を上記で規定した比例関係より大きくする（ $P / \Delta\omega > P_0 / \omega_0$  : 動作点での比よりも大きい）ように、好ましくは 2 乗に比例するように、外乱応答を低減すれば、電気系ダンピングは正となり、タービン発電機の振動特性は機械系ダンピングと電気系ダンピングの合計の特性となり、振動現象に対してより大きな減衰力が得られ振動抑制ができる。

10

【0030】

外乱応答を低減の動作をより具体的に説明する。ここで、外乱応答、すなわち電流制御器 153 の応答（制御ゲイン）は、変動周波数に対して電流制御系が応答するゲインを指すものである。通常、電流制御が電源変動の周波数に対して反応できるように、いわゆる電流制御系のボード線図で、電流制御系の応答を設定した応答周波数まではゲインを 0 dB とすると、電流が一定となるよう、電源変動を相殺するような電圧指令を電流制御系が演算し、電力変換器の出力電圧が一定となり、また、電流も一定になるように制御する。

20

【0031】

一方、ガスタービン 1 と発電機 2 を結合する機械軸 3 の振動を抑制するためには、電流制御器 153 の応答（制御ゲイン）について、発電機の回転速度変動を入力電圧の変動周波数として検出し、変動周波数に対するゲインが低下するように、電流制御系の応答を低減（制御ゲインを低減）する。すなわち、電流制御系は反応を抑制し、電源変動を相殺する電圧指令も出さなくなり、出力電圧は電源変動に応じて変動し、電流も電圧変動に応じて変動する。位相がずれるため力率に影響されるが、実質的には電力 = 電圧 × 電流なので、電力が電源に応じて変動する。このように外乱応答を低減するに従い、電源変動に応じて電力が変動するようになることから、電力変動  $P$  / 発電機回転速度変動  $\Delta\omega$  = 動作点の電力  $P_0$  / 動作点の発電機回転速度  $\omega_0$  の関係（ $P / \Delta\omega = P_0 / \omega_0$  : 動作点での比と同じ）を満たすように応答を低減させる。応答低減で、応答による電力変動量が変わるので比例の関係（ $P / \Delta\omega = P_0 / \omega_0$  : 動作点での比と同じ）になるまで応答を低減するのである。

30

【0032】

なお、応答低減で  $P / \Delta\omega = P_0 / \omega_0$  とする場合を例に説明したが、この場合に限らず、電気系ダンピングを正とするようあるいは増加するよう、タービン発電機の機械系ダンピングと電気系ダンピングの合計を増加するような、振動現象に対してより大きな減衰力が得られるための他の実施例記載に代えらえるのはもちろんである。

40

【0033】

また、図 1 では電流制御器 153 を用いて、電源変動に対する外乱応答を低減する実施例を示したが、電源変動の影響を直接電圧指令に反映する電圧変動補正機能を用いて電源変動に対する外乱応答を高めている場合がある。この場合は、電圧変動補正機能にフィルタ遅れ要素を付加し、このフィルタ時定数を長くすることで電源変動に対する外乱応答を低減でき、同様の効果を得ることができる。

【0034】

また、図 1 では電力調整器 116 により電流制御器 153 の応答を可変しているが、電

50

源変動に対する外乱応答を高める必要がない場合は、電力演算値が変動量に応じて変化する低応答なゲインに固定してもよい。

以上、制御ゲインの低減により振動抑制する例を記載したが、例えば、積極的に指令電流値を変更するなどによっても実現できる。制御対象を電流制御における制御ゲインとしたが、これらの電流制御のみならず、回路を工夫すれば、制御対象を電圧にしても同様な効果が得られる。

【実施例 2】

【0035】

図 2 は、本発明装置の他の実施例であって、トータルダンピング係数  $D_s$  に対する電気系のダンピング係数  $D_e$  の効果がタービン発電機の機械条件によって変化することに着目し、機械条件によって電力調整器 116 が出力する応答低減量を演算する際に用いる電力演算値と変動量（発電機の回転速度変動量）の関係（ $P/\omega$ ）を可変する点が図 1 と異なる。なお、実施例 1 と異なる部分のみ説明し、同様な部分は説明を省略する。なお、他の実施例においても同様である。先ず、(2) 式より  $D_e = 0$  の場合の関係式より機械系のダンピング係数は(8) 式となる。ここで  $\zeta_0$ 、 $\omega_n$  はタービン発電機の機械条件で決まる減衰係数と固有振動数である。(4) 式と(7)、(8) 式から  $D_s/D_m$  を導出すると(9) 式となる。

【0036】

【数 8】

$$D_m = 2 \zeta_0 \omega_n \cdot \frac{n \cdot J}{(1+n)^2} \quad \dots \text{(数8)}$$

【0037】

【数 9】

$$D_s/D_m = 1 + \frac{1/\omega(\Delta P/\Delta \omega - P_0/\omega_0)}{2 \zeta_0 \omega_n \cdot n/(1+n) \cdot J} \quad \dots \text{(数9)}$$

【0038】

(9) 式より、 $P/\omega$  をパラメータとし、例えば減衰係数  $\zeta_0$  と固有振動数  $\omega_n$  をある数値に固定し、イナーシャ比  $n$  を横軸に  $P/\omega \cdot P_0/\omega_0$  を入力した時の  $D_s/D_m$  の変化を計算したものを図 6 に示す。図 6 は、イナーシャ比が小さい場合に  $P/\omega$  により振動特性が大きく変化することを示している。同様に(9) 式が示すように減衰係数  $\zeta_0$ 、固有振動数  $\omega_n$ 、トータルイナーシャが小さいほど  $P/\omega$  により振動特性が大きく変化する。一方、電力変換装置は負荷側から要求される所望の電力を出力することが目的であるため、発電機側の軸ねじれ振動を抑制するための電力調整手段は外乱となり、そのための応答低減量は可能な限り小さいことが望ましい。そこで、タービン発電機の機械条件を設定するタービン発電機条件設定器 117 により、少なくともトータルダンピング係数が負とならない範囲で応答低減量を演算するための  $P/\omega$  の関係を電力調整器 116 において可変できるようにした。

【0039】

すなわち、電力調整器 116 では、少なくともトータルダンピング係数が負とならない範囲となる  $P/\omega$  を演算し、変動周波数  $\omega$  に対して電力変動  $\Delta P$  を求め、この電力変動  $\Delta P$  を実現する応答を演算するのである。

【0040】

このようにすることで、電源側の機械条件より、負荷側の制御性能への影響を最小限に抑え、可能な限り小さい応答低減量で電源側の振動抑制を行うことができる。

【実施例 3】

【0041】

図 3 は、本発明装置の他の実施例であって、負荷側の振動抑制または瞬停などによる電

10

20

30

40

50

源急変の条件により、電力調整器 116 が出力する応答低減量を増減する点が図 1 と異なる。負荷側に電動機により駆動される被駆動装置が接続された電力変換装置においては、電動機と被駆動装置の軸共振周波数で軸ねじり振動が発生する場合があります。電動機と被駆動装置間の軸ねじれ振動を抑制する軸振動抑制機能が付加されることがある。例えば、負荷側の軸ねじれ振動を電動機 8 の速度変動として、速度推定演算器 151 から出力される速度推定値の変動量より検出し、その振動を抑制するような電流指令値を出力する負荷側振動抑制器 154 を設置し、負荷側振動抑制器 154 の出力を速度制御器 152 の出力に加算する。この時、負荷側の共振振動周波数の電流指令値に電流検出値が一致するために電流制御応答が必要となる。また、瞬停などによる電源急変により電流が大きく変動することを防止するには電源変動に対する外乱応答を高める必要がある。

10

#### 【0042】

そこで、電力調整器 116 が出力する応答低減量を増減する、例えば可変ゲインなどの機能による応答低減量調整器 118 と、負荷側振動抑制器 154 の出力電流指令に含まれる振動成分から得られる負荷側の振動現象（大きさ、周波数）と電圧検出器 14 により検出される電源側の変動現象（大きさ、周波数）に応じて、前記応答低減量調整器 118 への制限量を演算する応答低減制限演算器 119 を設置し、負荷側と電源側の状況に応じて応答低減量調整器 118 により電力調整器 116 による応答低減量を増減できるようにした。尚、発電機側の共振周波数、負荷側の共振周波数は機械定数より把握できることが多いので、発電機側の振動現象と負荷側の振動現象や瞬停などの非周期的な変動を判別することは可能であり、負荷側の振動抑制動作や瞬停などの非周期的な変動が生じた場合は、

20

#### 【0043】

例えば、応答低減量調整器 118 は、予め負荷側の振動現象（大きさ、周波数）と電源側の変動現象（大きさ、周波数）に対応した応答低減量マップを記憶しておき、検出された振動現象と電源側変動現象に応じて該マップから応答低減量を読み出し、電力調整器 116 で決定される制御ゲインを補正することにより、応答を演算する。この場合、少なくともトータルダンピング係数が負とならない範囲となるように応答低減量は制限される。

#### 【0044】

このようにすることで、負荷側の振動抑制や瞬停などの電源急変時は外乱応答を高くでき、電源側の振動抑制を可能な範囲内で同時併用できる。

30

#### 【0045】

また、図 3 では軸ねじれ振動を電動機 8 の速度変動として検出しているが、負荷側の軸ねじれ振動を電流検出器 12 が出力する電流検出値の変動量として検出し、その振動を抑制するような電圧指令値を出力し負荷側振動抑制を行う場合がある。この場合でも負荷側振動抑制による電圧指令に含まれる振動成分から得られる負荷側の振動現象（大きさ、周波数）に応じて応答低減量を増減することで同等の効果を得ることができる。

#### 【実施例 4】

#### 【0046】

図 4 は、本発明装置の他の実施例であって、複数の電力変換装置でタービン発電機の振動抑制を行う点が図 3 と異なる。図 4 において 5 から 13 をサフィックス a, b で区別しているが同じ機能を持つものである。同じ系統に複数の電力変換装置が接続されている場合、複数の電力調整手段の合計で電源側の振動抑制を行うことができる。そこで、電源側振動抑制条件配分器 20 を設置し、電力変換器の入力電圧を検出する電圧検出器 14 からの電圧検出値と各々の電力変換装置 11a, 11b, ... から、応答低減制限演算器 119 からの制限値と電力演算器 115 からの電力演算値を、電源側振動抑制条件配分器 20 に入力し、電源側振動抑制条件配分器 20 からは、各電力変換装置における電源側振動抑制条件（応答低減配分値）が出力される。次に、電源側振動抑制条件配分器 20 の制御動作について説明する。（7）式より電気系ダンピング  $D_e$  を正にするには、電力を発電機回転速度の変動に応じて変化させればよい。発電機回転速度の変動分は、電力変換装置の入力電圧の周波数変動または振幅変動として現れるため、電圧検出器 14 で電圧を検出

40

50



し、その検出値を変動量演算器 201 に入力する。変動量演算器 201 は変動量を演算し、出力する。また、各電力変換器制御装置 11a, 11b, …からの電力演算値は総合電力演算器 202 に入力され、総合電力演算器 202 では複数の電力変換器の出力電力の合計を演算し出力する。そして、変動量演算器 201 からの変動量と総合電力演算器 115 からの電力演算値を総合電力調整器 203 に入力し、総合電力調整器 203 では、総合電力演算値が変動量に応じて変化するように、電力変換器の電源変動に対する外乱応答を低減するための応答低減量を応答低減量配分器 204 に出力する。

#### 【0047】

ここで、応答低減により電力変換装置の出力電流も電圧変動の影響を受け変動し、発電機側から見るとほぼ 2 乗の関係で電力が変動する負荷とみなせるため、電気系ダンピングが正となり振動現象に対してより大きな減衰力が得られ振動抑制ができる。応答低減量配分器 204 には、総合電力調整器 203 からの応答低減量と各電力変換器制御装置 11a, 11b, …からの応答低減制限演算器 119 からの制限値と総合電力演算器 202 で演算された各電力変換器出力の総合電力に対する電力比率が入力され、応答低減量配分器 204 では、入力された電力比率と制限値から各電力変換装置に配分される応答低減量を演算する。例えば、制限値が大きい電力変換器による応答低減量の不足分を他の電力変換器の低減量の比率を増加することで補充し、総合電力として調整ができるようにした。応答低減量配分器 204 で演算された各電力変換装置の応答低減量は、各電力変換器制御装置 11a, 11b, …に送られ、各電力変換器制御装置では、送られた応答低減量に従って、応答低減量調整器 118 で調整する。

#### 【0048】

すなわち、電力変換器制御装置が 2 台（電力変換器制御装置 11a, 11b）の場合を仮定すると、動作点における各々の電力は  $P_a$ ,  $P_b$  であり、各々の電力変動  $P_{0a}$ ,  $P_{0b}$  であるので、各々の電力  $P_{0a}$ ,  $P_{0b}$  の和 ( $P_{0a} + P_{0b}$ ) が系全体の電力  $P$  になり、各々の電力変動  $P_a$ ,  $P_b$  の和 ( $P_a + P_b$ ) が系全体の電力変動量  $P$  になる。よって、振動現象に対してより減衰力が得られように系全体の電気ダンピング係数を低減するためには、電力変動 ( $P_a + P_b$ ) / 発電機回転速度変動 = 動作点の電力 ( $P_{0a} + P_{0b}$ ) / 動作点の発電機回転速度  $0$  の関係 ( $P / 0 = P_{0a} / 0$  : 動作点での比と同じ) となるように、各々の電力変換器制御装置 11a, 11b の応答を低減させるのである。

#### 【0049】

ここで、一方の電力変換器制御装置 11a の応答低減量が抑制され、その低減量に応じた電力変動が  $P_a$  であれば、他方の電力変換器制御装置 11b の応答低減量は、系全体の電力低減量から電力変動  $P_a$  を除した値 ( $P - P_a$ ) を実現できる値として演算される。

#### 【0050】

もちろん、電力変換器制御装置が 3 台（電力変換器制御装置 11a, 11b, 11c）の場合、或いは、それ以上の場合にも上記に準じて、応答低減量が求められることはもちろんであり、また、( $P / 0 = P_{0a} / 0$  : 動作点での比と同じ) 以外の電気ダンピング係数を増加、あるいは、トータルダンピング係数の増加を実現する関係を用いて、応答（制御ゲイン）を演算しても良いことはもちろんである。

#### 【0051】

このようにすることで、負荷側の振動抑制や瞬停などの電源急変時は外乱応答を高くでき、複数の電力変換装置の応答低減量の配分を行い、総合電力として調整を行うことで電源側の振動抑制を行うことができる。

#### 【0052】

また、負荷側に電動機により駆動される被駆動装置が接続された電力変換装置における、電動機と被駆動装置の軸共振周波数で生じる軸ねじり振動は特定の速度で発生する場合がある。そこで、電源側振動抑制条件配分器 20 から出力される電源側振動抑制条件に応答低減量配分値だけでなく各電力変換装置の速度指令値を追加し、制限量が大きい電力変

10

20

30

40

50

換装置の速度指令値を操作することで制限量を緩和し、電源側の振動抑制を行うこともできる。

【 0 0 5 3 】

また、図 4 に示す実施例においては、総合電力演算手段への入力電力演算値が電力変換装置からとなっているが、同じ系統に接続されている電力変換装置以外の負荷電力も加えた総合電力で調整することも可能であり、この場合、各電力変換装置への応答低減量配分比が抑えられる効果がある。

【 0 0 5 4 】

以上の各実施例のエッセンスを纏めると以下のとおりとなる。すなわち、タービン発電機間の軸ねじれ振動へのダンピング特性が負荷側の電力変化に依存することに着目し、電源側に発電機を有する系統に接続された電力変換装置において、前記発電機の回転速度変動を前記電力変換装置の入力電圧の周波数変動または振幅変動として検出する変動量演算手段と、前記電力変換装置の電力を演算する電力演算手段と、前記変動量に応じて、前記電力演算値が変化するように前記電力変換装置の電源変動に対する外乱応答を低減する電力調整手段を設置するようにした。例えば、この調整においては、電力変動の発電機回転速度変動に対する比率が動作点での比率と同じ ( $P/P_0 = P_0/P_0$ )、または、電力変動の発電機回転速度変動に対する比率が動作点での比率より大きくなるように電力変換装置の電源変動に対する外乱応答を低減するようにした。また、ダンピング特性がタービン発電機のイナーシャ比、減衰係数、固有振動数などに依存することに着目し、電力調整を行うための電力と変動量との関係式をタービン発電機の機械条件により可変できるようにした。

【 0 0 5 5 】

また、電源側に発電機を有する系統に接続され、負荷側に電動機により駆動される被駆動装置が接続された電力変換装置において、前記発電機の回転速度変動を前記電力変換装置の入力電圧の周波数変動または振幅変動として検出する変動量演算手段と、前記電力変換装置の電力を演算する電力演算手段と、前記変動量に応じて、前記電力演算値が変化するように前記電力変換装置の電源変動に対する外乱応答を低減する電力調整手段と、前記電力調整手段が出力する応答低減量を増減する応答低減量調整手段と負荷側の振動現象に応じて前記応答低減量調整手段の制限量を演算する応答低減制限演算手段を設置し、負荷側の振動現象に応じて電力調整手段による応答低減量を前記応答低減量調整手段で増減する

【 0 0 5 6 】

また、電源側に発電機を有する系統に接続され、負荷側に電動機により駆動される被駆動装置が接続された電力変換装置が共通の系統に複数接続されているシステムにおいて、前記発電機の回転速度変動を前記電力変換装置の入力電圧の周波数変動または振幅変動として検出する変動量演算手段と、前記電力変換装置の電力を演算する電力演算手段と、前記変動量に応じて、前記電力演算値が変化するように前記電力変換装置の電源変動に対する外乱応答を低減する電力調整手段と、前記電力調整手段が出力する応答低減量を増減する応答低減量調整手段と負荷側の振動現象に応じて前記応答低減量調整手段の制限量を演算する応答低減制限演算手段を複数の電力変換装置の各々に設置し、各電力変換装置の電力演算手段の電力値を合計する総合電力演算手段と前記発電機の回転速度変動を前記電力変換装置の入力電圧の周波数変動または振幅変動として検出する変動量演算手段と、前記変動量に応じて、前記総合電力演算値が変化するように前記電力変換装置の電源変動に対する外乱応答を低減する総合電力調整手段と、各電力変換装置の応答低減制限演算手段の制限値と総合電力演算手段からの各電力変換器出力の総合電力に対する電力比率から各電力変換装置に配分される応答低減量を演算する応答低減量配分手段を設置し、前記応答低減量配分手段からの応答低減量配分により各電力変換装置の前記応答低減量調整手段で応答低減量の増減を行い、総合電力として調整するようにした。

【 0 0 5 7 】

以上の実施例では電動機 8 で被駆動装置 9 (例えば液化天然ガス製造用のコンプレッサ

10

20

30

40

50

)を駆動する例を説明したが、これに限定されるものではなく、船舶に適用しても良い、この場合は、発電機&モータ駆動システムを船舶に積載できるように構成し、モータ駆動システムで船舶のスクリューを駆動する。また、エコ電車に適用しても良い。この場合は、発電機を電車のディーゼル発電機とし、ディーゼル発電機&モータ駆動システムを用いて車輪を駆動する。また、非常用発電機+UPSとして適用しても良い、この場合、変換器としてUPS(無停電電源装置)が構成されることとなる。さらに、電動ダンプシステムに適用しても良い、この場合、発電機&モータ駆動システムを車両に積載できるように構成し、モータ駆動システムで車両の駆動輪を回転させる。しかしながら、これらの例は、適用例を示したに過ぎず、発電機+モータ駆動システムのどのようなシステムにも適用が可能なのは言うまでも無い。

10

## 【符号の説明】

## 【0058】

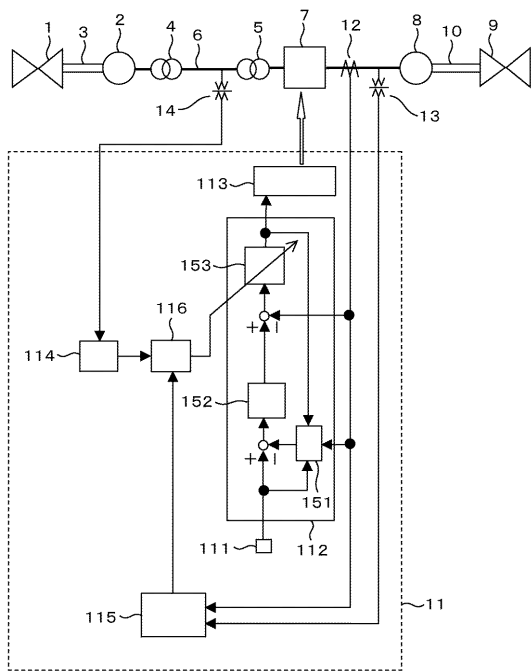
- 1 ガスタービン
- 2 発電機
- 3 ガスタービンと発電機間の機械軸
- 4 発電機電圧から系統電圧への変圧器
- 5 系統電圧から電力変換器入力電圧への変圧器
- 6 系統
- 7 電力変換器
- 8 電動機
- 9 被駆動装置
- 10 電動機と被駆動装置間の機械軸
- 11 電力変換器制御装置
- 12 電力変換器出力電流検出器
- 13 電力変換器出力電圧検出器
- 14 電力変換器入力電圧検出器
- 111 速度指令発生器
- 112 電動機ベクトル制御器
- 113 パルス生成器
- 114 変動量演算器
- 115 電力演算器
- 116 電力調整器
- 117 タービン発電機条件設定器
- 118 応答低減量調整器
- 119 応答低減制限演算器

20

30

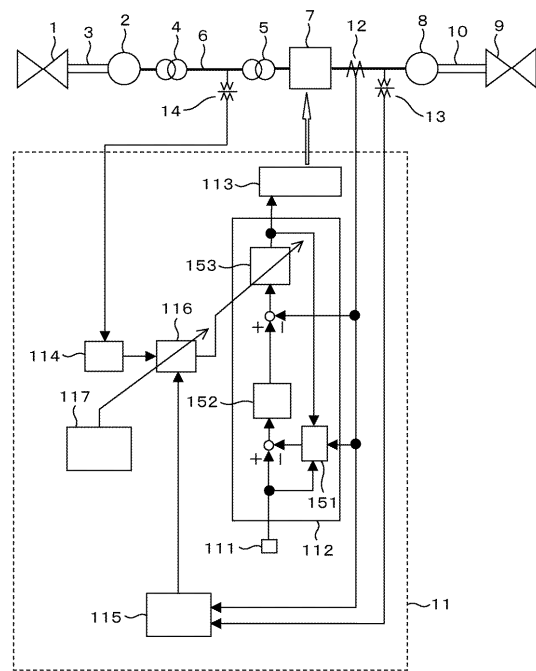
【図1】

図1



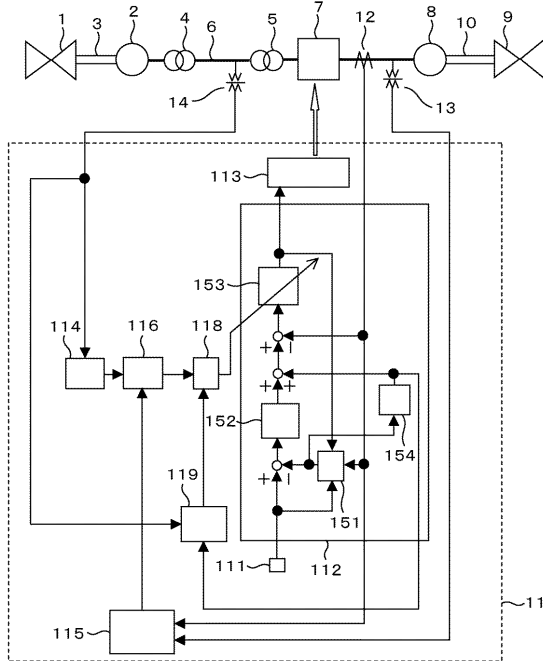
【図2】

図2



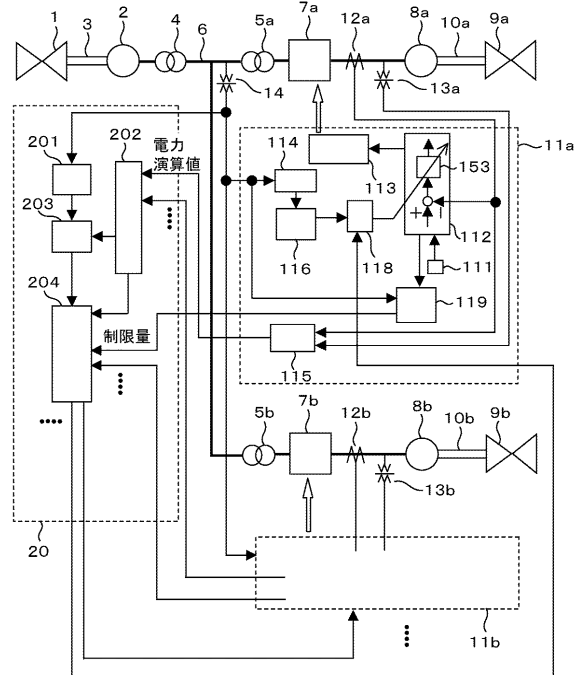
【図3】

図3

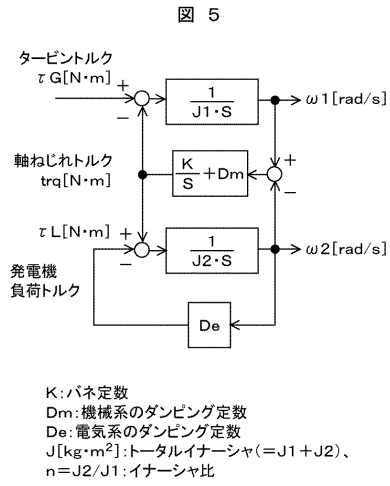


【図4】

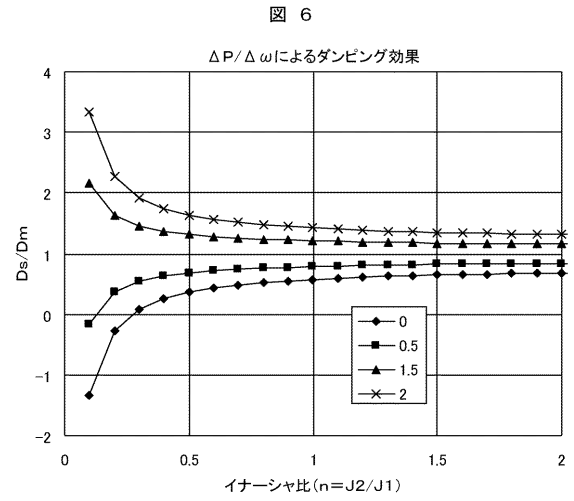
図4



【 図 5 】



【 図 6 】



---

フロントページの続き

審査官 田村 耕作

- (56)参考文献 特開平10-146099(JP,A)  
特開平02-026225(JP,A)  
特開2000-224896(JP,A)  
特開2005-045849(JP,A)  
特開平06-225457(JP,A)  
特開平11-027993(JP,A)  
特開昭63-148832(JP,A)  
特開2000-060003(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 9/00-9/48