

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4663189号  
(P4663189)

(45) 発行日 平成23年3月30日(2011.3.30)

(24) 登録日 平成23年1月14日(2011.1.14)

(51) Int.Cl.

H02P 9/00 (2006.01)  
H02P 9/04 (2006.01)

F 1

H02P 9/00  
H02P 9/04B  
E

請求項の数 24 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2001-515523 (P2001-515523)  
 (86) (22) 出願日 平成12年8月4日 (2000.8.4)  
 (65) 公表番号 特表2003-507004 (P2003-507004A)  
 (43) 公表日 平成15年2月18日 (2003.2.18)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2000/040566  
 (87) 國際公開番号 WO2001/011764  
 (87) 國際公開日 平成13年2月15日 (2001.2.15)  
 審査請求日 平成19年8月1日 (2007.8.1)  
 (31) 優先権主張番号 09/369,181  
 (32) 優先日 平成11年8月6日 (1999.8.6)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 390041542  
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー  
 GENERAL ELECTRIC COMPANY  
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ  
 クタディ、リバーロード、1番  
 (74) 代理人 100137545  
 弁理士 荒川 聰志  
 (72) 発明者 ローソン、ロドニー・エー  
 アメリカ合衆国、24090、バージニア  
 州、フィンキャッスル、リーズ・ギャップ・  
 ロード、7757番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】タービン発電機の可能出力に合うように同期発電機の限界及び保護ソフトウェアを修正するための方法と装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

発電機の保護を行う方法であって、  
定格可能出力を表す関数発生器のフィードバック信号を捉える工程と、  
温度センサ及び圧力センサの内の一方の出力を読み取り、前記発電機の冷却材状態を決定する工程と、  
前記冷却材状態に基づいて、該冷却材状態による発電機の性能の変化に従って補償値を決定する工程と、  
前記補償値に基づいて、発電機の性能の変化を考慮する為に前記フィードバック信号を修正する工程と、  
前記出力が最低閾値より高いかどうかを判断し、高くなれば、前記の補償値を決定する工程及びフィードバック信号を修正する工程を無効にする工程と、  
を含む前記方法。

## 【請求項 2】

更に、前記フィードバック信号に前記補償値を乗算する工程を含む請求項 1 記載の方法。  
 。

## 【請求項 3】

更に、前記発電機の可能出力曲線に基づいて、動作限界を反映する過励磁限界(OEL)  
 及び不足励磁限界(UEL)の内の少なくとも1つを補償する工程と、前記UELを近似する為に2つの部分から成る特性を用いる工程を含む請求項 1 又は 2 記載の方法。

**【請求項 4】**

更に、前記発電機に付設された自動電圧調節器の設定点及び逆時間保護フィードバック信号の内の少なくとも1つを補償する工程を含む請求項1乃至3のいずれかに記載の方法。

**【請求項 5】**

蒸気タービン発電機及びガス燃焼発電機の内の少なくとも一方で作用し得る請求項1乃至4のいずれかに記載の方法。

**【請求項 6】**

前記出力が圧力センサの出力であり、前記発電機が蒸気タービン発電機である、請求項1乃至4のいずれかに記載の方法。

10

**【請求項 7】**

更に、前記出力に倍率をかける工程を含む請求項6記載の方法。

**【請求項 8】**

更に、前記出力を前記発電機の定格値と加算する工程と、前記の加算する工程の結果を、冷却ガス圧力及び前記発電機の許容界磁電流の間の両対数関係を示すべき数まで高める工程を含む請求項6記載の方法。

**【請求項 9】**

更に、前記圧力センサの故障を検出する工程と、

前記圧力センサが故障である場合、前記フィードバック信号を修正する工程を無効にする工程を含む請求項6乃至8のいずれかに記載の方法。

20

**【請求項 10】**

前記補償値が前記発電機の冷却材の温度による発電機の性能の変化に従って決定される、請求項1乃至4のいずれかに記載の方法。

**【請求項 11】**

更に、前記発電機の冷却材温度を検出する温度センサの出力を前記発電機の定格値と加算する工程と、前記の加算する工程の結果を、冷却ガス温度及び前記発電機の許容界磁電流の間の2次関数関係を表す方程式に用いる工程を含む請求項10記載の方法。

**【請求項 12】**

更に、前記温度センサの故障を検出する工程と、

前記温度センサが故障である場合、前記フィードバック信号を修正する工程を無効にする工程を含む請求項11に記載の方法。

30

**【請求項 13】**

発電機の保護を行う装置であって、

定格可能出力を表す関数発生器の出力信号を捉える手段と、

温度センサ及び圧力センサの内の一方向の出力を読み取り、前記発電機の冷却材状態を決定する手段と、

前記発電機の冷却材状態及び前記定格可能出力に基づいて、前記冷却材状態による発電機の性能の変化に従って補償値を決定する手段と、

前記補償値に基づいて、前記発電機の性能能力の変化を考慮する為に前記フィードバック信号を修正する手段と、

前記出力が最低閾値より高いかどうかを判断し、高くなれば、前記の補償値を決定する手段及びフィードバック信号を修正する手段を無効にする手段と、

を有する装置。

40

**【請求項 14】**

更に、前記フィードバック信号に前記補償値を乗算する手段を有する請求項13記載の装置。

**【請求項 15】**

更に、過励磁限界(OEL)及び不足励磁限界(UEL)の内の少なくとも1つを補償する手段を有する請求項13記載の装置。

**【請求項 16】**

50

更に、前記発電機に付設された自動電圧調節器の設定点及び逆時間保護フィードバック信号の内の少なくとも1つを補償する手段を有する請求項13記載の装置。

**【請求項17】**

前記出力が圧力センサの出力であり、前記発電機が蒸気タービン発電機である、請求項13乃至16のいずれかに記載の装置。

**【請求項18】**

更に、発電機の冷却材温度及び冷却材圧力に基づいて、計算を行う内の1つを自動的に選択するスイッチを有する請求項13乃至17のいずれかに記載の装置。

**【請求項19】**

前記発電機の界磁電流及び固定子電流の内の少なくとも一方の大きさを制御する、請求項13乃至18のいずれかに記載の装置。

10

**【請求項20】**

前記発電機がガス燃焼発電機であり、前記補償値が前記発電機の冷却材の温度による発電機の性能の変化に従って決定され、前記温度センサが故障である場合、前記フィードバック信号を修正する手段を無効にする手段を含む、請求項13乃至16のいずれかに記載の装置。

**【請求項21】**

更に、前記出力を前記発電機の定格値と加算する手段を有する請求項17記載の装置。

**【請求項22】**

更に、前記の加算する手段の結果を、冷却ガス圧力及び前記発電機の許容界磁電流の間の両対数関係を示すべき数まで高める手段を有する請求項21記載の装置。

20

**【請求項23】**

更に、前記加算する手段の結果を、冷却ガス温度及び前記発電機の許容界磁電流の間の2次関数関係を表す方程式に用いる手段を有する請求項21記載の装置。

**【請求項24】**

更に、前記圧力センサの故障を検出する手段と、

前記圧力センサが故障である場合、前記フィードバック信号を修正する手段を無効にする手段を含む、請求項17乃至19のいずれかに記載の装置。

**【発明の詳細な説明】**

**【0001】**

30

**【発明の背景】**

同期発電機と共に動作するように設計された励磁機は、従来、界磁の発熱によって制約される発電機の可能出力(capability)曲線の過励磁領域に於て発電機の動作を制限することにより、発電機の界磁を保護することが必要であった。発電機の可能出力曲線の不足励磁領域では、固定子の端コイルの発熱及び固定子積層板の過電圧効果の為に動作を制限しなければならない。定格遅れ力率に於ける定格KVAと力率1での定格KVAとの間の動作は、過大な固定子電流が原因である過熱の為に制限しなければならない。ゼネラル・エレクトリック社のGENEREX-CPS、GENEREX-PPS、SHUNT-SCR、ALTERREX、スタティック・バス給電励磁及びSILCO5制御方式のような、この機能を実現する為に使われた従来の固定ハードウェア又はソフトウェア・アルゴリズムは、発電機を正しく保護することが出来るが、こういう従来の方式は、正常な状態から劣化したときの冷却材状態に応答するという能力を全く持っていない。別の問題は、従来のリミッタ方式は、改善された冷却材状態、並びにこの改善された冷却状態に伴う発電機定格の可能な増加を考慮していないことである。実際、「周囲条件追従形」の燃焼タービンの用途は、その出力電力能力が、冷却材状態によって著しく変わるので、冷却材状態の変化に特に敏感である。

40

**【0002】**

従って、発電機の励磁機の限界及び保護機能を冷却材状態の関数として調整して、発電機の改良された全体的な性能を持たせることが望ましいことが判る。

**【0003】**

50

### 【好ましい実施態様】

ここで説明する装置及び方法は、発電機の全出力能力を保ちながら、(1)界磁の発熱、(2)固定子電流による発熱、及び(3)不足励磁の可能出力によって制限される分野で、冷却材状態が公称状態から変化したときに、発電機を正確に保護する。好ましい実施態様では、ハードウェア又はソフトウェアで構成された適当なアルゴリズムが自動的に選択されて、可能出力曲線の分野では、水素冷却又は空冷の発電機に対する補償を最適にすると共に、ジャンパ又はその他の適当なスイッチング装置を用いて、不足励磁の分野で正しい補償を選択する。好ましい実施態様の利点として、リミッタ及び保護アルゴリズムを自動的に調整することによって、リミッタの非常に正確な補償が実現され、この為、変化する冷却状態に亘って発電機の一層効率の良い使い方が実現される。

10

### 【0004】

限界及び保護アルゴリズムの両方を発電機の励磁機に取入れることが出来るので、好ましい実施態様では、冷却材状態が変化するとき、限界及び保護機能を調整し、この調整状態を保つことが好ましい。この為、この明細書では、冷却材状態の関数として、限界及び保護機能を調整し、こうして非常に正確な保護機能を保ちながら、タービン発電機の全出力能力が出せるようにする非常に正確な装置及び方法を説明する。別の利点として、定格遅れ力率に於ける定格KVAから、力率1での定格KVAでの動作まで、可能出力曲線の範囲で動作するように、冷却材補償固定子電流限界機能を付け加えることが出来る。

### 【0005】

更に具体的に言うと、発電機は、現在の動作点に於ける冷却材状態に基づいて異なる定格を持っている。上に述べたように、従来の励磁機の構成では、固定限界及び保護ハードウェア又はソフトウェア・アルゴリズムを使っているが、これは定格冷却材状態以外のときの保護が出来ないか、或いは冷却材状態が改善されたときに発電機の動作を高めて、発電機の全可能出力状態が得られるようにすることが出来ない。これは、前に説明したように、周囲条件追従形燃焼タービンの用途では特に重要である。従って、ここで説明する方法は、固定パラメータ限界及び保護アルゴリズムを用いるが、励磁機の能力を発電機の定格と釣り合わせる為に、温度又は水素圧力（冷却装置の種類に応じて）にキーどめされた完全な限界及び保護補償を提供する。この結果として、限界及び保護アルゴリズムの間の自動的な調整が行われる。

20

### 【0006】

好ましい実施態様では、2つの部分から成る特性を使って、不足励磁限界（UEL）を実現する。このような2つの部分から成る特性を不足励磁限界に対して利用すると、固定子電流の発熱又は固定子KVAによって決定される発電機の可能出力曲線の範囲での動作に対し、補償信号が得られるという別の利点がある。この為、冷却材状態に対して補償された固定パラメータ固定子電流限界を使うことが出来る。

30

### 【0007】

#### 【詳しい説明】

図1は空冷発電機に対する典型的な反応形可能出力曲線を示す。定格入口空気温度に於ける発電機定格は、点A、B、C及びDを通る曲線によって与えられる。この他の2つの可能出力曲線も図1に示されており、定格とは異なる温度で運転されるときの発電機の可能出力を示している。AからBまでの可能曲線は、発電機内の界磁の発熱によって制限され、その結果、定常状態運転に対して許される最大界磁電流の値が決まる。過励磁限界（OEL）並びに関連する保護を使って、可能出力曲線のこの部分に於ける発電機の動作を制限する。曲線B-Cは固定子電流の発熱によって制限される。固定子電流限界を使って、発電機の出力が可能出力曲線のこの領域に入ったとき、発電機の動作を制限する。曲線C-Dは、端部の鉄の発熱及び固定子積層板の過電圧によって制限される可能出力曲線の範囲で動作するときの発電機の可能出力を反映している。曲線E-F-G-D及びH-J-K-Dは、夫々50及び-18に於ける発電機の可能出力曲線を示している。

40

### 【0008】

図2は典型的な水素冷却発電機の可能出力曲線を示す。水素冷却発電機の場合、発電機が

50

最高水素圧力にあるときに発電機定格になり、水素圧力が下がるにつれて、発電機定格が下がる。定格水素圧力の可能出力曲線は、図2では曲線A - B - C - Dとして示されており、最低水素圧力に対する曲線は曲線E - F - G - Dとして示されている。可能出力曲線の制約は図1の曲線と同様である。即ち、図2で、曲線A - Bは界磁の発熱によって制限され、曲線B - Cは固定子電流による発熱によって制限され、端部の鉄の発熱及び固定子積層板の過電圧が曲線C - Dを制限する。

#### 【0009】

図3は、ヨーロッパの製造業者の場合の典型的な空冷発電機の可能出力曲線を示す。グラフの左側にゼロ電力軸を示す合衆国の普通のやり方の代わりに、図3に示す標準的なヨーロッパのやり方では、ゼロ電力の点が右側に示されている。可能出力曲線の制約は図1の曲線と同様である。曲線A - Bは界磁の発熱によって制限される。曲線B - Cは固定子電流による発熱によって制限される。端部の鉄の発熱及び固定子積層板の過電圧が曲線C - Dを制限する。CからDまで、GからDまで及びKからDまでの曲線は、これらの発電機と標準的な合衆国の空冷発電機との違いを示す。このどの曲線も、冷却材温度による変化を示していない。

10

#### 【0010】

ここで説明する好ましい実施例では、同期発電機用の励磁機に対するリミッタ及び保護装置並びに方法（以下「アルゴリズム」又は「機能」と呼ぶ）を提供する。具体的に言うと、ここで説明するリミッタは、調整器の動作を通じて、励磁機及び発電機の動作を、発電機の可能出力曲線の受容れることの出来る動作範囲に制限する。これに対して、保護アルゴリズムは、調整器の機能を全く持たないが、その代わりに、発電機の可能出力曲線の外側での励磁機及び発電機の動作に応答して、引きはずし（トリップ）を発生することが好ましい。これから説明するように、定常状態では、励磁機を可能出力曲線の範囲内で積極的に強制的に動作させ、冷却材状態に対して補償することが出来るようにするリミッタ・アルゴリズムが提供される。

20

#### 【0011】

更に、好ましい実施例は、系統事象に対し、可能出力曲線の冷却材補償禁止区域を過渡的に突き抜けることが出来るようにし、系統の安定性に対する発電機の寄与を最大にする。リミッタ及び保護機能に対して同様なアルゴリズムを構成することにより、リミッタ及び保護機能の間で効果的な調節をすることが可能である。この為、O E Lの場合、リミッタが作用していれば、それが、発電機の動作を、発電機の界磁の発熱によって制限される発電機の可能出力曲線の冷却材補償範囲に制限することを確実にする。これによって、保護をしたことが望ましくない形で引きはずしを起こすことなく、こうして、発電機を一層長い期間の間、並びに普通であれば引きはずしを引き起こすような期間の間、オンラインに保つことが保証される。言い換えると、リミッタ・アルゴリズムは、界磁巻線に流れる電流の大きさを制御して、保護アルゴリズムと調整しながら発電機をオンラインに保つ。

30

#### 【0012】

具体的に言うと、発電機の界磁回路では、界磁巻線の全体的な温度が重要な判断基準である。界磁巻線の全体的な温度は、巻線内の界磁電流並びに冷却材の状態及び温度の影響を受ける、一般的に、蒸気タービンの用途で使われている発電機は、一定の低温ガス温度で動作する傾向があり、周囲温度の変動に追従しない。この場合、この代わりにガス圧力が変化し、ガス圧力が低くなると、発電機の可能出力が下がる。ガス冷却発電機に於ける発電機の界磁電流とガス圧力との間の関係は、両対数関数ということが出来、これは周知である。詳しく言うと、現在のガス絶対圧力が $(P_{GAS} + 14.7) \text{ l b s / in}^2$ （以下、特に述べないが、圧力及び温度、例えば「」単位であると了解されたい）であれば、この圧力に於ける最大許容界磁電流は次のようになる。

40

#### 【0013】

IF@PGAS=

$$\text{IF\_RAT} * ((\text{PGAS} + 14.7) / (\text{PGAS\_RATED} + 14.7)) ^ {(\text{H2FEXP}/10000)} \quad (1)$$

IF\_RAT（定格界磁電流）及び項 H2FEXP は、特定の用途に対する発電機のデー

50

タから決定することが出来る。I F @ P G A S は、特定のガス圧力で、製造業者によって特定されている定格電流である。H 2 F E X P は、発電機の製造業者から供給される界磁電流及び水素圧力のデータから推定することが出来る指標であり、式(1)中の「10000」という除数は、デジタル数を工学単位に関連付ける為に使われる特定の構成から生ずるものである。一般的に、項(H 2 F E X P / 10000)は、典型的な水素冷却発電機では、0.4及び0.5の間で変化する。好ましい実施例は、2つの絶対温度信号の比を0.4及び0.5の間で変化するべき数に上げる為の、式(1)に示す近似式の精度を最大にする。

#### 【0014】

この点、式(1)の両辺をI F \_ R A Tで割ると、こうして変更された式(1)の右辺に乘数が生ずるが、これを使って(イ)フィードバック信号及び/又は(ロ)限界基準設定点を修正する。こうすると、保護及びリミッタ機能に対して一定のアルゴリズムを使いながら、冷却材の変化に対して補償することが出来る保護機能及びリミッタを構成することが出来る。

10

#### 【0015】

図4は、冷却材補償不足励磁限界(U E L)、O E L(リミッタ及び保護の両方)及び固定子電流限界の好ましい構成のブロック図を示す。冷却材補償を実施するのに関連するブロックだけが詳しく示されている。U E L I Nと記したブロック、即ち、ブロック400は、U E L機能に対する入力ブロックであり、 $1 / V T ^ 2$ による正規化、低域通過フィルタ作用、イネーブル作用及び絶対値回路の機能を持つ。入力電力P及び端子電圧V<sub>T</sub>がブロック400に供給される。ブロック405のテーブル・ルックアップは、任意の関数発生器であり、定格冷却材での可能出力曲線状の点CからDまでの可能出力曲線を構成するために使われる。ブロック415のU E L O Pと記したブロックは、ブロック410であるU E L H Tブロックからの出力である冷却材補償V A R基準から、 $1 / V T ^ 2$ による正規化を取除くために使われる。ブロック425のブロックE I P F Vは、信号H T S M A X V A(後で説明する)を使って、固定子電流限界基準を修正し、自動電圧調整器(A V R)(図に示していない)に対して上昇及び下降指令が出されて、固定子電流を冷却材状態と見合う状態に制限するようとする。比ブロック430を使って、O E L界磁電流調整器基準を修正する。比ブロック435を使って、限界及び保護アルゴリズムに対する界磁電流フィードバック信号を修正する。

20

#### 【0016】

図5は、水素冷却発電機に対する過励磁リミッタ(O E L)及び保護アルゴリズムを補償する為の乗数(H T S \_ B I A S)を発生する好ましい方法を示す。項H T S @ I Nは、発電機の冷却装置(図に示していない)に付設した水素圧力変換器の出力信号であり、一般的には発電機の製造業者から供給される。この信号を低域通過フィルタ500に通して、望ましくない交流成分を取り除く。更に、項H T S O F S(水素温度センサ・オフセット)を選択して、加算ブロック515を通じて、水素圧力を伝達する4-20mA電流信号(H T S @ I Nとして実現される)を使うことから生ずるオフセットがあれば、それを取り除く。水素冷却発電機の場合、この電流信号は、前に述べたように、冷却材状態を表す。オフセット変換器(4-20mA)を使って、ゼロ信号レベルを許さず、例えば2mA未満の信号レベルを線開放と解釈しても良いようにすることが普通である。

30

#### 【0017】

倍率(scaling) ブロック520内のH T S S C L(水素温度スカラー)は、定格絶対圧力に於ける10000カウントに対して、絶対水素圧力信号の倍率を定めることができるようになる。10000カウントの除数を使うことは任意であり、構成の観点から、任意の適当な値を使うことが出来る。比較器545に供給される項H T S F A L(水素温度センサの故障)は、例えば、線開放から生ずる変換器の入力信号(H T S @ I N)の故障を検出することが出来る。これを使って、診断用(希望により)の信号H T S E N B A D(水素温度センサ不良)を発生することが出来、好ましくはスイッチ530を介して、入力信号を値H T S N O M(水素温度センサ公称)に切換え、センサ又は変換器が故障したとき

40

50

、何の補償も適用しないことが好ましい。HTSENSEは、スイッチ530の出力を表す診断信号を発する。ブロック525が、倍率ブロック520から出していく値に対する上限(HTSULM)及び下限(HTSLLM)を発する。

#### 【0018】

TMPrAT(定格温度)が、この場合はゼロとして入力され、この結果一番上側の通路、即ち、図5の右側に示す機能ブロック550が自動的に選択される。この結果、水素絶対圧力、OEL及び保護の関数として、補償の為のHTS\_BIAS(乗数)が発生される。好ましい構成では、HTS\_BIASは、比1が10000カウントに等しいとして、乗算ブロック575で倍率が定められる。好ましい方法は、比ブロック(図4)を使って、フィードバック信号(IFG)を、逆時間保護アルゴリズムに対して、10000/HTS\_BIAS倍だけ、そしてOELの基準(FCR\_REF)に対してHTS\_BIAS/10000倍だけ乗算し(夫々比ブロック435及び430)、こうして補償済みの基準値を固定限界及び保護アルゴリズムに供給することである。

#### 【0019】

蒸気を動力源とする発電機の用途とは対称的に、燃焼タービンを動力源とする発電機は、固定ガス圧力(これは空冷機械ではゼロになる)で周囲条件追従モードで動作する。界磁電流とガス温度の間の関係は、当業者に良く知られた補間2次関数に基づく。定格より低いガス温度では、界磁電流に対する式は、次の通りである。

#### 【0020】

$$IF@TLOW = \text{SQRT}((IF\_RAT^2 + TMPSFB * (TGAS - TGAS_RATED))) \quad (2)$$

定格より高いガス温度では、異なる補間関数が適切であり、これは次の式によって与えられる。

#### 【0021】

$$IF@THIGH = \text{SQRT}((IF\_RAT^2 + TMPSFA * (TGAS - TGAS_RATED))) \quad (3)$$

係数TMPSFA及びTMPSFBは、式(2)又は(3)を使って、所定の冷却材温度に於ける界磁電流を定格温度に於ける界磁電流に関係付けるような、発電機の製造業者から供給される発電機データから決定することが出来る。水素圧力の補償と同様に、式(2)及び(3)の両辺をIF\_RATで除して、固定保護及びリミッタ・アルゴリズムを使うことが出来るように、フィードバック信号を修正し、並びに/又は限界基準設定点を修正する為に使うことが出来る乗数を出す。好ましい実施例では、この乗数もHTS\_BIASと呼ばれ、乗算ブロック575で、比1を10000カウントとして、倍率が定められる。好ましい構成は、定格温度(TMPrAT)の入力に基づいて、水素圧力又は温度の補償を自動的に選択する。即ち、TMPrATがゼロの値であると、水素圧力補償を選択し、これに対してTMPrATがゼロ以外の値であると、スイッチ570を介して温度補償が選択される。水素圧力の場合と同じように、好ましい構成は、線開放状態を容易に検出することが出来るように、オフセット電流信号を利用する。温度の場合、TMPrATにゼロ以外の入力が必要であり、この為、実際の温度と定格温度の間の差を表す信号WRK14は、加算ブロック540によって計算することが出来る。TMPrATがゼロ以外の値を持つから、下側通路、即ち図5の右上側にある機能ブロック555がスイッチ570を通じて選択される。この結果、式(2)又は(3)の両辺をIF\_RATで除し、IF\_RATを5000カウントのカウント値に置き換えたとき、式(2)又は(3)が正しく実現される。5000カウントを使うのは、装置がAFFLでは典型的には5000カウントの倍率になっているからである(ここでAFFLは、全負荷、定格力率及び定格温度で必要な界磁電流である)。しかし、このカウントの値は任意であり、構成の状況に応じて変えることが出来る。好ましい方法は、比ブロックを使って、図4のブロック435及び430で示すように、フィードバック信号を、逆時間保護アルゴリズムに対しては10000/HTS\_BIASだけ、そしてOELの基準(FCR\_REF)に対してはHTS\_BIAS/10000倍だけ乗ることである。即ち、フィードバック信号が、希望する形で捉えられ、修正される。

#### 【0022】

10

20

30

40

50

不足励磁限界（UEL）は、発電機を適切に保護すると共に系統の安定性を保つような設定にたどり着く為に、端部の鉄の発熱、固定子積層板の過電圧及び定常状態の安定性の問題を考慮すべきである。

#### 【0023】

図1は、燃焼タービンによって駆動される空冷の発電機に対する典型的な発電機の可能出力曲線を示す。好ましい実施例では、関数発生器を修正することにより、発電機の可能出力曲線の内、端部の鉄の発熱及び固定子積層板の過電圧効果によって制限される範囲で、UELを修正する方法と装置を提供する。この関数発生器を使って、発電機の不足励磁可能出力（図1に曲線C-Dとして示す）を近似する。実際の電力がゼロであるときの発電機の不足励磁可能出力は1個の値であり、その後、冷却材温度又は冷却材圧力の何れかに基づいて、別の電力レベルで変化する。好ましいUEL冷却材補償の構成が図6に示されている。関数発生器の出力が図6にUEH@INと示されており、これがUELHTブロック410の加算ブロック650に対する入力として使われる。次に好ましい構成は、機能ブロック615、620、625、630、670及び675に示すように、実際の電力又は実際の電力の自乗の何れかに冷却材状態（5000-HTSMAXVA\*（UEHTC1又はUEHTC2））（ここでHTSMAXVAは冷却材状態と共に変化する）を乗じた値と共に変化する関数によって、関数発生器の出力を修正する。一般的に、水素冷却発電機に対しては、実際の電力を使うことにより、そして空冷発電機に対しては、実際の電力の自乗を使うことにより、最善の結果が得られる。ジャンパ又はスイッチ・ブロック695を使って、0の設定では実際の電力、1の設定では実際の電力の自乗を選択する。UEHTC1は、（定格より高い周囲温度では）水素圧力又は周囲温度の関数として、関数発生器の出力を修正するために使われる冷却材係数であり、UEHTC2は、定格より低い周囲温度で、関数発生器の出力を修正する為に使われる冷却材係数である。図1に示す発電機の可能出力曲線から、ブロック405の関数発生器が選択されて、曲線D-C-Lを近似する。ここでCからLまでの曲線は、力率0.95に於ける定格KVAから、定格KVAの120%に等しい実際の電力の点までの定格温度曲線の単なる延長である。図1に示す場合、UEHTC4を使って、可能出力曲線に例えば10%の余裕を追加し、その結果破線の曲線MNPになる。所望のUEL特性を完成する為、点N及びQを通る直線を追加し、図6のブロック660を使って、「最大値」の選択をする。図1のN及びQを通る線の勾配を（sin(arccos(0.95)-余裕))/(1-0.95)と計算する。この後、N及びQを通る線の勾配に1000を乗ずることにより、UEHTC3が見付かる。図1の可能出力曲線では、ブロック695のUEHJMP.0が、2次補間にに対する1と置き、UEHTC1は次の式から見出される。

#### 【0024】

UEHTC1=

$$5000*VAR1*GEN_MVA^2/(WATT1^2*(GEN_MVA-MVA@WATT1)) \quad (4)$$

ここで、VAR1は、点Gに於ける高温発電機可能出力曲線と定格温度可能出力曲線DCLとの間のMVARSの差であり、GEN\_MVAは、定格温度に於ける発電機の定格、WATT1は点Gに於けるMWATT単位の定格、MVA@WATT1は、点Gに於ける発電機のMVA定格である。同様にして、UEHTC2は、低温可能出力曲線D-Kを使って見出され、次の式で与えられる。

#### 【0025】

UEHTC2=

$$5000*VAR2*GEN_MVA^2/(WATT2^2*(GEN_MVA-MVA@WATT2)) \quad (4)$$

ここで、VAR2は、点Kと定格発電機可能出力曲線DCLの間のMVARS単位の差であり、WATT2は、点KのMWATT定格であり、MVA@WATTが点KのMVAR定格である。

#### 【0026】

水素冷却発電機の場合、ブロック695のUEHJMP.0は、1次補間に對しへべき数をゼロと置き、UEHTC1は次の式で与えられる。

10

20

30

40

50

## 【0027】

UEHTC1=

$$5000 * (\text{VAR1} * \text{GEN\_MVA}) / (\text{WATT1} * (\text{GEN\_MVA} - \text{MAXVA})) \quad (5)$$

ここで、V A R 1は、一定固定子M V Aが保たれるような最も進んだ力率及び最低の水素圧力のときの曲線と、定格水素圧力のときの曲線との間のM V A R Sの差である。W A T T 1は、最低水素圧力と一定固定子M V Aが保たれるような最も進んだ力率にあるときの発電機のM W A T T Sの定格である。M A X V Aは、最低水素圧力に於ける発電機のM V A定格である。水素圧力が定格又はそれ以下と仮定しているから、ブロック625のU E H T C 2はゼロとして入力する。ブロック655のU E H T C 4に余裕を入力し、ブロック685のU E H T C 3に勾配を入れることは、空冷発電機にした場合と同じである。

10

## 【0028】

図5は項H T S M A X V Aに対する値を求める好ましい方法を示す。発電機K V Aが、水素冷却発電機では、絶対水素圧力の対数関数として変化するが、空冷発電機では補間2次関数によって定められる。これは、冷却材状態に対する界磁電流の変化と同様であるが、水素冷却発電機に対する指數関数の係数と、空冷発電機に対する補間2次関数と、別々にするのが適切である。これらの関数が、図5の右側の下半分に示されており、この結果、M A X K V A / G E N \_ K V Aの比が1であるときのブロック585の5000カウントに対する倍率を定めた信号H T S M A X V Aが発生される。界磁電流の場合と同じく、好ましい実施例のH T S M A X V Aは、ブロック580で、T M P R A Tがゼロとして入力された場合、自動的に水素圧力を選択する。空冷発電機に対して使われる値が、ブロック560、565及び580で、温度が定格より高いか、等しいか又はそれより低いかに基づいて選択される。

20

## 【0029】

発電機の端子電圧の変動を考慮してH T S M A X V Aを正しく正規化するには、H T S M A X V Aを、単位当たりの発電機電圧の自乗で除すことが必要である。これが図5では、ブロック505、510、535、536、537、538、539及び541を使って達成される。ブロック537、538、539及び541は、フィルタ時定数を持つデジタル低域通過フィルタを構成する。フィルタにかけられた発電機電圧を使って、発電機の局部的なダイナミック性との相互作用を悉く取除く。比ブロック505及び510を使って、ブロック585の出力を単位当たりの発電機電圧で除す。乗算ブロック505に対する1つの入力は、20000であり、この結果ブロック585からの信号に20000が乗算される。ブロック210は、xの入力（即ち、ブロック585からの出力の20000倍）をyの入力（即ち、フィルタにかけた発電機電圧）で除す比ブロックである。この特定の構成では、定格発電機電圧に対して20000の値を使う。任意の適当な値を使うことが出来る。この後、ブロック535及び536がブロック585の出力／単位当たりの発電機電圧を、単位当たりの発電機電圧で除し、その結果、ブロック536の出力には、(1 / (単位当たりの発電機電圧の自乗))によって正しく補償された所望の信号が得られる。

30

## 【0030】

典型的には、定格の遅れ力率と同じであってもなくてもよいが、或る進み力率まで、定格K V Aで不足励磁で動作することが出来る。これが図1の点Cに示されている。この力率の点に達したとき、曲線には、不足励磁の限界を決定する不連続がある。この不連続を超える実際の電力レベルに対する不足励磁限界は、一定K V A、又は図1の点N及びQを通る一定勾配を持つ曲線である固定子電流曲線によって決定される。この不連続を考慮して、関数発生器の出力、図4のU E H @ I Nを修正しようとすると、図1に容易に見られるように、勾配が2つの範囲で非常に異なっている為、1個の補償項を求めるることは困難であろう。好ましい構成では、高値ゲート610（図6）を使って、加算ブロック655（後で説明する）からの補償済み関数発生器出力と、割算ブロック690の補償済み一定K V A機能からの出力の間で選択する。一定K V A機能を正確に発生することは可能であるが、好ましい構成は、一定K V A機能に対して直線近似を利用する。これを行って、無限

40

50

大の、又は非常に大きな勾配（ V A R S / W A T T S ）が生じ、その結果、不足励磁限界（ U E L ）の安定性に悪影響を及ぼすような無限大又は非常に大きな利得が生ずる可能性を除く。これが図 6 に示した好ましい構成で達成される。

#### 【 0 0 3 1 】

具体的に言うと、実際の電力信号（ U E L W A T T S ）から、破線ブロック 6 8 0 で、所定の冷却材状態に於ける最大 K V A に比例する信号（ H T S M A X V A ）を減算する。次に、ブロック 6 8 5 及び 6 9 0 を通じて、この差に所望の勾配（ U E H T C 3 / 1 0 0 0 ）を乗ずる。その結果、発電機の可能出力曲線の発電機一定 K V A 区間（直線 N - Q ）でのリミッタ動作を行わせる、一定の勾配を持つ発電機冷却材状態と共に変化する直線のリミッタ特性になる。一定の勾配を使うことは、実際の一定 K V A 曲線を実現した場合、 V A R S / W A T T S 特性の無限大又は非常に大きな勾配が原因となる不安定性の惧れを避ける。加算ブロック 6 5 5 に入力される U E H T C 4 は、不足励磁可能出力曲線の関数発生器部分に余裕を追加させる。これによって、ユーザは、実際の可能出力曲線（図 1 の B - C ）からの点を入力し、その後、別の入力として、余裕を含めることができる。直線限界が点 N 及び Q を通る。

10

#### 【 0 0 3 2 】

図 2 は、水素冷却発電機に対する典型的な発電機可能出力曲線を示す。水素冷却発電機に対する定格可能出力曲線が図 2 の曲線 A - B - C - D で示されており、これは発電機の最高水素圧力のときに発生する。定格圧力以外のときの定格は、これより低い発電機の可能出力になる。空冷発電機の場合と同じく、曲線 D - C - L は、発電機の不足励磁可能出力であり、図 4 のブロック 4 0 5 の任意の関数発生器を使って設定される。図 6 のブロック 6 5 5 で U E H T C 4 を使って余裕を追加すると、図 2 の曲線 M - N - P になる。水素冷却発電機では、ブロック 6 9 5 の U E H J M P . 0 がゼロに設定され、この結果、 U E L W A T T S に対して 1 次補間になる。ブロック 6 2 0 の U E H T C 1 は次のように設定される。

20

#### 【 0 0 3 3 】

UEHTC1=

$$5000 * \text{VAR1} * \text{GEN\_MVA} / (\text{WATT1} * (\text{GEN\_MVA} - \text{MAX\_MVA})) \quad (6)$$

ここで、 V A R 1 及び W A T T 1 は図 2 に示されており、 M A X \_ M V A は、図 2 の点 G に於ける発電機の M V A 定格である。水素圧力は常に定格から下がると想定されるから、ブロック 6 2 5 の U E H T C 2 はゼロに設定される。空冷発電機の場合と同じく、 U E L 特性が、図 6 のブロック 6 6 0 である最大値選択回路により、曲線 M - G - P と、図 2 の N 及び Q を通る直線の線分の間に決定される。図 6 のブロック 6 8 0 、 6 8 5 及び 6 9 0 を使って、ブロック 6 8 5 の U E H T C 3 によって決定される勾配を持つ直線の線分を発生する。ブロック 6 9 0 を使って、勾配を正規化する。 1 0 0 0 カウントが単位勾配に等しい。ブロック 6 6 5 の U E H T C 5 を使って、 U E L 基準を - 3 2 7 6 7 カウント及び U E H T C 5 カウントの間に制限する。

30

#### 【 0 0 3 4 】

U E L 曲線に 2 つの部分から成る特性を利用すると、定格 K V A より低い発電機出力レベルでは、冷却材状態に変動がないとき、発電機の不足励磁可能出力曲線を近似することが出来る。これは普通に行われていることであり、ヨーロッパの発電機製造業者では特にそうであり、この結果、可能出力曲線の一定 K V A 領域内では、 1 個の不足励磁可能出力曲線になる。発電機の K V A 出力レベルが、所定の冷却材状態に対して定格より低いとき、 U E L 特性は図 6 のブロック 6 0 0 である関数発生器の出力によって決定される。関数発生器の出力は、ブロック 6 2 0 の冷却材係数 U E H T C 1 及びブロック 6 2 5 の U E H T C 2 がゼロに等しいと置かれている場合、冷却材の関数として修正しない。一定 K V A 領域内で冷却材状態の全ての変動が起こるが、ブロック 6 8 5 の U E H T C 3 を使って、正しい勾配を選択することによって、対処することが出来る。中央温度曲線が定格温度曲線として選択される。図 2 の点 C で、単位当たりの ( s i n ( a r c c o s ( 0 . 9 5 ) - 0 . 1 ) ) で M V A R 定格に所望の余裕を加える。このとき、図 2 から勾配は次のように判

40

50

る。

### 【0035】

$$\text{勾配} = (\sin(\arccos(0.95) - 0.1)) / (1.24 - (0.95 * 1.24)) \quad (7)$$

ブロック685のUEHTC3は、勾配に1000を乗じて見付かり、ブロック655のUEHTC4は、単位当たりの余裕に5000を乗じることによって見付かる。図3の曲線M-N-Pは、UEHTC4によって適切な余裕を加えたときの不足励磁領域に於ける発電機の可能出力を示す。点N及びQを通る直線は、可能出力曲線の一定固定子MVA部分の可能出力を示す。この線の勾配は、ブロック685のUEHTC3によって決定され、ブロック690によって正規化される。周囲温度に伴う変化が、図5のブロック565のHTSMAXVAをえることによって達成される。UEL特性が、ブロック655で、関数発生器の余裕に最大を選択すること、並びにブロック660の最大選択機能を用いたブロック690の補償済みの直線の勾配によって決定される。  
10

### 【0036】

可能出力曲線の過励磁部分（図1の曲線A-B、E-F及びH-J）では、界磁の発熱が制限となるパラメータであり、冷却材状態に対して補償することが出来て、これによって励磁機が発電機の界磁を適切に保護することが出来るようにながら、系統事象に対する過渡状態強制能力を持たせる過励磁リミッタ（OEL）を実現する方法を説明した。可能出力曲線の不足励磁部分では、図6のブロック660を通じて、2つの部分から成る特性の最大値選択を用いて、冷却材状態の変動に対して不足励磁限界（UEL）を補償することが出来ることを示した。冷却材状態を反映するように修正することが出来る関数発生器（図4）を使って、特定の冷却材状態に於ける発電機定格KVA未満の可能出力曲線の範囲に於ける限界特性を実現する。一定KVA部分の直線限界は、冷却材状態に対して補償することが出来、所定の冷却材状態に於ける定格KVAによって制限される範囲に於ける不足励磁可能出力曲線に対する非常に良い近似が得られることを示す。直線近似は、特に力率1の前後での、実際の可能出力曲線の非常に高い勾配が原因でUELに不安定性が生じる惧れを小さくする。可能出力曲線の内、OEL又はUELの何れかによってカバーされない範囲は、遅れ定格力率に於ける定格KVAから、力率1に於ける定格KVAまで（図1の曲線B-Q）である。これが、タービン出力及び固定子電流の発熱によって制限される発電機可能出力曲線の範囲である。励磁機は、実際の電力に過渡的に影響するだけであり、発電機出力KVA又は発電機固定子電流を減らす手段として、励磁機が発電機の無効出力電力を減らすことを必要とする。この為、固定子電流リミッタが必要になり、これが関連する自動電圧調整器（AVR）（図に示していない）の設定点を変えて無効電力を減らすように動作する。タービン周囲条件追従形の用途では、好ましい実施例では、限界が冷却材状態の関数として変化するように、固定子電流リミッタをバイアスすることが出来ることが望ましい。これは、冷却材が変化したとき、発電機の可能出力の変化に釣り合うようにリミッタを修正する為に使うことが出来る信号が既に存在しているので、好ましい構成では容易に達成される。  
20  
30

### 【0037】

具体的に言うと、HTSMAXVAが、定格冷却材状態で5000カウントになるように倍率を定め、発電機の端子電圧の変化に対して補償された信号である。冷却材状態が変化するとき、この信号が変化して、発電機の可能出力の変化を反映する。例えば、空冷発電機で低温ガス温度が定格から下がると、定格より低い温度に対する発電機定格に基づいて選択される定数TMPSSBに基づいて、HTSMAXVAが増加する。TMPSSBは次の式で与えられる。  
40

### 【0038】

TMPSSB=

$$250000 * ((\text{MAXVA}@T\_LOW/\text{GEN\_MVA})^{2-1}) / (T\_RAT-T\_LOW) \quad (8)$$

ここで、MAXVA@T\_LOWは、発電機の低温定格に於けるMVAの発電機定格であり、T\_RATはで表した発電機の定格温度であり、T\_LOWはで表した発電機の低温定格である。同様に、TMPSSAが次の式によって与えられる。  
50

## 【 0 0 3 9 】

TMPSSA=

$$250000 * (1 - (MAXVA@HI_TEMP/GEN_MVA)^2) / (T_HIGH-T_RATED)$$

(9)

ここで、MAXVA@HI\_TEMPは、最高定格温度に於けるMVAで表した発電機の定格であり、T\_HIGHは、最高定格温度に於ける で表した温度である。

## 【 0 0 4 0 】

固定子電流限界が一定の設定点を用いて構成されるから、温度に対する補償を行う為に、固定子電流フィードバックを変更することが好ましい。これは図4のブロック425である、E1PFVブロックを使うことによって達成される。このブロックは、HTSMAX 10 VA / 5000 で実際の固定子電流フィードバック信号を除算することが出来る。

## 【 0 0 4 1 】

好ましい構成は、水素冷却発電機に対しては定数H2SEX、そして空冷発電機に対してはTMPSSA及びTMPSSEを使って、空冷及び水素冷却の両方の発電機に対し、冷却材の変化に対する発電機の可能出力の正確な表示を発生する。この発電機の可能出力の変化を使って、フィードバック変数を修正することが出来、こうして固定設定点リミッタを使うことが出来るようにする。

## 【 0 0 4 2 】

従って、好ましい構成では、界磁電流に関するOELの場合、界磁電流調整器を設けることが好ましい。OELが発電機可能出力曲線の上側部分（図1の曲線A-B）になる。励磁機が、発電機の界磁に過渡的に定格より多くの界磁電流を強制的に通すことが出来ることが好ましく、この為、過渡的な界磁電流に対処する為に、発電機の界磁の能力を近似する逆時間関数が設けられる。好ましい実施例では、発電機の界磁能力が、発電機の冷却状態の関数として変化することを反映する為に、リミッタ及び保護アルゴリズムの両方を変えることが出来るようになる。こうして、このような定格以外の冷却材状態での、リミッタ及び保護機能の間の調整がとれる。

## 【 0 0 4 3 】

UEL（不足励磁リミッタ）は同様な機能をするが、発電機の可能出力曲線の内、発電機内の端部の鉄の発熱及び定常状態の安定性によって制限される範囲である。これは基本的には図1の下側部分（曲線D-C、D-G又はD-K）である。点Dから点Cまでに示した曲線は、ゼロの実際の電力から単位当たりの実際の電力の0.95倍までの発電機の不足励磁のときの可能出力である（この場合、点Cは力率0.95に於ける単位KVA当たり1である）。これは経験的な曲線である。点Cから点Bまでに示した曲線は、0ワット及び0varを中心とし、単位KVA当たり1の半径を持つ円である。この曲線が、点Nから点Qを通って一定の勾配を持つ直線を用いた好ましい実施例のUEL部分によって近似される。実際の円ではなく、一定の勾配を持つ直線の近似を使うのは、点Qに於ける円の勾配が無限大の利得（Q/P）を持ち、その結果、UEL調整器（図に示していない）の利得が無限大になるからである。ブロック660の高値選択回路を使って、DからCまでに示した曲線又はNからQまでの直線の線分の内の高い方を探る。UELには、冷却材の補償を必要とする対応する保護機能がないが、この構成は、冷却材状態に伴う発電機の可能出力曲線の変動に対する非常に良い近似になる。

## 【 0 0 4 4 】

UELと同様に、固定子電流限界機能を使って、発電機固定子電流によって制限される可能出力曲線の範囲に於ける発電機の動作を制限する。これが図1の可能出力曲線の右側部分（曲線B-C）として示した一定KVA区域であり、UELで使うのと同じ円である。この場合、固定子電流限界が、帯域幅が非常に小さい設定点制御装置であるので、円特性を使う。ここに開示したアルゴリズムは、発電機の冷却状態の関数として、円形の発電機可能出力曲線を非常に正確に実現する。

## 【 0 0 4 5 】

以上の説明は、多数の細部及び具体的な部分を含んでいるが、これは説明の為だけであつ

10

20

30

40

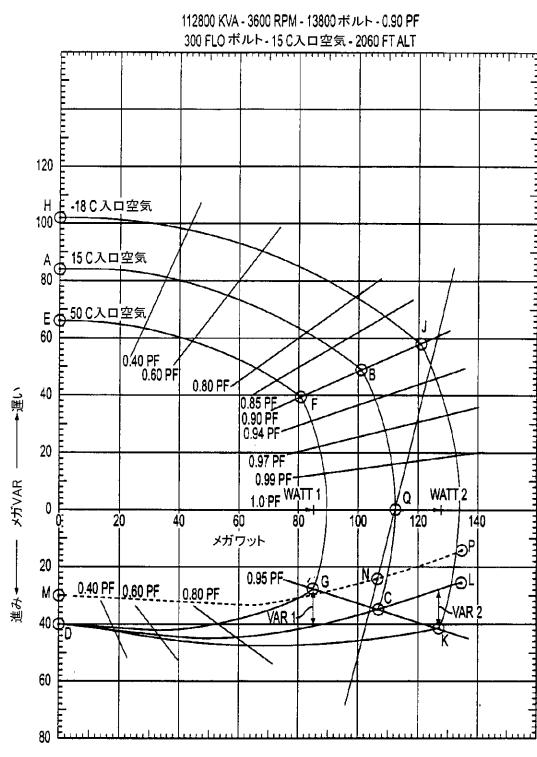
50

て、この発明の範囲を制限するものではないことを承知されたい。当業者であれば、特許請求の範囲並びにその均等物によって定められたこの発明の範囲を逸脱することなく、上に述べた実施例に種々の変更を加えることが容易に出来よう。

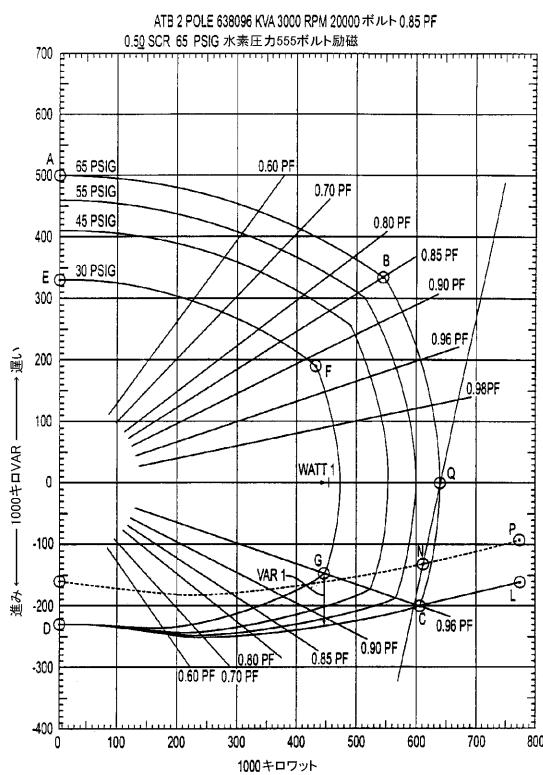
**【図面の簡単な説明】**

- 【図 1】 典型的な空冷発電機の可能出力曲線を示すグラフ。
- 【図 2】 典型的な水素冷却発電機の可能出力曲線を示すグラフ。
- 【図 3】 典型的なヨーロッパの製造業者の空冷発電機の可能出力曲線を示すグラフ。
- 【図 4】 好ましい実施例による冷却材補償を伴う固定リミッタ及び保護を示すブロック図。
- 【図 5】 好ましい実施例による水素圧力及び周囲温度入力センサのブロック図。 10
- 【図 6】 好ましい実施例に従って、水素圧力及び周囲温度を補償する為の、不足励磁制限及び固定子電流リミッタの構成を示すブロック図。

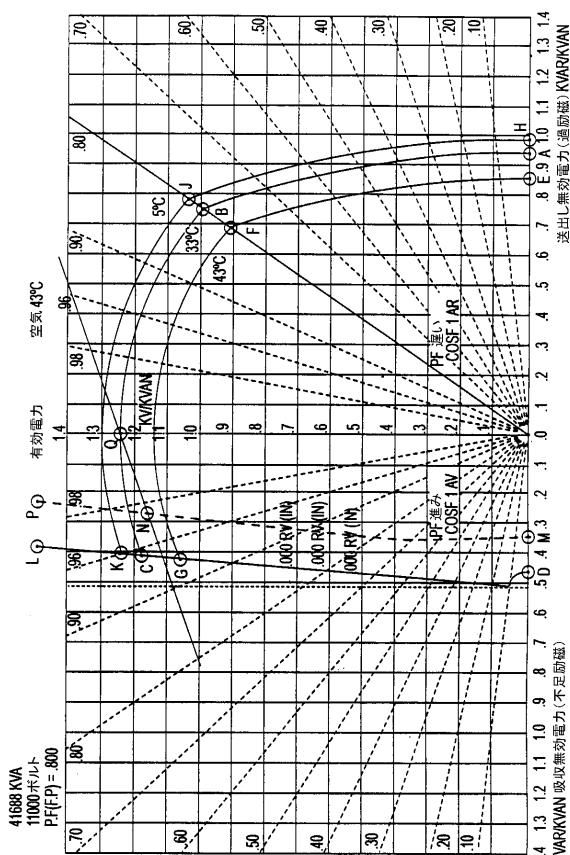
**【図 1】**



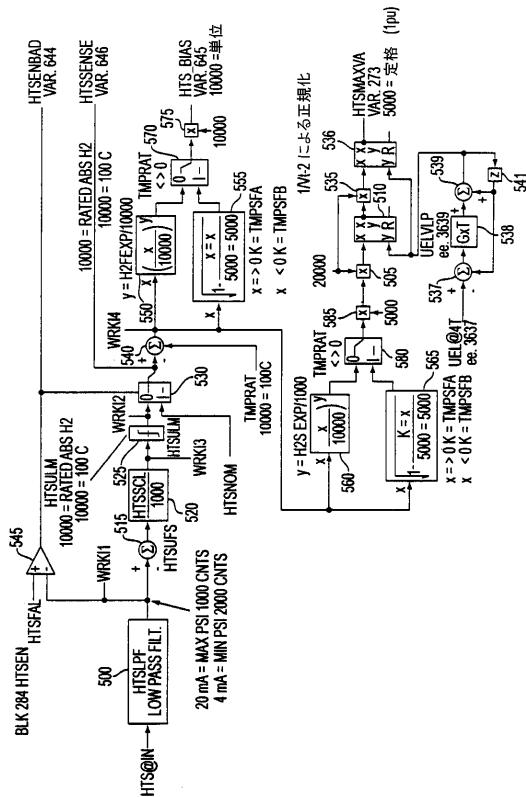
**【図 2】**



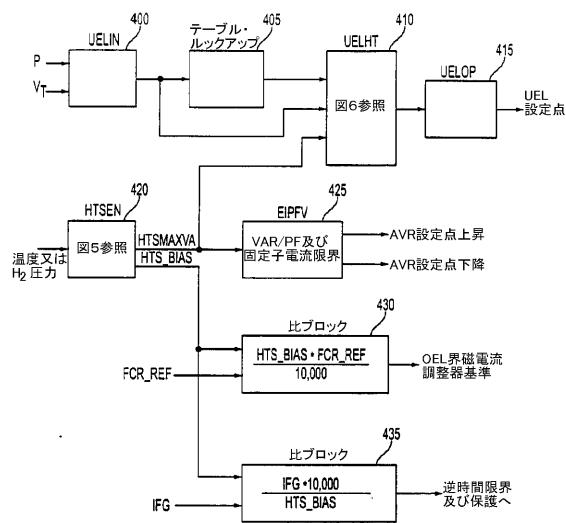
【図3】



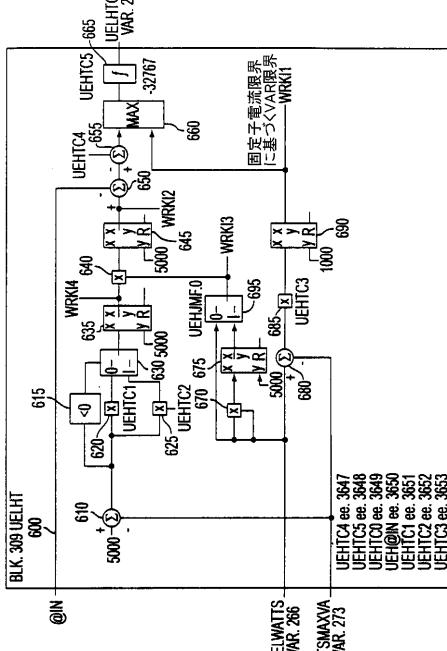
【 四 5 】



【 四 4 】



【 四 6 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ピアソン, ウィリアム・アール

アメリカ合衆国、24153、バージニア州、セーレム、キャタウバ・ドライブ、940番

(72)発明者 カレン, ジェームズ・イー

アメリカ合衆国、24018、バージニア州、ローノク、スマーキー・リッジ・ロード、6276  
番

審査官 牧 初

(56)参考文献 特開平8-21264 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 9/00-9/48