可変速FWGによる 大容量長距離送電系統安定化の検討

正員 高橋 修 (東北電力) 正員 實方 淳 (日立製作所)
非会員 佐藤 今朝生 (東北電力) 正員 天野 雅彦 (日立製作所)
正員 後藤 健 (東北電力) 正員 遠藤 政市 (日立製作所)
正員 白崎 隆 (東北電力)

Stabilization of a Large-capacity and Long-distance Transmission System by an Adjustable Speed Flywheel Generator

Osamu Takahashi, Member, Kesao Sato, Member, Ken Goto, Member, Takashi Shirasaki, Member (Tohoku Electric Power Co., Inc.)
Jun Sanekata, Member, Masahiko Amano, Member, Masaichi Endo, Member (Hitachi, Ltd.)

An adjustable speed flywheel generator (FWG) can control both active power and reactive power rapidly. We have studied effect of FWG installation to a large-capacity and long-distance transmission system, especially when the system includes loops. In this paper, we describe the selection of FWG location, the selection of stabilizing control input signal, and the required quantities of FWG. FWG location is selected by a PQ-Sensitivity method, which is simple and easy to estimate the effect of both FWG's active and reactive power. As a stabilizing control input signal, we use bus voltage frequency instead of power flow because the flow changes stepwise by opening three-phase single-circuit. Additionally we clarify the required FWG quantities to design, such as FWG's active power and reactive power. We considered FWG's slip to determine the quantity because the capacity of the exciter depends on slip.

キーワード：可変速フライホイール発電機，大規模系統，ループ系統，系統安定化，感度解析，すべり

1. はじめに

電源の遠隔・偏在化，需要の増大などに伴い電力系統の大容量長距離送電化の傾向が進んでおり，安定度面から送電設備を熟容量限界まで有効利用することが難しくなっている。このため，パワーエレクトロニクスを応用した安定化機器（パワエレ機器）は，低コストで安定度を向上させ既存の送電設備を有効利用できる点で注目されている⁽¹⁾。

パワエレ機器の中で可変速フライホイール発電機（可変速FWG）は有効電力，無効電力の両方が高速に吸放出可能であり，比較的少ない容量で安定化が図れる⁽¹⁾。大規模系統での可変速FWGの設置効果については，これまで主に串形系統を対象に検討されてきた⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。そこで今回，筆者らは異電圧のループを含む大容量長距離送電線から構成されるモデル系統を想定して，設置点の選定方法，安定化制御の入力信号，および安定化に必要な可変速FWGの基本システム仕様について検討した。

設置点の選定方法としては，これまで固有値解析に基づく方法などが静止形無効電力補償装置（SVC）の場合に提案されている⁽⁵⁾が，本稿ではより簡単なPQ感度法とよぶ手法を用いた。この手法は並列形パワエレ機器が系統に

吸放出する有効・無効電力が安定化対象発電機に与える影響を直接的に調べるものであり，算出が簡単で，有効・無効電力の寄与が把握しやすいという特徴がある。

安定化制御の入力信号としては，従来は線路潮流偏差 ΔP を用いることが多かったが⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾，ループ系統では送電線の1回線開放により， ΔP にステップ状の変化が現れる。そこで，母線周波数偏差 Δf を用いることを検討し， ΔP 入力と比較した。

可変速FWGの基本システム仕様においては，すべりと過負荷に着目する必要がある。可変速FWGでは有効電力の吸放出により回転速度が変化し，その変化幅で励磁装置容量が決定される。各設置点において，計算機シミュレーションで発電電動機本体・励磁装置の設計に必要な諸量を算出し，これらをPQ感度と関連付けて評価した結果について述べる。

2. 可変速FWG

可変速FWGは交流励磁により可変速運転が可能な発電電動機（可変速機）と，エネルギーを回転エネルギーとして蓄積可能なフライホイールにより構成されている。ここ

では、以後の議論で重要となる回転子の回転速度と励磁装置の関係を中心に述べる。

<2.1> 可変速機

可変速機は、回転子を3相交流励磁することにより回転速度を変化させて運転することを可能としている。回転速度が同期速度と一致しない場合、両者の差に相当する周波数(すべり周波数)で3相交流励磁する。これにより回転子側と固定子側で磁界の回転速度が一致し、系統と同期して運転ができる⁽⁶⁾。

<2.2> 可変速機の励磁制御系

図1に可変速機の励磁制御系の構成を示す。可変速機では励磁電流の大きさを AVR により、位相を APR によりそれぞれ独立に制御可能である。このため、有効・無効電力を独立かつ高速に制御可能であり、可変速機の大きな特徴となっている。なお、本稿では安定化制御は有効電力制御のみに用い、無効電力制御は端子電圧一定制御としている。

図1 可変速機の励磁制御系

Fig. 1. Excitor controller of adjustable speed machine

<2.3> 励磁装置と可変速FWGの回転速度

可変速機のすべりは(1)式より定義され、回転速度偏差に比例する量である。

$$s = \frac{n_0 - n_r}{n_0} \quad \dots\dots (1)$$

n_r : 回転子の回転速度

n_0 : 同期速度 (系統周波数)

可変速機では図2に示すような有効電力が励磁装置に流れる⁽⁷⁾。したがって、すべりが大きいほど励磁装置通過電力も大きくなり、装置容量にも影響する。

図2 可変速FWGの有効電力の流れ

Fig. 2. Active power flow of FWG

<2.4> 可変速FWGのすべりと系統の安定度

可変速FWGは可変速揚水発電機と異なり水車からの機械入力がない。それゆえ、摩擦による機械的損失をのぞけば、回転速度は系統への有効電力の吸放出のみにより変化

し、(2)式に示す様に固定子有効電力の積分値に対応する値となる。

$$n_r = \sqrt{\frac{1}{2\pi^2 I} \int P_s dt + n_0^2} \quad \dots\dots (2)$$

n_r : 回転子の回転速度

n_0 : 同期速度 (系統周波数)

I : 可変速FWGの慣性モーメント

P_s : 可変速FWGの固定子出力

可変速FWGにより系統を安定化する場合、系統に吸放出する有効電力を大きくすれば安定度は良くなるが、回転速度の変化は大きくなり、励磁装置容量も大きくなる。

したがって可変速FWGによる安定化効果を議論する際には、安定度だけでなく、回転速度の変化分(すべり)にも着目する必要がある。それゆえ本稿では、系統の安定度だけでなく、図3に示すような「すべり幅」 Δs を考慮して検討する。

図3 すべり幅 Δs の定義

Fig. 3. Definition of slip range Δs

3. モデル系統

ここでは、今回想定したモデル系統について説明する。モデル系統は図4に示す系統で、次の特徴がある。

- ・モデル系統は、大規模系統のA系統とB系統が連系線を介して接続された系統である。
- ・A, B系統の系統容量はそれぞれ約21 GVA, 約93 GVAで、連系線には約4 GWの潮流が流れている。
- ・A系統は500 kVと275 kVの異電圧ループ系統であり、また、B~K間が約500 kmの長距離系統である。
- ・A系統では、B~K間の500 kV送電線に約3~5 GWの潮流がB系統に向かって流れている。

モデル系統の過渡安定度は、F～E間での1回線3LG-O事故が最も厳しく発電機G6～G8が第1波脱調する。したがって本稿では、これらの発電機のうち発電機G1に対して最も位相角が開いている発電機G7を代表発電機とし、図5に示すような内部相差角第2波振幅と第3波振幅の減衰比 λ により安定度を評価し、 λ が0.9未満の場合を安定とした。

図5 減衰比 λ の定義

Fig. 5. Definition of damping ratio λ

4. PQ感度法による設置点選定

<4.1> PQ感度法

電力系統に事故が発生すると、発電機におけるタービンからの機械入力と電気出力がアンバランスになり動揺が発生する。この時に、並列形パワエレ機器が系統に有効・無効電力を吸放出することにより発電機の電気出力を間接的に制御し、動揺を抑制することが可能となる。したがって、系統内の各母線において、有効・無効電力の出し入れにより発電機出力がどれだけ変化するかを調べれば、パワエレ機器設置の効果が大きい地点を推定できることになる。

そこで、パワエレ機器の設置点の選定方法としてP感度およびQ感度を指標とするPQ感度法を提案する。以下にP感度とQ感度の定義を述べる。

P感度 有効電力の吸放出に対する効果指標で、可変速FWGなどの有効電力を吸放出可能なパワエレ機器の設置効果を推定するのに用いる。図6に示すように、注目する母線において有効電力 ΔP_L を吸収（放出）させ、この時の安定化対象発電機出力変動 ΔP_G を用いてP感度 σ_P を、

$$\sigma_P = \frac{\Delta P_G}{\Delta P_L} \quad \dots\dots (5)$$

と定義する。安定化対象発電機は、動揺の大きい発電機をあらかじめシミュレーションで調べて選定する。なお、系統内に安定化対象発電機が複数ある場合は、各発電機のP感度の総和をとり、

$$\sigma_P = \sum_i \frac{\Delta P_{Gi}}{\Delta P_L} \quad \dots\dots (6)$$

として評価する。

Q感度 無効電力の吸放出に対する効果指標で、SVCや可変速FWGなど無効電力を吸放出可能なパワエレ機器の設置効果を推定するのに用いる。P感度と同様に、

$$\sigma_Q = \frac{\Delta Q_G}{\Delta Q_L} \quad \dots\dots (7)$$

と定義する。安定化対象発電機が複数ある場合、やはり同様に各発電機のQ感度の総和をとり、

$$\sigma_Q = \sum_i \frac{\Delta Q_{Gi}}{\Delta Q_L} \quad \dots\dots (8)$$

として評価する。

ΔP_L : パワエレ機器の吸放出するP
 PG_1, PG_2 : 定常時の発電機出力
 $\Delta PG_1, \Delta PG_2$: 発電機出力変動分

図6 安定化対象発電機の出力の変動

Fig. 6. Generator power change by FWG

<4.2> PQ感度法による設置点選定

モデル系統においてPQ感度を解析し、可変速FWGの設置点を選定した。解析には、最も厳しいF～E間での3相地絡事故により第1波脱調する発電機G6～G8を安定化対象の発電機とした。

図7にP感度とQ感度の解析結果を示す。その結果、P感度が特に大きく、またQ感度もある程度の大きさを持つ以下の3箇所を設置点として選定した。

- ・K : 大容量の電源端 500 kV 母線。
- ・F : 系統の 500 kV 中間地点
- ・L : 系統の 275 kV 中間地点。

図7 モデル系統のP感度およびQ感度

Fig. 7. PQ-sensitivity of model transmission system

<4.3> PQ感度と可変速FWG定格容量

各地点の安定化に必要な可変速FWG定格容量を求め、PQ感度法の妥当性について検証する。ここではPQ感度法の妥当性検証が目的なので、定格容量の検討の詳細は6章で述べる。

表1に各地点の安定化に必要な可変速FWG定格容量を示す。なお、表1は6章で述べるように短時間過負荷を考慮した場合の容量である。

<4.2>で選定したK, F, Lの3地点については比較的

近い定格容量の可変速 FWG で安定化可能である。それに対して、P 感度の低い C、E では容量が大きくなったり、不安定となる。このことから、本稿で提案する P Q 感度法は可変速 FWG の設置点の目安をつけるには妥当な方法であると考えられる。

表 1 安定化に必要な可変速 FWG 定格容量

Table 1. FWG capacity for stabilizing model transmission system

地点	C	E	F	K	L
容量 (MVA)	不安定	800	200	200	220

5. 安定化制御の入力信号

可変速 FWG により系統を安定化する場合、安定化対象発電機の動揺を再現できる入力信号を選択する必要がある。従来の串形系統での検討では⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾、設置点付近の線路潮流偏差 ΔP を入力信号として用いることが多かったが、本稿で想定したループを含む系統の場合、母線周波数偏差 Δf が適していることを、機器容量と、すべりの 2 つの観点から述べる。

<5.1> 信号の特徴

モデル系統における線路潮流偏差 ΔP と母線周波数偏差 Δf の特徴を述べる。

線路潮流偏差 ΔP モデル系統の発電機 G6~G8 付近の送電線において、 ΔP は発電機 G7 の回転子速度偏差 $\Delta \omega$ に対して約 90 度位相が遅れている。したがって、 ΔP の位相を 90 度遅らせ、可変速 FWG の有効電力を $\Delta \omega$ と逆位相で吸放出すれば、安定化対象発電機の加速を抑制できることになる。

ただし、モデル系統の ΔP には事故除去後にステップ状の変化が加わるという特徴がある。これは事故除去後に送電線を 1 回線開放することにより潮流分布が変わることに起因する。例として図 8 に F 地点付近の 1 回線開放による潮流変化を示す。

図 8 1 回線開放による潮流変化

Fig. 8. Power flow change by opening three-phase single-circuit

母線電圧周波数偏差 Δf モデル系統の各地点では Δf は発電機 G7 の $\Delta \omega$ とほぼ同位相で動揺する。したがって、 Δf を反転させた安定化制御信号により、 $\Delta \omega$ と逆位相で可変速 FWG の有効電力を吸放出すれば、発電機の加速を抑制できることになる。また、 Δf にはループの

有無に係わらず ΔP のようなステップ状変化は現れない。

一般に Δf は信号が小さく、検出精度が問題となるが、モデル系統では <5.3> で示すように大外乱 (F~E 間での 3LG-O) の場合 0.1~0.2 Hz 程度の振幅があり、実用上では問題ない。

<5.2> 入力信号による定格容量の比較

入力信号による定格容量の違いを比較したところ、K、F、L いずれの地点でも Δf の方が定格容量が小さくなった。一例として、可変速 FWG を F 地点に設置し、短時間過負荷を考慮しない場合の容量と減衰比を図 9 に示す。

ΔP の方が定格容量が大きくなる理由は、 ΔP のステップ状変化が事故除去直後の発電機の加速抑制に悪影響を及ぼすためと考えられる。

図 9 Δf と ΔP の安定化効果の違い
(設置点 F、過負荷は許容せず)Fig. 9. Comparison of FWG's stabilizing effect by Δf and that by ΔP

<5.3> 入力信号によるすべり幅 Δs の比較

2 章で述べたように、可変速 FWG においてはすべり (回転速度) が励磁装置容量に影響する。そこで、入力信号による可変速 FWG のすべりの比較を行った。その結果、いずれの地点でも Δf の方が ΔP よりも Δs が小さくなり、励磁装置容量が小さくなることがわかった。

例として図 10 と図 11 に可変速 FWG 設置点と F とした場合のシミュレーション波形を示す。図 10 は入力信号を F 地点の Δf とした場合、図 11 は F~E 間の送電線の ΔP とした場合である。 Δf の場合には、可変速 FWG は有効電力を正負対称に吸放出するので、すべりは一定の範囲内で変動している。ところが、 ΔP の場合、ステップ状変化が原因で有効電力を正負対称に吸放出できず、その結果 Δs が大きくなってしまふ。

6. 可変速 FWG 基本システム仕様の検討

4 章の P Q 感度法により選定した K、F、L の 3 設置点について、安定化に必要な可変速 FWG の基本システム仕様を検討した。

<6.1> 検討条件

検討条件を以下に示す。

事故条件 最も厳しい F~E 間の 3LG-O とする。

評価指標の目標値 発電機 G7 内部相角の減衰比 λ が 0.9 未満、すべり幅 Δs が 0.1 p.u. 以下を目標値とする。

図 10 入力信号を Δf とした場合
Fig. 10. Simulation results using Δf input

図 11 入力信号を ΔP とした場合
Fig. 11. Simulation results using ΔP input

Δs が 0.1 p.u. 以下というのは、可変速機の標準値であるすべり定格 $\pm 5\%$ に相当する。

可変速 FWG の機器定数 表 2 に示す定数を用いる。これらの定数はいずれも可変速 FWG の標準的な値である。可変速 FWG のシステム仕様検討では、最終的には発電電動機容量、励磁装置容量、フライホイールを含めた慣性定数の最適な組み合わせを検討する必要があるが、ここでは各設置点における定格容量、有効・無効電力、すべり幅等の違いを比較するため、慣性定数を表 2 の値に固定して検討することとした。

表 2 可変速 FWG 機器定数 (定格容量ベース)

Table 2. FWG's machine constants (based on self-capacity)			
同期リアクタンス	X_d (X_q)	1.39	p.u.
過渡リアクタンス	X_d' (X_q')	0.23	p.u.
開路時定数	T_{d0}' (T_{q0}')	2.90	p.u.
電機子漏洩リアクタンス	X_l	0.122	p.u.
慣性定数	$M = 2 H$	11.2	sec

可変速 FWG 安定化制御 (PSS) ブロック 図 12 に示す制御ブロックを用いる。このブロックは、5 章の検討結果から入力信号は Δf とし、発電機 G7 の $\Delta \omega$ と逆位相で可変速 FWG の有効電力を吸放出 (安定化対象発電機の加速時に吸収、減速時に放出) するブロックとしてある。また、このブロックは、モデルシステムにおいて減衰の悪い動揺モードである周波数 0.4 Hz で位相遅れが約 0 度となるように設計してある。

図 12 可変速 FWG の PSS ブロック
Fig. 12. Stabilizing control block of FWG

<6.2> 可変速 FWG の定格容量の検討

ここでは、各設置点での可変速 FWG 定格容量について述べる。

過負荷許容時の定格容量 可変速 FWG は回転機であり、過負荷を許容できる。したがって、図 12 の PSS のゲインを大きくして、可変速 FWG が吸放出する最大有効電力を過負荷領域とすることが可能である。ところが、<2.4> で述べたように、有効電力を大きくするとすべり幅 Δs も大きくなってしまふ。したがって PSS のゲインを変えた時に、評価指標である減衰比 λ およびすべり幅 Δs が目標値を満たすか否かを検討する必要がある。

そこで本論文では、評価指標が目標値を満たすのに必要な定格容量 (機器定数のベース値) を、短時間過負荷を考慮した場合に可変速 FWG が系統に吸放出する有効・無効電力と切り離して検討することとした。

定格容量検討結果 <6.1> で述べた、減衰比 λ が 0.9 未満、すべり幅 Δs が 0.1 p.u. 以下という評価指標目標値を満たすために必要な可変速 FWG 定格容量は次のようになる。

- ・ K 地点および F 地点では 200 MVA
- ・ L 地点では 220 MVA

図 13 に評価指標目標値を満たす定格容量で、PSS のゲインを変えた時のすべり幅 Δs と減衰比 λ の関係を示す。

図 13 各地点のすべり幅 Δs と減衰比 λ
Fig. 13. Δs and λ at each FWG's location

<6.3>シミュレーション結果

可変速 FWG が実際に扱う諸量を算出するのに用いたシミュレーション結果を示す。ここでは、横軸を有効電力、縦軸を無効電力をとした 3LG 発生から 10 秒間の可変速 FWG の動作で示す。この様に表す理由は、有効電力、無効電力、皮相電力や力率が把握し易いこと、今後の詳細な設計において発電電動機本体の可能出力曲線 (Capability Curve) の検討ができることなどである。

図 1 4 に大容量の電源端 K に設置した場合、図 1 5 に 500 kV 中間地点 F に設置した場合、図 1 6 に 275 kV 中間地点 L に設置した場合のシミュレーション結果を示す。

図 1 4 シミュレーション波形 (設置点 K)
Fig. 14. Simulation results (located at K)

図 1 5 シミュレーション波形 (設置点 F)
Fig. 15. Simulation results (located at F)

図 1 6 シミュレーション波形 (設置点 L)
Fig. 16. Simulation results (located at L)

<6.4> 可変速 FWG 基本システム仕様算出結果

<6.3> で示したシミュレーション波形をもとに、各地点での安定化に必要な可変速 FWG の基本システム仕様 (有効電力、無効電力、すべり、励磁装置有効電力) を算出した。有効電力、無効電力、皮相電力についてはそれぞれ事故除去後の最大値とした。また、すべり定格は $\Delta s / 2$ とし、励磁装置最大有効電力 $P_{e_{max}}$ は (9) 式により $P_e(t)$ を計算し、その絶対値の最大値とした。

$$P_e(t) = \frac{s'(t)}{1 - s'(t)} P_g(t) \quad \cdots (9)$$

$P_e(t)$; 時刻 t での励磁装置通過有効電力

$P_g(t)$; 可変速 FWG の有効電力

$s'(t)$; すべり s を 0.0 p.u. を中心にして動揺するように初期値を変更した値 (図 1 7 参照)

図 1 7 すべりの初期値変更
Fig. 17. Shift of slip

(9) 式について留意すべき点を以下に示す。

- $P_e(t)$ の振幅は、一般にすべり $s(t)$ が 0.0 p.u. を中心にして動揺する場合が最小となる。 $s(t)$ は有効電力の吸放出のみにより変化し、初期値を変更しても動揺の周期や振幅は変わらない。したがって、励磁装置の検討に際しては $s(t)$ ではなく $s'(t)$ を用いる。
- $P_e(t)$, $P_g(t)$, $s'(t)$ について、各々の絶対値が最大となる時刻はすべて異なる。<6.3> で示したケースでは、 $P_e(t)$ の絶対値が最大となる時刻は、すべて過渡第 2 波以降となる。

基本システム仕様を算出した結果を表 3 に示す。

表3 可変速FWG基本システム仕様

Table 3. FWG basic quantities

設置点	K	F	L
定格容量 (MVA)	200	200	220
最大有効電力 (MW)	244	250	220
最大無効電力 (Mvar)	116	257	296
最大皮相電力 (MVA)	255	359	352
すべり定格 (p.u.)	± 0.049	± 0.04	± 0.042
励磁装置 最大有効電力 (MW)	6.8	4.3	5.2

<6.5> 検討結果の考察

<6.3>と<6.4>の結果について考察する。

発電電動機本体 最大有効電力は大差はないが、最大無効電力、最大皮相電力は電源端Kが最も小さい。これは、中間地点F、Lでは電源端と比較して電圧動揺が大きく、電圧動揺を抑制するために可変速FWGの電圧一定制御により無効電力が必要となるためと考えられる。

励磁装置 励磁装置最大有効電力は中間地点F、Lの方が小さくなる。この理由は、次のように考えられる。

<6.4>で述べたように励磁装置有効電力 P_e は過渡第2波以降の時刻で最大となる。図14～16で、過渡第2波以降の可変速FWG有効電力 P_g の動揺を比較すると、中間地点F、Lでの振幅が電源端Kよりも小さい。これは、中間地点F、LではQ感度 σ_Q が高く、無効電力 Q_g による安定化効果が大きいので、第2波以降の P_g の振幅を小さくすることができるからである。

P_g の振幅が小さくなれば、すべり s の振幅も小さくなる。励磁装置有効電力 P_e は、(9)式のように P_g とすべり s （または s' ）により決まる量であり、この両者の振幅が第2波以降はF、Lの方が小さくなるので、励磁装置最大有効電力も小さくなると考えられる。

7. まとめ

異電圧ループを含む大容量長距離送電モデルシステムを想定して、可変速FWGによる系統安定化の検討を行った。その検討結果の要約を以下に示す。

- (1) PQ感度法という新たな手法を提案して、可変速FWG設置点を選定した。また、可変速FWGの定格容量の比較により、その妥当性について確認した。
- (2) モデルシステムのようなループを含む系統においては、可変速FWGの安定化制御の入力信号は Δf が適していることを定格容量の比較、すべり幅 Δs の比較により明らかにした。
- (3) モデルシステムの3箇所の地点について、可変速FWG基本システム仕様を過負荷、すべり幅 Δs を考慮して検討した。また、その結果をPQ感度と関連付けて評価した。

今後は、この結果をもとに系統安定化用可変速FWGの詳細な設計を行う予定である。

(平成8年10月25日受付、同9年3月27日再受付)

文 献

- (1) 藤田, 紅林, 渡辺, 小西: 「パワーエレクトロニクス応用機器の電力系統適用時の効果解析(V)」, 平成6年電力技術研究会, PE-94-115
- (2) 金田, 藤本, 西垣内, 後藤, 真鳥, 斉藤: 「可変速フライホイール発電機による系統安定化制御」, 平成3年電力技術研究会, PE-91-79
- (3) 松野, 吉田, 大植, 大西, 野原, 後藤: 「串形系統における安定化制御(高速移相器, フライホイール発電機)」, 平成4年電力技術研究会, PE-92-37
- (4) 井上, 野尻: 「可変速フライホイール発電機の長距離串形系統への適用」, 平成7年電気学会全国大会, No.1328
- (5) 岡本, 栗田, 小林, 関根: 「電力動揺抑制のための静止形無効電力補償装置の設置箇所の選定方法について」, 電学論B 115巻9号(平7)
- (6) 湊, 実松: 「可変速水力発電システムの開発」, 電学誌 107巻3号(昭62)
- (7) 阪東, 坂本: 「交流可変速技術の電力機器への応用」, 電気評論 1987-10号
- (8) 高橋, 佐藤, 後藤, 實方, 天野, 遠藤: 「大容量・長距離送電線に設置する系統安定化用可変速FWG適用の検討」, 平成8年電力技術・電力系統技術合同研究会, PE-96-96, PSE-96-96

高 橋 修

(正員) 1963年11月8日生まれ。1986年3月早稲田大学理工学部電気工学科卒業。同年4月東北電力株式会社入社。主として電力系統の制御技術・自動化システムに関する技術業務に従事。現在、同社電力システム部(制御技術)に勤務。

佐 藤 今朝生

(非会員) 1948年2月8日生まれ。1963年4月東北電力株式会社入社。88年電力系統運転操作訓練用シミュレータ開発に従事。90年7月総合技術訓練センター講師。現在、同社電力システム部(制御技術)主査。

後 藤 健

(正員) 1949 年 12 月 13 日生まれ。1972 年 3 月東北学院大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月東北電力株式会社入社。主として電力系統の制御技術・自動化システムに関する技術業務に従事。現在、同社電力システム部(制御技術)課長。

白 崎 隆

(正員) 1954 年 2 月 18 日生まれ。1978 年 3 月新潟大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程終了。同年 4 月東北電力株式会社入社。主として系統解析・制御に関する研究に従事。現在、同社研究開発センター主幹研究員。

實 方 淳

(正員) 1967 年 11 月 30 日生まれ。1993 年 3 月早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程終了。同年 4 月(株)日立製作所入社。主として電力系統の解析, 制御に関する研究に従事。現在, 同社日立研究所に勤務。

天 野 雅 彦

(正員) 1961 年 4 月 1 日生まれ。1985 年 3 月京都大学大学院工学研究科電気工学第二専攻修士課程終了。同年 4 月(株)日立製作所入社。主として電力系統の解析, 制御に関する研究に従事。現在, 同社日立研究所に勤務。IEEE 会員。

遠 藤 政 市

(正員) 1957 年 1 月 13 日生まれ。1979 年 3 月東北大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月(株)日立製作所入社。主として同期発電機的设计, SMES の開発, 可変速発電システムの設計に従事。現在, 同社日立工場主任技師。