多並列 BTB システムの提案および課題検討

正員 佐藤 正 (関西電力) 正員 松下 義尚 (関西電力)

正員 天満 耕司 (三菱電機) 正員 伊与田 功 (三菱電機)

Suggestion and Feasibility Study for Massively Parallel Back-To-Back System

Tadashi Sato, Member Yoshinao Matsushita, Member (Kansai Electric Power Co.)

Koji Temma, Member Isao Iyoda, Member (Mitsubishi Electric Co.)

This paper presents new concept of BTB. The main feature of proposed BTB is “Massively Parallel”. This system consists of a number of small or medium-capacity inverter units and they are connected in parallel. The concept of transmission power control, when unit fault occurs and BTB losses are minimalized, are investigated using MATLAB. The method for EMTP model of the new BTB is investigated, too. After this research, the new BTB system turns out to be very promising for large power system application because loss of the system is very small rather than conventional BTB using VSC (Voltage Source Converter), it can keep operating even if a inverter unit fails and it can improve power transmission capability.

キーワード：多並列，BTB，自励式変換器，ロスミニマム，運転制御

1. まえがき

近年，電源の遠隔化や偏在化に加え都市部への需要集中のため，電力系統は大規模・複雑化する傾向にあり，安定度問題や短絡容量などの問題が顕在化している。また急速な経済成長が望めない昨今では，新規系統設備の拡充とともに，既存設備の有効利用も考えられる。その対策としてパワーエレクトロニクス技術を応用した機器の系統への適用が盛んに研究されている。特に規制緩和などで増大する電力融通に対応するための自励式 BTB (Back-To-Back 直流連系) がその高機能性から注目されている。

ところが，大容量変換器 1 台あるいは 2 台でシステムを構成する BTB は，実績もあり¹⁾多くの研究がされているが，小・中容量の変換器を多数並列した構成のシステムの研究は報告されていない。本論文にて提案する多並列 BTB は，小・中容量の BTB ユニットの多数並列に接続し大容量の BTB を構成する機器冗長型多並列 (Massively Parallel) システムである。その多並列 BTB 実用化には，低損失化性，信頼性，運転継続性，多数並列の変換器で構成するシステムの解析手法が必要になるが，今回これらの点について検討し，良好な結果を得たので報告する。

2. 多並列 BTB システムの定義

<2.1> 多並列 BTB 概要 規制緩和やコスト削減要求などの増大から世界的に広域電力融通が増加しており，BTB の役割も，従来の限定された時間での利用から，常時利用に変化し，世界的に増加の傾向にある。従来の他励式 BTB はスケールメリットから単器容量の大きい変換器を 1

台または 2 台でシステムを構成し，信頼度は素子の冗長性，制御系の二重化などで達成する方法が採られていた。しかし，最近の情報技術の発達で制御装置が安価になりつつあること，および電力自由化に対応して系統構成などを柔軟に変更したいといった要求の変化から，図 2.1 に示すように中小容量の変換器を多数並列してシステムを構成する方式が有利となる可能性が出てきた。

図 2.1 多並列 BTB 概念図

Fig 2.1 Concept of Massively Parallel BTB

この方式では，各変換器が小型になり，また将来予想されるリロケータブル性（設置場所を容易に変更すること）が向上し，変換器ごとにコンテナに格納することなどで環境問題も小さくなり，場合によって建屋が不要になるなどのメリットがある。多並列 BTB システム例を図 2.2 に示す。多並列 BTB システムは全く新しいシステムであり，その実現のためには，(1)並列された各 BTB の運転状態によって BTB システム全体で発生する電力損失が変化するので，それを考慮した最小損失運転方法確立，(2)多数並列の BTB のうち 1 台が故障停止した場合でも，残りの健全な BTB によって変換所全体の融通電力を継続すること（高信頼度

図 2.2 多並列 BTB システム例 (750MVA 級 1 群)

Fig 2.2 Massively Parallel BTB System

運転方式の確立), (3)多数の変換器で構成されるシステムの効率的な解析手法の確立が課題である。以下それぞれの課題について検討した結果を示す。

3. 多並列 BTB ロスミニмум融通方式

大容量 BTB を基幹系統へ導入した場合, 短絡容量対策・系統安定化効果および系統潮流制御の容易さなどの大きな効力を発揮することが考えられるが^{[2]-[5]}, 融通電力を各 BTB ユニットへどのような方法で分配するかにより, 多並列 BTB 全体で発生する電力損失が変化する。よって, 多並列 BTB への要求を考慮し, 融通時においてロスミニмумとなる分配方法の検討を行なった。

<3・1> ロスミニмум制御(待機運転) 多並列 BTB システムに発生する電力損失は, 主回路の抵抗分の損失など電力の 2 乗に比例するもの, 素子の順方向電圧降下による損失など電力に比例するもの^[6], 変圧器鉄損など電力には依存しないものがあることや, 変換器などの電力損失試算経験から, BTB ユニット n 台が合計で $p(\text{pu})$ 融通するときの BTB ユニット 1 台あたりの電力損失 $PL_{unit}(p)$ は式(1)のように表わせる。BTB 1 ユニットあたりの定格電力を $1[\text{pu}]$ とした。

$$PL_{unit}(p) = a\left(\frac{p}{n}\right)^2 + b\left(\frac{p}{n}\right) + c \quad (1)$$

ここに, a, b, c は実係数。

通常運用における計画的な潮流融通の場合, BTB 両端のそれぞれの系統にとって, 急激な潮流融通の必要性は低いと考えられる。多並列 BTB を用いてこのような運用を行なう場合, 要求される融通電力を賅える容量分の BTB ユニットを運転すればよく, 要求融通電力容量を超えた容量分の BTB ユニットは待機していても問題ない。ここで, 待機とは直流電圧が定格まで充電され GB (Gate Block; ゲートブロック) 状態を解除すればすぐに電力の融通が行なえる状態を示す。そこで, 必要容量分以外の BTB を待機させる BTB 待機型指令方式において, n 台 BTB ユニット構成の多並列 BTB システム全体の電力損失 $PL_{wait}(p)$ は, 式(2)のように表すことができる。式(2)の $TRUNC(p)PL_{unit}(n)$ 項は, 定格電力が融通される BTB ユニットの台数 $TRUNC(p)$ と, BTB ユニットが定格電力を融通する時の BTB ユニット 1 台あた

りの電力損失(式(1)の変数 $p=1[\text{pu}] \times n[\text{台}]$ を代入した状態) $PL_{unit}(n)$ の積を示している。また, $PL_{unit}\{n-(p-TRUNC(p))\}$ 項は, 融通電力が定格電力に達していない BTB ユニット 1 台あたりの電力損失を示している。

$$PL_{wait}(p) = TRUNC(p)PL_{unit}(n) + PL_{unit}\{n-(p-TRUNC(p))\} \quad (2)$$

ここに, $TRUNC(p)$ は p の小数点以下切下げ。

<3・2> ロスミニмум制御(常時運転) 自励式 BTB は高速な応答速度を持たせることが可能であるので, 系統事故などによる需給アンバランスが発生した場合, 系統安定化に大きな効力を発揮する。しかし, GB 状態の BTB ユニットが存在すると, デブロック時間分の応答遅れなどが発生し, 系統安定化に必要な高速な応答を得ることができない。従って, 損失面では必要台数のみ運転し残りは待機させる方が有利であるが, 安定化効果の面からは BTB ユニットを全台運転させておくことが望ましい。そこで, 全台常時運転時の多並列 BTB で発生する電力損失を最小化するロスミニмум制御方式を検討した。

<3・2・1> 常時運転積算型指令方式 これは, BTB ユニット全台運転状態において, 上位指令系から多並列 BTB に要求される融通電力を最小限の BTB ユニット台数で融通し, 残りの融通していない BTB ユニットは零出力運転をする方式である。

多並列 BTB システム全体の電力損失 $PL_{est}(p)$ は, 式(3)のように表すことができる。式(3)の $TRUNC(n-p)PL_{unit}(0)$ 項は, 零出力運転時の BTB ユニット全体の電力損失を示す。

$$PL_{est}(p) = TRUNC(p)PL_{unit}(n) + PL_{unit}\{n-(p-TRUNC(p))\} + TRUNC(n-p)PL_{unit}(0) \quad (3)$$

<3・2・2> 常時運転均等配分型指令方式 これは, BTB ユニット全台運転状態とし, 上位指令系から多並列 BTB に要求される融通電力を, BTB ユニット全台で均等に分配し融通する方式である。この方式における n 台 BTB ユニット構成の多並列 BTB システム全体の電力損失 $PL_{bal}(p)$ は式(4)のように表すことができる。

$$PL_{bal}(p) = nPL_{unit}(p/n) \quad (4)$$

<3・3> 運転指令方式による損失比較 待機運転（待機型指令方式）および常時運転（積算型指令方式・均等配分型指令方式）を採用した多並列 BTB システムのそれぞれの融通電力-電力損失特性を比較するため、MATLAB によりシミュレーションを行なった。式(1)に示すパラメータ a, b, c は変換器パルス数や変換器定格電流などによりさまざまな値をとることが考えられるため、ここでは一例としてパラメータ条件を実際の損失に基づいた比率 $a=13.9$, $b=7.8$, $c=1.48$ とし、BTB ユニット並列数 $n=8$ とした。結果を図 3.1 に示す。横軸は 1 ユニットの定格出力を 1pu とし、縦軸の電力損失は多並列 BTB 定格運転時の全体の電力損失を 100% とした。

図 3.1 融通電力-電力損失特性

Fig 3.1 BTB Power - BTB Power Loss Characteristics

シミュレーション結果より、融通電力が多くなると、均等配分型指令方式は電力損失の低減の面で有利となっていることがわかる。システムからの要求によるが、系統安定度向上を期待できる、また変換器事故などにより BTB ユニット 1 つが停止した場合でも融通電力の不足分が小さく系統への影響が軽減できるというようなメリットを考慮すると、融通電力指令は BTB ユニットへ均等配分する方式：均等配分型指令方式がロス最小となる。また、多並列 BTB 融通電力指令を各 BTB ユニットへ不均一に配分したとしても損失曲線は式(4)へ漸近することも推測される。

4. 多並列 BTB 融通電力制御方式

多並列 BTB において、常時定格の電力融通を行なうためには、1 ユニット停止時に健全ユニットが出力を増加させ、システム全体の融通電力を一定に維持する方式を確立する必要がある。多並列 BTB は BTB システム全体の定格の $1/n$ の容量の BTB ユニートを n 台並列に接続し、BTB 1 ユニットが脱落あるいは定期点検などで停止している場合にも、停止による融通電力不足分を他の健全ユニットで均等に補償することにより、各ユニットの容量増加を最小にすることをコンセプトにしている。

以下この特徴を実現する 3 種の方式、健全ユニット検出法、融通電力検出法、均等指令融合法を考案し特性比較した。

<4・1> 健全ユニット検出法 この方式は、多並列 BTB システム全体の融通電力指令を多並列された BTB ユニット全数分で割り、一台あたりの融通電力指令を算出しその指令を各 BTB ユニットへ分配するものである。多並

列された各 BTB ユニットが健全であるか待機あるいは停止状態（事故など含む）であるかを常に GB 情報などで検出し、BTB ユニット全数分を検出した健全ユニット台数で除算し、各 BTB ユニット指令値に乗ずる。例えば、 n 台の BTB ユニットで構成する多並列 BTB において、一台が故障などにより停止した場合、健全ユニット台数は $(n-1)$ 台と検出される。その結果、各 BTB ユニット指令値には一台故障により不足分となった容量の割合分が乗じられることとなり、故障分の容量だけ健全ユニットの各指令に均等に分担される。健全ユニット検出法の構成を図 4.1 に示す。

図 4.1 健全ユニット検出法ブロック

Fig 4.1 Power Flow Control by Normal Units Detection

図 2.2 の BTB システムに健全ユニット検出法を適用し、BTB ユニット一台が故障などで停止した場合のシミュレーション結果を図 4.2 に示す。シミュレーションには MATLAB を使用した。一台が故障などで停止した場合でも残りの健全ユニットで不足分を補償できていることがわかる。また、健全ユニット検出法は、GB などの信号で変換器の健全停止を判断し指令を決定しているので、不足分を補償する応答が速い。

図 4.2 健全ユニット検出法シミュレーション結果

Fig 4.2 Simulation for Normal Units Detection

<4・2> 融通電力検出法 この方式は、健全ユニット検出法のように健全台数を検出せず、多並列された各 BTB ユニットが融通している電力を検出し、その和を指令値にフィードバックさせ、融通電力指令との偏差を各 BTB ユニットに均等に分担させるものである。多並列された

BTBユニットの一台が故障などで停止した場合は、融通電力不足分が偏差となって現れるため、残りの健全ユニットで不足分を分担し補償することができる。融通電力検出法の構成を図4.3に示す。

図 4.3 融通電力検出法ブロック

Fig 4.3 Power Flow Control by Transmission Power Detection

健全ユニット検出法と同条件とし、融通電力検出法を適用した場合のシミュレーションを行なった。シミュレーション結果を図4.4に示す。一台が故障などで停止した場合でも残りの健全ユニットで不足分を補償できていることがわかる。この融通電力検出法は各BTBユニットの融通電力の総和を用いているため、あるBTBユニット一台が指令値通りに出力しない故障を起こした場合でもその不足分を他の健全ユニットで分担し、多並列BTB全体では指令値通り出力することができる。

図 4.4 融通電力検出法シミュレーション結果

Fig 4.4 Simulation for Power Flow Control by Transmission Power Detection

<4.3> 均等指令融合法 これは、健全ユニット検出法と融通電力検出法を兼ね備えた方式である。均等指令融合法の構成を図4.5に示す。

均等指令融合法は、融通電力検出法に健全ユニット検出法を加えることにより、フィードバック制御で融通電力指令値に追従しながら、一方では健全ユニットの台数を検出することによってBTBユニットの停止を監視し、BTBユニット停止時の融通電力不足分を高速に補償する。

BTBユニット一台停止時における均等指令融合法のシミュレーションを行なった結果を図4.6に示す。

均等指令融合法のシミュレーション結果より、一台が故障などで停止した場合でも残りの健全ユニットで不足分を補償でき、かつ、故障などによるBTBユニットの停止時の融通電力補償応答が速いことが確認できた。

以上の結果から次のことが明らかとなった。健全ユニット検出法はBTBユニット運転状態を検出し、BTBユニット停止分の情報を融通電力指令へ伝達するため、補償の応答性が高い(約50ms)。しかし、停止情報の検出ができないような故障が発生した場合、その故障による融通電力不足分を補償することができない。融通電力検出法はフィードバック制御を用いているため前述の補償も可能であるが、応答性はやや劣っている(約70ms)。均等指令融合法は、健全ユニット検出法と融通電力検出法の利点をあわせ持つため、停止状態を検出できない故障が発生してもその故障による融通電力不足分が補償でき、応答性も高い(約50ms)。以上3方式の結果を比較すると多並列BTB融通電力制御には均等指令融合法が最適であることが確認できた。

また、本方式は、自励式BTBの特徴である有効電力と無効電力の独立制御により、融通電力だけでなく、多並列BTB両端それぞれの無効電力指令にも適用できる。

図 4.5 均等指令融合法ブロック

Fig 4.5 Power Flow Control by Normal Units and Power Detection

図 4.6 均等指令融合法シミュレーション結果

Fig 4.6 Simulation for Normal Units and Power Detection

5. 多並列 BTB 瞬時値解析モデル

従来の BTB や HVDC など、素子直列接続による大容量化を図っていたため、EMTP などを用いた短時間過電圧解析時間領域での変換器モデルは、数～数十個の直列素子を1素子として模擬できた。このため変換器モデルに要する構成要素数は多くならない¹⁷⁾¹⁸⁾。しかし、BTB ユニットの多数並列化した特徴を持つ多並列 BTB は、変換器を並列数分モデル化する必要がある、モデル化すべき変換器要素数が膨大となり、すべてを詳細に模擬する（スイッチモデルで模擬する）ことが困難となってくる。

そこで、多並列 BTB は同じ仕様を持つ BTB ユニットの多数並列していることを考慮して、変換器を効率的に模擬する方法を検討した。

<5.1> 多並列 BTB 瞬時値解析モデル BTB ユニットの等価簡略回路が模擬できるとモデルの要素数が減少し計算時間短縮などが期待できる。しかし、1 ユニットで変換器内部事故が発生した場合の健全ユニットの影響を詳細に検討するためには、少なくとも2ユニットは詳細に模擬する必要がある。

そこで、図 5.1 のように多並列 BTB を構成する BTB ユニットのうち2ユニットの BTB は変換器主回路を詳細に模擬したスイッチモデルとし、残りの BTB ユニットの BTB は高調波まで考慮できるが演算量の少ない矩形波可変電圧源モデルを用いた等価簡略モデルにより模擬するモデル化方法を新しく開発した。

図 5.1 等価簡略モデルを用いた多並列 BTB モデル

Fig 5.1 Massively Parallel BTB Model using Equivalent Model

<5.2> 等価簡略モデルの手法と検証結果（交流側モデル） 自励式変換器は交流系統から見た場合、一般的に電圧源と考えることができる。自励式変換器は制御系が出力するパルスによりスイッチングされ、矩形波電圧を発生し交流系統側に出力する。つまり、自励式変換器は交流系統側から見た場合、制御系を伴った矩形波可変電圧源でモデル化できることがわかる。また変換器出力電圧波形はゲートパルス信号の結合および直流電圧状態により作成できると考えられる。

図 2.2 の BTB ユニットの片端分として単相3パルス8段多重自励式変換器を考える。変換器用変圧器は各段同位相とし、PWM 位相により多重化を行なう。交流信号は自励発振とした。スイッチモデル・矩形波可変電圧源モデルは、それぞれ図 5.2 のようになる。ゲートパルスの作成は両モデルとも同一であるが、矩形波可変電圧源のみゲートパルスから変換器出力電圧波形を導く処理が加わる。

ここで、各段変換器ごとに矩形波可変電圧源で置換することにより、変圧器偏磁¹⁹⁾などの詳細な解析を行なうことが可能となる。

図 5.2 スwitchモデルと矩形波可変電圧源モデル (BTB の1ユニットの片端子あたり)

Fig 5.2 Switch Model and Variable Voltage Source Model of VSC

変換器用変圧器1次側開放時のシミュレーションを行ない、その結果波形を図 5.3 に示す。両結果は良好に一致しており、自励式変換器は交流系統側に対し制御系を伴った矩形波可変電圧源で模擬できることが明らかとなった。

(a) スwitchモデル

(a) Switch Model

(b) 矩形波可変電圧源モデル

(b) Variable Voltage Source Model

図 5.3 交流側モデルシミュレーション結果

Fig 5.3 Simulation for AC-Side Model of Inverter

<5.3> 等価簡略モデルの手法（直流側モデル） 次に、自励式変換器の直流回路側に対するモデルを検討する。電圧形自励式変換器は直流回路から見た場合一般的に電流源とみなすことができる。変換器から直流回路に流入す

る電流は、変換器交流側電流が制御系により作成されたゲートパルスパターンに従い、変換器内の各素子により裁断された電流の総和となる。つまり、変換器各素子に与えるゲートパルスと交流電流の情報を得ることができれば直流電流を計算でき（リップルを含んだ）コンデンサ充放電を模擬できると考えられる。

<5・4> 交流側・直流側モデルの結合方法 変換器出力電圧は直流電圧をスイッチングにより裁断した電圧であるため、PWM 制御出力信号つまりゲートパルスパターンの合成が変換器の出力する電圧に等しいといえる。また、直流電流は交流側から流入する電流を PWM 制御出力信号つまりゲートパルスパターンで裁断した電流の合成であり、直流回路から変換器を見た場合、裁断された電流が可変電流的に流入する。よって、矩形波可変電圧源・可変電流源はゲートパルスパターンと主回路に発生する電圧あるいは電流を合成したものであり、制御信号が変化すると、矩形波可変電圧源・可変電流源ともその制御信号通りに変化するため、矩形波可変電圧源・可変電流源の相関関係は保たれており、変換器は図 5.4 に示すモデルで表現することができる。よって、矩形波可変電圧源・可変電流源モデルを BTB 構成とすると、BTB1 ユニットの等価簡略モデルとして扱うことができる。

図 5.4 矩形波可変電圧源・可変電流源モデルとスイッチモデル

Fig 5.4 Variable Voltage-Source and Current-Source Model of VSC and Switch Model of VSC

以上を考慮すると、各相ごとの矩形波可変電圧源 $V_{vrb}(t)$ および可変電流源 $I_{vrb}(t)$ として次式を得る。

$$V_{vrb}(t) = \frac{\{GPin(t) - GNin(t)\} - \{GPjn(t) - GNjn(t)\}}{Ed(t)/2} \quad (5)$$

ここに、 $GPin(t)$, $GNin(t)$ は時刻 t における n 段 i, j 相ゲートパルス、 $Ed(t)$ は時刻 t における直流電圧。 i, j はフルブリッジにおける各ハーフブリッジ相。

$$I_{vrb}(t) = \frac{\sum_{k=1}^n (I_{uxk}(t)V_{uxk}(t) + I_{vyk}(t)V_{vyk}(t) + I_{wzk}(t)V_{wzk}(t))}{Ed(t)} \quad (6)$$

ここに、 $I_{uxk}(t)$, $V_{uxk}(t)$ は時刻 t における k 段変換器出力端各相電流、電圧。

<5・5> 等価簡略モデルの検証 式(5),(6)の矩形波

可変電圧源・可変電流源モデルを Back-To-Back に適用した場合つまり等価簡略モデルについて検討した。8 段多重自励式変換器を BTB1 ユニット構成としスイッチモデルおよび矩形波可変電圧源・可変電流源モデルそれぞれの回路構成は図 5.5 のようになる。順変換器 (REC; Rectifier) 側を直流電圧制御とし、逆変換器 (INV; Inverter) 側を有効電力制御とした。変換器間の電力バランスは直流回路を経て融通されるが、矩形波可変電圧源・可変電流源モデルも直流回路を考慮しているため、潮流は直流回路を流れ融通されることになる。

図 5.5(a) BTB ユニット制御系
Fig 5.5(a) BTB Unit control

図 5.5(b) BTB ユニットスイッチモデル
Fig 5.5(b) Switch Model of a BTB Unit

図 5.5(c) BTB ユニット等価簡略モデル
Fig 5.5(c) Equivalent Model of BTB Unit

融通潮流は 1pu、電流制御系・直流電圧制御系・有効電力制御系を考慮し、それぞれのモデルについてシミュレーションを行なった結果を図 5.6 に示す。両者はよく一致しており、矩形波可変電圧源・可変電流源モデルはスイッチモデルと同等の（高調波も含めた）現象を再現できることが確認できた。

6. あとがき

本論文では、多並列 BTB システムを提案し、必要なロスミニマム運用手法、BTB ユニット故障時の融通電力維持手法、多数の変換器で構成されるシステムの瞬時値解析手法を開発検証し、良好な結果を得た。多並列 BTB はニーズに合わせて構成を増減できる柔軟性に富んだシステムであり、今後さらに詳細な研究を進めていきたい。

(a) スイッチモデル結果

(a) Simulation Result of Switching Model

(b) 矩形波可変電圧源・可変電流源モデル結果

(b) Simulation Result of Variable Voltage-Source and Current-Source Model

図 5.6 BTB モデルシミュレーション比較

Fig 5.6 Comparison of Simulation Result for BTB Model

(平成 11 年 12 月 6 日受付, 平成 12 年 7 月 19 日再受付)

文献

- [1] D.J.Christofersen, H.Elahi, M.G.Bennett, "A survey of the reliability of HVDC systems throughout the world using 1995-1996", CIGRE, 14-102 1998
- [2] 松野・山地・鈴木・石黒・徳原:「直流系パワーモジュレーション制御による交流系統安定化制御」, 平成 7 年全国大会 1429
- [3] 松野・長澤・大槻・大西・石黒・竹田:「自励式インバータを用いた無効電力補償装置による系統安定度の向上」, 電学論 B, 112 巻 1 号, 平成 4 年
- [4] C.E.Grund, et al.: "Power Modulation Controls for HVDC System", CIGRE SC-14, 1983
- [5] 米沢・佐藤・天満・徳原・伊与田:「GCT を用いた自励式 BTB の系統制御に関する基礎検討」, 電力技

術電力系統技術合同研究会資料, PE-97-102, PSE-97-102

- [6] Mohan, Undeland, Robbins: "Power Electronics second edition", John Wiley & SONS, Inc.
- [7] Le Tang, "Digital simulation of power electronic applications", IEEE PES 1996 Summer Meeting
- [8] Kalyan K. Sen, Eric J. Stacey "UPFC - Unified Power Flow Controller: Theory Modeling and Applications", IEEE PE-282-PWRD-0-12-1997
- [9] Tatsuhiro Nakajima, et al: "A New Control Method Preventing Transformer DC Magnetization for Voltage Source Self-commutated Converters", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.11, No3, July 1996

佐藤 正

(正員) 1965 年 1 月 6 日生まれ。88 年 3 月東京大学工学部電子工学科卒業。同年 4 月関西電力(株)入社。現在電力システム室変電課副長。主として, 変電関係業務に従事。

松下 義尚

(正員) 1968 年 8 月 2 日生まれ。93 年 3 月京都大学大学院工学研究科(電気工学専攻)卒業。同年 4 月関西電力(株)入社。現在電力システム室変電課に勤務。主として, 変電関係業務に従事。

天満 耕司

(正員) 1970 年 10 月 27 日生まれ。94 年 3 月同志社大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月三菱電機(株)入社。現在, 系統変電交通システム事業所電力系統技術部勤務。主にパワーエレクトロニクスおよび系統解析技術に関する業務に従事。

伊与田 功

(正員) 1952 年 9 月 19 日生まれ。75 年 3 月京都大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月三菱電機(株)入社。系統解析技術, パワーエレクトロニクス, シミュレータ, 系統計画技術などに関する業務に従事。工学博士。IEEE, パワーエレクトロニクス研究会各会員