

# 直流送電用変換所のシステム設計

## System Engineering for HVDC Converting Stations

電源の遠隔化及び複数個の電力系統を結んで融通し合う広域運用に直流送電技術の有利性が認められ、北米大陸を主体に今後5年間に25GW(25箇所)を超える直流送電プロジェクトが建設されようとしている。我が国では、将来の大容量基幹送電用として適用可能となるように、高電圧・大容量化を指向した変換機器の高信頼度化技術の開発が進められてきた。

村岡泰夫\* Yasuo Muraoka  
渡部篤美\*\* Atsumi Watanabe  
奥山賢一\*\*\* Ken'ichi Okuyama

直流送電用変換所の設計を進めるには、あらかじめ連系する交流系統を含めた各種系統解析を行ない、変換機器の定格仕様、制御保護システムの性能・特性などについて、全体システムとしての信頼性、経済性、保守性の面から最適化を図ることが重要である。ここでは、変換所のシステム技術のうち、特に重要な系統解析及び絶縁協調について、最近の技術的成果を中心に紹介する。

### 1 緒言

直流送電は近年北米を中心に、急速に建設あるいは計画が進められている。我が国でも将来の電源の遠隔化に対応するため、長距離基幹送電用の高電圧直流送電の技術開発が鋭意進められてきた<sup>1)</sup>。

直流送電の計画あるいはフィジビリティスタディ(適用可能性検討)を行なう上でまず必要なことは、直流送電システムの回路構成と変換所機器の定格仕様を決めた上で各種系統解析を行ない、送電が安定に行なえること、異常な過電圧が発生しないこと、高調波・高周波の障害が発生しないこと、発電機軸系にSSR(異常共振)が発生しないこと、などを確認しながら、かつ信頼性、保守性、経済性、見地からも協調のとれたシステムを設計することである。

ここでは、「システム設計の進め方」とシステムスタディの中で特に信頼性、経済性の面から重要な「系統解析技術」と「絶縁協調」について紹介する。

### 2 直流送電に関する最近の動向

#### 2.1 海外の直流送電プロジェクト適用の傾向

1984年6月にカナダのモントリオール市で開催された「直流送電国際会議」で公表された世界の直流送電設備(システム)の推移は、図1に示すとおりである<sup>2)</sup>。

この直流送電プロジェクトが活況を呈してきたのは、脱石油電源(石炭火力、水力あるいは原子力)の遠隔化と電力コスト低減への対応策として、直流送電のメリットがその真価を発揮してきたからと言えよう。

#### 2.2 我が国での直流送電技術開発の状況

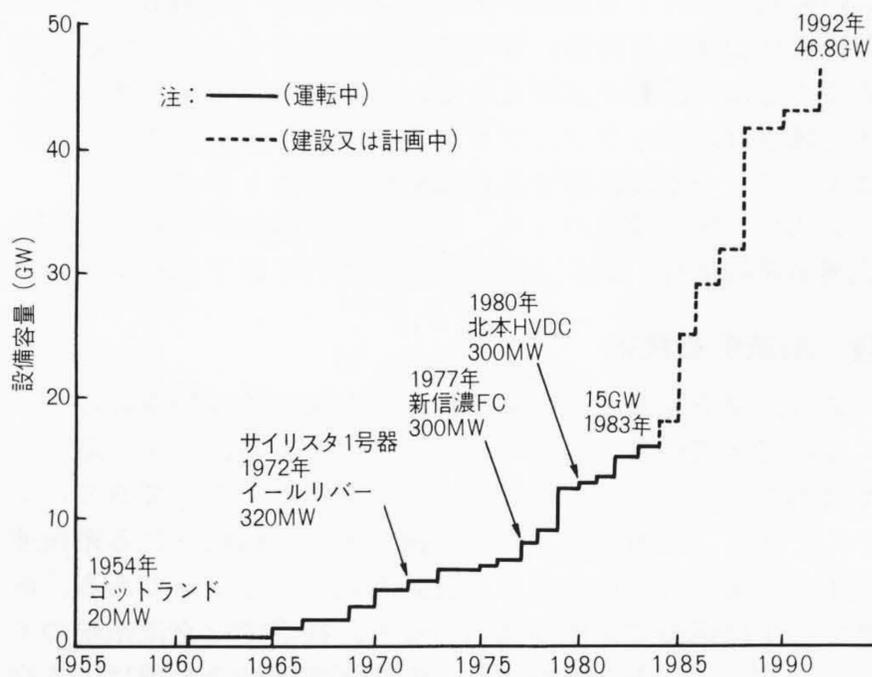
我が国での直流送電技術は、昭和52年と昭和54~55年にそれぞれ運転開始された東京電力株式会社新信濃周波数変換設備、及び電源開発株式会社北海道・本州間直流連系設備の建設に伴い、その基盤が確立された。また、昭和53年11月から昭和60年3月までの間、電力会社、学識経験者、政府及びメーカーの関係者で構成されたUHV送電特別委員会(委員長:東京大学名誉教授 山田直平工学博士)で、目標とした基幹送電用直流500kV級交直変換システム技術、及び機器技術について一連の研究開発が推進された。そして、まだ海外でも例

のない10GW級という大容量原子力電源を交流(1,000kV級)と同程度の高い信頼度で送電できる技術的見通しを、大規模なシミュレーション試験などを通じて得ることができた。表1に昭和59年度までに完了した技術開発の概要を示す。

### 3 変換所システム設計手法

#### 3.1 変換所機能仕様

直流送電システムは交流送電と異なり、常に変換装置の位相制御を行ないながら有効電力あるいは無効電力を調整することができる。この直流送電システムの有効な潮流制御性、高速故障除去性(保護機能)、非同期性を積極的に活用することが重要であり、交直変換所の機能仕様として明確に打ち出すことが必要である。IEC(国際電気標準会議)TC22F(直流送電用変換器)WG4(直流送電システム機能仕様作業会)で直流送電用変換所の機能仕様書のガイドラインとして、定常状態と過渡状態に分けて仕様の定め方を推奨している<sup>3)</sup>。



注: 出典(1984年6月カナダ, モントリオール直流送電国際会議資料)  
略語説明 HVDC(直流送電設備), FC(周波数変換設備)

図1 直流送電設備容量の推移 1983年末で累計設備容量が15GW、1992年には46.8GWまで伸長するとされている。

\* 日立製作所電力事業部 \*\* 日立製作所日立研究所 工学博士 \*\*\* 日立製作所国分工場 工学博士

表1 交直変換機器技術開発の概要 大電力基幹送電を指向した交直変換機器の技術開発項目と開発内容の概要を示す。

No.	品 目	開 発 項 目	内 容
1	サイリスタバルブ	光直接点弧サイリスタ(4kV, 1.5~3kA)及びバルブの試作検証	● 直流500kV, 3kA光バルブ試作(昭和58年度, 通商産業省補助金) ● 直流125kV, 1.8kA光バルブ検証(昭和58年12月, 電源開発株式会社佐久間FC)
2	変圧器 直流リアクトル	DC 500kV絶縁	直流絶縁の合理化
3	計器用変成器 (DCPT, DCCT)	光応用	1.0級光応用DCPT, DCCTの試作
4	直流遮断器	プロトタイプ器	DC 250kV, 8kA 試作試験(昭和59年4月)
5	直流ガス絶縁 開閉装置	要素試作	スペーサ支持物の試作 断路器接地装置の試作
6	直流避雷器	DC 500kV用避雷器	直流125kVバルブ保護用ギャップ レス酸化亜鉛形避雷器の試作, 検証(昭和58年12月, 電源開発株式会社佐久間FC)
7	制御・保護装置	基幹送電用制御保護システム	HVDCシミュレータによる検証 (1)高信頼度多系列デジタルシステム (2)原子力電源との協調 (3)多端子直流送電システム

注: 略語説明 DCPT(直流計器用変圧器), DCCT(直流計器用変流器)

### 3.2 システム設計手順

直流送電用変換所は前述したように、連系交流系統及び直流系統のあらゆる条件下でも所定の機能が発揮できるように、サイリスタバルブをはじめとする変換設備を運転操作する。そのため構成機器の定格仕様の決定に当たっては、変換システムの各種現象解析を行ない、システムとしての機能仕様を満足し、信頼性、保守性、経済性の面からも協調のとれたものにするのが重要である。

図2に変換所のシステム設計手順の概要を示す。

### 3.3 システムスタディ(系統解析)

所定の機能仕様を最小コスト(損失も含む。)で実現させるため、変換所システムの各種パラメータを変化させてシステム最適化を図る解析・評価(いわゆるシステムスタディ)を行なう必要がある。この各種の検討は単に直流系だけでなく、接続される交流系統の系統条件に大いに影響を受けるため、広い範囲で検討する必要があり、また機器の定格あるいは制御特性は相互に有機的に作用する関係にあるため、定数を変えるごとに再計算が必要となる。これらのシステムスタディは完備されたデジタルプログラムやアナログシミュレータによって、今や高精度で迅速に解析することができる。

システム検討項目のうち、特にシステム設計上重要な「交直連系系統解析」及び「絶縁協調」について以下に紹介する。

## 4 システム解析技術

最近、交直連系系統の解析技術が非常に重要視されるようになってきている。これは、一つには大容量の直流送電系統が計画され、交流系統に及ぼす影響が大きくなってきているからであり、他方では、交流系統の末端に接続される系統連系の直流送電設備が数多く計画されているからである。前者では主に過渡安定度が問題となり、後者では交流系統のインピーダンスが大きいために、直流送電系統の動揺による交流電圧の変動、過電圧や波形ひずみの発生、波形ひずみによる交直変換装置の安定運転阻害(高調波不安定現象)などが問題となる。

これらの解析すべき項目をまとめて表2に示す。日立製作所ではこれらすべての項目に対する解析プログラムを備えている。以下、解析法の概要について記し、解析例を紹介する。

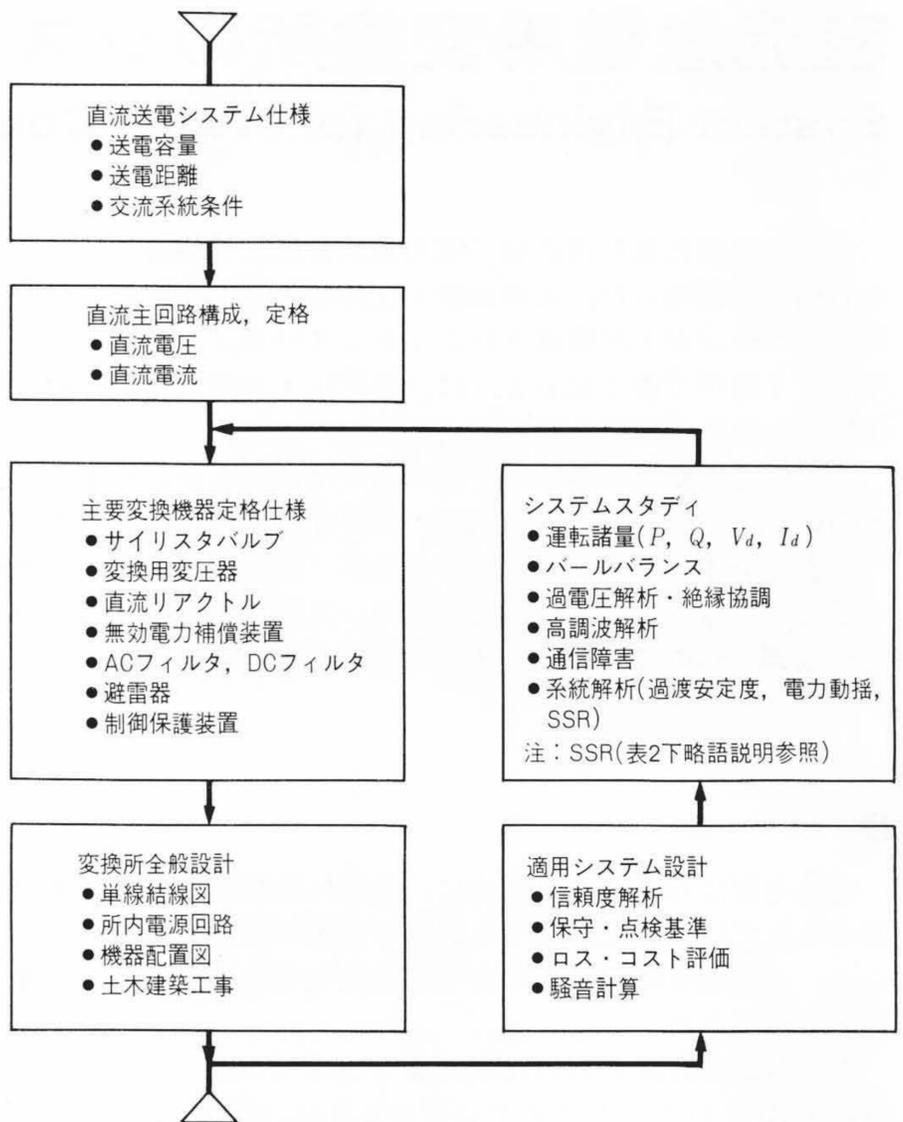


図2 変換所のシステム設計手順 直流システムの仕様が与えられると、主回路構成、主要機器の定格仕様を決めて、システムの各種系統解析を繰り返しながら最適のシステム設計を指向してゆく。

表2 交直連系系統の解析項目と解析手法 解析項目の分類と各解析に対し、日立製作所が備えている解析手法(ツール)を示す。

種 別	解 析 項 目	解 析 手 法
定常解析	電圧安定度 潮流計算 高調波発生・分布	電圧安定度解析プログラム 潮流計算プログラム 高調波発生・分布解析プログラム
過渡解析 (実効値)	過渡安定度	交直連系系統過渡安定度 解析プログラム
過渡解析 (瞬時値)	過電圧 過渡安定度	EMTP
異常現象	高調波不安定 SSR	EMTP EMTP, 固有値法

注: 略語説明 SSR(Subsynchronous Resonance)  
EMTP(Electromagnetic Transients Program)

### 4.1 交直連系系統の解析手法

交直連系系統の解析はほとんどの場合、交流系統のプログラムに直流系統をいかに表現して取り込むか、という問題に帰する。この直流系統の表現についての基本的な考え方を以下に記す。

(1) 電圧安定度解析のような定常解析では、直流系統を次の(1)式に示す電圧特性をもった負荷として表わす<sup>4)</sup>。

$$P = P_0 V^m, Q = Q_0 V^n \dots\dots\dots(1)$$

ここで、P, Qは変換装置の有効電力、無効電力、Vは交直連系点電圧、P<sub>0</sub>, Q<sub>0</sub>は交流電圧Vが定格値に等しい場合の有効電力、無効電力であり、m, nはそれぞれ有効電力、無効電力の電圧依存指数である。指数m, nは直流送電系統の制御方式により定まる。定電力制御を行なっている場合、変圧器のタップが追従する時間領域では、m=n=0となる。この値は通常の交流系統の負荷に比べると、電圧安定度の面で厳しい

条件となる。

(2) 潮流計算や実効値ベースの過渡安定度解析では、直流系を図3(a)に示す等価回路で表わす<sup>9)</sup>。この直流系統解析で計算した直流電圧、電流を用いて変換装置交流側の有効電力、無効電力を求め、これを負荷とみなして交流系統の解析を行なう。この手順で図4に示す繰返し計算を行ない、交直連系点の電圧を求める。更に、制御系の計算を行なったのち、次のステップへ進む。

(3) 高調波解析では、変換装置を高調波電流源と考えて、フィルタや交流系統の周波数特性を考慮した電流分布計算を行なう。変換装置が発生する高調波の量は、変換用変圧器交流側の電流波形をフーリエ変換して求めるが、その場合、サイリスタバルブの点弧位相のばらつきや、交流電圧の三相不平衡の影響を考慮することが重要である<sup>6)</sup>。

(4) 瞬時値解析に対しては、日立製作所でも米国BPA(Bonneville Power Administration)で開発したプログラムEMTP(Electromagnetic Transients Program)を活用している。EMTPを交直連系系統の解析に用いるに際しては多くのノウハウを必要とするが、うまく使いこなせば、(a)三相不平衡となった場合の現象解析、(b)過渡過電圧の解析、(c)交流電圧波形ひずみの変換装置の安定運転に及ぼす影響解析などを、精度よく行なうことができる<sup>7)</sup>。このプログラムでは、図3(b)に示すように各機器をそのまま実物と対応する回路で表現する。サイリスタバルブは、同図中に示す回路で表現する機会が多いが、あまり高い周波数を扱う必要がない場合にはスナバ回路を省略してもよい。制御回路は伝達関数で示すブロック図の形で表現するが、上記(c)に示す異常現象の解析を目的とする場合には、特にパルス間隔一定制御方式の位相制御装置を正確に模擬するブロック図を作ることが重要である<sup>8)</sup>。

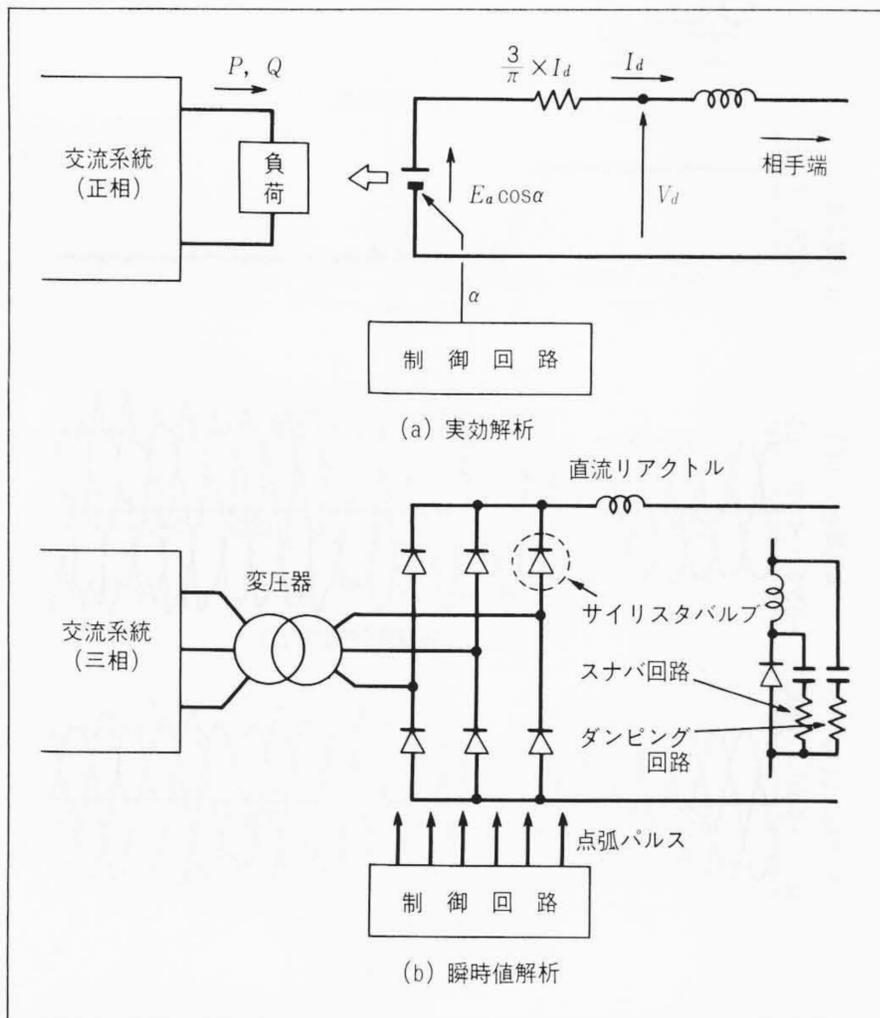
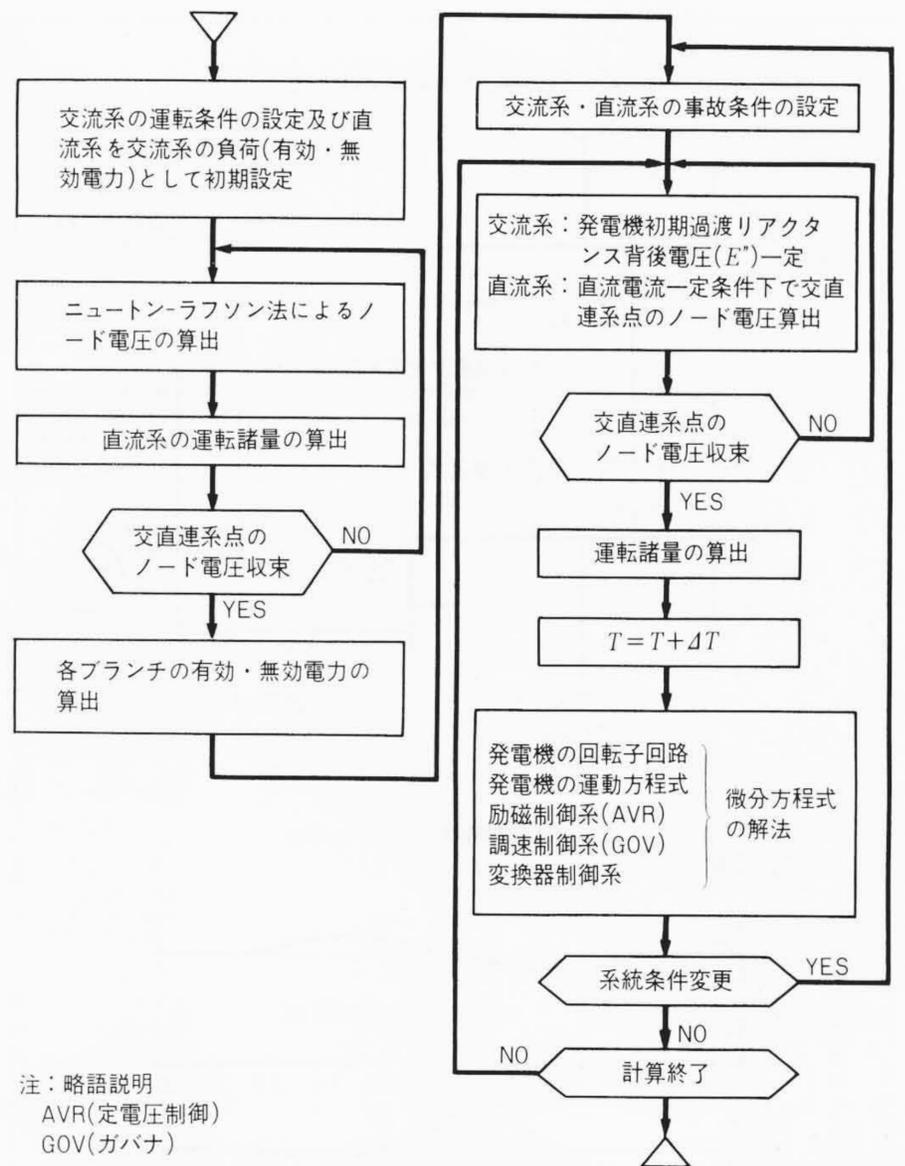


図3 直流送電系統の表現法 実効値ベースの場合の直流系は交流系の負荷として、瞬時値ベースの場合の直流系は各機器を、各々の等価回路で表現する。



注：略語説明  
AVR(定電圧制御)  
GOV(ガバナ)

図4 過渡安定度解析法 交直連系系統の実効値解析は直流系を交流系からみた負荷と見なして繰返し計算を行ない、連系点の電圧を求める。

瞬時値解析には多大の計算時間を要し、取り扱える発電機の数も少ないので、大規模な系統解析には実効値解析、小規模系統やマイクロな現象の解析には瞬時値解析、と使い分けるのがよい。

(5) 直流送電系統と発電機の相互干渉によって発生する可能性がある軸ねじれ共振SSR(Subsynchronous Resonance)の解析はEMTPによって行なうこともできるが、一方では固有値法により、直流送電系統制御系の定数選択に対する指針を得ることも重要である。日立製作所では、両方の解析を併用して系統計画を行なうことにしている。

以上概観したように、交直連系系統の解析は交流系統と直流系統を一つのプログラムの中で結合して行なうのが普通であるが、原子力発電所の出力を直流系統単独で送電するように、解析対象が大規模で、しかも外乱に対する応答速度に大きな差がある場合には、まず直流送電系統の応答を解析し、その電力変動を入力として原子力プラントの挙動を解析する手順を踏んだほうがよい。

#### 4.2 交直連系系統の解析例

図5に実効値ベースの過渡安定度の解析例を示す<sup>9)</sup>。これは、原子力発電基地から大消費地への直流単独送電の例である。4極中の2極で直流送電線の地絡故障が発生し、故障極を停止、約0.5秒後に再起動に成功した場合の現象を示しているが、原子力発電所の中で最も急激な変化を示す中性子束も基準値を超えず、スクラムせずに安定な運転を継続できることが分かる。

図6はEMTPによる瞬時値解析の例である<sup>7)</sup>。交流系統の短絡容量が小さい場合、直流送電系統を急に停止すると交流側に大きな過電圧が発生するが、同図は、SVC(Static Var

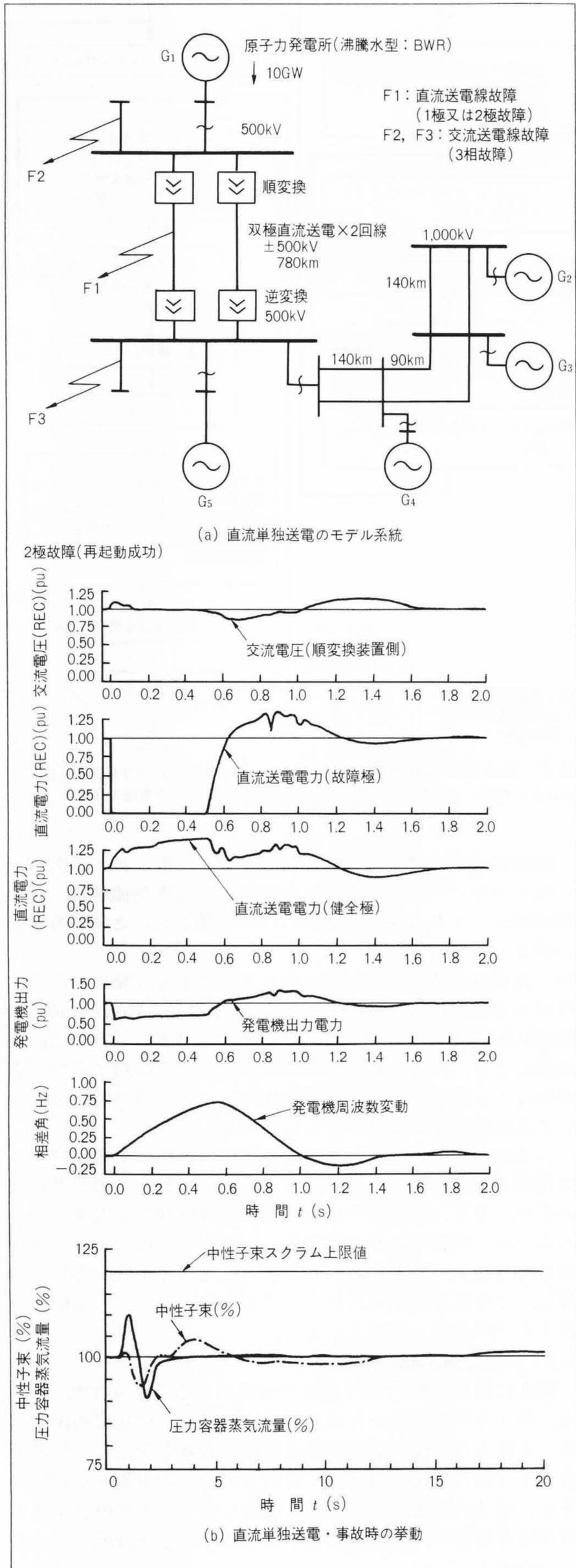


図5 実効値ベースの過渡安定度解析例 原子力電源の4極送電中、2極地絡故障時の解析結果であり、故障極停止後約0.5秒で再起動に成功している。原子炉中性子束の変化も、問題のないレベルに収まっている。

Compensator: 静止形無効電力補償装置)を用いる過電圧抑制法の効果を示している。同図中の(b)の2は対策なしの場合を、(b)の3はSVCによる過電圧抑制を行なった場合を示している。

## 5 絶縁協調

### 5.1 過電圧の種類

直流系統の絶縁協調でも、交流系統同様に過電圧解析がその基礎になる。直流系統では変換器動作に関連した過電圧のように交流系統とは異なる独特の過電圧がある。これらは変換器の制御系と密接に関係していて、過電圧抑制機能もあることからHVDCシミュレータあるいはサイリスタバルブモデルを組み込んだTNA(Transient Network Analyzer: 系統異常電圧シミュレータ)、デジタル解析では制御系を組み入れたEMTPなどを用いて解析するのが普通である。

また、過電圧を抑制する避雷器特性や配置が重要であるほか、交流系との関連で静止形無効電力補償装置なども過電圧保護の観点から検討を必要とする場合がある。

#### (1) 雷過電圧

直流回路への雷撃による過電圧は、交流系統でのものと変わりはないが、直流リアクトルを経て変換器に侵入してゆくので、直流リアクトルによる抑制効果は期待できる。これについては、端子間のキャパシタンスの大きさが一つのパラメ

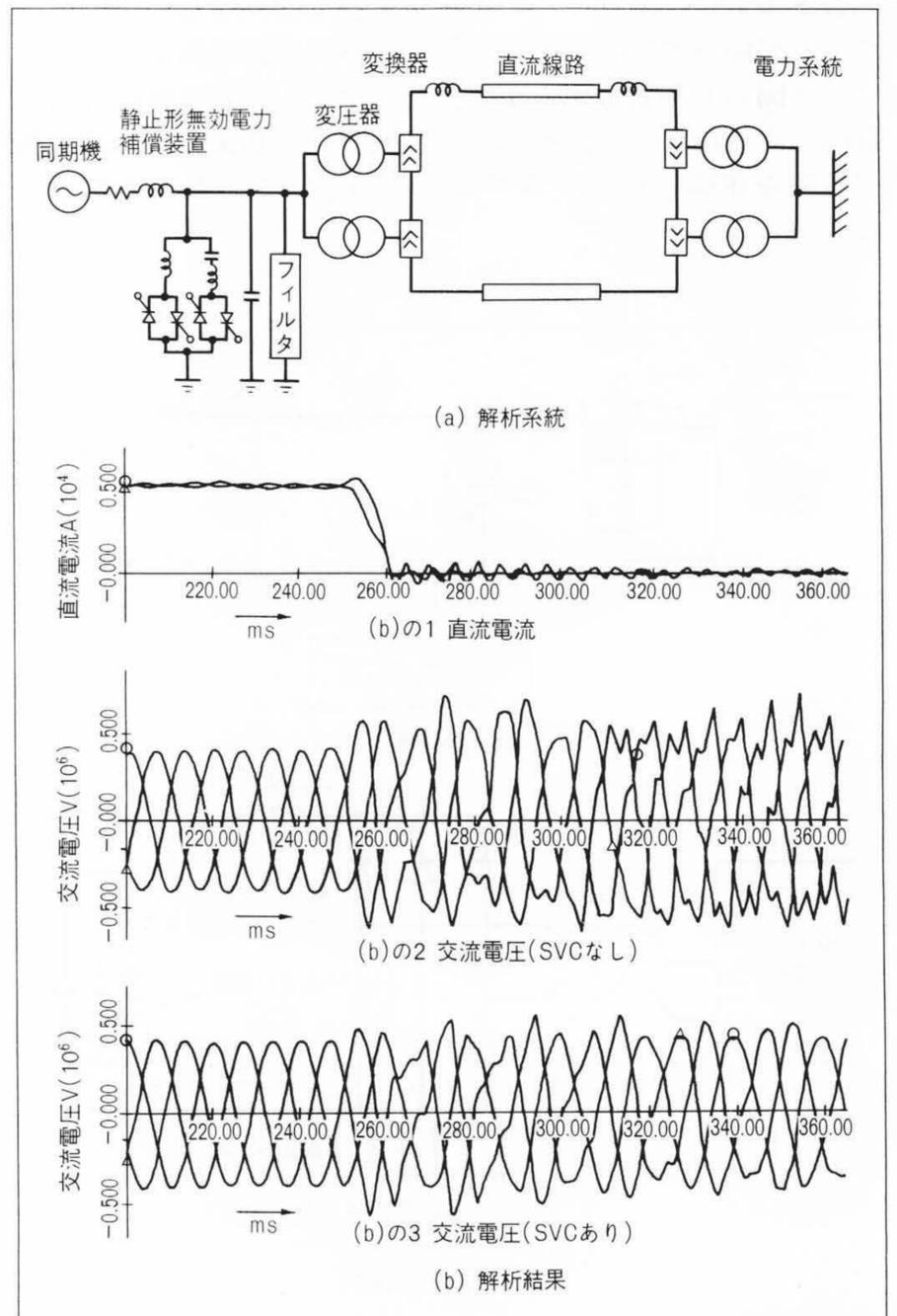


図6 瞬時値解析の例 短絡容量の小さい交流系と連系された変換所で、直流系が急に停止すると交流系に過電圧が発生する[図(b)の2]が、SVCがあると過電圧が抑制される[図(b)の3]。

一タとなる。また、端子間に設けられることが多い避雷器は、その動作によって雷過電圧が変換器に侵入するとの意見もあるが、ギャップ付き避雷器についての解析例によると、端子間避雷器の放電の有無により、変換器への侵入過電圧に大差のない場合もみられている。これは避雷器の制限電圧特性、直流リアクトルのサージ特性、雷撃電流の大きさなどによって異なると考えられ、過電圧解析によって確認されるべきものである。

交流側雷撃による変換器用変圧器の移行電圧は、交流系統の場合と同様であるが、変圧器二次側は一般に遮断器を通さずに変換器に直接接続され、変換器のダンピング回路や接続機器定数の効果によって、移行電圧は変圧器単独の場合より低減されやすいので、二次側等価回路を接続した状態での移行電圧を確認することが肝要である。

(2) 線路、変換所内での地絡、短絡時の過電圧

これら過電圧値は、一般的には2倍以下である。しかし、変換器近傍故障では $dV/dt$ が高くなる場合があり、これはサイリスタの耐電圧特性上好ましくないので過電圧値とともに $dV/dt$ も十分チェックすることが必要である。

(3) 転流失敗、失弧、異常起動、ゲートブロックなどによる過電圧

変換器動作による過電圧は正常時、異常時を問わず十分解析しておくべき項目である。これらの過電圧の中では、異常起動時が最も過電圧が高くなり得るケースであるが、通常の運転条件では過電圧は生じない制御になっており、重畳故障の場合だけ発生する。これらの保護については、解析によって万全を期すようにできる。

(4) 逆変換器負荷遮断時の過電圧

一般に逆変換器負荷側遮断器を開放する場合は、転送信号によって逆変換器にBPP(バイパスペア)動作をさせ、過電圧を抑制するのが普通の制御方式である。しかし、転送信号を得られない場合や、その故障を想定して遮断器を開いた場合を解析すると、対地波高値の3倍以上の過電圧を得た例があるが、BPP動作を過電圧検出などにより行なうようにすれば、過電圧は2倍以下に抑制できる。

(5) 交流側遮断器投入時の過電圧

変換器用変圧器の交流側励磁の場合、交流フィルタ定数、電源側インピーダンス、変圧器励磁インピーダンスの非線形特性によって、常規対地電圧波高値の2倍弱の過電圧が発生する解析例がある。

5.2 保護

以上の過電圧に対する保護として避雷器が用いられるが、直流系統ではサイリスタバルブ・ブリッジの転流振動電圧があること、またバルブA~K間(アノード~カソード間)では、特に保護レベル低減の要求度が高いことなどから、一般交流用に比べて処理エネルギーや保護レベルなどに関し過酷なものが要求される。

図7は、変換器の2段カスケード12相運転の代表的な避雷器設置例を示すものである。同図中の直流リアクトル端子間避雷器⑥は、省略している例もある。バルブA~K間避雷器③は変換器の経済性と信頼性確保のために重要である。変換器を空気絶縁方式とし、下段から上段まで4アーム分を直列に重ねた場合(“Quadruple Valve”と称する。)は、避雷器⑦は省略される。

5.3 過電圧解析

雷サージ解析で変換所内の過電圧を求めるには、まず第一に母線構成が必要である。更に避雷器特性、避雷器設置位置、

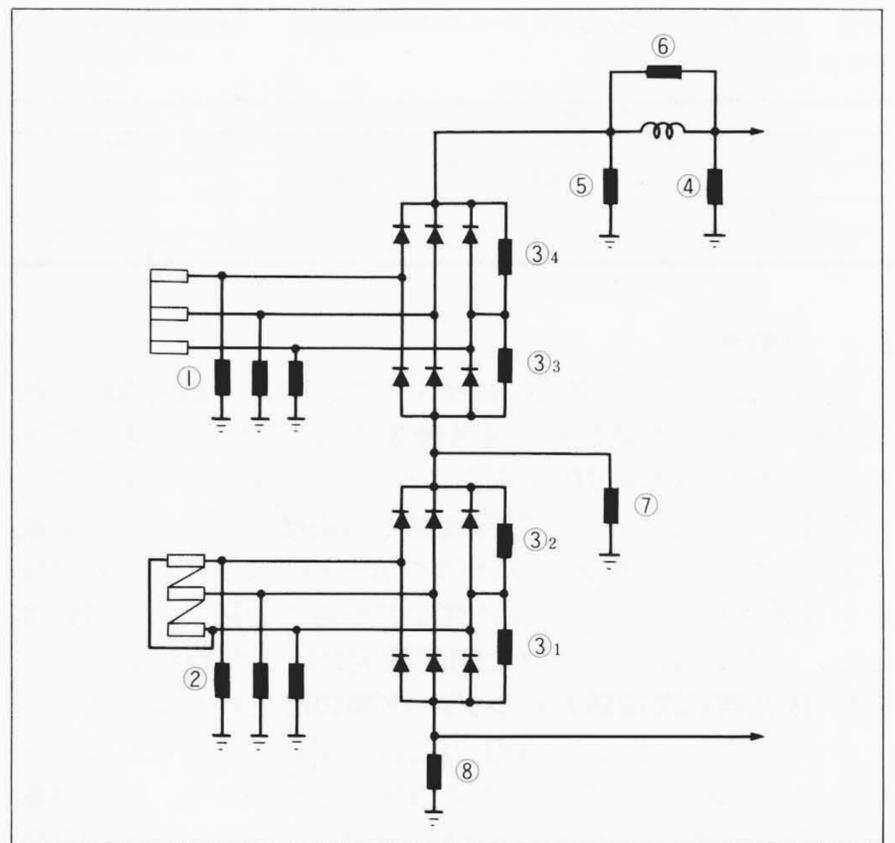


図7 避雷器設置位置の一例 図中の黒塗り長方形が避雷器を示し、丸で囲んだ番号は本文中で説明しやすいように付けたものである。なお、図示は省略してあるが③は各相バルブに設ける。

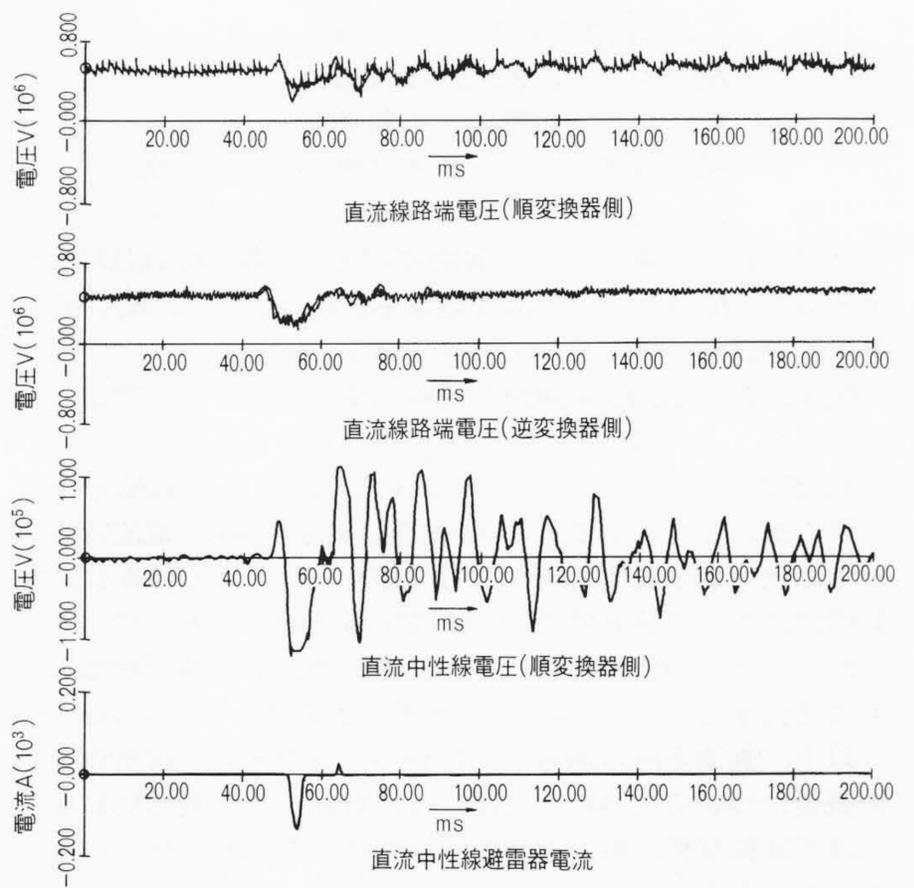


図8 一群転流失敗時の過電圧解析例 制御系を組み込んだEMTPによって計算した線路及び中性線過電圧と、中性線に設けた酸化亜鉛避雷器を流れる電流などの波形を示す。

機器定数、雷撃電流、サージキャパシタなど過電圧値を左右するパラメータが多くあり、これらについてそれぞれの条件を設定して解析する。最近ではEMTPによる計算が一般的である。

交流側、直流側で発生する各種開閉過電圧も制御系により過電圧抑制を行なえるものもあるので、EMTPで計算するには制御系を組み入れなければならない。図8はそのようなEMTPで計算した±500kV系での一群転流失敗時の過電圧波形及び避雷器電流波形の例である。

表3 雷, 開閉インパルスレベルのIEC数列 850kV以上の数列について示した。

雷, 開閉インパルスレベル (kV)			
850	1,300	1,800	2,400
950	1,425	1,950	2,550
1,050	1,550	2,100	2,700
1,175	1,675	2,250	2,900

5.4 試験電圧

解析で得られた過電圧に裕度をみて, 機器の試験電圧が選定される。従来の機器では通常表3に示すIEC(国際電気標準会議)数列から試験電圧が選定されるので, 発生過電圧あるいは保護レベルとの間に20%程度以上の裕度のとれるのが普通である。バルブの場合, 特にバルブA~K間は保守による耐圧レベルの保持, バルブの経済性などからこの裕度は15%程度とし, 一般には耐圧レベルはIEC数列にはこだわらない。

5.5 酸化亜鉛避雷器とバルブA~K間の耐圧レベル

ギャップなし酸化亜鉛避雷器では, 漏れ電流とそれによる損失のため連続的に印加できる電圧に限界があり, 連続運転電圧 $V_c$ と保護レベルの比が重要である。バルブA~K間避雷器の $V_c$ とVDF(バルブの過電圧設計倍数)の関係を(2)式のように考える。

$$VDF = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \dots \dots \dots (2)$$

ここで  $K_1 = \sqrt{2} E_{ac} / V_d = \pi/3 / (\cos \alpha - x/2)$

$x$ : 転流リアクタンス (pu)

$K_2 = V_{NMA} / \sqrt{2} E_{ac} = 1/\text{課電率}$

$K_3 = \text{公称放電電流での制限電圧} / V_{NMA}$

$K_4 = \text{保護レベルとバルブ耐電圧間の裕度}$

$K_5 = \text{バルブ内の雷インパルス電圧分担率}$

(2)式で $K_1$ は系統構成上一義的に定まる定数,  $K_4$ はIEC推奨値があり,  $K_5$ はバルブ設計で定まる。したがって,  $K_2, K_3$ が避雷器で調整できるパラメータである。

図9は $K_1, K_4, K_5$ を同図の説明文中に示すように想定したときの $K_2, K_3, VDF$ の関係を示したものである。

VDFの低減には課電率を高くするか, 平たん率 $K_3$ を小さくするかどちらかである。酸化亜鉛素子の電圧-電流特性の平たん化は素子自体の特性として作り上げていくほかに, 電氣的には素子の並列使用によって実現させることもできる。しかし, その場合の平たん率の低減割合は並列数の増加とともに鈍化するので, 実用的な並列数はおのずから決められる。

以上, 直流系統の絶縁協調についての考え方, 解析例などの概要について述べた。実際には, 計画系統を具体的に取り上げて詳細解析, 検討を行ない, 合理的な絶縁仕様を決定することになる。

6 結 言

国内外で建設計画又はフィジビリティスタディが活発化している直流送電のシステム設計技術のアプローチの方法について紹介した。すなわち,

- (1) 変換所の機能仕様に対し, 変換所の主回路構成, 構成機器の定格仕様, 及び制御保護システムは協調をとって設計するため, あらかじめ各種の系統解析を行なう必要がある。そこで各種系統解析, システム評価を行ないながら変換所の最適システム設計を進める手順, 及びシステムの各種解析に用いる手法(ツール)を示した。
- (2) 交直連系系統の解析技術について, 各種解析手法の取扱い方法を解析例も掲げて紹介した。
- (3) 変換所の経済設計上重要となる「絶縁協調」について,

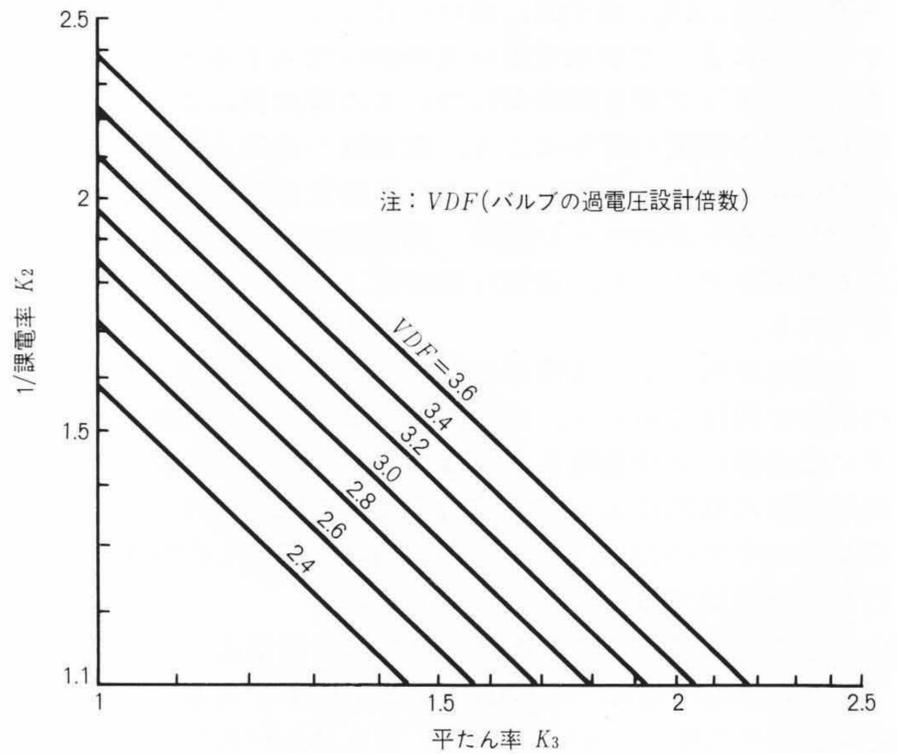


図9 平たん率とVDFの関係 バルブA~K間避雷器の平たん率 $K_3$ , 課電率の逆数 $K_2$ , バルブのVDFの関係を示しており, 本文(1)式の $K_1, K_4, K_5$ はそれぞれ1.25, 1.15, 1.05として求めてある。

対象となる過電圧の種類, 保護する避雷器の配置例, 過電圧解析, そして試験電圧までを順に紹介した。

以上, 直流送電用変換所システム設計技術の一端について紹介したが, 各種システム解析は交流系統条件, 変換装置の運転条件と変換所構成機器の定格仕様, 制御特性などと有機的に関連するため, 解析のボリュームは膨大となる。しかし, 解析用の各種ツール(デジタル解析プログラム, アナログシミュレータなど)が整備されてきたことや, 我が国で手掛けた直流送電プロジェクトの経験から協調のとれた変換所のシステム設計技術が確立できたと言えよう。

今後とも, これらの蓄積してきた直流送電システム技術をなおいっそう発展させられるよう, 直流送電計画の適用拡大に努めてゆく考えである。

参考文献

- 1) 村岡, 外: 直流送電技術と機器の高信頼度化, 日立評論, 65, 5, 351~356(昭58-5)
- 2) International Conference on DC Power Transmission Montreal, June, 1984
- 3) IEC TC 22F-WG 4, Performance Specification on HVDC Systems
- 4) 阿部, 外: 電力系統の電圧安定判別法(その1 理論)電気学会論文誌, 96-B, 4, 171~178(昭51-4)
- 5) 青津, 外: 交直連系系統の過渡安定度解析プログラム, 電気学会情報処理研究会資料, IP-75-1(昭50-1)
- 6) 雅楽川, 外: サイリスタ式電力変換装置における制御角のばらつきによる交流側異常高調波の検討, 日立評論, 52, 11, 969~973(昭45-11)
- 7) A. Watanabe, et al.: Combined Control of Static Var Compensator and HVDC Converter, Proc. of International Power Electronics Conference, Tokyo, 105~115 (March, 1983)
- 8) A. Watanabe, et al.: Operating Characteristics of HVDC Transmission System with Equi-distant Pulse Phase Control, CIGRE, Study Committee-14, 1975
- 9) T. Sakurai, et al.: Cooperative Control Scheme for an HVDC System Connected to an Isolated BWR Nuclear Power Plant, IEEE Trans. PAS-102, 6, pp. 1894~1902 (June, 1983)