

125 kV, 300 A, 37.5 MW サイリスタ変換装置用制御保護装置

Control Equipment for 125 kV, 300 A, 37.5 MW Thyristor Converter

森 俊 二* 金 堂 久 昭*
 Shunji Mori Hisaaki Kondô
 杉 本 光 昭* 渡 部 篤 美**
 Mitsuaki Sugimoto Atsumi Watanabe

要 旨

機械振興協会納め 125 kV, 300 A, 37.5 MW サイリスタ変換装置用制御保護装置は周波数変換用としての運転に必要なすべての制御, 保護機能を備えるものである。特にサイリスタ変換装置は過電圧, 過電流にきわめて敏感で, かつ多数の直列多段サイリスタより構成されているので, 従来の水銀整流器の場合とは異なった新しい制御保護方式が要求される。また超高压系統下で使用されるため制御性能の向上と信頼性の確保が特に必要である。このような必要性を満足することを念頭に設計製作された制御保護装置について述べる。

1. 緒 言

直流送電あるいは周波数変換, 異系統連系用の高圧交直流変換装置としては従来の水銀整流器に代わり, サイリスタ式のものの開発を世界各国で競っているが, その制御保護に関しても水銀整流器の場合と異なった新しい方式の開発が必要となる。日立製作所では電子技術総合研究所納め 10 kV, 50 kV サイリスタバルブ⁽¹⁾によりサイリスタバルブ制御保護の基礎を確立し, さらに電力中央研究所納め基礎研究用サイリスタ変換装置⁽²⁾および日立研究所の基礎研究用シミュレータおよび 10 kV Back To Back (以下 BTB と略称) 設備⁽³⁾によりサイリスタ変換装置制御保護上の問題点の予備検討を行ない今回の制御装置を完成させたものである。変換装置制御保護の基本となるのは順変換器と逆変換器の迅速な自動位相制御である。これらの点弧パルス位相操作あるいはゲートブロック (ゲートパルス OFF

のこと, 以下ブロックと略称), ゲートデブロック (ゲートパルス ON のこと, 以下デブロックと略称) はすべて ms オーダーの高速で行なわれ, 装置は IC を主体にして半導体素子により構成されている。また装置の動作レベルは 10V 程度と低レベルにあり, 変換装置主回路は直流 125 kV, 交流 275 kV と超高压であり, その間の信号授受上ノイズ, サージ, 絶縁などの問題が生ずるが, これらに対しても各種の電子応用技術を適用し, 解決した。装置の信頼度に関しては IC を積極的に採用し部品点数を大幅に縮減した。また部品選定を厳重に行なうとともに制御保護回路の多重化を図った。以下サイリスタ変換装置特有の制御保護方式を中心に述べる。

2. 制 御 方 式

図 1 は HVC 制御保護装置のブロック図を, 図 2 は外観を示したものである。本装置はサイリスタ変換装置の (1) 起動, 停止, 再

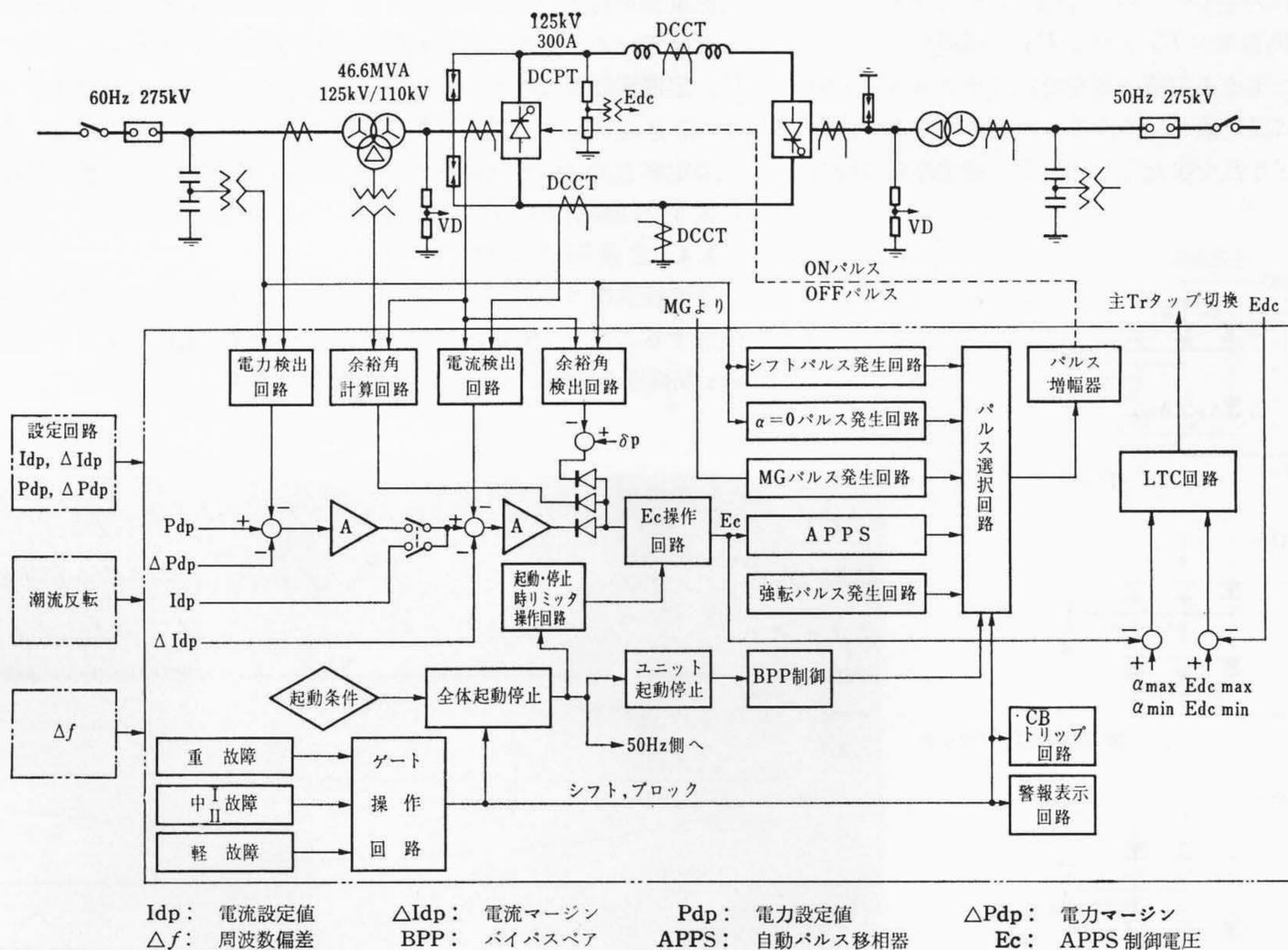


図 1 サイリスタ変換装置用制御保護装置ブロック図

* 日立製作所大みか工場
 ** 日立製作所日立研究所

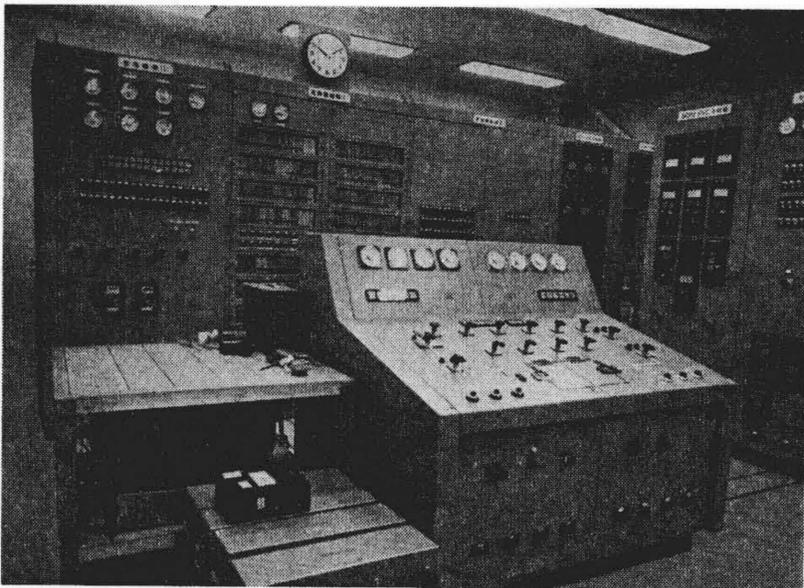


図2 サイリスタ変換装置用制御保護装置

起動, (2) 潮流反転, (3) 定電流, 定電力, (4) 定余裕角などの諸制御を円滑に行なわなくてはならない。

2.1 起動, 停止, 自動再起動

起動, 停止での特長はバイパスペア制御を行なっている点にある。これは実用時の12相運転を考慮した場合, 起動時に1アーム点弧が遅れると最悪時定格の4倍の過電圧がかかる恐れがあるためである。従来水銀整流器の起動時は逆弧時に負荷電流を移すために設置されるバイパスバルブによる起動停止方式が用いられてきた。しかしサイリスタの場合は逆弧がないのでバイパスバルブは不用となる。したがって起動, 停止には変換器の直列の2アームを使用してバイパスバルブと同様な機能を発揮させるバイパスペア制御方式を採用している。図3はバイパスペアによる起動時のサイリスタバルブの点弧順序を示したものである。起動指令と同時に順変換器, 逆変換器ともバイパスペアとして起動する((1)参照)。起動後まず順変換器側が U_P または U_N 相の点弧パルスに同期してデブロッキングする((2)参照)。その後, 逆変換器側が U_P または U_N と同期してデブロッキングする((3)参照)。また電流設定値は順変換器側デブロッキングと同時に10%から指数関数的に設定値まで上げるソフトスタートを行ない, 起動時の系統へのじょう乱を少なくしている。通常停止の場合

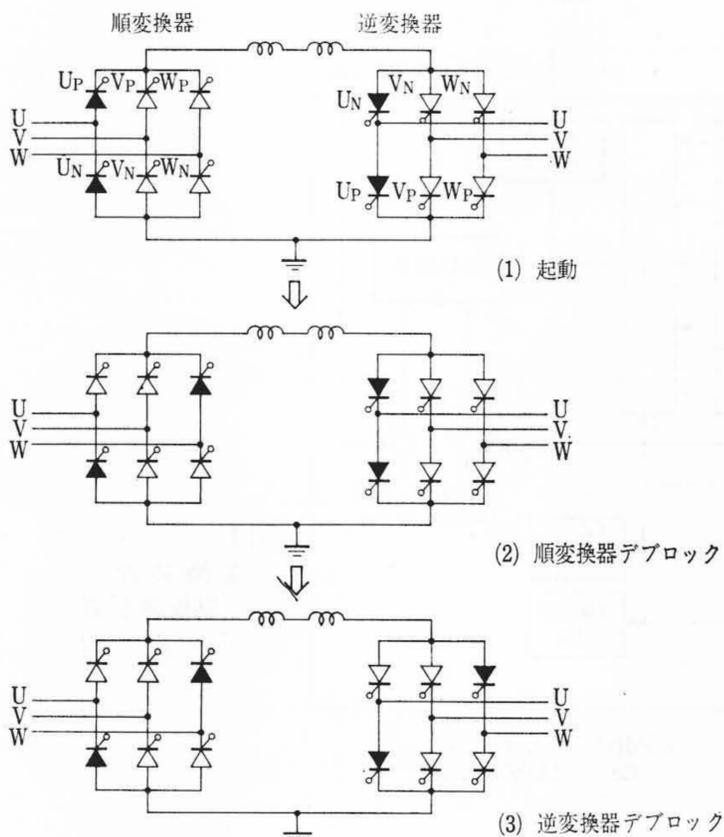


図3 バイパスペア起動方式

は上記と逆に, 電流設定値を指数関数的に減少させ10%の電流値でブロックする。緊急停止の場合は順, 逆変換器ともゲート制御角 α が $100\sim 130$ 度となるようにゲートパルスをシフトし(以下シフトと略称)急激に直流リアクトルに蓄積されたエネルギーを交流側に放出させ, ブロックする。自動再起動は交流送電系統における自動再閉路に相当するもので, 前述緊急停止一定時限後再起動するもので, バルブのブロック, デブロックのゲート操作のみで電力授受のON, OFFができる。今回の変換装置においては直流ギャップ放電ならびに転流失敗永続(3サイクル継続)時一時ブロックして故障を回復させ, 300ms後自動デブロックしている。図4は現地において測定した自動再起動のオシログラムである。

2.2 潮流反転制御

電力系統では需給上の必要から, 系統間を連系する地点では電力の潮流を反転させねばならぬ場合が多いが, 直流送電の特長の一つは変換器の位相制御により急速に潮流反転を行ないうる点にあり, したがって緊急応援時には特に有効である。定電力制御を行なう場合, 潮流反転を電力マージンにより行なっている。反転時間はマージン切換の一次遅れ回路の時定数により変更されるが, 反転途中での直流電圧が低下する時間が長いと直流電流を増加する方向に制御され, 直流電流変動が大きくなる。今回の変換装置の場合, 上記時定数は $150\sim 200$ ms, 反転時間は $200\sim 250$ msである。また緊急時応援の目的で外部潮流反転指令により自動的に潮流反転できるように考慮されている。潮流反転動作の良好なることは10kV BTB設備において実証されている⁽³⁾。

2.3 定電流, 定電力制御

サイリスタ変換装置において順変換器側は定電流または定電力, 逆変換器側は定余裕角制御を基本とする。電力は交流電力をホールコンバータにより検出する方式で, 電流制御ループの電流設定値を与える方式としている。電流検出は直流電流と交流電流の突合せ方式であり, 常時直流電流を検出し, アーム短絡のような異常時には交流電流を自動的に検出する方式⁽⁴⁾として異常時の電流抑制効果をもたせている。また定電力制御系で起動停止時は応答時間が遅いので, 定電流制御に無接点で切換えて定電流ループで起動停止する。このとき定電流と定電力両制御系の切換時のじょう乱を少なくするため定電力設定値が無接点で自動的に定電流制御の設定値に切換わるような回路構成になっている。

2.4 定余裕角制御

逆変換器側の余裕角を一定に保つことは力率をよく保ちかつ転流失敗することなく安定に運転するための必須の条件である。余裕角 δ と制御進み角 γ との間には X を転流リアクタンスとして

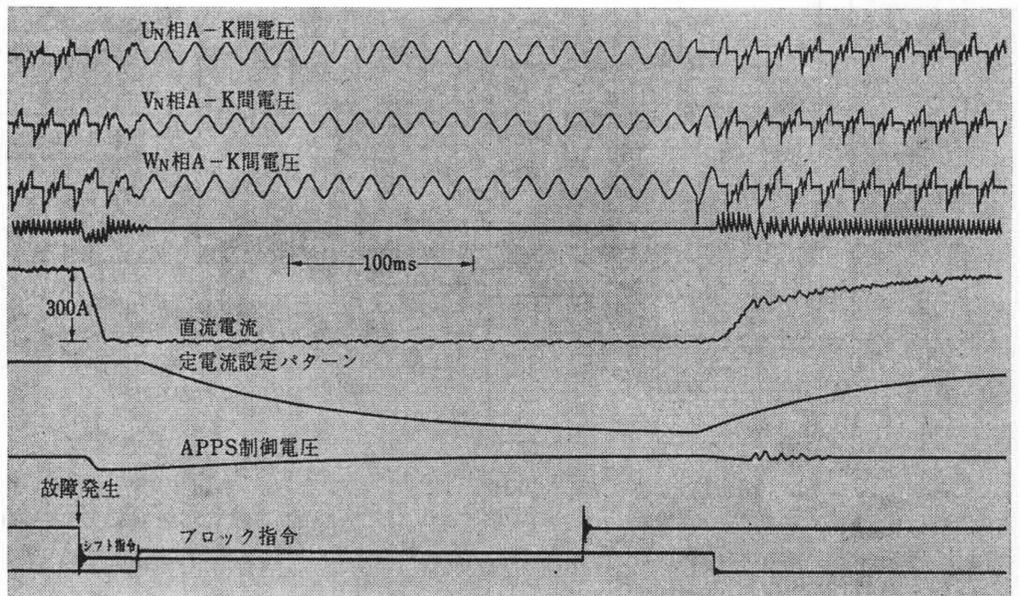


図4 自動再起動オシログラム

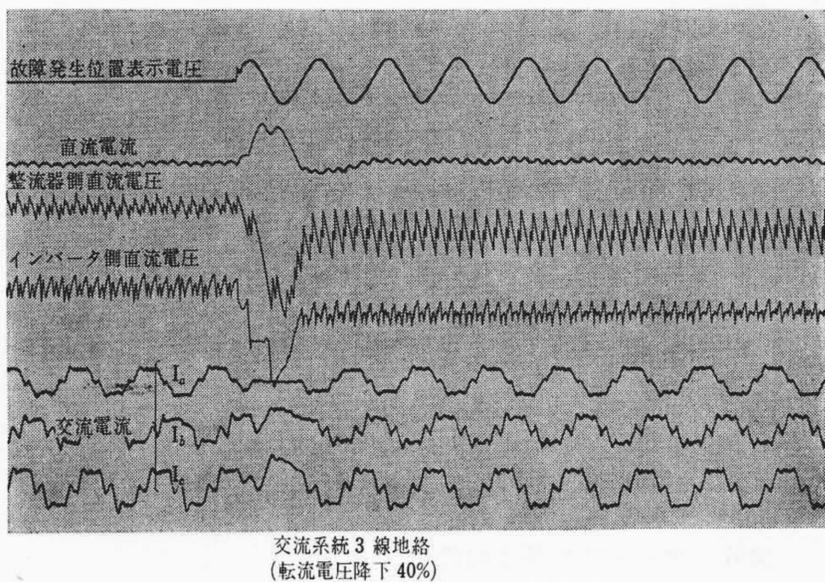


図5 交流系統3線地絡時オシログラム

$$\cos \delta = \cos \gamma + \frac{\sqrt{2} X I_d}{E_a}$$

ここに、 I_d : 直流電流
 E_a : 交流転流電圧

の関係式がある。したがって余裕角を一定に保つためには

- (1) 開ループ方式: 直流電流と交流電圧により余裕角が一定となるような γ を計算し点弧位相を決定する⁽³⁾。
- (2) 閉ループ方式: サイリスタバルブ電流と転流電圧とにより実際の余裕角を検出し閉ループ制御する⁽²⁾。

の2方式が考えられるが、本制御装置では上記2方式を併用し、開ループを常時の定余裕角制御に、閉ループをバックアップとして用いた。開ループ方式は転流電圧と直流電流による近似方式で、これに速応性をもたせ転流失敗を防止している。すなわち定常時は直流電流の変化に応じ余裕角 δ を一定に保つよう制御角 γ を制御し、交流系の故障時には転流電圧の低下に応じ急速に制御角 γ を進めてやる。この方式で交流電圧低下が10%以内であれば転流失敗なしで運転できるし、転流電圧が40%低下した場合でも1サイクル以内に転流失敗を回復して運転を継続できる。転流電圧は主変圧器の三次から検出されており、三相の転流電圧の最小値により動作し、1線地絡時の速応性を持っている。図5はシミュレータによる交流系3線地絡故障(電圧低下40%)時のオシログラムである。

3. 保護方式

サイリスタ変換装置は主変圧器、サイリスタバルブ、直流リアクトル、電圧電流変成器、避雷器などの各種機器より構成され、超高圧系統に接続される。したがって保護内容は系統保護から各種機器の保護まで多種多様にわたっている。また故障発生時にはきわめて迅速にかつ適当なゲート操作、しゃ断器開放などの処理が要求される。これに対してはリニアICなどの半導体素子を巧みに使うことにより各種故障の検出、必要なゲート操作を行ないサイリスタ変換装置の保護を行なっている。サイリスタ変換装置の保護項目は重故障、中I故障、中II故障、軽故障の四つに分類されており、それぞれの保護動作内容は表1に示すとおりである。故障発生時にはゲートシフトを行ない急激に直流電流を減衰させたのち、ゲートブロック、しゃ断器開放などの必要な保護動作をしている。以下サイリスタ変換装置に特有な保護を主体に説明する。

3.1 交流系統保護

3.1.1 保護方式

サイリスタ変換装置は既設佐久間周波数変換所(以下FCと略称)の連絡線にT分岐して連系されるため、3端子を構成する。このため交流系統保護方式は

表1 サイリスタ変換装置保護動作一覧表

		故障処理内容		保護項目例
重故障	(A)	自端	シフト→ブロック→CBトリップ→警報	パイロットワイヤリレー
		相手端	シフト→ブロック→CBトリップ→警報	主変圧器比率差動リレー
	(B)	自端	ブロック→CBトリップ→警報	アーム短絡
		相手端	シフト→ブロック→CBトリップ→警報	同期電源そう失
中故障 I	自端	シフト→ブロック→警報	過電圧1段	
	相手端	シフト→ブロック→警報	サイリスタバルブ冷却水断水	
中故障 II*	自端	シフト→ブロック→自動再起動→警報	直流ギャップ放電	
	相手端	シフト→ブロック→自動再起動→警報	転流失敗永続	
軽故障	自端	アラーム	転流失敗1回	
	相手端	アラーム	直流接地過電流一段	

- (1) サイリスタ変換装置事故ではサイリスタ分岐線しゃ断器を優先トリップさせ、FC連絡線しゃ断器はトリップさせない。
- (2) FC連絡線、サイリスタ変換装置分岐線の事故ではFC、サイリスタ変換装置を転送ブロックさせる。
- (3) FCの事故ではサイリスタ分岐線しゃ断器を転送トリップさせるような動作特性をもたせる。

このため (1) 分岐線の3端子各相比較パイロットワイヤリレー保護 (2) サイリスタ変換装置側短絡事故(平衡, 不平衡)に過電流リレー(51), モー距離リレー(44s)保護 (3) サイリスタ変換装置側地絡事故に方向距離リレー(44G)保護を行なっている。

3.1.2 パイロットワイヤリレーの検討

今回パイロットワイヤリレーを適用するうえで従来と異なる点は常時リレーに流れる電流が正弦波でなく、120度間隔の台形波であり、またサイリスタ変換装置、FCの転流失敗などの故障時あるいは起動、停止、潮流反転時に過渡電流が流れる点であるが、これらに対して適用リレーが正常な動作をすることをシミュレータと組み合わせ、静特性、動特性を測定、確認して適用した。

3.2 交流回路保護

交流回路の保護としては過電圧、過電流、主変圧器の比率差動保護方式など従来の交流機器保護と大差ないが、保護リレー適用にあたっては電圧、電流に含まれる高調波による影響を検討する必要がある。本変換装置においては高調波による影響の少ない半導体リレーを主体に適用し、さらに必要なものには基本周波共振形リレーを開発した。そのほか特殊保護項目としてインバータ負荷しゃ断保護とフロート中接地保護がある。

インバータ動作中負荷側が開放すると、インバータ電力はすべてフィルタに流れ込み交流側電圧が異常に上昇する。これを防ぐのがインバータ負荷しゃ断保護で、次の保護を行なっている。

- (1) FC連絡線しゃ断器トリップ時はトリップ指令と同時にサイリスタ変換装置に転送ブロック、転送トリップ指令を送る。
- (2) IC化保護装置により異常電圧を高速に検出し、サイリスタ変換装置をシフト、ブロック、トリップする。
- (3) 遠方接地時遠方しゃ断器開放によるインバータ負荷しゃ断防止のため、遠方接地検出をIC化保護装置により主変圧器一次中性点電流を検出し、サイリスタ変換装置をシフト、ブロック、トリップしている。

フロート中接地リレーは主変圧器二次からサイリスタバルブまでの間での接地事故をフロート中(サイリスタバルブブロック中)検出

している。これはデブロックと同時にアーム短絡になるのを未然に防止するとともに主回路絶縁劣化を防ぐもので、三相分の分圧器の電圧により零相電圧を検出、動作させている。

3.3 サイリスタバルブ保護

サイリスタバルブ保護としては過電流保護のほか、バルブ電流断続保護のための低電流保護、余裕角不足時の強制転失保護、ゲート異常、素子故障などのバルブ内部故障保護、そのほか補機関係の故障など多種多様にわたっている。以下代表的な保護項目について述べる。

3.3.1 過電流保護

バルブに過電流が流れる故障を大別すると

- (1) アーム短絡, 直流出口端短絡
- (2) 直流短絡
- (3) 定電流制御系故障

に分類できる。直流出口端短絡の場合はせん頭値で約10倍の過電流が流れる。直流短絡は直流リアクトル後の線路での絶縁破壊あるいは逆変換器側の転流失敗によるものである。相手端転流失敗時は定電流制御回路が正常に動作している場合には1サイクル以内に正常値に戻り、そのピーク値も2倍以下である。またこのとき転流失敗も回復するので保護回路はいっさい動作してはならない。定電流制御系が動作しないときは約5倍の電流まで増加する。5倍に達するまでの時間は約30msである。定電流制御系故障時は α がリミット値10度になるおそれがあり、110~130%の連続電流が流れる可能性がある。これら過電流故障に対するそれぞれの保護内容は以下のようなものである。

- (1) アーム短絡, 直流出口端短絡(51DA): 交流電流 $1.5 I_N$ 以上, 直流電流 $1.3 I_N$ 以下を2msで検出, 自端ブロック, 相手端シフト後ブロックし4サイクル後にしゃ断器を開放する。ブロック失敗時は順電圧分担対策として $\alpha=0$ パルスを与える。
- (2) 直流短絡(51DL): 交流電流 $3.0 I_N$ 以上を検出, 自端, 相手端ともシフト, ブロック操作, しゃ断器開放している。
- (3) 直流過電流(76D): $1.1 I_N$ で200ms, $3 I_N$ で40msの反時限, 定時限特性のリレーにより検出, 自端, 相手端ともシフト, ブロック操作, しゃ断器開放している。
- (4) 瞬時転流失敗(CFD₁): 交流側電流と転流電圧の位相関係をパルスにより検出, 警報している。
- (5) 転流失敗継続(CFD₂): 変圧器巻線を通しての転流失敗は上記パルスをカウントし, サイリスタバルブバイパスペアを通しての転流失敗は直流電流 $0.15 I_N$ 以上, 交流電流 $0.05 I_N$ 以下35ms連続で検出し, シフトブロック後自動再起動している。

3.3.2 強制転流失敗保護

サイリスタバルブは三相ブリッジの1アームに192個のサイリスタが直列に接続しており, 余裕角が不足するとサイリスタターンオフ時間のばらつきにより多数のサイリスタのうちの一部だけがターンオフし, アーム全体の電圧がこのターンオフしたサイリスタに加わることにより, バルブを破壊することがある。これを防ぐため余裕角が不足した場合, 再び点弧パルスを印加し強制的に転流失敗させて保護する回路を設けている。転流失敗の発生するケースとしては二つの場合が考えられる。一つは通常の余裕角不足でバルブアノード・カソード間(以下A-K間と略称)の逆電圧期間が短くなり, 余裕角が不足するケースである。もう一つは60度後の他相転流の影響を受けるもので, 急激な自動パルス

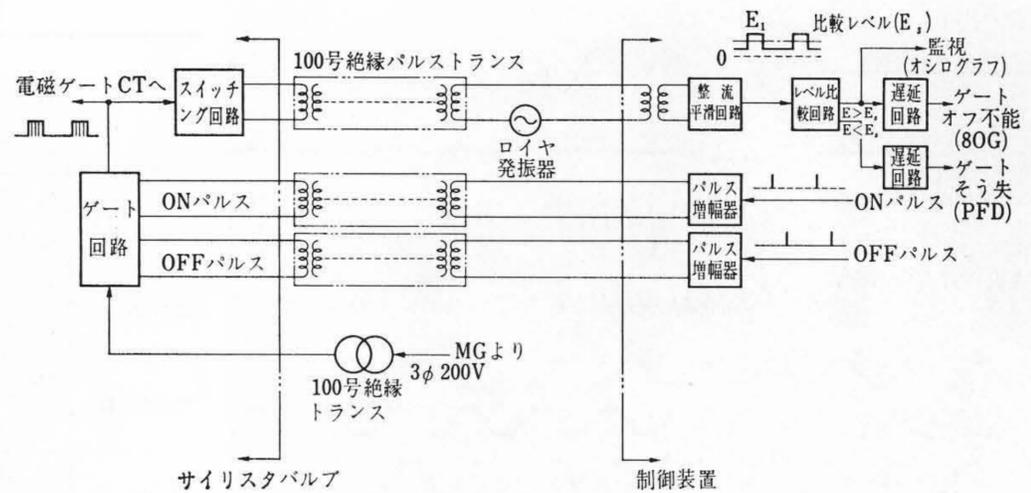


図6 ゲート監視保護回路ブロック図

移相器(以下APPSと略称)の制御電圧の変化あるいはシフト操作のときに生ずる。これらのいずれの場合も強制転失回路は動作するものでなくてはならないが, 前者はサイリスタバルブの本質的な保護内容であり, またバルブA-K間電圧の不必要な伝送によるトラブルを避け動作の信頼度を上げるためバルブ内部にて自己保護している。後者に関しては低圧制御装置より制御結果としてバルブに送られる点弧パルス位相により生ずる問題であるため制御装置側で処理している。すなわち制御装置からのパルスで60度後の相の点弧パルスが電流が零になってから500 μ s以内にはいったら転流失敗パルスを出す方式である。また不必要な動作を防止するため, APPS制御電圧 $\gamma < 90$ 度あるいはシフト動作中を条件にしている⁽⁵⁾。

3.3.3 サイリスタバルブ内部監視保護

サイリスタバルブを運転するうえで重要なことはサイリスタバルブと制御装置が常に有機的に結合され, バルブ内部の状態を制御装置側で監視できること, バルブ内部異常時はすみやかに検出し必要な保護動作を行なわせる点にある。特に高圧側バルブは高い絶縁レベル(100号絶縁)にあり, 信号伝送上注意が必要である。監視項目としてバルブA-K間波形を交流側分圧器により, 直流側電圧波形を直流側分圧器により, ゲート信号をゲート監視回路により監視できるよう考慮している。保護としては素子故障(71D), ゲートオフ不能(80G), ゲート喪失(PFD), 素子温度上昇(26S)がある。以下代表例としてゲート監視保護回路について述べる。

図6はゲート監視保護回路のブロック図である。サイリスタバルブのゲート信号としては120度の広幅パルスを用いており, 平常時は制御装置からのONパルス, OFFパルスによりパルス発振期間を決定している。異常時にはバルブ内部で強制転失回路, 逆電圧パルスカット回路で必要なパルス幅操作を行なっている。これらのゲート回路出力パルスは電磁ゲート変流器により各サイリスタのゲートをトリガするとともにゲート監視用の絶縁パルス変圧器二次を開閉する。パルス変圧器一次には10kHzのロイヤ発振器を設置し制御装置の整流平滑回路およびレベル比較回路を通った出力にバルブゲート信号と相似の信号がえられる。また高レベル, 低レベルの期間を検出することにより80G, PFD保護を行なっている⁽⁶⁾。

3.4 直流回路保護

直流回路の保護としては直流低電圧, 過電圧, サイリスタバルブ欠相時の50Hz, 60Hz侵入保護があるが直流側事故のうち最もひん度の高いのは直流接地事故, 直流ギャップ放電である。この接地保護の特殊性は接地事故時の接地電流の大きさが電流マージンによって左右される点である。すなわち直流回路で接地事故が生ずると過渡的には大きな接地電流が流れるが, 逆変換器側も定電流動作が働

き、最終的には電流マージン分しか流れない。図7は定電流 30 A で運転時接地事故が発生したときの故障電流を示したものである。直流ギャップ放電(76G)時は 5 ms で検出, 直流接地継電器 64D₁, 64D₂ をインターロックするとともに両変換器をシフト, ブロックしギャップ放電を回復させ, 300 ms 後自動再起動させる。直流接地二段 (64D₂) は 45 A を検出, 直流接地事故時重故障処理するとともに直流ギャップ放電の後備保護を兼ねる。直流接地二段の後備として直流接地一段 (64D₁) を設置, 警報のみとする。

4. 制御装置構成上の特長

制御装置構成上最も留意した点は本装置が超高圧系統下で使用されるため制御性能の向上と高信頼性の確保が特に要求される点であり, そのため各種の新技术を開発, 適用した。以下代表例を示す。

4.1 直線性 APPS の開発

制御回路の心臓部である APPS としては直線性 APPS を開発適用した。これはサイリスタバルブの点弧位相のばらつきが変圧器の直流偏磁あるいは異常高調波発生の原因となるため特に点弧角のそろったパルスを提供する必要がある。制御性の良さを点からである。特に制御性の良さは起動停止時の α , r リミッタ操作あるいは変圧器タップによる α 制御がすべて APPS の制御電圧により行なわれることから要求される。APPS はリニア IC を主体に構成され, 制御電圧に比例した点弧位相のパルスが得られる。特性は 0~40°C において直線性を $\pm 0.1\%$ 以下, 6 相分 APPS の点弧位相のばらつきを ± 0.5 度におさめることが必要で, これを達成することができた。

4.2 IC 化高速保護装置の開発

サイリスタ変換装置保護としては数 ms~数十 ms の高速で故障を検出, 保護する必要があるため IC 化高速保護装置を開発した。本装置は反限時定限時形保護装置で, 限時は 0.1~200 ms, 高レベル検出用と低レベル検出用の 2 種類がある。1 台で 6 入力を有し, 高レベル検出用は 6 入力の最大値で, 低レベル検出用は最小値で動作する。したがって過電流はバルブ 6 相分に対して 1 台, 低電圧は 3 相分に対して 1 台でよく経済的な構成ができる。出力はトランジスタ出力と電磁リレー接点の異種 2 出力で, 保護シーケンスの二重化が図られている。

4.3 高信頼度化

制御装置は多くの電子部品より構成されるため高信頼度化に留意する必要があり特に下記を考慮した。

- (1) MTBF (平均故障間隔) 向上対策として IC を採用, 部品点数を大幅に縮減するとともに定格に対して部品使用率を低減して使用した。また部品使用前に電気ストレス, 温度ストレスを加えて部品選別を行ない, さらに制御保護回路の多重化を徹底した。
- (2) MDT (平均故障時間) 短縮のため装置をユニット化し点検が容易なるよう考慮した。また故障項目を 85 項目に細分化した。バルブでは 6 バルブのうちいずれか, 交流系である三相分のいずれかを表示し故障内容を細かく判明するよう考慮した。またおのおの細分化された故障項目別に点検ステップを示す点検手順図を詳細に作成した。

4.4 インパルス, サージ対策

制御装置は半導体を主体で構成されるため, ノイズで誤動作しないこと, 外来サージ, インパルスで破壊しないことが必要である。特にサイリスタ変換装置との信号のやりとりは計器用変圧器, 変流器類, パルストランスなど電磁変成器を主体に構成されており, その浮遊容量を通しての移行サージがあり, またサイリスタバルブが高調波を発生するので, 制御装置の設置環境としては条件の悪いものであるが, これらに対して最適な布線方式, 回路構成, 信号レベ

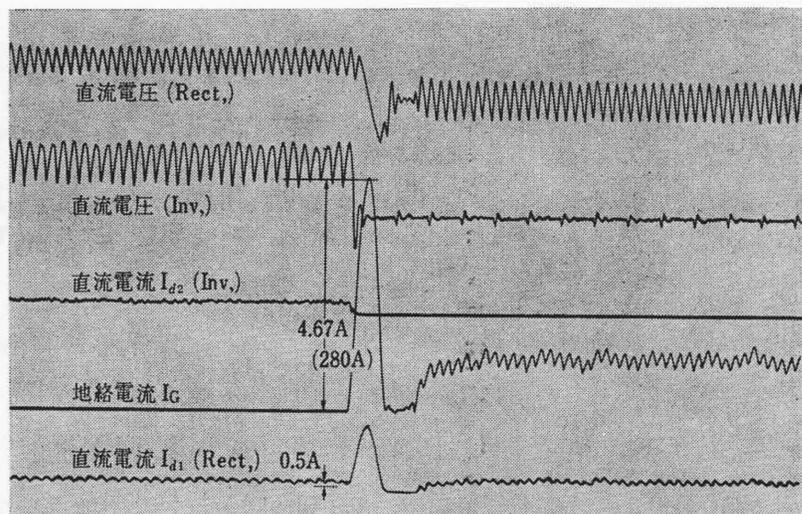


図7 直流地絡発生時オシログラム

ル選定を行ない, その効果を現地におけるインパルス試験, 275 kV 側シャ断器開閉試験によりじゅうぶん確認した。

5. サイリスタ変換装置の運転, 操作

サイリスタ変換装置の運転方法には一人制御方式を採用, 監視室の制御操作デスクから容易にサイリスタ変換装置の監視制御が行なうことができる。以下おもな特長を述べる。

- (1) 275 kV ABB 開閉, 起動, 停止, 潮流反転など必要な操作はすべて操作デスクで行なうよう考慮した。またシステムを模擬シンボル化するとともにバルブのブロック, デブロック状態をシンボル照光表示している。
- (2) サイリスタバルブの運転状態が監視室で容易に監視できるよう考慮している。たとえば余裕角, 制御角メータを取り付け, またゲート監視回路によりゲートの監視が可能である。
- (3) 補機運転は監視室の主操作開閉器の動作によりすべて順次起動停止が可能である。
- (4) 補機電源は主回路と別系統になっており, 1 秒瞬断時も支障なくサイリスタ変換装置の運転が継続できるよう考慮されている。特に MG はゲート電源として重要であるため, クレーマー方式とし, 直流電動機界磁, 交流発電機界磁をサイリスタにより高速制御し, フライホイールと相まって, 1 秒瞬断時にも過酷な電源出力仕様を満足している。また冷却ファンは起動電流が大となるため 1.5 秒間隔で順次起動し, 補機電源の電圧低下を防止している。

6. 結 言

周波数変換あるいは直流送電用の交直流変換装置としてサイリスタの適用は世界的すう勢にあり, その制御保護装置としてもサイリスタ特有の新しい制御保護方式の開発, 装置の高信頼度化など種々の問題があるが, 今回開発した装置によりほぼ解決できるものと期待している。この成果に関しては今後の運転実績により確認していきたい。

終わりにのぞみ装置完成のため終始ご指導いただいた機械振興協会, 超高圧電力研究所, 電源開発株式会社, 電力中央研究所, 電子技術総合研究所のかたがたをはじめ, 関係各位に深く謝意を表す次第である。

参 考 文 献

- (1) 十河ほか 3 名: 10 kV サイリスタ変換装置の運転信頼度に関する研究 電気試験所研究報告第 697 号 (昭 44-1)
- (2) 基礎研究用サイリスタ変換装置の仕様に関する調査研究 技術研究所研究報告 No. 69011 (昭 44-8)
- (3) 高林ほか 4 名: 日立評論 52, 487 (昭 45-6)
- (4) 特許出願中
- (5) 特許出願中
- (6) 特許出願中