

搬送式線路保護装置の發達に就て*

富士電機 製作部 中 島 吉 雄

内 容 梗 概

搬送式線路保護装置が如何なる要求により出現したか、選擇能力その他具備すべき諸條件を如何に選ぶべきか及び實地試験及び分析的試験が如何に必要であるかの三點に就き意見を述べてゐる。

I 高速度選擇遮斷の必要性

近時諸方面に於て大水力地點を開發してその電力を産業中心地に送るとか、既設發電設備の運轉を合理化して資源の利用率を増大する等の目的で大電力を長距離輸送する必要を生じ、現に着々その計畫の實現を見てゐる。輸送電力は簡単に二機の場合を採れば、

$$P_R = \frac{E_S E_R}{X} \sin \psi$$

但し E_S ……送電端起電力

E_R ……受電端起電力

X ……線路及び両端機器リアクタンス

ψ ……兩端起電力のなす相差角

であるから E_S 及び E_R を一定とすれば電力が大となる事は ψ を増す事であり、又距離が長くなる事も線路定數及び回路數を同一とすれば線路リアクタンスを増す事でやはり ψ を増す事になる。 ψ が増大して一定の限度(定態安定極限角)を超えれば兩端起電力は同期化力を失ひ最早運轉を繼續し得ないのであるが、それ以下であつても回路状態の起り得べき急激な變化により兩端起電力間に動搖を生じた場合に一時的にでも上記の一定限度を超え得る様な角度に於ては安定に運轉し得るとは云ひ得ない。之を考慮に入れた場合の安定に運轉し得る限度が過渡安定極限角で、之は運轉條件によつて變化し得る事は明かである。即ち大電力を長距離輸送するには常時運轉状態に於ける ψ を減少せしむべく種々考慮されるが、之のみでは充分でなく尙過渡安定度の云々される現状であり、更に ψ の變動を小ならしめる事及び ψ の變動の加速度を小ならしめる事が考慮せられてゐる。

常態安定度及び過渡安定度を増大すべき方策は理

的には非常に數多く考へ得るが一利一害があり又は經濟的理由により實現困難なものも少くない。又技術的に有効な方法に於ても主として經濟的にある限度があり、又他の部分との振り合ひも考へなければ有効と云ひ得ない。先づ兩端同期機の起電力を上昇せしめる事は有効であるが機器内部の絶縁が困難で、現在に於ては大容量機に於て 11 kV より 16.5 kV に進んだ程度であまり多く期待し得ず、又線路の數を増す事は非常に費用を要し且つ充電電流を増大するので先づ運轉の連續性を確保する爲二回線とするに止まる。送電電壓を上昇するのは有効な手段で、線間距離の増大と電線の直徑の増大とは略々打消し合ふが發電機電壓から見た線路の等價インピーダンスは非常に減少し得る。之と同時に兩端は接續される機器のインピーダンスが問題となり、變壓器漏洩インピーダンスの減少、發電機短絡比の増大が希望されるが、高壓大容量機器に於ては非常に高價になるので中々充分には行はれない。現在の情勢では送電電壓が相當上昇したが兩端同期機のインピーダンスが必ずしも之に伴はぬ爲、全回路インピーダンス中に於いて兩端機器のインピーダンスの占める割合が増大し、兩端機器がこのままでは送電電壓のこの上の上昇も、回線の増加も、途中開閉所の増大もあまり有効でない様に見える状態に立到つて居るが、而も過渡安定度は充分とは云ひ得ず回路の動搖時に對する方策が必要となつてゐる。送電線の途中に同期機を置いて電壓を維持するバウムの方式も一般には實現困難であり、系統聯繫も直列進相機も超高壓系統に於ては將來の問題である。速應勵磁は有効な手段と云ひ得るが、二線接地、二線短絡の如く正相分を吸收

* On the Progress of Carrier Current L

Device

する故障に対しては餘り有効とは云ひ得ない。

然るに故障發生時に速かにその故障區間を選出除去し、動搖を最小限度に抑制して送電の繼續を計る方法は、故障區間を切離すと全停電になる様な簡単な系統は別として一般的な並行二回線送電區間又は放射狀、環狀、網狀送電系統に於て先づ如何なる種類の故障に對しても有効な手段と考へられる。この方法は値段の高い主要機器に手を觸れず、繼電器と遮斷器との組合せで實現し得るので、近來この要求が強くなつて來た。但し之は故障發生による第一回の動搖の初期に故障區間を選出除去する事を必要とし、第一動搖の末期で遮斷すると反つて動搖を大にする虞があり、第一動搖が通常最大である爲それ以後に遮斷する事は無意味である。即ち相當高速度なる事を要し一方遮斷器の遮斷容量も増大しなければならない。

II 搬送式線路保護装置の出現

選擇遮斷は選擇部分と遮斷部分とに分けられる。遮斷部分は補助繼電器、遮斷器開極及び電弧消滅等より成り遮斷器は高電壓大容量となるに従つて可動部分が大きくなり開極時間の短縮は相當困難ながらこの要求により可成り縮少せられ、電弧時間も膨脹遮斷器等の現出により非常に短縮せられた。但し選擇部分たる繼電器は高感度、高速度なる要求の爲その接點が小さくなるに反し、遮斷器は高速度遮斷の要求を充すべく釋放線輪は大きくなる傾向にあるので、場合に依てはこの間の連絡として補助繼電器を必要とし、その動作時間だけ全動作時間が延びる結果となる事に注目し全體の動作時間の割當てを適正ならしめる必要がある。

選擇部分の動作を高速度ならしめるには、各區間の端に於てその區間内の故障を直に發見し得る選擇能力の優れた方式を採用する事と各使用繼電器の動作時間を短縮する事を必要とする。保護區間内に於ける故障點の位置に拘らず動作時間が大體一樣に高速度化し得る方式は差電流方式と方向比較方式とである。差電流方式は通常變壓器、回轉機の巻線保護に用ひられてゐる方式であるが、回路電流を直接比較するため各端間が相當の距離にある場合には適しない。方向比較方

式は各端に於ける故障電流の方向を線路電壓をパラメーターとして間接に比較する方式で各端間に距離がある場合に適する。例へば之を二端又は數端を有する一線路區間に應用するには、先づ各端に故障電流の發生を知る繼電器とその方向を知る繼電器とを設け、すべての端に於ける故障電流が區間内に向く時は區間内の故障である事を知り、少く共一端に於て故障電流が區間より流出する時は區間外の故障であるとするもので、各端間には各端の測定した結果を交換する必要上連絡手段を設けねばならない。この手段として送電線自體を傳送路とする搬送電流を用ひる事によりこの方式が實用化せられたのである。搬送式保護装置はかくして登場したもので各端に故障有無檢出装置、故障方向檢出装置、搬送電流による信號の送受装置及び線路との結合装置等を必要とする。一區間づつが他區間の如何に關せず獨立した能力を有するから、如何なる複雑した系統にも用ひられる。信號は單に其の端に於て故障電流が區間内に向つてゐるか否かを示すもので、一端よりは簡単な一種類の信號を出し得ればよい。

搬送式線路保護装置は從來の保護装置と同様保護區間内の故障を發見してその區間を遮斷し系統内の機器を保護し、故障點の被害を軽減し又負荷に與へる影響を極限するものではあるが、動作が高速度である爲にこの能力は非常に増大してゐる。然しながら斯る消極的能力に止らず、本装置はその高速度選擇遮斷能力により系統の過渡安定度を増大し、送電容量を大ならしめると云ふ積極的意味を有する保護装置である。即ち軍備は一旦緩急ある時役立つべきものではあるが、軍備が充實して居れば平時に於てもその無言の威力に物言はして強力外交を遂行し得るのと一般である。

III 方式上の必要條件

搬送式線路保護装置は米國に於て發達し相當の普及を見、歐洲は研究に着手して10年になるもあまり實施例がない。これはその環境の然らしむるもので直接接地、長距離送電線の多い米國に於て必要が之を生ましめたものである。然しながら之等を見るにその多くは比

と云ふ程でなく、而も方式を制限すべき法規實狀その他の條件も相當餘裕がある様で、これをその儘我が國に移すのは種々の點に於て問題が多いので全く新しい立場から我が國の國情に適すると思はれる方式を考案して見た。未だ實施した經驗なく従來の部分的の經驗と滿洲に於ける實地試験の結果により大體の程度を知り得たと云ふ位で獨斷に陥つてゐる點も間違つて居る點も多い事と思はれるが、之は各方面の御指導と今後の經驗により次第に是正したいと考へる。我々が方式選定に際し考慮した主要點は次の如くである。

1) 送電の實情より見て停電は甚だ嫌惡せらるべきもの故、誤遮斷を極力避ける事。殊に搬送電流送受信装置は相當繊細なもの故、例へばその中の抵抗一本の斷線に氣付かないで居た爲遮斷すべからざる線を遮斷する可能性あるが如き方式は絶対に避ける事。

2) 高速度選擇遮斷は理論上速い程過渡安定度を増大する故、繼電器相互間の時間的動作關係を以て選擇を行ふが如き方式を避け、各個の繼電器を夫々の特性上如何に高速度ならしめても誤動作の虞なき方式を採用し、迅速と確實を兩立せしめる事。但し妨害電流の影響を避ける爲僅少の時延を必要とする事もある。

3) 搬送電流が送電線に發生した故障によりその傳送回路を短絡されて他端へ到達しないと云ふ事と、送電線に發生した故障自體或はその附隨現象により生じた廣い周波數帯域の高周波電流の一部が濾波器を通過して受信せられ他端より信號が発せられないにも拘らず之を他端よりの信號と誤認する事は對蹠的性質を有するが、大體に於て前者は程度の問題であり後者は致命的缺點となり得るから後者が誤動作とならざる方式を選び、前者に對しても適當な處置を講ずべきである。故障に依つて生ずる高周波妨害電流はその種々の成因により非常に多くの任意の周波數の電流の任意の量を任意の割合に含んで居るから、之と同時に他端が発信して居るかどうかを判定する事は妨害電流に比して信號電流の出力を大にする事が最も容易な方法であつて、信號周波數以外の周波數が存在するから信號が出てゐないとも云へないし、信號周波數以外のある特定

周波數が存在しないから妨害電流に非ずとも斷定し得ない。信號の對雜音比を大にする事は安全ではあるが絶對的に確實とは云ひ得ないのであつて、前述の如く方式の選擇によつて更に確實化せしめ得る筈である。

4) 日本及び滿洲に於て電話をも含む電力線搬送方式に對し許可せられるであらうと考へられる周波數帯域は比較的狭小であり、一方その使用目的は電話の外に線路保護及び近い將來に必ず要求せらるべきものとして更に遠隔測定及び遠隔制御があり、而も線路保護は一區間毎に少く共一種類以上の信號を必要とし又附近の區間からの漏洩によつて誤動作する事を絶対に避けねばならないから、少しく複雑な系統とか他系統が同一變電所内等に隣接して居る場合等には使用周波數帯域が直に不足するであらうと考へられる。その上送電線は周波數に對する線路損失の變化が非常に大きいから使ひ得ない帯域もあらうし、監督官廳に於て整理上端數の付いた周波數は許可せられないとも考へられる。他装置用の周波數帯域を故障發生時のみ保護装置に切換へ使用する事も考へられるが、一般に全系統の各端に於て系統内の故障發生を検出する事は案外簡單には行かぬものである。これ等は相當未知の項を含むが一旦設置すると變更が中々困難であるから、最初から之に對し充分な方策を立てて置く必要がある。

5) 搬送式保護装置は前にも述べた如く積極的保護装置として重大な意義を有するものであり、一方傳送路たる送電線は元來傳送路のために作られたものでなく接續により又は外界の影響により高周波特性はある程度變化すべく、又搬送電流による信號送受信装置は比較的繊細で保守も充分な注意を必要とするから、常時これ等を監視する方策を立てるとか、注意すべき部分全體の動作を簡単に試験し得るとかしなければ安心してこの重大任務を委ねるわけには行かない。之を行ふためにある程度の損失は忍ぶべきであると考へる。

IV 實地試験の必要性

本保護装置の指導原理とも云ふべき根本的方式は富士電機に於て立案し、各部分の専門的計畫、設計及び製作は富士電機が選擇繼電器部分及び遮斷器との連

絡、富士通信機が搬送式送受信装置一式、古河電氣工業が結合蓄電器と云ふ様に姉妹會社が夫々得意とする部分を密接なる技術的連繫の下に行つたもので、各社に於てはその分擔部分自體又は類似品に付いては夫々相當の經驗を有して居り、装置自體の動作に對しては何等懸念は無いが、何分にも本装置が送電系統に於ける故障發生直後の動搖状態に於て完全なる動作を必要として居るにも拘らず、その動作すべき0.5乃至3サイクルの範圍に於て故障自體又は之に附隨する現象が商用周波數を含む各種周波數帶域に於て又時間的關係に於て如何なる程度の影響を生ずるかは、未だ充分なる研究の行はれて居らないので、本装置各部の調整値を決定する爲には使用状態に於て實際の故障又は實際とある程度同等と認められる方法による故障を生ぜしめその綜合的影響を検する實地試験と、實際に生ずべき諸現象を分析的に模擬して生ぜしめその影響を検する分析的試験とを必要とする。而も之は各種の條件が錯雜して居る爲なるべく組織的に出来るだけ多くの回数行はなければ適確な判断は下し難く、唯數回の試験を以て云々するは甚だ早計と云はなければならぬ。

然しながら送電線なるものは故障發生の可能性を有し、又實際にも屢々發生して居るにも拘らず、之を故意に發生せしめる事はそれにより生ずべき被害及び及ぼすべき影響に對し保證を得る事が困難であるので何れの方面に於ても希望せられないが、本装置が送電計畫上重要な意義を有する積極的保護装置である點に鑑み、その確實なる動作を期する調整の根據を得べき前記の試験を各方面に於て決行せられん事を熱望すると共に、各方面の試験結果は出来るだけ互に提供して實施回数不足を補ひ斯界の發達に資したいと思ふ。

V 結 言

滿洲電業株式會社に於て目下建設されつつある鴨綠江水豐發電所より鞍山に至る、及び安東を経て大連に至る220 kV 全系統及び西部に於ける阜新火力發電所より鞍山、營口、錦西に至る西部145 kV 系統に於て合計13區間26端分を昭和13年秋富士電機に於て受註し、目下鋭意製作中であるが、本装置は東洋に於て初

めて實施せらるべき過渡安定度増大を目的とする保護装置である故に、既に述べた如き各種のデータを得る爲と、全體としての動作狀況を検する爲、營業運轉に使用されてゐる154 kV と云ふ高電壓の送電系統に於て數回の二線短絡及び二線接地その他を故意に發生せしめる實地試験を敢行せられた。既に述べられた如く昭和14年2月5日より10日までの間に鞍山及び渾河變電所に設置した本装置に對し鞍山變電所の出口に於て一線接地4回二線短絡及び二線接地計4回を行ひ大體に於て所期の成績を得た。今回の試験の結果は運轉状態に於ける動作としては充分とは云ひ得ないが、之は各部の調整値を得る事を目的とした試験であるが爲である。例へば妨害波の大きさが不明である爲兩端に於ける受信器の感度を變へ少く共一方は完全に受信し得べくした。本装置は別文に於て述べる如く各端の動作が獨立して進行するため一方の動作のみにて全體の動作状態が推察出来るからかくの如く感度を變へても差支へないのであつて、實驗の結果によれば鞍山側の感度が適當であつて、渾河側は感度が過敏であつた爲他端よりの信號を待たずその區間内に發生した故障自身の發する妨害波によつて早期動作したのもある。他區間が誤動作したかどうかは他區間に装置が無かつた爲判明しない。之は他の機會に鮮明する心要がある。

今回行はれた實地試験は空前とは云ひ得ざるも、世界に於ても稀に見る大膽な實驗であつて、かかる大試験を實現せしめられ又無事に完了せしめられた滿洲電業は勿論滿洲國監督官廳、南滿洲鐵道、昭和製鋼、滿洲電信電話諸會社の各位と、本試験の實施計畫立案に當られた滿洲超高壓専門委員會及び遼省電氣試験所の各位に滿腔の敬意と感謝を捧げると共に殆んど會社を擧げて熱心なる協力、授助を與へられたる富士工廠新居專務以下の方々、本實驗の遂行に努力せられた富士電機、富士通信機及び古河電氣工業の關係各位に謝意を表するものである。尙富士電機前田技術課長、小川第二試験係長、第二設計課相馬氏以下の方々には全試験期間を通じて一方ならぬ御指導御援助を賜つた事を記し併せて謝意を表するものである。



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。