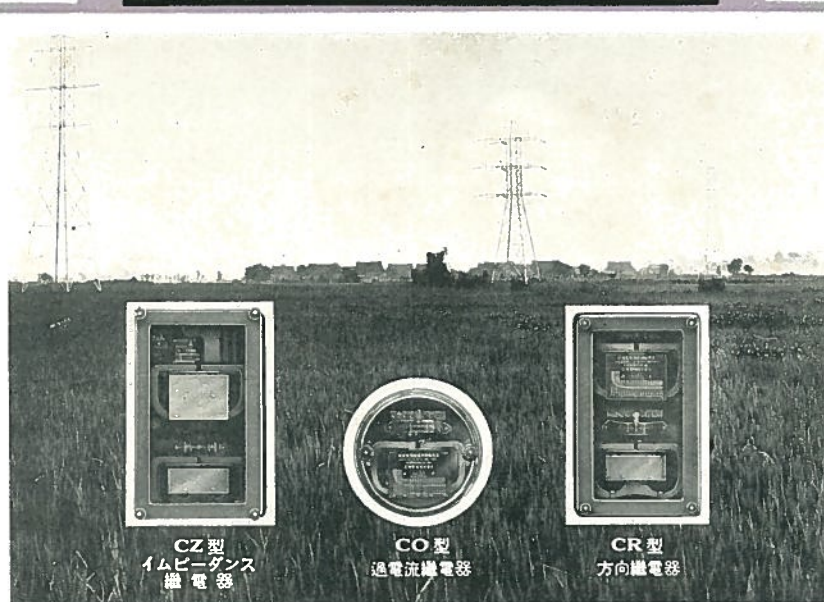
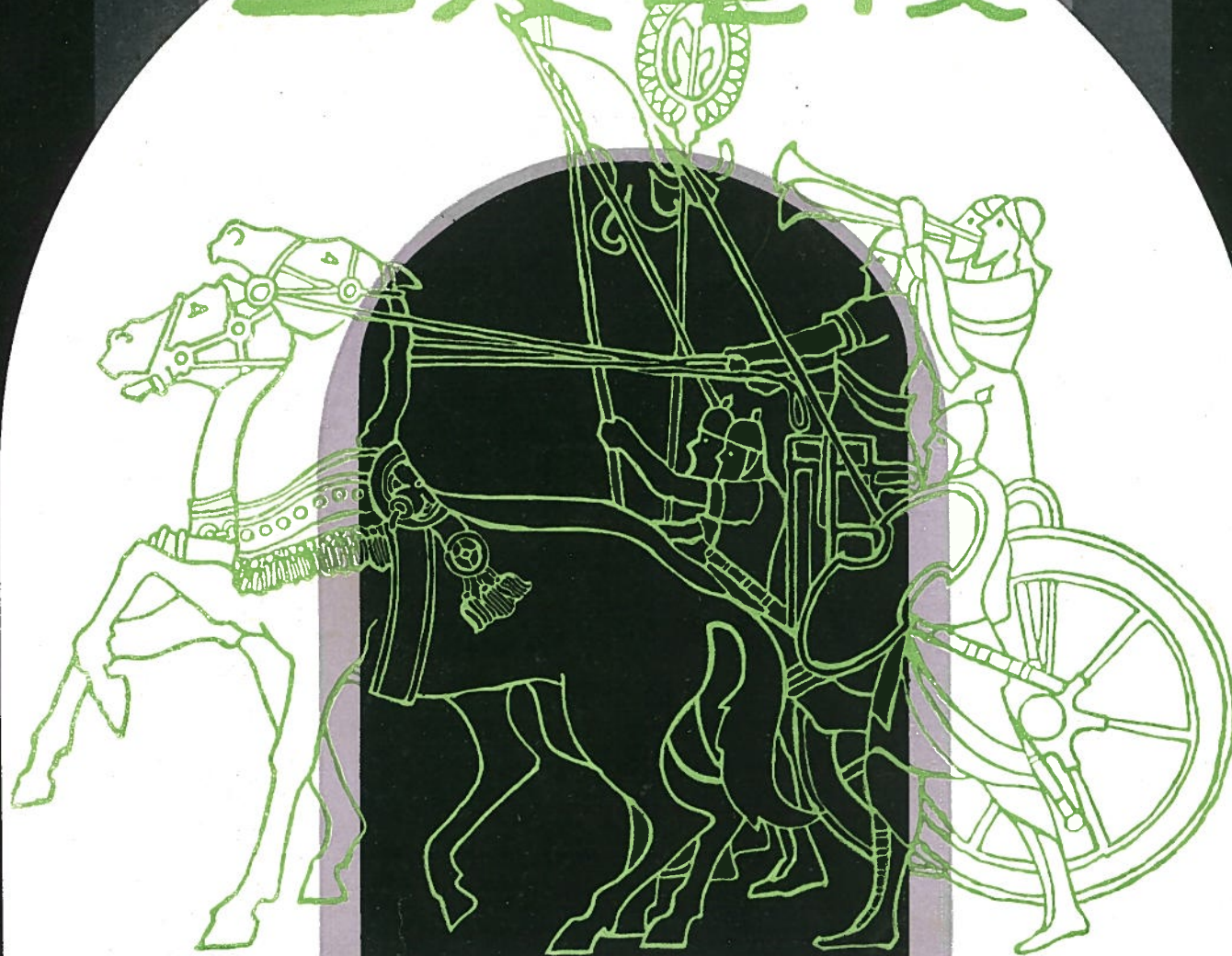


三菱電機



CZ型
イムピーダンス
繼電器



CO型
過電流繼電器



CR型
方向繼電器

送電線は文明の動脈である。
此の動脈の健全な活動は完全な繼電器の使用によつてのみ得られる。

三菱電機

第三卷

昭和二年七月

第七號

送電線保護方式と繼電器の用法

配電盤設計係 小川 信 一

概 説

送電線は電纜を使用しない限り過電流保護を要しないのであるが、接地又は短絡故障に際しては、故障のある區間を完全に撰別遮斷すべき保護方式を具へねばならぬ。此撰別作用につき一般的に考察すれば、繼電器の時間調整に差別をつけること、電流の方向又は複線中電流の不平衡を判斷する繼電器を用ふること、電流と電壓の關係により故障點と繼電器設置點との距離を判斷して動作する繼電器を用ふることの三種の内何れか又は之等の組合せによる外ないのである。

時間調整による撰別

此方法は系統の末端にある饋電線には瞬時動作式の遮斷器を設備し、追々發電所に近づくに従ひ限時値を長くするのである。相隣れる繼電器の最少限時差は、繼電器が動作して遮斷器が完全に開路するに要する全

時間値に、ある安全率を掛けたるものでなければならぬ。普通 0.5 秒を標準として考へて居る。所が上述の様な調整をした場合發電所に近い場所で短絡が発生した場合には、繼電器の時間調整が長いので故障區間を撰別遮斷する前に、系統の終端に接續さ

れた同期機類は同期を脱出して新に又第二次短絡を生ずることになる。之等の點を斟酌して繼電器の最大限時調整値は 2 秒を

標準として考へて居る。それで時間調整による撰別方式は四區間以上の系統には應用出來ないのである。之以上複雑な系統には電圧と電流との關係による撰別、例へばイムピーダンス繼電器系の保安方式を要する。

電流の方向又は 複線中の電流の 不平衡による撰別

並行送電線等の場合は其終端に於て故障線と健全線の電流の大きさが異なるか又は方向が反對になるのであるから、差動繼電器や方向繼電器を用ひて他の區間に遠慮することなく短時限調整値で撰別遮斷が出来る。又輪狀系統の場合には方向繼電器を用ひて撰別遮斷をすることが出来る。然しながら線路の長さの方向に向つて限時調整による撰別を用ふる場合はやはり四區間が

最大限度であるから之以上複雑な系統にはやはり イムピーダンス繼電器系の保安方式を要するのである。

イムピーダンス繼電器系の保護方式

イムピーダンス繼電器系の保護方式は、電圧に正比例し電流

現代の物質生活は實に電氣萬能である。社會の活動はすべて電氣により左右せらるゝ觀がある。此現象を生ずる源は、エネルギーの運送配布が電氣により最も經濟的に簡單に且つ時間を超越して行はれ得る點に存する。數萬馬力の動力も僅か數本の電線により數百キロメートルの距離に運ぶ事が出来ると言ふ電氣特殊の性質が此現象を創造したのである。

萬能である事は又、反對に、之が停止する時全部を死滅せしむる事を意味するから絶対に之が無停止を要求する。

送電線は電氣エネルギーの大動脈である。電氣萬能の主鍵を握つて居る。それで絶対に無休止を必要とする。

然るに送電線の故障は絶対に避けられ難い。天災地異其他如何ともすべからざる故障の原因も少くない。故障を認めてなほ無停電を理想させねばならぬのである。之は送電線の複設、相互連絡及び故障區域制限による外はないと思ふ。送電線保護繼電器の職務は此故障區域制限である。適當な繼電器を適當に用ふれば充分此目的を達し得る筈であるが、目下の状態では尙幾多研鑽を加へる必要がある。本號は此目的に對する研究を掲げて讀者の御參考に供せんとするものである。

に反比例して限時調整を自動的に變化し、自己の管轄する區間の故障に對しては 0.75 秒以内に撰別的に動作するのであるからイムピーダンス繼電器と方向式イムピーダンス繼電器を適當に採用する場合は保安は完全で如何に複雑な系統にでも制限なく應用する事が出来る。ある點に故障が発生するに故障點の電壓は最も低く、電流は全線同一であるから、 $\frac{E}{I}$ の値は略ぼ故障點から繼電器のある點までの線路の Z、即ちイムピーダンスである。故に此種の繼電器の自動的に調整する限時値は上述のイムピーダンスに比例するのである。それで隣接する繼電器の限時調整値を豫想し得る最低故障電流と最大間隔に對して 0.75 秒見當の差をつけて置けば決して誤つた動作はしないのである。尚ほ又系統の擴張又は他の部の模様換へによつて、調整の變更を

必要とする場合も殆んどなく、一度調整して置けば極めて安心であり信頼度高き方式である。此種の繼電器が發明されてから送電線、殊に送電網の保安は完成したと言はるゝが實に過言でないのである。たゞ爰に注意すべきは我國の様に中性點高抵抗接地方式では接地保安方式に此イムピーダンス繼電器系の方式が應用出來難いのであつて、過電流繼電器及び過電流方向繼電器を並用せねばならぬ。其理由は接地故障電流は接地抵抗で甚しく制限せられて接地故障回路の $\frac{E}{I}$ の値は全線大差がないからである。

送電線保護に用ふる繼電器類

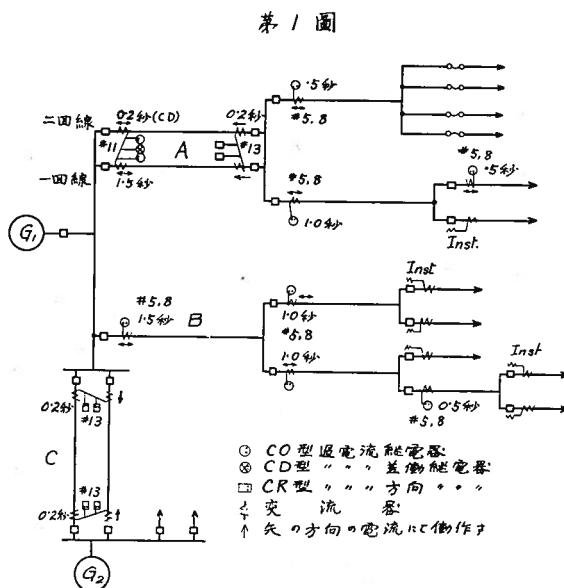
第一表は送電線保護に用ふる繼電器の種類、型、格定、原理、作用及び所要電力等の要領を表記したものである。表中にローエナジーと記したのは、其所要電力が極めて少ない特殊設計のもので、接地保護用には其 $\frac{1}{2}$ - 2 $\frac{1}{2}$ アムペアのものを

を用ひる。又過電流保護、過電流方向保護、平衡保護の場合でもブッシング型變流器と併用される際には（其變流器の一次電流が小さい場合例へば 100 アムペア以内）4-12 アムペアのものを用ひねばならぬ。其理由は上記の場合に普通のものを用ひ

るに繼電器のイムピーダンスが大きいため、故障電流に相當する二次電流が繼電器線輪を通らずして他相の變流器の二次捲線の方へ分流して繼電器が動作しない結果となるからである。

放射状送電線撰別保護方式

第 1 圖中 B 部は放射状送電系であるが此様な場合は全部 CO 型過電流繼電器を使用して完全に保護することが出来る。其使用法は中性點非接地式には第 5 圖、接地式には第 8 圖（送電線が短い場合で中性點接地場所が此所に決つて居る場合には



CR 型方向接地繼電器の代りに CO 型接地繼電器を用ひてよろしい）によればよい。限時調整は圖中記入の如く終端饋電線を最低にし 0.5 秒の差をつけて發電端に及ぼせばよい。此場合短絡保護用としては 4-12 アムペアの CO 型を、接地故障保護用としては 0.5-2.5 アムペアのローエナジー CO 型を用ふればよい。短絡保護用としても低比のブッシング型變流器（例へば一次電流 100 アムペア以内）と併用する場合には 4-12 アムペアのローエナジー CO 型を用ひねばならぬ。

上述諸項及び時間調整による撰別の項で述べた様に送電系統

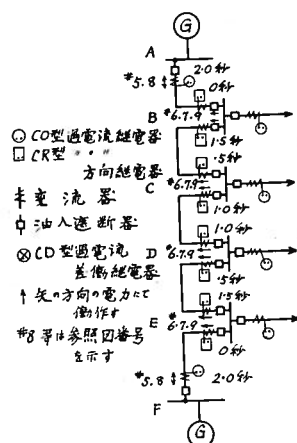
の區間が四つ以上になれば發電端の限時調整は 2 秒を越すから特殊の場合を除き CO 型 CR 型或は一 Generally 過電流繼電器又は過電流方向繼電器は接地故障保護用以外には使用出來ないから、CZ 型イムピーダンス繼電器を第 18 圖又は第 19 圖の如く接続して使用せねばならぬ。

第一表 送電線保安に用ふる保護繼電器諸性質一覽表								
用途	型	定格	定限時調整範圍	限時性	原理	動作原因	所要電力 V.A.	
パイロットワイヤーによる過電流保護	CO	0.5-1.5 A	0.2-2 秒	反限時定最低時	誘導型	過電流	16	
短絡故障に對する撰別保護	CO	4-12 A	0.2-2 秒	同上	同上	同上	16	
低比のブッシング型變流器と併用する短絡故障に對する撰別保護	ローエナジー CO	4-12 A	0.2-2 秒	同上	同上	同上	2	
接地故障に對する接地端撰別保護	ローエナジー CO	0.5-2.5 A	0.2-2 秒	同上	同上	同上	2	
短絡故障に對する送電端平衡保護	CD	3-7 A	0.1-0.5 秒	同上	同上	撰別式差働過電流	7	
接地故障に對する接地端平衡保護	CD	0.5-1.2 A	0.1-0.5 秒	同上	同上	同上	2	
短絡故障に對する受電端逆電力保護又は平衡保護	CR	4-12 A 125 V	0.2-2 秒	同上	同上	方向撰別過電流	17	25
低比のブッシング型變流器と併用する場合の短絡故障に對する受電端逆電力又は平衡保護	ローエナジー CR	4-12 A 125 V	0.2-2 秒	同上	同上	同上	2	25
接地故障に對する非接地端平衡保護	ローエナジー CR	0.5-2.5 A 125 V	0.2-2 秒	同上	同上	同上	2	
短絡故障に對する發電端撰別保護	CZ	4-33 A 70-125 V	0.1-(3) 秒	イムピーダンス又は距離に正比例	同上	イムピーダンス又は距離	5	16
短絡故障に對する變電所又は開閉所撰別保護	デレクショナル CZ	4-33 A 70-125 V	0.1-(3) 秒	同上	同上	方向撰別イムピーダンス	7	30

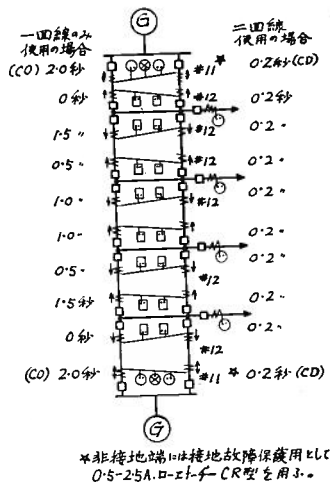
並行送電線撰別保護

第1圖 A 部は並行送電線の一例であるが、此場合に発電端に於ては電力が必ず一方に流れ其方向は故障の場合も變らないから第11圖に示す如く、短絡保護用には3-7 アムペア CD 型過電流差動繼電器を、4-12 アムペア CO 型過電流繼電器を、

第2圖



第3圖



又接地故障保護用には、もし此所が中性點接地點ならば 0.5-2.5 アムペアのローエナジー CO 型接地過電流繼電器を 0.5-1.2 アムペアの CD 型接地差動繼電器を併用すればよいのであるが、もし他所で中性點が接地されて居れば 0.5-2.5 アムペアの CR 型ローエナジー接地過電流方向繼電器 2 個を用ひねばならぬ。

受電端は第13圖に示す如く、短絡保護用には 4-12 アムペアの CR 型を、接地故障保護用には 0.5-2.5 アムペアのローエナジー CR 型を用ふればよいのである。之等は並行送電線の平衡保護方式の章に於て詳しく述べてあるから御参照願ふ。

上述の繼電器中短絡保護用のものは、低比のブッシング型變流器を併用する場合は皆 4-12 アムペアのローエナジー型を用ひねばないことは先項に變りがない。

第1圖中 C 部はやはり並行送電線ではあるが之は二つの發電所の連絡線であるから、兩端とも第13圖の如き方向撰別保護方式を要する。尤も接地繼電器は中性點接地端に對しては CO 型でよい。

相互連絡系統の撰別保護

第2圖は單一送電線よりなる相互連絡系統であつて中間が四箇所で區分されて居る。此場合は兩發電端は第5圖又は第8圖の如く、短絡保護用として普通又はローエナジー式の 4-12 アムペアの CO 型を、接地故障保護用としては 0.5-2.5 アムペアのローエナジー CO 型又は CR 型を用ふればよい。

又變電所の分は第6圖、第7圖、第9圖の如く、短絡保護用

として 4-12 アムペアの普通又はローエナジー CR 型を、接地故障保護用としては 0.5-2.5 アムペアのローエナジー CR 型を用ふればよい。

上述の諸繼電器に對する限時調整値は圖に示す如く、一端の發電所を切り離した階段式調整を重疊すればよい。

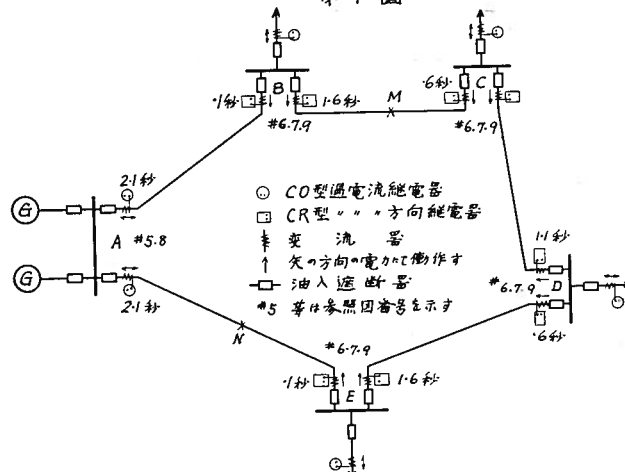
系統の區分が四つ以下の場合には上述の通りでよいのであるが區分が之以上になると、限時調整による撰別の項で述べた如く CZ 型イムピーダンス繼電器を用ひねばならぬ。其用法は發電端、變電所に對して各々第18圖又は第19圖の様にすればよいのである。

第3圖は並行送電線よりなる相互連絡系統であつて中間が四箇所で區分されて居る。此場合發電端は第11圖の如く短絡保護用には 4-12 アムペアの普通又はローエナジー CO 型を、3-7 アムペアの CD 型を併用し、接地故障保護用には中性點接地端には 0.5-2.5 アムペアのローエナジー CO 型を、0.5-1.2 アムペアの CD 型を併用し、非接地端には 0.5-2.5 アムペアのローエナジー CR 型を第13圖の一部の如く使用すればよい。

受電所に對しては第12圖に示す如く、短絡保護用としては 4-12 アムペアの普通又はローエナジー CR 型を特殊の接續をして限時調整を左右違へて用ひ、接地故障保護用としては 0.5-2.5 アムペアのローエナジー CR 型を同様に配すればよいのである。

此場合も四區分以上の系統には、CZ 型イムピーダンス繼電器を要するのであつて、發電端には第18圖の如きもの二組、

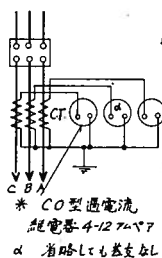
第4圖



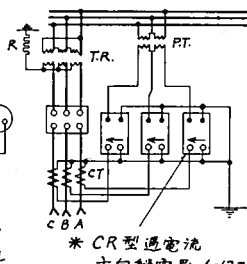
變電所には第19圖二組又は第14圖一組を要するのである。

限時調整値は、並行保護に對しては、CD 型は 0.2 秒内外、CR 型は其短時限時調整の分に對しては差支なき限り短かく（例へば 0.2 秒）すればよい。並行線の片線が遮斷されたる時は全線單線運轉に差支のない限時調整に自動的に變化する必要

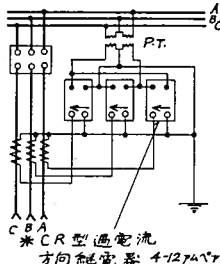
第5圖



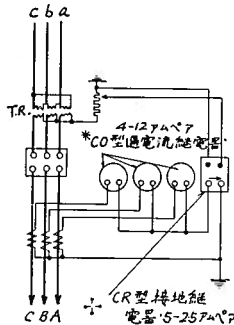
第6圖



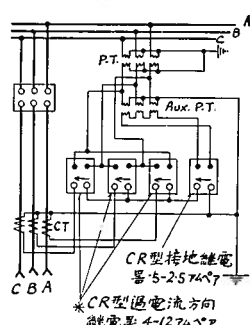
第7圖



第8圖

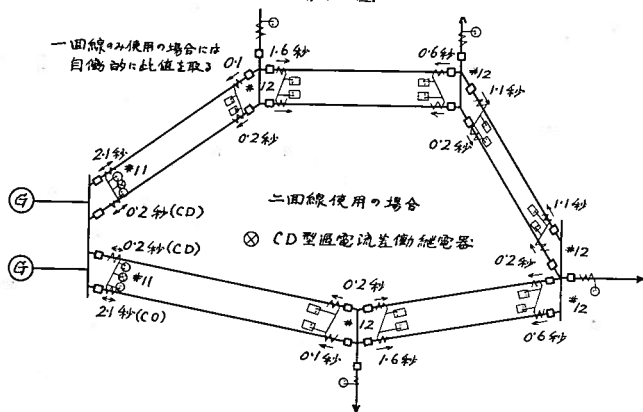


第9圖



がある。故に第2圖に同様の調整を要し、CO型は各々2秒内外、CR型の長時限調整の分に対しては各々重疊階段式にすればよろしい。場合によつては後者に対してはCD型に對するト

第10圖

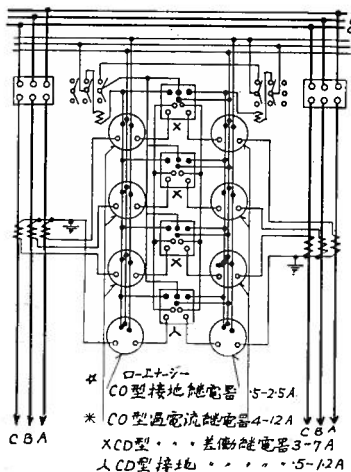


リップサーキットを切り離す必要がある。第11圖には其接続を示して居る。

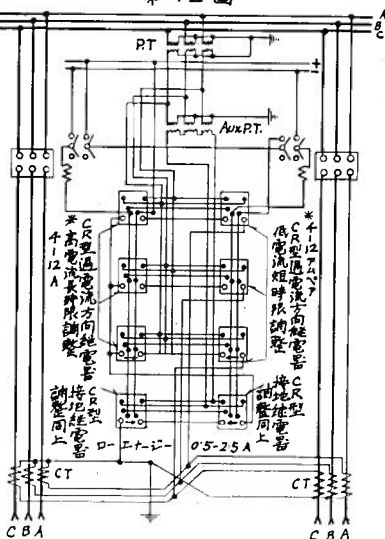
輪狀送電網の撰別保護

第4圖は唯一の發電所を有する輪狀送電系統であつて中間が

第11圖



第12圖



四ヶ所で區分されて居る。此場合發電端は第5圖又は第8圖の如く、變電所に對しては第6圖、第7圖又は第9圖の如き保護方式を用ふればよく、限時調整値は第4圖中に記入の如く、時計式及び反時計式の階段式調整を重疊すればよろしい。

此場合も中間の區分が四ヶ所以上になれば、やはり第18圖及び第19圖に示す様なCZ型イムピーダンス継電器による方式を用ひねばならぬ。

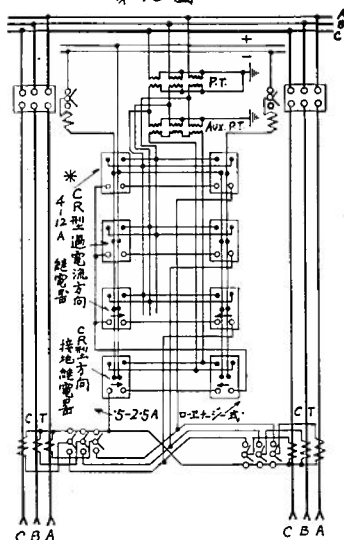
第10圖は唯一の發電所を有する輪狀送電系統であつて、中間が四區分され各區間が並行線である。此場合の保安方式は全く第3圖に同様に考へてよろしく、發電端は第11圖の如く、變電所は第12圖の如き方式を用ふればよろしい。限時調整の方法も圖示の通りで第3圖に同様である。四區分以上になれば第18圖及び第19圖に示す様なイムピーダンス継電器方式を用ふる點も同様である。

又變電所には第14圖に示す様なイムピーダンス式にCR型の方式を併用する事も出来る。

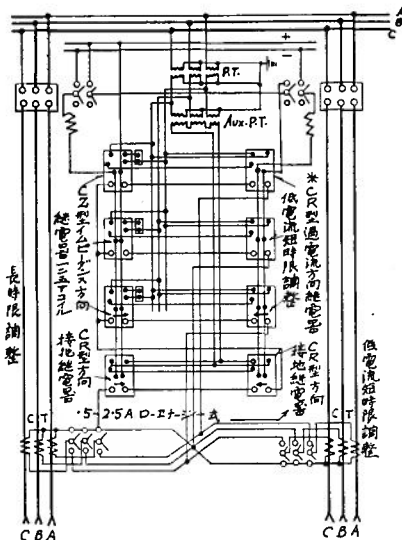
第15圖は二ヶ所の發電所を有する輪狀送電系統であつて、CO型、CR型或は一般に過電流継電器、又は過電流方向継電器を以て保護し得る複雑さの限度である。此の場合でも圖中のA部を犠牲にして、故障電流が流れると先づ最初に此部の兩端を瞬時的に遮斷し、其後は第2圖に同様に考へた保安方式を用いたものである。継電器方式、限時調整は圖中に記入してある。

第16圖は二ヶ所の發電所を有する輪狀送電系統であつて、犠牲となる一區劃を除き他は全部並行線より成る場合で、複線輪狀式にしてCO型、CR型の如き一般の過電流又は過電流方向継電器を以て保護し得る複雑さの限度である。此場合でも圖中A部を犠牲にして、故障電流が流れると先づ最初に此部の兩端を瞬時

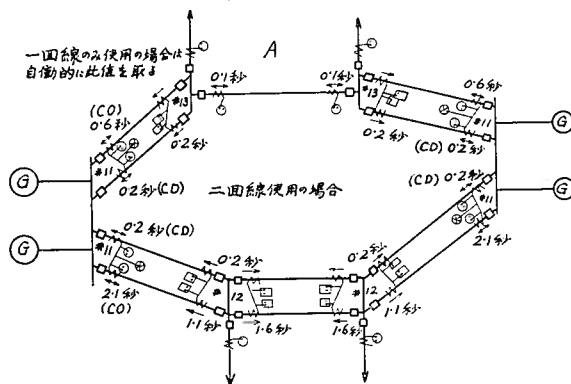
第13圖



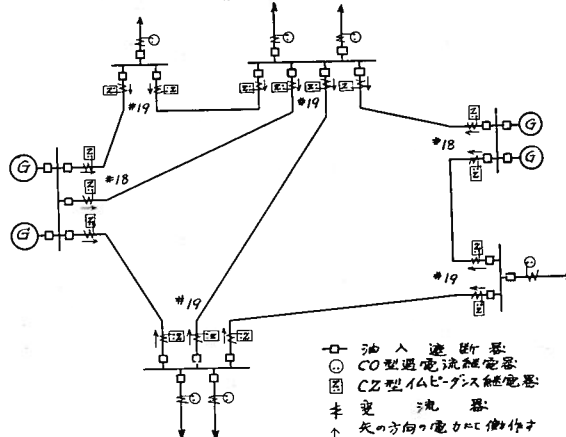
第14圖



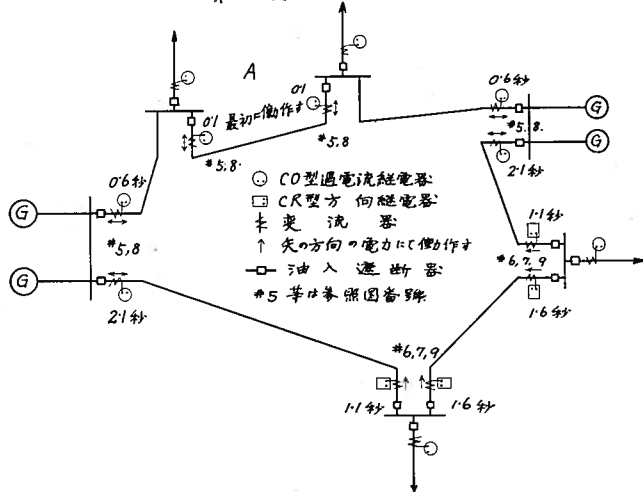
第16圖



第17圖

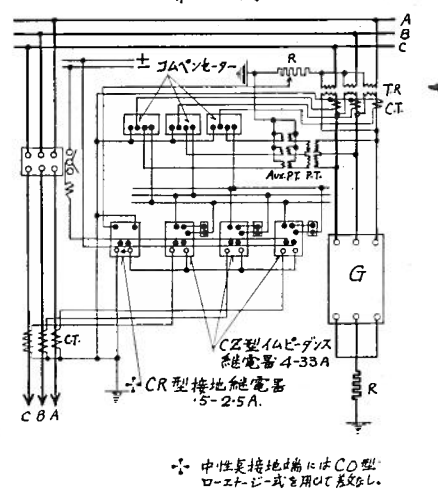


第15圖

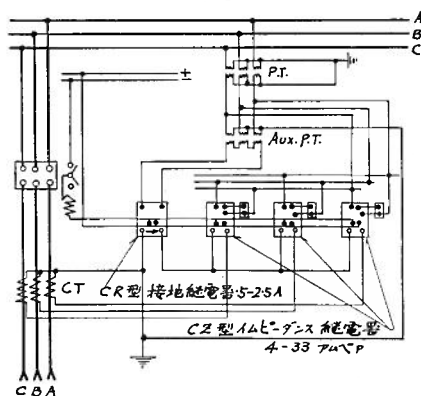


各部のCZ型継電器が當然動作すべき最少電流に對して0.75秒の限時調整を與ふればよいのである。此限時調整に關しては極めて便利な方法なり、表等が出來て居るのであるが、本章では紙數の關係上從來の継電器の送電網に對する最高使用範圍を超過する場合はCZ型イムビダンス継電器を用ふればよい事を御紹介するに留める。

第18圖



第19圖



的に遮断し、其後は第8圖に於て考へたと同様の保安方式を用ひたものである。継電器方式、限時調整は圖中に記入してあるから御参照願ふ。

第17圖は複雑な輪狀相互連絡式の送電網であるが此程度になれば過電流又は過電流方向継電器によつては全然信頼出来る

保護は不可能であつて、何所かで故障を發生するに故障電流は極めて複雑で、其方向も一定せず、從來は保護を撰別的ならしめる事が不可能に考へられて居たが、CZ型イムビダンス継電器が生れて容易に解決されたのである。第17圖中に示す如く第18圖、第19圖の如き保護方式を施して置けばよいのである。此継電器の限時調整は送電網の中に發生し得る凡ての故障點を假定して、故障電流を計算又はカルキレーティングテーブルによつて求め

並行送電線の平衡保護方式に就て

概 説

近來無停電電力供給と言ふ事が電力會社一般の標語となり、送電線も其重要な部分は必ず並行二回線を架設するのが普通となつて來た。而して當初は其二回線の内一回線は平素遊ばしておいて、一線に故障を生じた場合に他の一線を使ふと言ふ極めて贅澤な使ひ方をしたものであるが、近時は二回線を常に並行に使用する様になつて來た。斯の様な傾向を作つた原因は種々あらうが、其中重なるものは次の様であらうと思ふ。

1 一回線を遊ばしておいても其回線には全然故障がない譯ではなく、電氣的の減損はなくとも、機械的又は外部より受ける障害は働いて居る線と略ほ同様であつて、而かも一般的に考察して送電線の減損は機械的原因が其主要なるものであるから、遊ばして置く事には大した利點がない譯である。

2 繼電器による平衡保護方式が完成したため、二回線を常に並行にして使用し、故障の際に故障線を切り離して使用すれば切換に要する短時間の停電をも除去する事が出來て無停電の理想が實現出来る。尤も疾風の場合等には一回線に弧光短絡を生じた場合に風が弧光を吹き伸して、健全な回線にも故障を移植する恐があるから、心して有利な一回線のみを使用せねばならぬ。

3 一回線に通る電流が半分になるから、全体として銅損が半分になる。

4 送電線の電壓降下が約半分になる。

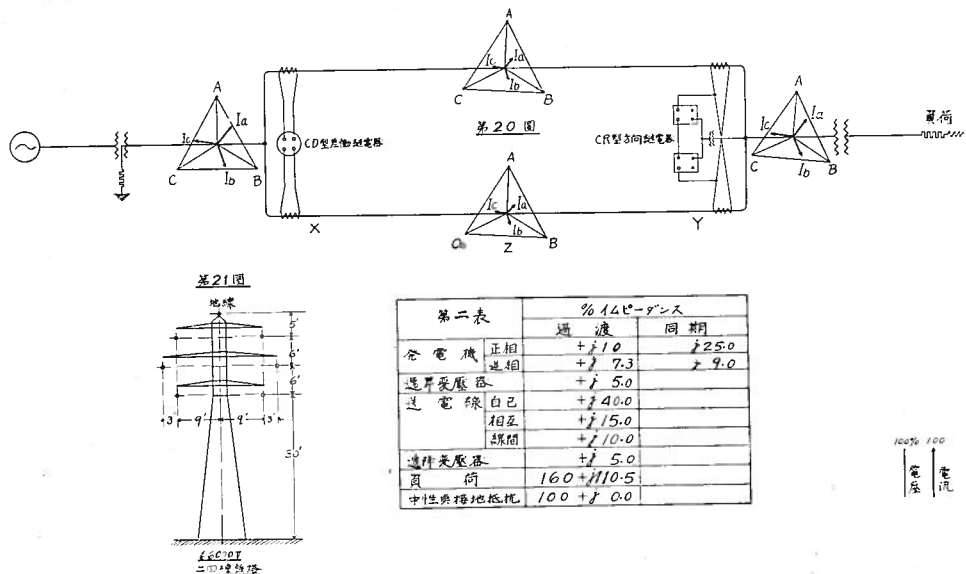
5 負荷を全然切り離す事がないので、電壓の高い送電線等に於ては受電端の電壓が非常に上昇する様な心配がない。従つて系統全体の器機に無理を與へない。

平衡保護方式

第 20 圖は發電所と變電所間に並行二回線を架した電氣的スケルトン圖であつて、送電端には第 11 圖に示した様な保護装置を備へ、受電端には第 13 圖に示した様な保護装置を備へる。第 13 圖で明な様に受電端には必ず CR 型方向繼電器 (Directional Relay) を要するのであつて、CD 型差働繼電器 (Selective Differential Relay) は役に立たぬのである。其理由は後項にある計算例又は第 24 圖の受電端に於ける一線接地の場合の電流分布及び第 33 圖の受電端に於ける線間短絡の場合の電流分布を見れば明かな様に、受電端近くで故障が発生するに兩線に流れる故障電流は略同じ大きさであるから差働繼電器は働作しない。然し電流の大きさは略同じであつても方向が反對であるから方向繼電器なら完全に働作するのである。

故障電流計算法

並行送電線の故障電流の計算はかなり面倒なものであるが、最近流行の對照座標法によれば比較的簡単に算出出来る。此際注意を要する事は此計算に用ふる線路の常数は、三線の電流が大地に對し平衡の状態でない限り皆大地に對するものを用ひねばならぬから常数の算出が面倒である。本章は第 20 圖の様な並行送電線中の一點で一線接地又は二線短絡が発生した場合の電流分布及び電壓状態を計算し第 11 圖及び第 13 圖の様な保護装置の働作具合を研究した報告である。計算を簡単にするため常数は全部リアクタンスのみとし、變壓器の勵磁アドミタンスを省略した。其結果故障電流は其位相極端に後れ、繼電器の働作に對しては最も不利な状態となつて居るから、實際問題は之等より餘程安全を見て差支へない。



送電線の詳細及び其常数

第 21 圖は本計算に用いた鐵塔の形狀と其電線配置の有様を示し、送電電壓は 66,000 ヴォルト、發電機の出力は 20,000 K.v-a、送電線の互長は、100 軒と假定した。第二表は計算による本系統の定数である。

普通状態

發電機の容量を 300 パーセント、A 相の端子電壓を 100 パーセントとし之を基準ヴェクトルとする。今發電機が半負荷即ち各相各々 50 パーセントの負荷を擔ひ居るものとして力率を 80 パーセントとすれば

A 相の電流

$$I_a = 0.4 - j0.3 \dots (1)$$

送電端の電壓

$$V_a = 98.5 - j2.0 \dots (2)$$

送電線中間の電壓

$$V_a = 96.625 - j4.5 \dots (3)$$

受電端の電壓

$$= 93.25 - j7.0 \dots (4)$$

負荷の電壓

$$V_a = 93.25 - j9.0 \dots (5)$$

負荷イムピーダンス

$$Z = 160 + j110.5 \dots (6)$$

此關係を圖示すれば第 20 圖のようになる。

送電端で一線が接地した場合

第 20 圖の×點で A 線が接地したとすれば、(第 22 圖参照)

$$\text{零相イムピーダンス } Z_0 = 300 + j5 \dots (7)$$

$$\text{逆相イムピーダンス } Z_2 = 0.535 + j11.9 \dots (8)$$

$$\text{正相イムピーダンス } Z_1 = 0.80 + j14.6 \dots (9)$$

$$\text{故障電流 } I_g = 0.975 - j0.122 \dots (10)$$

受電端兩線電流は同じ値で

$$I_a = 0.2 - j0.13 \dots (11)$$

$$I_b = -0.25 - j0.115 \dots (12)$$

$$I_c = 0.05 + j0.245 \dots (13)$$

$$\text{受電端電壓は } V_a = -3.45 - j5.00 \dots (14)$$

$$V_b = -148.00 - j88.00 \dots (15)$$

$$V_c = -150.00 + j73.75 \dots (16)$$

送電端電流は故障側と健全側とは異り

故障側

$$I_a = 1.175 - j0.252 \dots (17)$$

$$I_b = -0.25 - j0.115 \dots (18)$$

$$I_c = 0.05 + j0.245 \dots (19)$$

健全側

$$I_a = 0.2 - j0.13 \dots (20)$$

此場合送電端に裝置した CD 型接地繼電器は (17) - (20) の

一次電流に對する變流器二次電流 (アムペア)

$$\begin{aligned} & \frac{1}{R} \times I_F \times \\ & \left\{ \text{式 (17)} - \text{式 (20)} \right\} \\ & = \frac{1}{R} \times I_F \times \text{式 (10)} \\ & = 4.4 - j0.45 \end{aligned}$$

或は絶対値 4.43 アムペアによつて動作するから、繼電器を 0.5 アムペア、時間調整 # 1 に置いてあれば約 0.12 秒で故障側に動作する但し上記 R は變流比、 I_F は本系統の全負荷電流である計算例では

$$R = \frac{1}{15} \quad I_F = 180$$

次に受電端の繼電器 CR は最初は兩線の電流が平衡して居るから動作しないが送電端で故障線が切り離さ

れると受電端の状態が變化して

$$\text{故障線には } I_a = -0.654 + j0.465 \dots (21)$$

$$\text{健全線には } I_a = 0.887 - 0.810 \dots (22)$$

が流れ受電端の電壓は

$$V_a = 14.0 + j75.6 \dots (23)$$

$$V_b = -107.75 - j22.1 \dots (24)$$

$$V_c = -100.35 + j145.3 \dots (25)$$

それで接地繼電器に流れる電流は

$$\begin{aligned} & \frac{1}{R} \times I_F \times \left\{ 2 \times \text{式 (21)} \right\} = -5.9 + j4.2 \\ & = +7.25 (215^\circ 30') \end{aligned}$$

電壓線輪にかゝる電壓は $-0.63 \times (V_a + V_b + V_c)$ で

$$123 - j126 = 176 (45^\circ 36') \text{ ヴォルト}$$

であるから、電壓を基準に考へるに、

$$\text{電圧 } 176 \quad \text{電流 } 7.25 (169^\circ 54') \text{ である。}$$

之を接地方向繼電器動作曲線第 25 圖に照せば、凡そ 10 の安全率を有し、第 27 圖に照せば、電流調整値 0.5 アムペア、時

間調整値 #1 に對して 0.2 秒で故障側が働作する結果となる。

此際注意を要する事は、送電端接地継電器 CD 型の接続又は CO 型の時間調整値である。CD 型は片側だけの電流に對し電流継電器として働作する場合には、差働継電器として働作する場合の約二倍の電流値を取る。それで送電端で故障側が遮断された後、故障電流が全部健全線を通るため CD 型継電器及び健全側の CO 型継電器には 3.6 アムペア通るが、之等を働作せしめないため CD 継電器のトリップサークキットは油入遮断器の補助接觸で切り離し、CO 型接地継電器には、#3 以上の時間調整を必要とする。

送電線の間で 一線が接地した場合

第 20 圖で Z 點で A 線が接地したとすれば、(第 23 圖参照)

$$\text{零相イムピーダンス } Z_0 \\ = 300 + j35 \dots\dots\dots (26)$$

$$\text{逆相イムピーダンス } Z_2 \\ = 1.25 + j21.2 \dots\dots\dots (27)$$

$$\text{正相イムピーダンス } Z_1 \\ = 1.63 + j23.0 \dots\dots\dots (28)$$

$$\text{故障電流} \\ I_g = 0.885 - j0.276 \dots\dots\dots (29)$$

$$\text{受電端電流故障側} \\ I_a = -0.070 - j0.100 \dots\dots (30)$$

$$I_b = -0.208 - j0.072 \dots\dots (31)$$

$$I_c = 0.056 + j0.240 \dots\dots (32)$$

$$\text{受電端電流健全側} \quad I_a = 0.374 - j0.237 \dots\dots (33)$$

$$\text{受電端電圧} \quad V_a = -1.060 + j1.430 \dots\dots (34)$$

$$V_b = -142.4 - j51.43 \dots\dots (35)$$

$$V_c = -128.6 + j112.0 \dots\dots (36)$$

$$\text{送電端電流故障側} \quad I_a = 0.818 - j0.375 \dots\dots (37)$$

$$I_b = -0.208 - j0.072 \dots\dots (38)$$

$$I_c = 0.056 + j0.240 \dots\dots (39)$$

送電端電流健全側は受電端電流健全側と同じ。

$$\text{送電端電圧} \quad V_a = 6.550 + j16.50 \dots\dots (40)$$

$$V_b = -137.1 - j45.30 \dots\dots (41)$$

$$V_c = -131.3 + j124.8 \dots\dots (42)$$

此場合送電端に装置した CD 型差働接地継電器は

$(\frac{3}{2}-1) \times \text{式}(29)$ の一次電流に相當する變流器二次電流、

即ち

$$\frac{1}{R} \times I_F \times \left\{ \frac{1}{2} \times \text{式}(29) \right\} = 2 - j0.62 \text{ アムペア}$$

の絶対値 2.1 アムペアで働作するから、0.5 アムペア、#1 の調整に對して約 0.25 秒で故障側に働作する。

次に受電端の接地継電器 CR は送電側遮断器が働作するを待

たすして次の關係で働作する。即ち電壓線輪にかゝる電壓は $-0.63 \times (V_a + V_b + V_c)$ 、或は

$$167 - j49 = 172(160^\circ 18') \text{ ヴォルト}$$

又電流線輪に通る電流は、

$$-\frac{1}{R} \times I_F \times \left\{ \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right) \times \text{式}(29) \right\} \\ = -2 + j0.62 \\ = 2.1(197^\circ 12') \text{ アムペア}$$

であるから、電壓を基準に考へれば

電壓 172 電流 2.1(180°54') で之を接地方向継電器働作曲線第 25 圖に照せば 2.8 - #1 の安全率を有し、第 27 圖に照せば、0.5 - #1 の調整に對して、約 0.45 秒で故障側が働作する結果となる。

受電端で一線が接地した場合

第 20 圖 Y 點で A 線が接地したとすれば、(第 24 圖参照)

$$\text{零相イムピーダンス} \\ Z_0 = 300 + j55 \dots\dots (43)$$

$$\text{逆相イムピーダンス} \\ Z_2 = 2.2 + j23 \dots\dots (44)$$

$$\text{正相イムピーダンス} \\ Z_1 = 2.6 + j25.2 \dots\dots (45)$$

$$\text{故障電流} \quad I_g = 0.819 - j0.345 \dots\dots (46)$$

$$\text{受電端電流故障側} \quad I_a = -0.239 - j0.118 \dots\dots (47)$$

$$I_b = -0.240 - j0.070 \dots\dots (48)$$

$$I_c = 0.070 + j0.215 \dots\dots (49)$$

$$\text{受電端電流健全側} \quad I_a = 0.577 - j0.315 \dots\dots (50)$$

$$\text{受電端電圧} \quad V_a = 0 \dots\dots\dots (51)$$

$$V_b = -149.34 - j70.47 \dots\dots (52)$$

$$V_c = -115.74 + j93.03 \dots\dots (53)$$

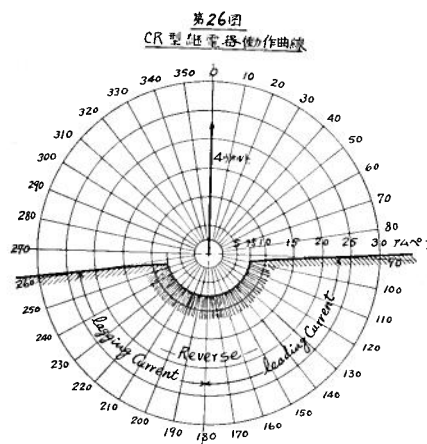
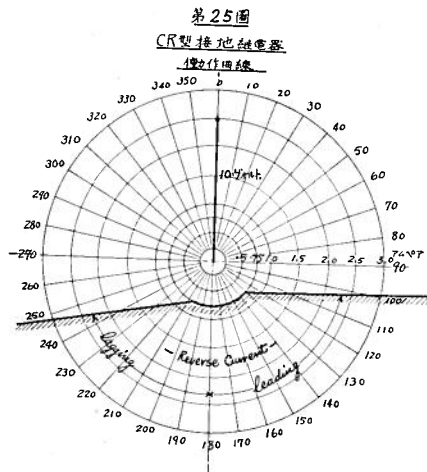
送電端電流は兩線とも同じ値であつて

$$I_a = 0.577 - j0.315 \dots\dots (50)$$

及び式 (48)、(49) である。

$$\text{送電端電圧は} \quad V_a = 5.35 + j17.95 \dots\dots (54)$$

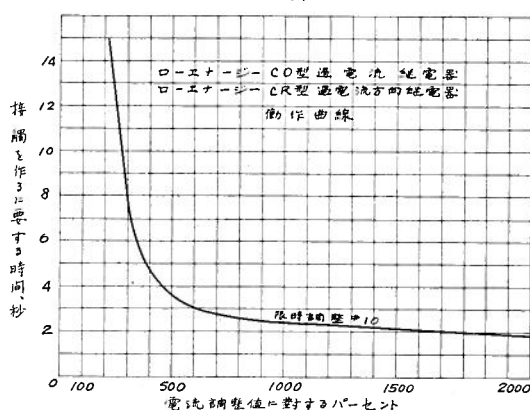
$$V_b = -145.85 - j62.82 \dots\dots (55)$$



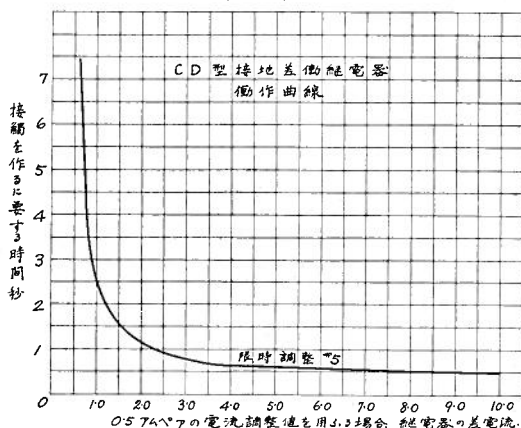
$$V_c = -108.69 + j108.38 \dots (56)$$

此場合送電端に装置した CD 型接地継電器は、初めは兩線の電流が平衡して居るため動作しないで、受電端で CR 型方向接地継電器が動作して、故障線が遮断されてから動作する。

第27圖



第28圖



CR 型継電器の動作は、電圧 $173(4^{05}4')$ ヴォルト、電流 $3.75(193^{036}')$ であつて之を電圧基準に改めるこ、

電圧 173 電流 $3.75(188^{042}')$ 之を接地方向継電器動作曲線第 25 圖及び第 27 圖に照せば 0.5 アムペア、#1 調整に對し、安全率 5 で凡そ 0.26 秒で故障側が動作する事が分る。

而して、以上の如く受電側で故障線が遮断されるこ送電端の電流分布は變化し、下記の故障電流は全部故障線 A 相に流れるのである。

$$I_g = 0.849 - j0.363 \dots (57)$$

それで CD 型接地継電器には (57) 式に對する二次電流 $3.8 - j1.6$ アムペアが流れ、継電器は其絶対値 4.1 アムペアによつて故障側に動作する。0.5 アムペア、#1 の調整に對しては安全率 4.5、約 0.25 秒である。尚ほ CO 型接地継電器は、#5、0.5 アムペアの調整に對し安全率 5.5 である。

送電端で二線間に 短絡を生じた場合

第 20 圖の X 點で B 及 C 線間が短絡すれば、(第 31 圖参照) 正及逆相各イムピーダンスは各々式 (8) 及 (9) であつて、

$$\text{故障電流} \quad I_s = -6.40 - j0.192 \dots (58)$$

$$\text{送電端電流故障側} \quad I_a = 0.117 - j0.091 \dots (59)$$

$$I_b = -6.46 - j0.147 \dots (60)$$

$$I_c = 6.34 - j0.236 \dots (61)$$

$$\text{送電端電流健全側} \quad I_b = -0.059 + j0.046 \dots (62)$$

$$I_c = I_b \dots (63)$$

$$\text{送電端電壓} \quad V_a = 60.80 - j0.486 \dots (64)$$

$$V_b = V_c = -30.40 + j0.243 \dots (65)$$

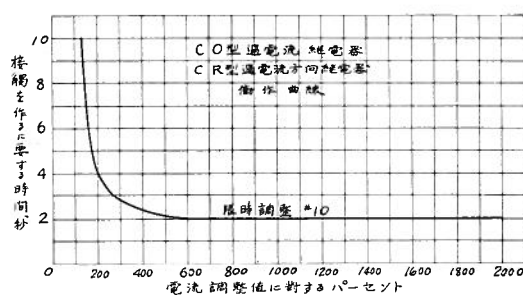
受電端電流は兩線相等しく、各々式 (59)、(62) 及 (63) である

$$\text{受電端電壓は} \quad V_a = 58.5 - j3.41 \dots (66)$$

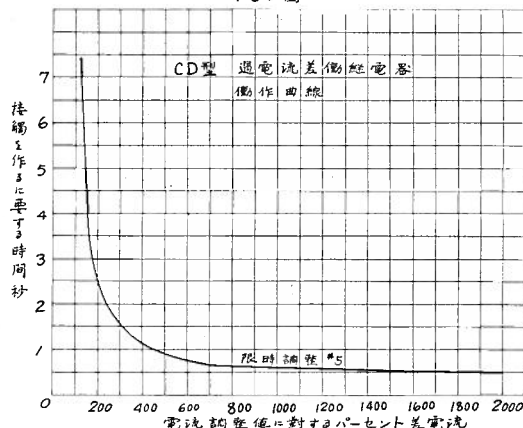
$$V_b = V_c = -29.3 + j1.71 \dots (67)$$

此際送電端の CD 型差働継電器の内 B 相及び C 相にあるも

第29圖



第30圖



のには相等しい電流が流れるが、其電流値は

$$\frac{1}{R} \times I_F \times \left\{ (60) \text{式} - (62) \text{式} \right\}, \text{即ち} \\ \mp 28.8 \mp 0.85 \text{ 又は } 29 \text{ アムペア}$$

之を CD 型差働継電器動作曲線第 30 圖に照せば、4 アムペア #1 調整に對して、安全率 4.8、0.2 秒で故障側に動作する。

受電側 CR 型方向継電器は、初めは兩線電流が平衡して居るから働作しないが、送電端に於て故障線が遮断されるに受電端の電流分布は變化し、

$$\text{受電端故障側電流 } I_b = 1.29 + j1.54 \dots\dots (68)$$

$$I_c = -1.29 - j1.54 \dots\dots (69)$$

$$\text{受電端健全側電流 } I_a = 0.825 - j0.330 \dots\dots (70)$$

$$I_b = -1.44 - j1.402 \dots\dots (71)$$

$$I_c = 1.12 + j1.735 \dots\dots (72)$$

$$\text{受電端電壓 } V_a = 89.40 - j16.0 \dots\dots (73)$$

$$V_b = -40.35 + j4.775 \dots\dots (74)$$

$$V_c = -49.05 + j11.225 \dots\dots (75)$$

となる。B 相及 C 相の CR 型方向継電器には相等しい電流が流れるが、B 相の分の電流は

$$\frac{1}{R} \times I_F \times \left\{ \text{式}(68) - \text{式}(71) \right\} \\ 12.3 + j13.2 \text{ 又は } 18(312^\circ 54') \text{ アムペア}$$

B 相の継電器の電壓線輪にかゝる電壓は、
 $0.63 \times \left\{ \text{式}(74) - \text{式}(73) \right\}$ であつて
 $-81 + j13$ 又は $82(189^\circ 12')$ ヴォルト

電壓基準に改めるに、

$$\text{電壓 } 82 \quad \text{電流 } 18(128^\circ 42')$$

之を CR 型方向継電器働作曲線第 26 圖及び第 29 圖に照すに 4 アムペア、#1 調整に對し、安全率 3 で、約 0.22 秒で故障側が働作する。

此際注意すべき事は、式 (71) 及び (72) で明なる如く送電端の故障側遮断器が先づ働作するに、健全側の故障電流は甚しき値になる。それで送電側の CD 型差働継電器が再び反対側に働作して健全側をも遮断する恐がある。例へば此計算例で、3 アムペア、#1 に調整するに、片側だけの電流には CD 型継電器は働作曲線第 30 圖の約 2 倍の電流値を取るから、約 0.3 秒で健全な線を遮断する。それで此場合には油入遮断器の補助接觸によつて、片方の油入遮断器が働作すれば CD 型継電器のトリップサーキットを切り離さねばならぬ。尚ほ送電端の CO 型過電流継電器は上と同じ理由で限時調整を長くせねばならないのであつて、5 アムペア、#5 の調整が最低限度である。

送電線の間で二線間に

短絡を生じた場合

第 20 圖の様に Z 點で B 及 C 線間が短絡すれば、(第 32 圖参照) 正及逆相各イムピーダンスは各々式 (28) 及 (27) であつて、

$$\text{故障電流 } I_s = -3.75 - j0.069 \dots\dots (76)$$

$$\text{受電端電流故障側 } I_a = 0.179 - j0.145 \dots\dots (77)$$

$$I_b = -2.699 + j0.021 \dots\dots (78)$$

$$I_c = 2.520 + j0.124 \dots\dots (79)$$

$$\text{送電端電流健全側 } I_b = -1.071 + j0.008 \dots\dots (80)$$

$$I_c = 0.892 + j0.137 \dots\dots (81)$$

$$\text{送電端電壓 } V_a = 91.47 + j1.62 \dots\dots (82)$$

$$V_b = -45.06 - j41.54 \dots\dots (83)$$

$$V_c = -46.41 + j39.92 \dots\dots (84)$$

$$\text{受電端電流故障側 } I_b = 0.851 + j0.080 \dots\dots (85)$$

$$I_c = -1.029 + j0.060 \dots\dots (86)$$

送電端電流健全側のものは、式(77)、(80)及び(81)である。

$$\text{受電端電壓 } V_a = 90.12 - j4.82 \dots\dots (87)$$

$$V_b = -45.01 - j11.04 \dots\dots (88)$$

$$V_c = -45.11 + j15.86 \dots\dots (89)$$

此際送電端の CD 型差働継電器の内 B 及び C 相にあるものには相等しい電流が流れるが、其電流値は

$$\mp 7.35 - j0.058 \text{ 又は } 7.4 \text{ アムペア}$$

之を CD 型差働継電器働作曲線第 30 圖に照せば 4 アムペア #1 の調整に對して安全率 1.2、約 0.5 秒で故障側に働作する。尚 CO 型過電流継電器は 5 アムペア #5 の調整に對し安全率 1.6 で約 1.6 秒で故障側に働作する。

次に受電端の CR 型方向継電器の内 B 及び C 相にあるものには相等しい電流が流れるが、其電流値は

$$\pm 9.3 \pm j0.52 \text{ 又は } 9.4(356^\circ 48') \text{ アムペア}$$

又 B 相の継電器にかゝる電壓は

$$-85 - j3.9 \text{ 又は } 86(177^\circ 24') \text{ ヴォルト}$$

之を電壓基準に改めるに

$$\text{電壓 } 86 \quad \text{電流 } 9.4(179^\circ 24')$$

之を CR 型方向継電器働作曲線第 26 圖及び第 29 圖に照せば 4 アムペア、#1 の調整に對して安全率 1.56 約 0.35 秒で故障側に働作する。受電端で故障線が遮断されるに故障電流は全部故障線のみに流れるから、送電端の CD 型及び CO 型の兩継電器の働作を速進する。

受電端で二線間に

短絡を生じた場合

第 20 圖 Y 點で B 及 C 線間が短絡すれば (第 33 圖参照) 正相及び逆相イムピーダンスは、(45) 及び (44) 式であつて

$$\text{故障電流 } I_s = -3.43 - j0.895 \dots\dots (90)$$

$$\text{受電端電流故障側 } I_a = 0.170 - j0.145 \dots\dots (91)$$

$$I_b = 1.630 + j0.375 \dots\dots (92)$$

$$I_c = -1.800 - j0.520 \dots\dots (93)$$

$$\text{受電端電壓 } V_a = 85.40 - j6.30 \dots\dots (94)$$

$$V_b = V_c = -42.70 + j3.15 \dots\dots (95)$$

送電端電流は兩線相等し

く、 I_a は式(91)で、

$$I_b = -1.80 - j0.375 \quad (96)$$

$$I_c = 1.63 + j0.520 \quad (97)$$

送電端電圧

$$V_a = 89.0 - j2.05$$

$$V_b = -33.3 - j41.85$$

$$V_c = -55.7 + j43.90$$

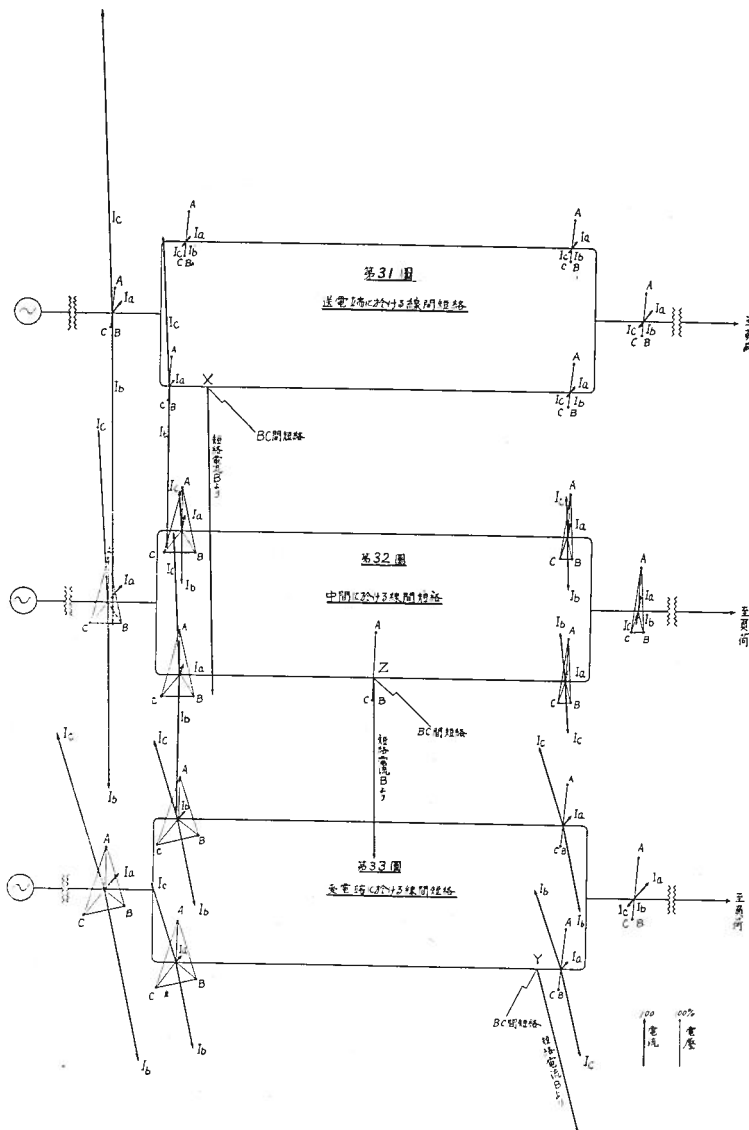
此場合送電端に装置した CD 型差動繼電器は、初めは兩線の電流が平衡して居るため働作せず、受電端で CR 型方向繼電器が働作して故障線が遮断されてから働作する。CR 型方向繼電器の内 B 相のものは、電圧 $-87 + j5.95$ 又は $89 (183^\circ 54')$ ヴォルト、電流は $15.5 + j4.0$ 又は $16 (345^\circ 30')$ アムペアである。

之を電壓基準に改めるに

電圧 89

電流 $16 (161^\circ 36')$ で

之を CR 型方向繼電器働



作曲線第 26 圖及び第 29 圖に照せば、4 アムペア、#1 調整に對して、安全率 2.65 凡そ 0.23 秒で故障側に働作する。

受電端で故障側が遮断されるに故障電流は全部送電端故障側を流れる。其電流値は

故障電流

$$I_s = -1.95 + j0.395 \quad (98)$$

で、CD 型差動繼電器に流れる電流は (98) 式と (99) 式との差に相當する二次電流である。

送電端電流健全側

$$I_b = -0.352 + j0.009 \quad (99)$$

即ち $-7.1 + 1.73$ 又は 7.3 アムペアである。

之を CD 型差動繼電器働作曲線第 30 圖に照すに、4 アムペア、#1 の調整値に對しては、約 0.6 秒で故障側に働作する。

中性點接地抵抗値の撰定

概 説

電氣系統中の接地故障は直接負荷に變動を及ぼす事はないけれども接地しない各相の電位を線間電壓迄上昇せしめるから長時間之を放棄するに其系統全体の器機の絶縁を甚しく疲勞せしめる。已ならず故障は段々擴大して遂に短絡を發生するに至る之等の不都合を一掃するためには系統中の一箇所又は數個所で其中性點を接地しておいて、なるべく電位上昇を防止し且つ接地電流によつて出來得る限り早く故障區間を撰別遮断するのがよい。

抵 抗 値

中性點を接地するに就て、之を直接接地するか又は抵抗を通じて接地するかは種々議論があるが、我國は地勢の關係上、通

信線と電力線が多くは並行して居るから、接地電流があまり大きい時は通信線に發生する電磁的誘導電壓が甚しく、通信者に危害を加へる虞があるから直接々地は許されない。例へば、通信線と電力線とがかなりの距離並行して居る場合電力線に接地故障があつて、通信線に 300 ヴォルト以上も電壓を發生したとすれば危険であるから、自然此場合に對しては最大接地電流は制限され、従つて最低接地抵抗の値は定まるのである。然るに一方より考へて、あまり接地抵抗を高くする時は何所かで弧光接地を生じた場合に電弧は不安定となり、系統に靜電的擾亂を惹起し、器機の絶縁をおびやかす、又繼電器に流れる電流があまり小さいため撰別遮断をすることが出來ない。之等の關係で自ら最高接地抵抗値は制限される。ペテルゼン氏の説によれば

弧光抑制の最高接地抵抗値は次の様である。

$$R = \frac{9.8 \times 10^6}{(L_a + 8 + 25L_b) \times f} \dots\dots\dots (101)$$

但し、 L_a は架空線網の全長(杆)、 L_b は地中電線網の全長(杆)、 f は周波数である。之を 60 サイクルの送電線について計算して見るに第三表の様になる。

第三表 弧光抑制の點から考へた最高接地抵抗			
送電々壓 Kv.	送電線全長 Kmr.	一回線	二回線
		最高抵抗値オーム	
22	10 (電線)	630	320
22	40 (架空)	3400	1850
33	60 "	2400	1270
44	80 "	1850	970
56	100 "	1500	780
66	100 "	1500	780
77	100 "	1500	780
115	200 "	620	315
154	250 "	500	255

次に繼電器の撰別動作を確實ならしめるための最高抵抗値を定めるに色々な回路に對して以下諸項に述べる結果となる。之等を通観するに 77 キロボルト以下の系統にあつては、特別にネットワークが大きくない限り、中性點接地抵抗値は全く繼電器動作の點より決定して差支ないのである。

時間定格

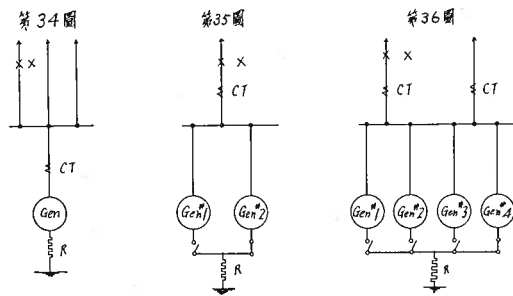
第 27 圖に示す様に CO 型又は CR 型接地繼電器を電流値 0.5 時間調整 # 10 におけば、1.5 アムペアの電流に對して凡そ 8 秒で繼電器は動作する。又 CD 型差働接地繼電器を 0.5 # 5 の調整におけば、1.5 アムペアの電流に對し凡そ 1.5 秒で動作する故障遮斷が二段に行はれるとすれば、故障發生後之を完全に遮斷するには最長約 15 秒を要する事になる。米國內の 80 會社に就て取調べたるものによるに、中性點接地抵抗器の時間定格は 10 秒より 120 秒の間で平均は 20 秒位である。高抵抗を用ひる場合は繼電器動作時間が幾分長くなる傾向があるから我國では故障接地抵抗値に對する安全率 3 以下の場合 30 秒 故障接地抵抗値に對する安全率 3 以上の場合 15 秒の程度が適當であらうと思ふ。

發電機中性點接地抵抗値計算例

第 34 圖に示す如く發電機が一臺のみの場合は、X 點の接地故障に際して接地電流は

$$I_g = \frac{100 I_F}{\frac{1}{3}(Z_{g0} + Z_{g1} + Z_{g2}) + R} \text{ アムペア} \dots\dots\dots (102)$$

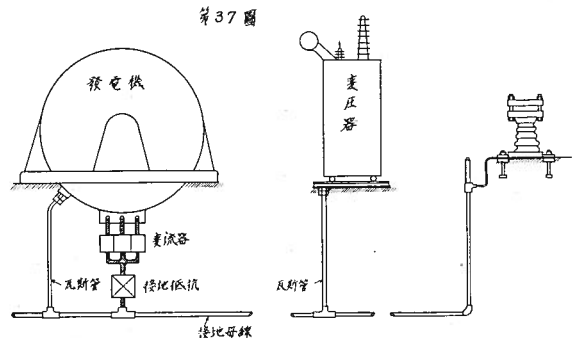
但し、 Z_{g0} 、 Z_{g1} 、 Z_{g2} は各々發電機の零相、正相及び逆相イムピーダンスで、X はリアクタンスである。又 I_F は發電機の全負荷電流、100 は一相の發電機端子電壓である。接地繼電器を



第四表 發電系統に對する許容最高接地抵抗値計算例

最大比の電流比と許容最高接地抵抗値	許容最高接地電流	許容最高接地抵抗値						
電流比	3500V	6600V	11000V	一次16ベ	一次16ベ	3500V	6600V	11000V
100	2500	5000	7500	1.5	1.5	1.3	2.5	4.1
120	3000	5500	10000	1.5	1.8	1.0	2.0	3.4
150	3750	7000	11500	1.5	2.2	0.8	1.6	2.7
160	4000	7500	12500	1.5	2.4	0.7	1.5	2.6
200	5000	10000	15000	1.5	3.0	0.6	1.3	2.0
300	7500	15000	22500	1.5	4.5	0.4	0.8	1.3
400	10000	20000	30000	1.5	6.0	0.3	0.6	1.0
500	12500	25000	37500	1.5	7.5	0.2	0.5	0.8
600		25000	45000	1.5	9.0		0.4	0.6
800		60000		1.5	12.0		0.3	0.5

* 一定の接地故障電流に對し電流比の最大値を同様の電線が最も不適當と認められ、それ系統の最大電流比に接地抵抗の最大値を支配する。



0.5 アムペアに調整するに第 27 圖により 0.75 アムペアで確實に動作するから、接地故障部の抵抗に對する安全率を 2 とすれば許容最高接地抵抗値は凡そ

$$R = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{100 I_F}{1.5 \alpha}\right)^2 - \frac{1}{3}(X_{g0} + X_{g1} + X_{g2})}} \% \dots\dots\dots (103)$$

但し α は發電機回路の變流器比である。第四表は各種電壓の發電系統に對する許容最高抵抗値計算例である。次に第 35 圖に示す様に、發電機が二臺並列にあつて主饋電線が一回路である場合は、主回路の變流比が最大であるから抵抗値は此回路の繼電器の動作により制限される。又第 36 圖に示す様に、發電機が數多並列にあつて饋電線も多數並列にある場合は、抵抗値は全系統中の最大變流比によつて定まる。今多數の發電機多數の饋電線が並列にある場合に系統の全負荷電流を I_F とし、全發電機の正相及び逆相イムピーダンスの合成を總容量基準に換算して Z_1 、 Z_2 とし、中性點を接地さるべき最小發電機の零相イムピーダンスを總容量基準に換算して Z_{g0} とすれば、最小接地電流は次の様である。

$$I_g = \frac{100 I_F}{\frac{1}{3}(Z_{g0} + Z_1 + Z_2) + R} \text{ アムペア} \dots\dots\dots (104)$$

やはり I_g の許容最小値を 1.5α とすれば、

$$R = \sqrt{\left(\frac{100 I_F}{1.5\alpha}\right)^2 - \frac{1}{3}(X_{g0} + X_1 + X_2)^2} \% \dots\dots\dots (105)$$

但し、 α は全系統の變流器中最大比である。

第四表は第 36 圖に示す様に發電機四臺、饋電線二本程度の發電所位迄に採用するこゝが出来る。

単一送電線中性點接地 抵抗値計算例

第 38 圖に示す様な単一 Y 式送電線の送電端に設置すべき中性點抵抗値は次の様にして算出される。即ち、發電機の合成イムピーダンスを正相及び逆相各々 Z_{g1} 、 Z_{g2} とし、遮断變壓器のイムピーダンスを Z_{t1} 、送電線の自己、相互及び線間各イムピーダンスを各々 Z_ℓ 、 Z_ℓ' 及び Z_ℓ'' とすれば、故障點から電源に向つた零相、正相、逆相各イムピーダンスは、

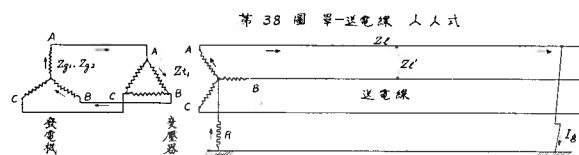
$$Z_0 = Z_\ell + 2Z_\ell' + Z_{t1} + 3R$$

$$Z_1 = Z_\ell - Z_\ell' + Z_{t1} + Z_{g1}$$

$$Z_2 = Z_\ell - Z_\ell' + Z_{t1} + Z_{g2}$$

それで最小接地故障電流は、送電線が全負荷を送つて居る時に

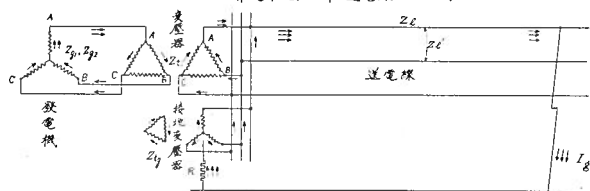
$$I_g = \frac{\{100 - (Z_\ell - Z_\ell') I_F\} I_F}{Z_\ell + Z_{t1} + \frac{1}{3}(Z_{g1} + Z_{g2}) + R} \text{ アムペア } \dots (106)$$



第 38 圖 単一送電線 Y 式

電圧 KV	電流 A	距離 KM	Z_{g1}	Z_{g2}	Z_{t1}	Z_ℓ	Z_ℓ'	Z_ℓ''	許容最小電流	許容最大接地抵抗
5,000	22	40	13	23	20	30	1.5A	45A	260	250
7,500	33	60	15	25	20	30	1.5	45	250	205
10,000	44	80	15	25	20	30	1.5	45	250	500
17,500	55	100	20	35	20	40	1.5	60	250	450
20,000	66	100	25	40	20	40	1.5	60	250	525
24,000	77	100	25	40	20	40	1.5	60	250	600
35,000	115	200	30	45	20	40	1.5	60	250	900
45,000	154	250	30	50	20	40	1.5	60	250	1250

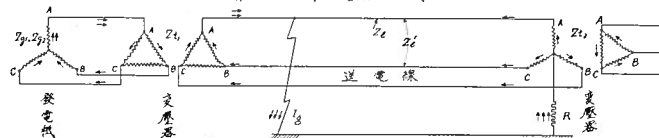
第五表 単一送電線 Y 式、送電端に中性點接地抵抗値計算例



第 39 圖 単一送電線 Y 式

電圧 KV	電流 A	距離 KM	Z_{g1}	Z_{g2}	Z_{t1}	Z_ℓ	Z_ℓ'	Z_ℓ''	許容最小電流	許容最大接地抵抗
5,000	22	40	13	23	20	30	1.5A	45A	260	250
7,500	33	60	15	25	20	30	1.5	45	250	205
10,000	44	80	15	25	20	30	1.5	45	250	500
17,500	55	100	20	35	20	40	1.5	60	250	450
20,000	66	100	25	40	20	40	1.5	60	250	525
24,000	77	100	25	40	20	40	1.5	60	250	600
35,000	115	200	30	45	20	40	1.5	60	250	900
45,000	154	250	30	50	20	40	1.5	60	250	1250

第六表 単一送電線 Y 式、送電端に中性點接地抵抗値計算例



第 40 圖 単一送電線 Y 式

但し I_F は全負荷電流 I_F のアムプリチュードを 1 とした全負荷電流の複素数値である。(例 $0.8 - j0.6$)

CO 型接地繼電器を 0.5 アムペアに調整すれば 0.75 アムペアでは確實に働作するから、故障接地抵抗に對する安全率を 2 とすれば許容最低接地電流は 1.5α となる。(α は變流器比) それで許容最高抵抗値のパーセンテージは

$$R = \sqrt{\left\{ \frac{100 - (Z_\ell - Z_\ell') I_F}{1.5\alpha} \times I_F \right\}^2 - \left\{ Z_\ell - Z_{t1} + \frac{1}{3}(Z_{g1} + Z_{g2}) \right\}^2} \% \dots\dots\dots (107)$$

第五表は色々な送電線の計算例を示したものである。

第 39 圖に示す様な単一 Y 式送電線の送電端に接地變壓器を併用すべき抵抗の許容最大値は次の様に計算する事が出来る

$$I_g = \frac{\{100 - (Z_\ell - Z_\ell') I_F\} I_F}{Z_\ell + \frac{1}{3}(2Z_{t1} + Z_{t2} + Z_{g1} + Z_{g2}) + R} \text{ アムペア } \dots (108)$$

$$R = \sqrt{\left\{ \frac{100 - (Z_\ell - Z_\ell') I_F}{1.5\alpha} \times I_F \right\}^2 - \left\{ Z_\ell - \frac{1}{3}(2Z_{t1} + Z_{t2} + Z_{g1} + Z_{g2}) \right\}^2} \% \dots\dots\dots (109)$$

但し Z_{t2} 及び Z_{g2} は各々接地變壓器のリアクタンス%と、イムピーダンス%である。 I_g は送電線の終端で接地した場合が最も小さい。式 (108) は此場合である。

第六表は色々な送電線に對する計算列である。

第 40 圖に示す様な単一 Y 式送電線では受電端で中性點を接地しても、故障電流で送電端の繼電器を働作せしめ得ないからやはり第 39 圖の様に送電端で接地變壓器を並用して接地せねばならぬ。

第 41 圖に示す様な単一送電線で、送電端及び受電端兩側で中性點を接地する事は受電端に同期進相機のある場合には必要であるが、さもない時は無駄である。

やはり第 38 圖第五表によるがよい。兩側で接地する場合でも兩方共第五表による抵抗器を要する。

並行送電線中性點接地

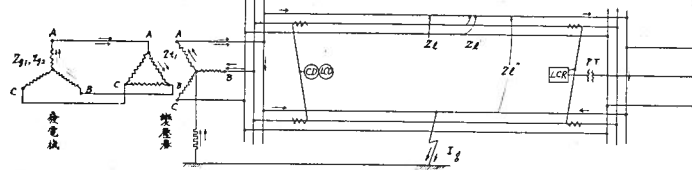
抵抗値計算例

第 41 圖に示す如き並行 Y 式送電線の送電端に設置すべき最高中性點接地抵抗値は次の様に計算する。二回線間の相互イムピーダンス及びリアクタンスを Z_ℓ'' 、 X_ℓ'' とする。此場合送電線の中央で故障接地を生じた時に繼電器の働作が最も不確實であるから、此際の最小故障電流は

$$I_g = \frac{\{100 - \frac{1}{3}(Z_\ell - Z_\ell') I_F\} I_F}{\frac{1}{3}(3Z_\ell + Z_\ell'') + Z_{t1} + \frac{1}{3}(Z_{g1} + Z_{g2}) + R} \text{ アムペア } \dots\dots\dots (110)$$

であつて、繼電器の働作電流は CD 型、CR 型共に I_g

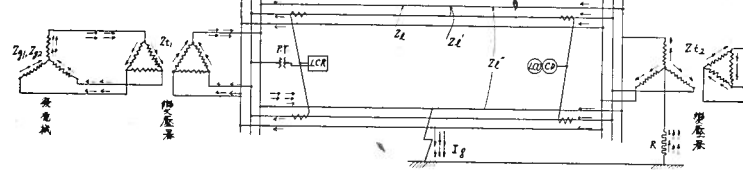
第 41 図 並行送電線 Y 式



第七表 並行送電線・送電機に設置すべき中性点接地抵抗許容最大値計算例

送電容量 KVA	電圧 KV	長さ KM	Z ₁ -Z ₂ %	Z ₁ -Z ₂ Ω	Z ₁ -Z ₂ % (Z ₁ +Z ₂)	電流率 %	許容最大電流 A	許容最大接地抵抗 Ω
5,000	22	40	13	8	20	30	3A	90A
7,500	33	60	15	10	20	30	3A	90A
10,000	44	80	18	12	20	30	3A	90A
17,500	55	100	20	14	20	40	3A	120A
20,000	66	100	25	16	20	40	3A	120A
24,000	77	100	25	16	20	40	3A	120A

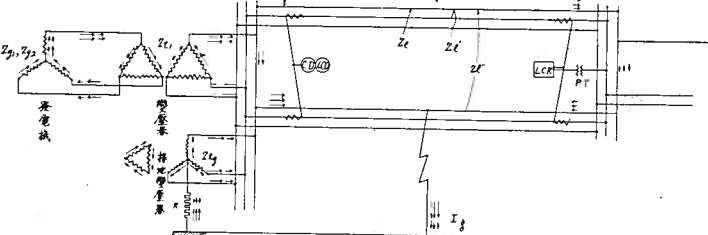
第 42 図 並行送電線 Δ 式



第八表 並行送電線・送電機に設置すべき中性点接地抵抗許容最大値計算例

送電容量 KVA	電圧 KV	長さ KM	Z ₁ -Z ₂ %	Z ₁ -Z ₂ Ω	Z ₁ -Z ₂ % (Z ₁ +Z ₂)	電流率 %	許容最大電流 A	許容最大接地抵抗 Ω
5,000	22	40	13	8	20	30	3A	90A
7,500	33	60	15	10	20	30	3A	90A
10,000	44	80	18	12	20	30	3A	90A
17,500	55	100	20	14	20	40	3A	120A
20,000	66	100	25	16	20	40	3A	120A
24,000	77	100	25	16	20	40	3A	120A

第 43 図 並行送電線 Δ 式



第九表 並行送電線・送電機に設置すべき中性点接地抵抗許容最大値計算例

送電容量 KVA	電圧 KV	長さ KM	Z ₁ -Z ₂ %	Z ₁ -Z ₂ Ω	Z ₁ -Z ₂ % (Z ₁ +Z ₂)	電流率 %	許容最大電流 A	許容最大接地抵抗 Ω
5,000	22	40	13	8	20	30	3A	90A
7,500	33	60	15	10	20	30	3A	90A
10,000	44	80	18	12	20	30	3A	90A
17,500	55	100	20	14	20	40	3A	120A
20,000	66	100	25	16	20	40	3A	120A
24,000	77	100	25	16	20	40	3A	120A

の半分に相当する二次電流である。兩繼電器に 1.5 アムペアを流すためには最高抵抗値は、

$$R = \sqrt{\left\{ \frac{100 - \frac{1}{2}(X\ell - X\ell')If}{3\alpha} \times If \right\}^2 - \left\{ \frac{1}{2}(3X\ell + X\ell'') + Xt_1 + \frac{1}{2}(X_{g1} + X_{g2}) \right\}^2} \% \dots (111)$$

である。第七表は色々な送電線に対する計算例である。

第 42 図に示す様な並行 Δ 式送電線の受電端に設置すべき最高中性点接地抵抗値は次の様である。此場合も送電線の受電端で接地した時を考へればよいのであつて、

$$I_g = \frac{\{100 - \frac{1}{2}(Z\ell - Z\ell')If\} I_F}{\frac{1}{2}(Z\ell - Z\ell') + \frac{1}{2}(2Zt_1 + Zt_2) + \frac{1}{2}(Z_{g1} + Z_{g2}) + R} \text{ アムペア} \dots (112)$$

繼電器の動作電流は I_g の三分一に相当する二次電流であるから許容最高接地抵抗値は、

$$R = \sqrt{\left\{ \frac{100 - \frac{1}{2}(X\ell - X\ell')If}{4.5\alpha} \times I_F \right\}^2 - \frac{1}{9} X\ell - X\ell' + 2Xt_1 + Xt_2 + X_{g1} + X_{g2} \right\}^2} \% \dots (113)$$

である。第八表は種々な送電線に対する計算例である。

第 43 図に示す様な並行 Δ 式送電線の送電端に、接地変壓器を併用して設置すべき最高中性点接地抵抗値は次の通りである。此場合は第 41 図の場合と同様に送電線の中央で故障を生じた場合を考へればよいのであつて、繼電器の動作電流は接地電流の半分に相当する二次電流であるから次の様になる。

$$I_g = \frac{\{100 - \frac{1}{2}(Z\ell - Z\ell')If\} I_F}{\frac{1}{2}(3Z\ell + Z\ell'') + \frac{1}{2}(2Zt_1 + Zt_2 + Z_{g1} + Z_{g2})} \text{ アムペア} \dots (114)$$

$$R = \sqrt{\left\{ \frac{100 - \frac{1}{2}(Z\ell - Z\ell')If}{3\alpha} \times I_F \right\}^2 - \left\{ \frac{1}{2}(3Z\ell + Z\ell'') + \frac{1}{2}(2Xt_1 + Xt_2 + X_{g1} + X_{g2}) \right\}^2} \% \dots (115)$$

第九表は計算例を示す。

第 45 図に示す様な並行 YY 式送電線の受電端及び送電端両方に設置すべき中性点接地抵抗の最高値は次の様である。此場合には送電線の受電端で接地故障を生じた場合が最も繼電器動作が問題になるのであつて故障電流の三分の一に相する二次電流で接地繼電器が動作するから次の式によればよい。

$$\frac{1}{2} I_g = \frac{\{100 - \frac{1}{2}(Z\ell - X\ell')If\} If}{\frac{1}{2}(Z\ell - Z\ell') + \frac{1}{2}(2Zt_1 + Zt_2 + Z_{g1} + Z_{g2})} \text{ アムペア} (116)$$

$$R = \sqrt{\left\{ \frac{100 - \frac{1}{2}(Z\ell - Z\ell')If}{2.25\alpha} \times I_F \right\}^2 - \left\{ \frac{1}{2}(Z\ell - Z\ell') + \frac{1}{2}(2Zt_1 + Zt_2 + Z_{g1} + Z_{g2}) \right\}^2} \% \dots (117)$$

第十表は種々の送電線に対する計算例である。尚ほ本表に示す抵抗値が、通信線に対する誘導電圧の限度より低い場合は特殊の方式を用ひて本表の約倍値迄上げる事が出来る。

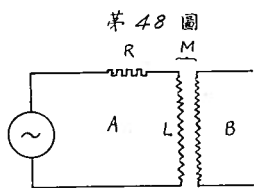
結 論

上述の諸計算例を通観するに發電機の中性点接地抵抗値は發電機容量が増加するに従つて著しく降下する。然るに此抵抗値があまり小さい時は接地點の電極面の抵抗、土地の抵抗が問題となる。例へば四分三吋の瓦斯管 6 本を各々 3 米の間隔で 3

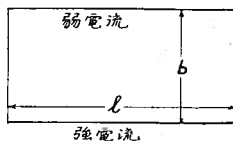
附 録 2.

弱電流線路の誘導電壓

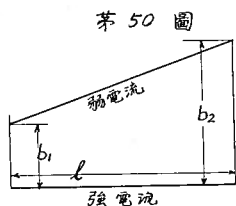
電力線の接地故障の際、弱電流線路に発生する誘導電圧に關しては、逓信省電氣試験所研究報告第百廿一號及び電氣學會誌大正十年二月號第 137 頁に之が研究の發表がある。



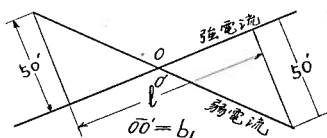
第 48 圖



第 49 圖



第 50 圖



第 51 圖

之を約述すれば次の様である。第 48 圖は等價回路であつて、A は電力線回路、B は弱電流線回路である。R は中性點接地抵抗、L は A 回路の自己誘導定數、M は A と B の相互誘導定數である。B 回路の誘導電壓の最大値は

$$t=0 \text{ の時 } \frac{ME}{L} \sin \theta$$

$$t=\infty \text{ の時 } \omega MI$$

但し E は A 回路の對地最大電壓で、 θ は故障發生時の電壓波の時間角度、I は次の値である。

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$$

之等より見れば、故障發生直後の電磁誘導電壓の最大値は、電力線の中性點に接地抵抗を入れても入れなくても同じ値であるが段々抵抗の効果が現はれて來るのである。然しながら此最初の最大値は大地のダンプ作用で上式の如く高くなく、普通の場合は最後の電壓の 2 倍以内であり、且つ又電力線の接地回路のタイムコンスタントは高抵抗接地式では非常に小さいから、一サイクル以内に略ぼ最終値に達する。それで問題は ωMI の値であるが、之は下掲の諸式で算出が出来る。

平行せる場合 (第 49 圖参照)

$$\left. \begin{aligned} v &= 20.3 \times f I l \times 10^{-3} \times \frac{1}{\sqrt{b}} \dots (b \dots 50' - 500') \\ v &= 400 \times f I l \times 10^{-3} \times \frac{1}{b} \dots (b \dots 300' - 1350') \\ v &= 530 \times f I l \times \frac{1}{b^2} \dots (b \dots 1000' - \text{以上}) \end{aligned} \right\} \quad (118)$$

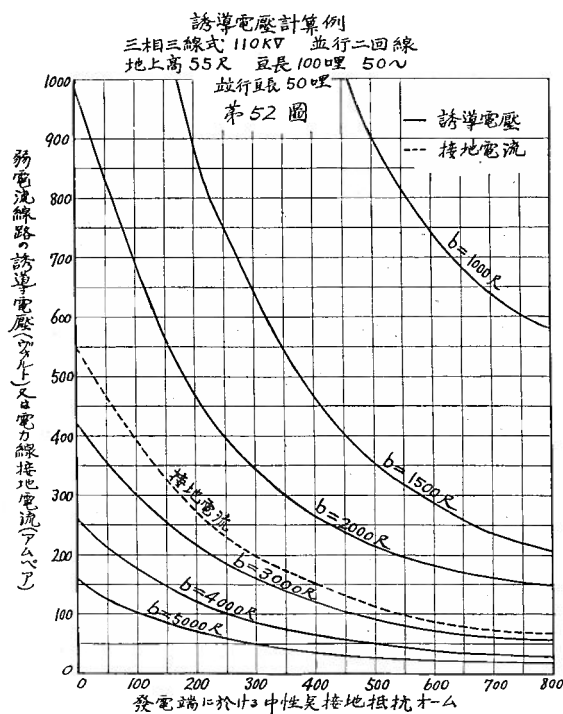
角度をなせる場合 (第 50 圖参照)

$$\left. \begin{aligned} v &= 40.6 \times f I l \times 10^{-3} \\ &\times \frac{1}{\sqrt{b_1 + \sqrt{b_2}}} \dots (b \dots 50' - 500') \\ v &= 920 \times f I l \times 10^{-3} \\ &\times \frac{\log_{10} \frac{b_2}{b_1}}{b_2 - b_1} \dots (b \dots 300' - 1350') \\ v &= 530 \times f I l \times \frac{1}{b_1 \times b_2} \dots (b \dots 1000' - \text{以上}) \end{aligned} \right\} \quad (119)$$

交叉せる場合 (第 51 圖参照)

$$v = 29 \times f I l \times 10^{-3} \times \frac{1}{\sqrt{b_1 + \sqrt{50}}} \dots (120)$$

但し b の單位は尺、l の單位は 1000 尺、f は電力線の常用周波數である。



誘導電壓計算例

三相三線式 110KV 並行二回線
地上高 55 尺 互長 100 哩 50V

第 52 圖

實際の場合は、電力線と弱電線とが複雑に配置されて居るから、圖面の上で澤山の區分に分けて計算し、其結果を加へ合すのである。

第 52 圖は兩回路が全く並行した場合の計算例であつて、計算の目安として舉げたものである。

以 上

