PNC PN9440 91-013

社内資料

電気設備における過電流継電器の整定と評価

区分変更	
変更後資料番号	PNCTN9440 91-013
決議年月日	平成10年3月26日

1991年6月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

この資料は，動燃事業団社内における検討を目的とする社内資料です。ついては複製，転載，引用等を行わないよう，また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

本資料についての問合せは下記に願います。
〒311-13　茨城県東茨城郡大洗町成田町4002
動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター
技術開発部・技術管理室

社　内　資　料
PNC PN9440 91-013
1 9 9 1 年 6 月

電気設備における過電流経電器の整定と評価

砂 押 實 次*，高 橋 喜 一**

要　　旨

電気設備における過電流継電器の整定に際して，電力系統の％インピーダンス及び事故電流を算出し，保護協調を図ることで事故波及を防止し，電力供給の信頼性を向上させるとともに，電気設備の設計，運用維持に役立てるために作成した。

大洗変電所（6kV系）の一連の更新工事完成を期に，次の項目について評価を行った。

① 過電流継電器整定の考え方と整定値の評価
② ％インピーダンスの算出（マップの作成）
③ 事故電流の算出（二線及び三相短絡電流の算出：6kV及び低圧系）
④ 6kV遮断容量の選定
⑤ 過電流継電器保護協調の評価

その結果，次のような効果が期待できる。

① 事故点の損害を最小限にし事故の波及，拡大を防止する。
② 事故範囲を最小限にし無用の停電を防止し，施設側の損害を軽減する。
③ 施設側の停電範囲，停電時間の低減により電力供給の信頼性の向上を図る。

＊　大洗工学センター管理部工務課
＊＊　常陽産業（株）

目　　次

1. はじめに …… 1
2. 設備の現状 …… 2
3. 過電流継電器整定の考え方 …… 3
4. 継電器整定の概念 …… 4
5. 故障電流の計算法 …… 5
6. %インピーダンス法 …… 7
6.1 %インピーダンス計算法 …… 7
6.2 機器及び送電線の%インピーダンス …… 8
6.3 三相短絡電流の求め方 …… 11
6.4. 動燃大洗変電所60kV母線の短絡容量 …… 13
7. 継電器整定の変更 …… 15
8. 継電器整定と保護協調 …… 16
9. 過電流継電器の整定（大洗変電所６kV配電線） …… 25
10. 過電流継電器整定のまとめ …… 27
11. 誘導形過電流継電器限時動作特性曲線から動作時間を求める実験式 …… 34
11.1 実験式の算出法 …… 34
11.2 動作時間特性 …… 36
11.3 実験式の算出 …… 37
12. 大洗変電所６kV系遮断容量の選定 …… 44
13. 大洗変電所過電流継電器の整定 …… 45
13.1 60kV受電51R_1及び51R_2整定値 …… 45
13.2 １号変圧器151Pの整定 …… 52
13.3 ２号変圧器251Pの整定 …… 54
13.4 ３号変圧器（常陽）351Pの整定 …… 56
13.5 ４号変圧器451Pの整定 …… 58
（事例－１）配電盤要（炉工）過電流継電器の整定 …… 67
（事例－２）ＡＴＴＦ系過電流継電器電流タップの整定値変更 …… 72
（事例－３）短絡電流の計算（炉工系） …… 84
14. 二次変電設備変圧器二次母線に設置する遮断器の遮断容量評価 …… 88
14.1 三相変圧器二次系（200V系） …… 88

14.2　単相変圧器二次系（200V系）…… 93
14.3　三相変圧器二次系（400V系）…… 97
15. 構内二次変電設備200V系の短絡電流計算 …… 101
15.1　$52E_1$（Na流動伝熱）…… 101
15.2　$52D_{11}$(Na機器第２）…… 105
15.3　$52E_6$（ＤＣＡ）…… 106
15.4　$252F_2$(Na機器構造）…… 108
15.5　$52D_3$（ＡＴＲ工学）…… 110
15.6　$52D_{11}$(Na機器第２）…… 112
15.7　$52D_7$（ＦＳＩ）…… 113
15.8　$52E_2$（ＩＳＩ）…… 115
15.9　$52E_3$（水流動）…… 117
15.10　$52E_3$（水流動）…… 119
15.11　$52D_{10}$(ＭＭＦ）…… 120
15.12　$52E_5$（Ａ安，ボイラ）…… 123
15.13　$52D_8$（本館）…… 124

（参考資料）

表15-2　600V CV インダクタンス表 …… 132
表15-3　600V-CV-3C電力ケーブル導体（銅）210Vにおける％インピーダンス表
（at 10MVAベース）…… 133
表15-4　600V-CV-3C電力ケーブル導体（銅）420Vにおける％インピーダンス表
（at 10MVAベース）…… 134
表15-5　6kV 三相変圧器の励磁突入電流表 …… 135
表15-6　6kV 単相変圧器の励磁突入電流表 …… 136

1. はじめに

大洗工学センターの研究開発施設は，高度情報化時代を迎え，パソコン，ワープロ等のＯＡ機器や電算機が導入されコントロールされている。

こうした状況に応じて，受配電設備の位置づけも今まで以上に重要になってきている。一次的な故障による電力供給の停止は，短時間といえども多大な影響を与えるため，高品質で高い信頼度の電源を安定供給することが要求されている。

電力供給の高信頼化は，信頼度の高い機器を導入するだけでなく，経済性を考慮し施設の特性に合わせたシステム構築を図ることが大切である。

これらを推進することにより，信頼性が向上してきたといえる。ところが最近の高度情報化社会の発展は目ざましいものがあり，当センターのＦＭＦ増設等のインテリジェントラボに見られるように，電算機の急速な普及に伴い，情報通信システムも具現化され，電力需要も著しく増大してきた。こうした施設では24時間稼動しており，電源のトラブルが与える影響も大きく無停電，無瞬断はもちろんのこと電圧変動，ノイズ等に対する信頼性も要求されてきている。

電力供給信頼度の向上は，

① 故障率の低減化

主回路の構成機器等のハードウエアの品質を向上する。

② 平均故障時間の極小化

受配電系統の構成，運用及び保護継電方式等システムの高信頼化による。

であり，高信頼化を図るには，

① 電源の複数化

- 非常発電機の並列運転
- 変圧器の並列運転
- ２回線受電による電源の複数化
- 配電系の二重化

② 万一故障が発生したときの故障除去時間の高速化

- 保護継電器自身の信頼性と機器の向上
- アナログ式の電磁型からディジタル式の静止型への移行

③ 復旧時間の短縮化

を重要視する必要がある。

2. 設備の現状

大洗工学センターの電気設備は，昭和44年10月5日13時04分に，東京電力㈱から受電を開始してから21年余りが経過した。この間，実験炉「常陽」の増設が昭和47年1月に完成し，実際に電力を供給したのは昭和48年11月15日14時05分であった。また，構内系は，昭和48年12月1日9時00分に6kVで施設への本格的な電力供給が開始された。

昭和60年度になって大洗変電所の改造に着手し，6kVキュービクル，監視制御盤（トラパック）を5か年がかりで更新工事を実施した。

一方，監視制御の高度化を目指してコンピュータを導入するため，運転信号の入出力取得とインタフェースの構築を図り，より高度な運用が可能になった。特に，「電力供給運転支援システム」の開発は，コンピュータ活用の新しい方向性を示すものとして注目されている。

今回，一連の更新工事の完成を期に，電力を安定供給するため，短絡事故等で過電流継電器が動作した際に，故障点を速やかに除去することの本来の目的にそって検討を行った。また，上位の保護継電器が動作することで，故障範囲が拡大し予期しない事故が誘発するおそれがあるので，再度，最新のデータをもとに，次の点について見直を行った。

① 過電流継電器整定の考え方
② 過電流継電器整定値の評価
③ %インピーダンスの算出（%インピーダンス図の作成）
④ 事故電流の算出（二線及び三相短絡電流の算出）
⑤ 負荷電流の積算と調査
⑥ 過電流継電器保護協調の評価

3. 過電流継電器整定の考え方

電力供給の信頼性向上と電力の質的向上を図るため，系統保護の重要性が要求される。系統保護上欠くことのできないのが保護継電器で，従来はややもすれば機器の付属的に考えられていた向きもあった。近年においては電力系統の発展と電力技術の進歩に伴い，これらに対する要求が高度化し，今日では多種，多様な継電器が製作されている。特に，半導体の発達に相まって無接点式の静止形が主流になりつつある。

このように多種，多様な継電器が，電力系統に事故が発生した場合に，十分にその機能を発揮し，事故部分を迅速に除去するため，適切な継電器の整定と適切な保守が必要である。その整定と保守を誤ったら初期の目的である電力系統の事故波及を防止し，電力供給の信頼度を向上させることが逆に，事故を拡大し信頼性を低下させる結果となってしまう。

保護継電器の効果及び適用上の考え方は，次のとおり。

(1) 効　果

① 事故点の損害を最小限にし事故の波及，拡大を防止する。

② 事故範囲を最小限にし無用の停電を防止し，施設側の損害を軽減する。

③ 施設側の停電範囲，停電時間の低減により電力供給の信頼性の向上を図る。

(2) 適用上の考え方

① 事故の状態を識別し正確に動作するとともに，絶対に誤動作しない。

② 回路変更時にも，保護性能に変化しないで使用できる。

③ 保護区間の一部の継電器が不動作になっても，完全な保護協調ができる。

④ 信頼性が高く，構造が簡単で取扱い，保守が容易で整定，変更等の運用が容易であること。

4. 継電器整定の概念

短絡故障電流は，最大の故障電流を知るために三相短絡電流を算出する。インピーダンスとしては，同期機は，初期過渡リアクタンス，変圧器は，リアクタンス，線路は，抵抗とリアクタンスを用いる。また，予想される最小故障電流として二線短絡電流についても評価する。

（二線短絡電流は，三相短絡電流の $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 倍になる。）

表4.1　保護継電器と動作整定値等

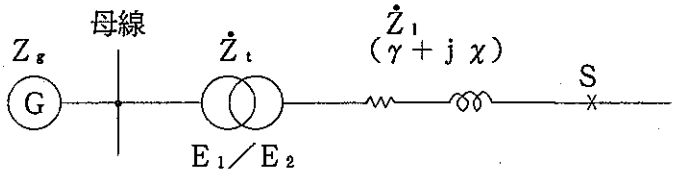
種　別	用　　途	動 作 整 定 値	限 時 整 定
ケーブル	短絡保護 （並行配電線の場合は，1回線として整定する。）	線路及び付属装置の許容電流最小値に対し 150%以上とし末端の故障電流でも動作できるようにする。	①高圧配電線路は 0.2秒以下 ②系統末端から各段は所定の時間間隔があるように限時を整定する。
変圧器	短絡保護	定格電流の 160%	
発電機	差動継電器のない場合の短絡保護	定格電流の 150%	（流出） 故障電流で 0.6秒以上 （流入） 故障電流で 0.6秒以内
コンデンサ	短絡保護	定格電流の 150%	0.2秒
母線連絡	過負荷及び短絡保護	母線及び付属装置の最小許容電流の 200%	2秒以上

5. 故障電流の計算法

基本的に簡単な回路の短絡電流の計算は，種々の計算方法があるが，一般的にはオーム法，パーセンテージ法等が用いられる。電力系統は，発電所から需用家に至るまで，変圧器をとおして各種の電圧の異なる電気回路から構成されているため，オーム法を使用する場合は基準電圧を定めてそれに換算する必要があり，実際の計算には不便である。

そこで計算を容易にする方法として，通常パーセンテージ法が用いられている。%インピーダンス法で表現すればいちいち換算する必要がなく，そのまま集約でき計算が非常に便利である。

5.1 オーム法



$\dot{Z}_g$ ：変電所一次側から見た一相当たりの電源合成インピーダンス（Ω）

$\dot{Z}_t$ ：変圧器の一次側から見た一相当たりのインピーダンス（Ω）

Z_l ：変圧器の二次側から短絡点までの配電線一相当たりのインピーダンス(Ω)

E_1 ：変圧器の一次側線間電圧（kV）

E_2 ：変圧器の二次側線間電圧（kV）

S ：短絡点

短絡点Sまでの合成インピーダンスZ_sは

$$\dot{Z}_s = \dot{Z}_g \left(\frac{E_2}{E_1}\right)^2 + Z_t \left(\frac{E_2}{E_1}\right)^2 + \dot{Z}_l$$

短絡電流I_sは

$$I_s = \frac{\frac{E_2}{\sqrt{3}} \times 1000}{|Z_s|} = \frac{E_2}{\sqrt{3}} \quad \frac{1000}{\left| Z_g \left(\frac{E_2}{E_1}\right)^2 + Z_t \left(\frac{E_2}{E_1}\right)^2 + Z_\ell \right|} \quad (A) \cdots (1)$$

（一次側のインピーダンスを二次側に換算するとき$\left(\frac{E_2}{E_1}\right)^2$を乗ずる理由）

$E_1 = I_1 Z_1$ …… (1)'　(1)' 式÷(2)' 式　$\dfrac{E_1}{E_2} = \dfrac{I_1 Z_1}{I_2 Z_2}$ …… (3)'

$E_2 = I_2 Z_2$ …… (2)'　$E_1 I_1 = E_2 I_2$ …… (4)'

ただし，I_1 は一次側電流

I_2 は二次側電流

(4)' 式から $\dfrac{E_1}{E_2} = \dfrac{I_2}{I_1}$ …… (5)'

(3)' 式×(5)' 式　$\dfrac{E_1}{E_2} \times \dfrac{E_1}{E_2} = \dfrac{I_2}{I_1} \times \dfrac{I_1 Z_1}{I_2 Z_2}$　$\left(\dfrac{E_1}{E_2}\right)^2 = \dfrac{Z_1}{Z_2}$ … (6)'

(6)' 式から　$Z_2 = Z_1 \left(\dfrac{E_2}{E_1}\right)^2$ …… (7)'

(1)式の計算式は，最も基本的な考え方であるが $\left(\dfrac{E_2}{E_1}\right)^2$ の電圧，変換計数を乗じなければならないので，取扱上甚だ面倒である。実際の電力系統では，いく種類もの電圧階級が系統に接続されているので，益々繁雑になる。

この問題を解決するのに用いられるのが，次に述べる%インピーダンス法である。

6. %インピーダンス法

6.1 %インピーダンス計算法

%インピーダンスは，その回路のインピーダンスに全負荷電流(基準容量に相当する電流)が流れたときに生ずる電圧降下が回路電圧に対し，何%になるかによってインピーダンスの大きさを表す方法である。

計算の方法は，次のとおり。

$$\%\chi_1 = \frac{I_1\ (\chi_1 + n^2\ \chi_2)}{E_1} \times 100\% \qquad (1)$$

$$\%\chi_2 = \frac{I_2\ \{(\chi_1 / n^2) + \chi_2\}}{E_2} \times 100\% \qquad (2)$$

(1)式に$E_1 = nE_2$，$I_1 = I_2 / n$の関係を代入すると

$$\%\chi_1 = \frac{(I_2/n)\ (\chi_1 + n^2\ \chi_2)}{nE_2} \times 100\%$$

$$= \frac{I_2\ \{(\chi_1/n^2) + \chi^2\}}{E_2} \times 100\%\chi_2$$

となり，一次側からみても二次側からみても%インピーダンスは等しくなる。

また，(1)式の関係を書き直すと一般式として，次式が得られる。

$$\%Z = \frac{IZ}{E} \times 100\% = \frac{Z\ (IE)}{E_2} \times 100\% \qquad (3)$$

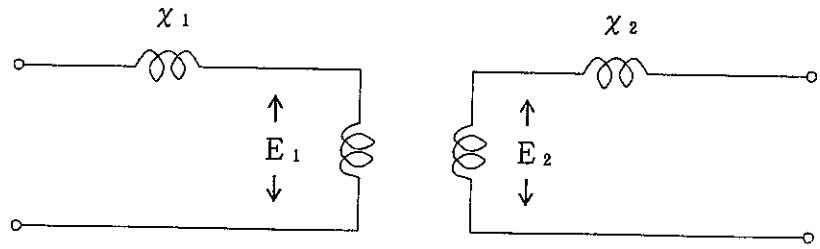
(3)式で$IE = M$；〔kVA〕，E；〔kV〕とすれば

$$\%Z = \frac{ZM}{10E^2}\% \qquad (4)$$

この(4)式からインピーダンスの値（Ω）を換算すれば

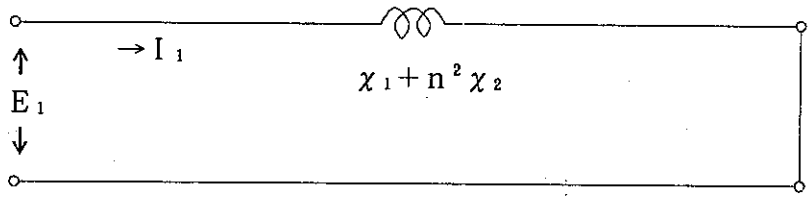
$$Z = \frac{\%Z \cdot 10E^2}{M}\ 〔\Omega〕 \qquad (5)$$

となり(4)式と(5)式を用いると%インピーダンスとΩ値の換算が容易にできる。

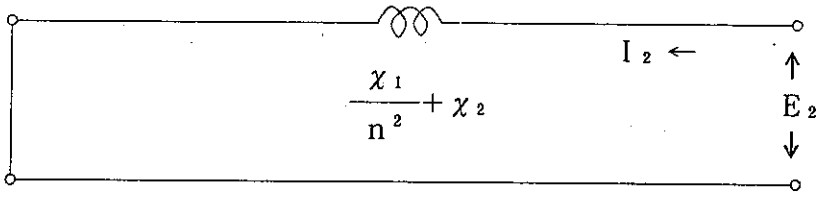


$$\frac{E_1}{E_2}=n$$

(a)



(b)



(c)

このように，至極便利であるが基準となる容量[kVA] をきめて計算しなければならない。この基準容量を一般的には10,000kVA を使用することにしてる。求められた各インピーダンスを系統図に合せて接続したものをインピーダンス図といい，インピーダンス図には各変電所の母線ごとに電源からの合成インピーダンスを計算しておけば，故障時の電流分布は，容易に計算ができて継電器の整定を行なう場合に利用すると便利である。

6.2 機器及び送電線の%インピーダンス

① 同期機のインピーダンスは，%初期過渡リアクタンスχ_d を用い抵抗分は無視する。

② 変圧器のインピーダンスは，%リアクタンスのみを用い抵抗分を無視する。

③ 送電線路のインピーダンスは，公称電圧を基準として算出した%インピーダンスを用いる。ただし，抵抗文がリアクタンス分の50%以下の場合は抵抗分を無視してよい。

④ これらの%インピーダンスによりインピーダンス図を作成する場合は，基準容量(10,000kVA) に換算して使用しなければならない。

⑤ 機器及び送電線路の定数が不詳の場合には，便宜上表6.1～6.3の値を用いるものとする。

各インピーダンスの基準電流に対する電圧降下の相電圧に対する比率をとり，これを%インピーダンス（%Z）と定義する。

各インピーダンスとは，発電機，変圧器，送配電線路等で変圧器は銘板に%インピーダンスの値を表示している。

P　：適当に定められた基準容量（kVA）（一般にはP＝10,000kVA基準としている。）

I_1 ：基準容量に対する一次側基準電流（A）　$I_1 = \dfrac{P}{\sqrt{3}E_1}$

I_2 ：基準容量に対する二次側基準電流（A）　$I_2 = \dfrac{P}{\sqrt{3}E_2}$

E_1 ：一次側電圧（kV）

E_2 ：二次側電圧（kV）

図から%Zgを求める。

$$\%Z_g = \frac{I_1 Z_g}{\dfrac{1000E_1}{\sqrt{3}}} \times 100\% = \frac{\dfrac{P}{\sqrt{3}E_1} Z_g}{1000\dfrac{E_1}{\sqrt{3}}} \times 100\% = Z_g \frac{P}{10E_1^2} \quad (\%)$$

同様に

$$\%Z_t = Z_t \frac{P}{10E_1^2} \ (\%) \qquad \%Z_1 = Z_1 \frac{P}{10E_1^2} \ (\%)$$

$$\%Z_g = Z_g \frac{P}{10E_1^2} \ (\%) \cdots\cdots(2) \qquad Z_g = \%Z_g \frac{10E_1^2}{P} \ (\Omega) \cdots\cdots(5)$$

$$\%Z_t = Z_t \frac{P}{10E_1^2} \ (\%) \cdots\cdots(3) \qquad Z_t = \%Z_t \frac{10E_1^2}{P} \ (\Omega) \cdots\cdots(6)$$

$$\%Z_1 = Z_1 \frac{P}{10E_2^2} \ (\%) \cdots\cdots(4) \qquad Z_1 = \%Z_1 \frac{10E_2^2}{P} \ (\Omega) \cdots\cdots(7)$$

前項の(1)式に(5)(6)(7)式を代入する。

$$I_s = \frac{\dfrac{E_2}{\sqrt{3}} \times 1000}{\dfrac{10}{P}\left\{ \%Z_g\, E_1^2 \left(\dfrac{E_2}{E_1}\right)^2 + \%Z_t\, E_1^2 \left(\dfrac{E_2}{E_1}\right)^2 + \%Z_l\, E_2^2 \right\}}$$

$$= \frac{\dfrac{E_2}{\sqrt{3}} \times 1000}{\dfrac{10E_2^2}{P}\left\{ \%Z_g + \%Z_t + \%Z_l \right\}}$$

$$= \frac{\dfrac{P}{\sqrt{3}E_2} \times 100}{\%Z_g + \%Z_t + \%Z_l} = \frac{I_2 \times 100}{\%Z_g + \%Z_t + \%Z_l} = \frac{100\, I_2}{|\%Z_s|}\ (\mathrm{A}) \cdots (8)$$

$$P_s = \sqrt{3}E_2\, I_s = \frac{\sqrt{3}E_2\, I_s}{|\%Z_s|} \times 100 = \frac{P}{|\%Z_s|} \times 100\ (\mathrm{kVA}) \cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

このように計算する方法を「パーセンテイジ法」又は「%インピーダンス法」という。

100 を%Zで割りさえすれば定格電流の何倍の故障電流が流れるか，その倍率はすぐわかる。

したがって，基準容量が決まっていれば故障電流値も簡単に計算できる。基準容量は，勝手に決めて良いが電力会社では一般に60^{kV}系以下の場合は10,000^{kVA} ベース超高圧系統に対しては100,000^{kVA}ベースを使用している。

ここでは基準容量を10,000^{kVA}として計算する。

6.3 三相短絡電流の求め方

電気学会で制定した標準計算法〔送電系統短絡電流計算法〕に準じ基準容量を10,000^{kVA}電圧を公称電圧の1.1倍とする。

機器及び線路の定数が不詳の場合には，次の値を用いる。

(1) 同期機の％リアクタンス

％初期過渡リアクタンスを用い抵抗分を無視する。

表6.1　同期発電機の％リアクタンス

原動機の種別	％リアクタンス
タービン発電機	13％
水車発電機（制動巻線あり）	20％
水車発電機（制動巻線なし）	25％
ディーゼル発電機	20％

例. ① 実験炉「常陽」非常用EG. 3 ϕ2500^{kVA}の10,000^{kVA}ベース換算の％リアクタンス％g_1を求める。

$$\%Z_{g1}=20\%\ \frac{10,000^{kVA}}{2500^{kVA}}=80\%$$

例. ② 大洗変電所非常用EG. 3 ϕ625^{kVA}の10,000^{kVA}ベース換算の％リアクタンス％g_2を求める。

$$\%Z_{g2}=20\%\ \frac{10,000^{kVA}}{625^{kVA}}=320\%$$

(2) 変圧器の％リアクタンス

変圧器の銘板に表示しているのは％インピーダンスとなっているが，抵抗分を無視し％インピーダンス＝％リアクタンスとして良い。

表6.2　変圧器の％リアクタンス

公　称　電　圧	％リアクタンス
200kV	13％
140～100kV	10％
70～　30kV	7％
20～　10kV	5％
6～　3kV	3％

例. ①　大洗変電所　3φ15,000kVA　　％Z　＝11.63％

10,000kVA ベース換算％Z_t は　　$\%Z_t = 11.63\% \times \dfrac{10,000^{kVA}}{15,000^{kVA}} \fallingdotseq 7.753\%$

(3) 架空送電線の％リアクタンス（1km当り）

送電線の％インピーダンスは，線路の公称電圧の1.1倍として基準容量によるインピーダンスを用いるが抵抗分がリアクタンス分の $\dfrac{1}{2}$ 以下の場合は，抵抗分を無視する。

表6.3　送電線の％リアクタンス

公　称　電　圧	％リアクタンス／km(50Hz)
200kV	0.009％／km
140kV	0.017％／km
100kV	0.033％／km
70kV	0.067％／km
60kV	0.090％／km
30kV	0.306％／km

（基準容量10,000kVA ベース）

6.4 動燃大洗変電所60^{kV}受電点及び6^{kV}母線の短絡容量

ここまでのことが理解できれば大洗変電所の60^{kV}受電点，6^{kV}母線の三相短絡容量及び三相短絡電流が計算できる。

① 60^{kV}送電線の％リアクタンス（10,000^{kVA}ベース）

東京電力㈱西水戸変電所から動燃大洗変電所までの線路亘長28.91km

公称電圧60^{kV}（50Hz）のとき，　$\%\chi=0.090\%/km$

60^{kV}送電線の％リアクタンス　$\%\chi_e$ は

$\%\chi_e=0.090\%/km\times28.91km=2.6019\%$

② 東京電力㈱西水戸変電所60^{kV}母線の％リアクタンス（10,000^{kVA}ベース）

60^{kV}母線の％リアクタンスの値は，電源の電力が増大する程小さくなり三相短絡容量が大きくなるので電力会社と電気メーカと種々検討した結果，60^{kV}母線に接続される遮断器の遮断容量を2,500,000^{kVA}以下にすることに決定したので，系統の運用上60^{kV}母線の％リアクタンスを0.4％以上にしている。

東京電力㈱においては，60^{kV}母線の％リアクタンスの値を1.5％～0.5％を標準としている。

したがって，西水戸変電所の60^{kV}母線の％リアクタンスを0.5％とする。

③ 大洗変電所60^{kV}受電点の三相短絡容量及び三相短絡電流

60^{kV}受電点までの％リアクタンス$\%\chi_0$は

$\%\chi_0=\%\chi_1+\%\chi_b=2.6019\%+0.5\%=3.1019\%$

三相短絡容量P_sは　$$P_s=\frac{100}{\%\chi_0}\times10,000^{kVA}=\frac{100}{3.1019}10,000^{kVA}$$

$$=322,383^{kVA}$$

三相短絡容量I_sは　$$I_s=\frac{10,000^{kVA}}{\sqrt{3}\times66^{kv}}\fallingdotseq2,820^{A}$$

※ 東京電力㈱水戸営業所に動燃大洗変電所60^{kV}受電点の三相短絡容量を問合せたところ322,000^{kVA}といってきている。このことから西水戸変電所60^{kV}母線の％リアクタンスを0.5％に見て計算していることがわかる。

したがって，今回の％インピーダンスマップの見直しについては，動燃大洗変電所60^{kV}受電点の％リアクタンスをj 3.102％として以下の計算をする。

④ 大洗変電所No. 2変圧器　3 ϕ 15,000^{kVA}　$\%Z=11.63\ \%$

10,000^{kVA} ベースに換算$\%Z_{t2}$は　$\%Z_{t2}=11.63\ \%\times\dfrac{10,000^{kVA}}{15,000^{kVA}}\fallingdotseq 7.753\%$

⑤ 大洗変電所No. 2 B．6^{kV}母線の三相短絡容量及び三相短絡電流6^{kV}母線（No. 2 B）までの%リアクタンス$\%\chi_2$ は

$\%\chi_2=\%\chi_0+\%Z_{t2}=3.102\%7.753\%=10.855\%$

三相短絡容量P_{s2}は　$P_{s2}=\dfrac{100}{\%\chi_2}\times 10,000^{kVA}=\dfrac{100}{10.855}\times 10,000^{kVA}\fallingdotseq 92.123^{kVA}$

三相短絡電流　I_{s2}は　$I_{s2}=\dfrac{P_{s2}}{\sqrt{3}\times 6.6}\fallingdotseq 8.059^{A}$

No. 4変圧器 3 ϕ 15,000^{kVA}　$\%Z=11.74\%$

10,000^{kVA} ベース換算$\%Z_{t4}=\%Z_{t4}=11.74\%\times\dfrac{10,000^{kVA}}{15,000^{kVA}}\fallingdotseq 7.826\%$

6^{kV}母線（No. 4 B）までの%リアクタンス$\%\chi_4$ は

$\%\chi_4=\%\chi_0+\%\chi_4=3.102\%+7.826\%=10.928\%$

大洗変電所6^{kV}母線の運用は，現状の負荷が10,000^{kw}以下であるのでNo. 2変圧器，No. 4変圧器の中，常時1台運転とし期間ごとにループ切替をして交互に使用している。

したがって，短絡容量短絡電流の計算には6^{kV}母線の%リアクタンスを$\%\chi_b=10.855\%$を採用する。

⑥ 大洗変電所No. 2変圧器No. 4変圧器を並列運転とした場合の6^{kV}母線の三相短絡容量及び三相短絡電流6^{kV}母線までの%リアクタンス$\%\chi_{2-4}$は

$$\%\chi_{2-4}=\%\chi_0+\frac{\%Z_{t2}\times\%Z_4}{\%Z_{t2}+\%Z_4}=3.102\%+\left(\frac{7.753\times 7.826}{7.753+7.826}\right)\%$$

$$\fallingdotseq 3.102\%+3.894\%$$

$\%\chi_{2-4}=6.996\%$

三相短絡容量$P_{s2-4}=\dfrac{100}{\%\chi_{2-4}}\times 10,000^{kVA}=\dfrac{100}{6.996}\times 10,000^{kVA}\fallingdotseq 142,939^{kVA}$

三相短絡電流$I_{s2-4}=\dfrac{P_{s2-4}}{\sqrt{3}\times 6.6}\fallingdotseq 12,504^{A}$

7. 継電器整定の変更

継電器整定の変更は，その系統が例えば，設備容量，負荷容量の変更，重要負荷の変更等により，その保護する機器の運用状態の変更時に整定値の変更を行う。継電器の整定時の注意点は，次のとおり。

① タップ変更は，ドライバ寸法の合ったものを使用する。しめ過ぎ，しめ不足に注意する。

② 誘導円板形の時限整定レバーの変更は，円板の回転に注意し静かに変更する。円板に指等を触れ，軸受，スプリング等に無理な力を加えない。

③ 最小レバーのときは，接点に注意し振動等で動作しないようにする。

④ ＰＴ（ＰＤ）回路の短絡やＣＴ回路を通電中に開放すると継電器が誤動作する。

8. 継電器整定と保護協調

保護継電器は，系統条件に応じて正しく選定し，かつ，系統のどこに故障が発生した場合も故障点にもっとも近い継電器が最初に動作して遮断し，故障を極限できるよう選択性を与えると同時に，万一，これが動作しなかった場合には，つぎに近い継電器が作動して後備保護を行なうよう電流タップ，限時調整レバーなどを整定して継電器相互の協調が保たれなければならない。

保護継電器を整定するにはあらかじめ，次の資料を用意する。

① 単線接続図

② %インピーダンス図及び想定した故障点における故障電流の最大値と最小値

③ ピーク負荷電流及び電動機始動電流値

④ 遮断器の遮断特性

⑤ 変流器の特性

⑥ 電力会社の要求

(1) 電流タップ

保護継電器の電流タップは，負荷電流ピーク負荷始動電流過渡電流などで誤動作せず故障電流最小値では確実に動作するよう変流器過渡特性を考慮した継電器電流（故障電流ＣＴ二次換算値）に対し表8.1のように整定する。

(2) 限時レバ

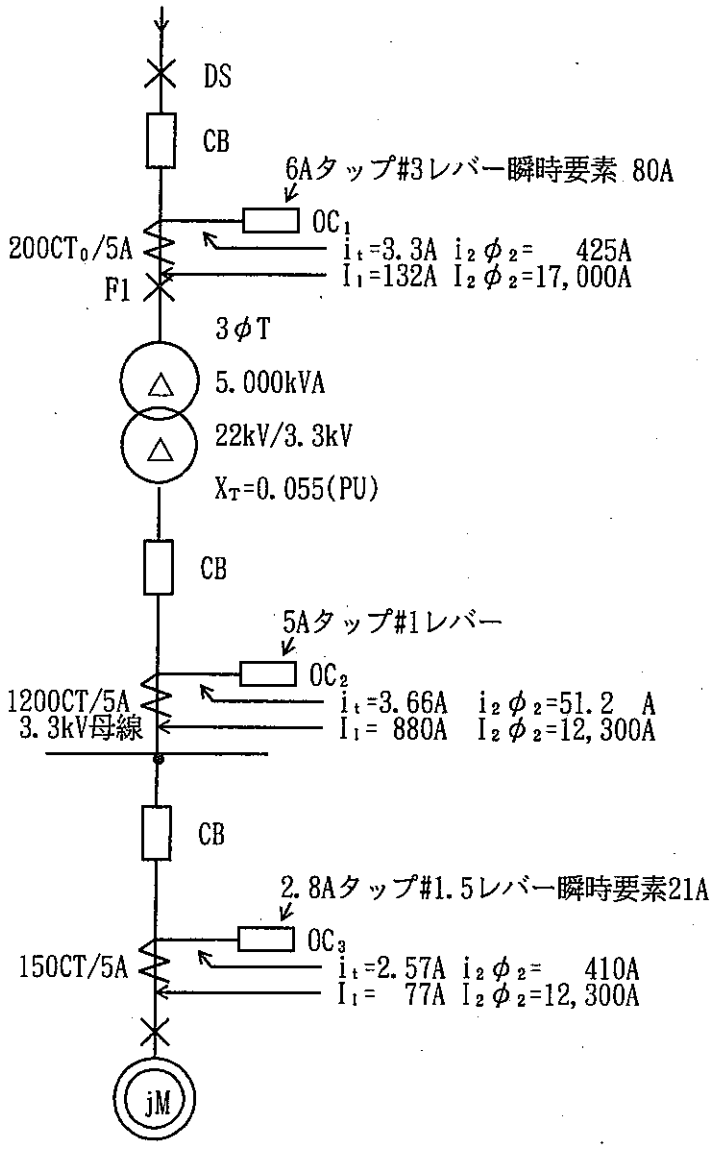
過渡流継電器の限時は，負荷側を早く，電源側はしだいに遅くなるよう限時レバで整定するが，自家用電気設備においては通常5～8サイクル遮断器が適用されるから，この場合は，一段の継電器に0.4秒の時間差を設ければよい。

すなわち，0.13秒；遮断器の遮断時間

0.1 秒；継電器可動部の慣性による行きすぎによる誤動作に対する余裕時間

0.17秒；レバ整定の誤差に対する余裕時間

を考慮したものである。直列に設けられる継電器が多い場合は，0.3秒の時間差とする場合もあるが，継電器の慣性による誤動作を生じないよう注意が必要である。



3 φ300kW　　X_M ＝0.2 (PU)

ＤＳ　；断路器　　ＣＢ；しゃ断器　　ＣＴ；変流器

Ｔ　　；変圧器　　ＩＭ；誘導電動機

OC_1 ；誘導形逆限時，瞬時要素付継電器

（日立：ＩＯ形C_2 －２Ｒ式）

OC_2 ；誘導形逆限時継電器

（日立：ＩＯ形Ｃ－Ｒ式）

OC_3 ；電動機用誘導形長限時過負荷継電器

（日立：ＩＯＭ形Ｃ－Ｒ式）

I_L　；主回路定格電流　　$I_{2\phi s}$ ：主回路線間短絡電流

i_s　；ＣＴ二次側定格電流　　$i_{s\phi s}$ ：ＣＴ二次側線間短絡電流

図8.1　単 線 接 続 図 （例）

表8.1　保護継電器の電流タップ整定

保護継電器の種類	動作時間〔秒〕	電流タップ整定	
		$\frac{\text{タップ電流}}{\text{負荷電流}} = A_1$	$\frac{\text{故障電流最小値(1)}}{\text{タップ電流}} = A_2$
誘導形瞬時継電器 ブランジャ形継電器 気中遮断器瞬時引外装置	0.02	$2 \geqq A_1 \geqq 1.5$ (2)	$A_2 \geqq 2$
誘導形高速度継電器	0.06	$2 \geqq A_1 \geqq 1.5$ (2)	$A_2 \geqq 3$
誘導形反限時定限時継電器	0.2～2	$2 \geqq A_1 \geqq 1.15$ (3)	$A_2 \geqq 10$ (4)
電動機用誘導形 長限時過負荷継電器	0.3～35	$A_1 = 1 \sim 1.15$	—— (5)

(1) 故障電流最小値は，線短絡故障を考える。

(2) 負荷電流は，ピーク値をとりピーク負荷電流で誤操作しないようにする。

(3) 一般回路は，全負荷電流をとり機器ケーブルの過負荷に対する裕度から決定する。
ただし，変圧器回路用は励磁突入電流を考慮すること。

(4) 定限時範囲に入るよう決定する。

(5) 短絡保護は，限時要素で保護する。

(3) 保護継電器の整定例

保護継電器の整定と協調の例を図8.1の単線接続図について説明する。

保護継電器OC_1，OC_2，OC_3は表8.1に基づき，次のように整定する。

(OC_1)

$$A_1 = \frac{\text{タップ電流}}{\text{負荷電流(ie)}} = \frac{3\ (\text{Aタップ})}{3.3\ \text{A}} = 1.82 \begin{matrix} \leqq 2 \\ \geqq 1.15 \end{matrix}$$

$$A_2 = \frac{\text{故障電流最小値}}{\text{タップ電流}} = \frac{427\ (\text{A})}{6\ (\text{Aタップ})} = 72 \geqq 10$$

瞬時要素80A整定 ＜線間短絡電流　＝ 427〔A〕
＞変圧器二次短絡電流＝53.3〔A〕

（ＯＣ$_2$）

$$A_1 = \frac{5\ (\text{Aタップ})}{3.66\ (\text{A})} = 1.37 \begin{matrix} \leqq 2 \\ \geqq 1.15 \end{matrix}$$

$$A_2 = \frac{51.2\ (\text{A})}{5\ (\text{Aタップ})} = 10.2 \geqq 10$$

（ＯＣ$_3$）

$$A_1 = \frac{2.8\ (\text{Aタップ})}{2.57\ (\text{A})} = 1.09$$

瞬時要素21Ａ整定 ＜線間短絡電流　＝ 410〔A〕
＞電動機突入電流＝定格電流７～15倍
＝2.57〔A〕×７（倍）＝18〔A〕

保護協調を確認するには，電流値を変圧器一次又は二次に換算して各継電器の限時特性を描いて保護協調を検討する。

電動機の過負荷保護は，過負荷耐量に相応した長限時形継電器ＯＣ$_3$を使用する。継電器の限時特性は，熱容量特性と始動電流特性の間にはいるよう整定する。短絡故障に対しては，瞬時要素で保護するが突入電流で誤動作しないように整定する。

変圧器の過負荷保護及び変圧器二次側母線の短絡保護をＯＣ$_2$で，変圧器一次側の短絡保護をＯＣ$_1$で行なう。ＯＣ$_1$の瞬時要素は，変圧器二次側の短絡では誤操作せず変圧器一次側の短絡では瞬時に保護し電力会社側の保護継電器との協調を考慮して整定する。

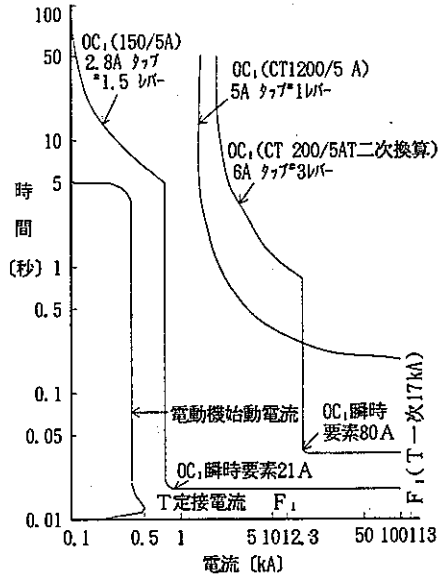


図8.2　保護継電器の協調曲線
（変圧器二次換算値）

(4) 動作値，動作時限点検

① 最小始動電流試験

試験回路は，図8.1に示す電流を徐々に増加し円板始動電流値がタップ電流に対し規定誤差範囲内にあることを確認する。全タップについて行なうのが望ましいが，実用上は最小タップ，最大タップ，整定タップについて行なえば十分である。

② 接触閉路電流試験

前述①と同様に試験を行ない接点が閉路する電流の最小値を測定し，タップ電流値に対し規定誤差範囲内にあることを確認する。目視では接触閉路を見誤るおそれがあるのでランプで行なう。

③ 限時特性試験

限時特性を測定する場合は，図8.2に示すように水抵抗器により通電し電流を規定値に定めたのちスイッチを開きカウンタの零位置，レバの所定位置への復帰を確認後スイッチを入れて動作時間を測定する。動作時間は，最低5回の平均値をとる。

④ 試験上の注意

継電器の試験にあたっては，次の点に注意する。

イ．所定の周波数の電源を使用する。

ロ．試験にあっては可動部の軸が垂直かつ，安定であるよう設置する。

ハ．波形ひずみにより誤差を生ずるおそれがあるから，電源の電圧，電流調整用として虚負荷試験器は，使用せず水抵抗器又はしゅう動抵抗器を使用する。

ニ．測定は，低電流タップ値から徐々に増加して行ない測定完了と同時に電源を切り，過電流域においては，手早く測定を完了して長時間通電による過熱損失に注意する。

ホ．過電流継電器には，整定用プラグ2本が内蔵されているから，1本整定すべきタップに挿入し，よく締付けたのち，これまでのタップを取り去る。また，プラグはタップによく締付け，ゆるみなどのためＣＴ二次開路などの問題を生じないよう十分注意する。

(5) 点検項目及び点検内容

当センターでは，保護継電器の各種点検を年1回の周期で専門業者に委託して実施している。過電流継電器は，大洗工学センター内に369台設置されている。

主な点検項目及び点検内容は，次のとおり。

（点検項目及び点検内容）

(1) 点　検

① 可動部　摩擦の有無

② ネジのゆるみの有無

③ ハンダ付の良否

④ 配線の良否

⑤ 円板，マグネットを有するものについては，鉄粉の除去

⑥ 発錆の有無

⑦ 抽出機構の良否

⑧ その他，異常の有無の確認（接点，制御スプリング，コイル，絶縁等）

(2) 試　験

現在及び標準の整定タップ，レバー値での特性試験を行い異常の有無を確認する。

(3) 継電器特性試験

特性試験は，標準試験要領にしたがい，現整定タップレバー，標準タップレバーについて実施する。

なお，リレー各種別ごとの試験要領は，表8.2のとおり。

表8.2　特性試験内容

継電器種別	試験項目	測定項目	試　験　要　領	備　考
過電流	最小動作電流測定	最小動作電流	継電器の円板が動き始め，動作完了に至る最小電流を測定する。	①試験は現整定タップ，現整定レバーにて行う。 ②細密点検のため，標準レバーにて行う。
	復帰確認		動作状態より入力を零としたとき，円板が円滑に復帰することを確認する。	
	現時特性試験	動作時間	電流整定タップの200%.300%.500%の電流を通電したときの動作時間を測定する。	
	瞬時要素	最小動作電流	電流コイルに通電し，動作完了に至る最小電流を測定する。	

表8.3 配電盤及制御回路点検報告書

No.

ＵＮＩＴ：Na技術開発第２試験室（413） 平成 3年 1月１７日～ 日 天気 曇り

	構造							特性				
	接点	制御磁石及び誘導円盤	制御スプリング及び軸受	線輪及び絶縁物	プラント基板	ランプ表示	整定タップ	動作値・復帰値	動作・復帰時間	円滑復帰確認	位相特性	比率特性
51F1(R)	良	良	良	良			良	良	良	良		
51F1(T)	良	良	良	良			良	良	良	良		
51F2(R)	良	良	良	良			良	良	良	良		
51F2(T)	良	良	良	良			良	良	良	良		
51F3(R)	良	良	良	良			良	良	良	良		
51F3(T)	良	良	良	良			良	良	良	良		
51F4(R)	良	良	良	良			良	良	良	良		
51F4(T)	良	良	良	良			良	良	良	良		
51E(R)	良	良	良	良			良	良	良	良		
51E(T)	良	良	良	良			良	良	良	良		
51R(R)	良	良	良	良			良	良	良	良		
51R(T)	良	良	良	良			良	良	良	良		
84G	良	良	良	良			良	良	良	良		
27R	良	良	良	良			良	良	良	良		

※接点は，補助接点を含む。
※プラント基板は，付属部品及び半田付を含む。

Na技術開発第２試験室（413）

表8.4 過電流継電器試験表

平成　３年１月１７日　　No.

器具番号	定格 製造年	形式 製造番号	タップ 整定値	動作値	タイムレバー整定値	時限特性（秒） 200%	300%	500%	結果	備考
No.１高圧き電 51F1(R)	5A 50Hz 1978	CI02-ID 2523942	4A 2A	4.00 2.00	1 10	0.60 5.08	0.43 3.45	0.35 2.65	良	CT 75/5
No.１高圧き電 51F1(T)	5A 50Hz 1978	CI02-ID 2523943	4A 2A	4.00 2.00	1 10	0.62 5.27	0.44 3.57	0.35 2.73	良	
No.２高圧き電 51F2(R)	5A 50Hz 1978	CI02-ID 2523946	4A 2A	4.10 2.05	1 10	0.63 5.20	0.44 3.51	0.35 2.67	良	CT 75/5
No.２高圧き電 51F2(T)	5A 50Hz 1978	CI02-ID 2523947	4A 2A	4.05 2.05	1 10	0.60 5.26	0.42 3.54	0.35 2.70	良	
No.３高圧き電 51F3(R)	5A 50Hz 1978	CI02-ID 2523944	4A 2A	3.95 2.00	0.5 10	0.44 5.16	0.31 3.50	0.25 2.68	良	CT 100/5
No.３高圧き電 51F3(T)	5A 50Hz 1978	CI02-ID 2523944	4A 2A	4.05 2.05	0.5 10	0.42 5.30	0.30 3.56	0.25 2.70	良	

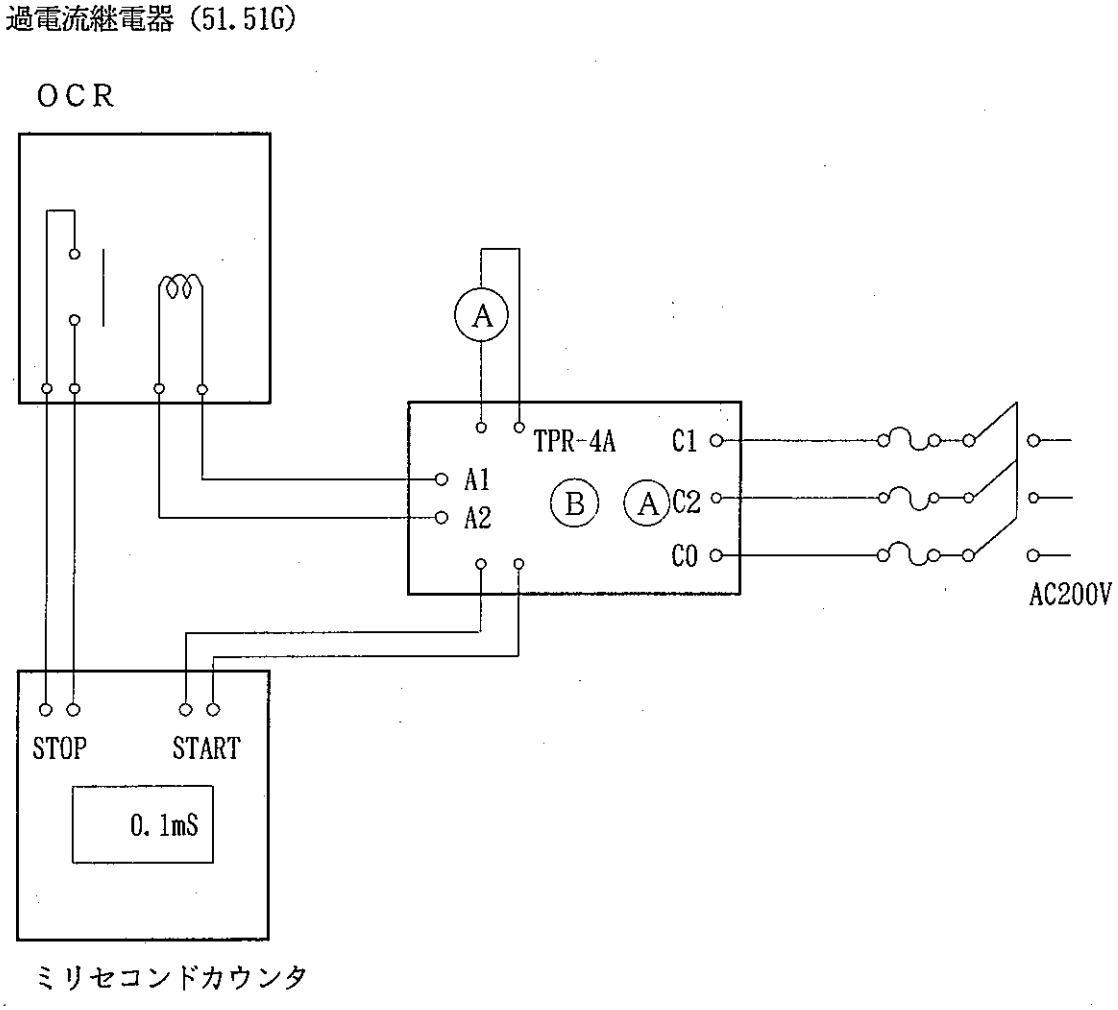


図8.3　最小始動電流，接触閉路電流測定限時特性試験等の回路図

9. 過電流継電器の整定（大洗変電所6kV配電線）

商用6kV配電線系に短絡故障が発生した場合，故障点をできるだけ迅速に遮断し，故障箇所を除去し停電範囲を最小限にするため，適切な継電器の整定を行っている。

(1) 過電流継電器

大洗変電所監視制御盤に設置しているトラパックユニットの過電流継電器は，段階限時特性をもつトランジスタリレー（明電舎製）を採用しており，H側とL側の2段階になっている。誘導形過電流継電器と比較すると，H側は，瞬時要素，L側は，限時要素に相当する。

① 検出部

L側：電流値調整範囲（タップ）〔0.8 -1.0 -1.2 -1.4 -1.6 -2.0 -2.4^{A}〕定格1.0^{A}

H側：電流値%調整範囲（バリオーム）〔L側タップ整定値の200～700$^{\%}$〕

② 限時部

L側：限時調整範囲（バリオーム）〔0.1～1.0秒〕

H側：限時調整範囲（バリオーム）〔0.025～0.25秒〕

(2) 検出部電流値の整定

① L側電流タップ値の整定

・タップの整定は，次のとおり。

（電力ケーブルの許容電流以下の場合）

・6kV負荷設備（変圧器又は電動機）の合計定格電流の1.2～1.5倍に相当するタップ値

（電力ケーブルの許容電流以上の場合）

・電力ケーブル許容電流の1.2～1.5倍に相当するタップ値

② H側電流値%の整定

電流整定値%の整定は，次のイ.～ハ.項を満足するようにしている。

イ. 6kV受電点において二線短絡電流でも継電器を安定動作させるため二線短絡電流の $\frac{1}{1.5}$ 以下に電流%を整定する。

短絡電流を計算するため，大洗変電所の%インピーダンスマップ（at 10^{MVA} ベース）を作成し，三相短絡電流線間短絡電流を求める。

（60kV受電点までの%インピーダンスは，電力会社の資料による。）

ロ. 6kV受電点の変圧器励磁突入電流で動作しない整定値を選定する。

大洗変電所では，一次電圧6kVの変圧器容量ごとの励磁突入電流の想定される最大値を作表し整定の参考にしている。

なお，変圧器が順次投入される場合は，最大容量の変圧器励磁突入電流，2台以上が同時に投入される場合は，励磁突入電流の合計とするが，同時に最大値になる可能性は極めて少ないので実績として合計電流の80%，3台以上の場合は，合計電流の70%に整定しているが，この整定値で動作したことがない。

ハ. 6kV受電点の変圧器二次側にて三相短絡故障が発生してもH側が動作しない整定値を選定する。

イ.項と同様に%インピーダンスマップにより三相短絡電流を計算する。(%インピーダンス最小のものについて計算する。)

(3) 限時部時限の整定

東京電力㈱の時限協調のため，60kV受電点の時限が指定されているので，大洗変電所内の時限協調により6kV配電線電流継電器の時限に，L側は0.4秒，H側は0.025秒に整定する。

(4) 短絡電流の計算

短絡電流は，次に示すデータを得るために算出する。

① 遮断器の定格遮断電流の選定
三相短絡発生時に故障電流を安全に遮断できる遮断器の選定

② 過電流継電器の整定のデータ

③ 電力ケーブル等電線の短絡電流に対する短時間許容電流

④ 変流器の過電流強度の検討

⑤ 銅帯母線等の短絡事故時の電磁力の算出

⑥ 断路器，母線等の定格短時間電流の算出

10. 過電流継電器整定のまとめ

(1) 短絡電流の算出

%インピーダンス法を用いれば簡単に計算できる。次にその求め方を述べる。

① 電源から故障点までの%インピーダンスマップを作成する。

（ただし，基準容量を10,000^{kVA}ベースとする）

② 故障点までの合成%インピーダンスを計算する。

抵抗分を%rリアクタンス分を%χとすると合成%インピーダンス%Zは

$$\%Z\text{は}\%Z=\%r+j\%\chi \qquad |\%Z|=\sqrt{(\%r)^2+(\%\chi)^2}$$

③ 故障点の三相短絡容量P_sは

$$P_s=\frac{100}{|\%Z|}\times 10{,}000^{kVA}$$

④ 故障点の三相短絡電流I_s及び二相短絡電流I_s'は

$$I_s=\frac{P_s}{\sqrt{3}\times E} \qquad I_s'=\frac{P_s}{\sqrt{3}\times E}\times\frac{\sqrt{3}}{2}=\frac{P_s}{2E}$$

ただし，Eは，公称電圧の1.1倍で単位は$^{(kV)}$である。

6kVの場合，$E=6\times1.1=6.6^{kV}$となる。

(2) 大洗工学センター内二次変電室の短絡電流計算には大洗変電所6kV母線の%リアクタンスをj10.855%として計算する。

(3) 6kV配電線の%インピーダンス（10,000^{kVA}ベース）

大洗工学センター構内の6kV配電線は6kVCV電力ケーブルが使用されているがその導体抵抗及びリアクタンスは，電線便覧等から求める。

この値を10,000^{kVA}ベースの%r%χに換算する。

$$\%r=r\frac{P}{10E^2}\ \text{〔%／km〕}\cdots\cdots\cdots(\quad)$$

$$\%\chi=\chi\frac{P}{10E^2}\ \text{〔%／km〕}\cdots\cdots\cdots(\quad)$$

r：導体抵抗　（Ω／km）
χ：リアクタンス（Ω／km）
P：基準容量　（10,000^{kVA}）
E：回路電圧　〔公称電圧$^{(kV)}$×1.1〕

但し　$\chi = 2\pi f L$　　π：円周率＝3.14　　f：周波数(Hz)　　L：インダクタンス(H)
（電力ケーブルの線路定数のインダクタンスは，一般にmH／kmで表している。）

以上の計算を行いケーブル亘長1km当たりの％r，％χ，％Zを表したものが表10.1及び表10.2である。ただし導体は銅の場合である。

例　①　6kVCV150°－3C亘長400mの％Z_1を求める。

表10.1から％Z＝（3.650＋j2.032）％／km

∴　％Z_1＝0.4km（3.650＋j2.032）％／km＝1.460＋j0.8128≒(1.460＋j0.812)％

（小数点4位以下は切捨てる）

$$|\%Z_1| = \sqrt{(1.460)^2 + (0.812)^2} = \sqrt{2.790944} \fallingdotseq 1.670\%$$

表10.1　6kVCV3C電力ケーブル（架橋ポリエチレン電力ケーブル）
導体（Cu）6kVにおける%インピーダンス

（ただし，10MVAベース）

公称断面積 (mm²)	抵抗			リアクタンス			インピーダンス	備考
	r(Ω/km)	50Hz		L	50Hz		50Hz	
	at 20	(Ω/km)	(%/km)	(mH/km)	WL (Ω/km)	(%/km)	(%/km)	
8	2.36	3.01	69.100	0.434	0.136276	3.128	69.170	
14	1.34	1.71	39.256	0.407	0.127798	2.933	39.365	
22	0.849	1.08	24.793	0.378	0.118692	2.724	24.942	
(30)	0.622	0.793	18.204	0.359	0.112726	2.587	18.386	
38	0.491	0.626	14.370	0.346	0.108644	2.494	14.584	
(50)	0.373	0.476	10.927	0.331	0.103934	2.385	11.184	
60	0.311	0.397	9.113	0.321	0.100794	2.313	9.401	
(80)	0.234	0.299	6.864	0.307	0.096398	2.212	7.211	
100	0.187	0.239	5.486	0.298	0.093572	2.148	5.891	
(125)	0.149	0.191	4.384	0.288	0.090432	2.076	4.850	
150	0.124	0.159	3.650	0.282	0.088548	2.032	4.177	
200	0.0933	0.121	2.777	0.279	0.087606	2.011	3.428	
250	0.0754	0.0981	2.252	0.271	0.085094	1.953	2.980	
325	0.0579	0.0765	1.756	0.263	0.082582	1.895	2.583	
400	0.0471	0.0634	1.455	0.256	0.080384	1.845	2.349	
500	0.0376	0.0521	1.196	0.250	0.078500	1.802	2.162	

公称断面積において（　）は，標準外サイズを示す。

$$\%r = r\frac{P}{10E^2} = r^{\Omega/km}\frac{10,000}{10\times(6.6)^2}\ \%/km$$（小数点4位以下切捨）

$$\chi = \omega L = 2\pi f L = 2\times3.14\times50\times L^{mH/km}\times10^{-3} = 0.314L^{\Omega/km}$$

$$\%\chi = \chi\frac{P}{10E^2} = \chi^{\Omega/km}\frac{10,000}{10\times(6.6)^2}\ \%/km$$（小数点4位以下切捨）

電力ケーブルの線路定数は，電気書院「電気設備技術計算ハンドブック」による。

表10.2　6 kVC.V.T 電力ケーブル（トリプレックス．ケーブル）
導体（Cu）6 kVにおける％インピーダンス

（ただし，10MVAベース）

公称断面積 (mm²)	抵抗			リアクタンス			インピーダンス	備考
	r(Ω/km)	50Hz		L	50Hz		50Hz	
	at 20	(Ω/km)	(%/km)	(mH/km)	WL (Ω/km)	(%/km)	(%/km)	
8	2.36	3.01	69.100	0.496	0.155744	3.575	69.192	
14	1.34	1.71	39.256	0.465	0.146010	3.351	39.398	
22	0.849	1.08	24.793	0.435	0.136590	3.135	24.990	
(30)	0.622	0.793	18.204	0.413	0.129682	2.977	18.445	
38	0.491	0.626	14.370	0.398	0.124972	2.868	14.653	
(50)	0.373	0.476	10.927	0.382	0.119948	2.753	11.268	
60	0.311	0.397	9.113	0.370	0.116180	2.667	9.495	
(80)	0.234	0.299	6.864	0.354	0.111156	2.551	7.322	
100	0.187	0.239	5.486	0.344	0.108016	2.479	6.020	
(125)	0.149	0.191	4.384	0.333	0.104562	2.400	4.997	
150	0.124	0.159	3.650	0.326	0.102364	2.349	4.340	
200	0.0933	0.120	2.754	0.321	0.100794	2.313	3.596	
250	0.0754	0.0977	2.242	0.313	0.098282	2.256	3.180	
325	0.0579	0.0759	1.742	0.302	0.094828	2.176	2.787	
400	0.0471	0.0627	1.439	0.295	0.092630	2.126	2.567	
500	0.0376	0.0513	1.177	0.288	0.090432	2.076	2.386	

公称断面積において（　　）は，標準外サイズを示す。

$$\%r = r\,\frac{P}{10E^2} = r^{\Omega/km}\,\frac{10,000}{10\times(6.6)^2}\ \%/km$$（小数点４位以下切捨）

$$\chi = \omega L = 2\pi f L = 2\times 3.14\times 50\times L^{mH/km}\times 10^{-3} = 0.314L^{\Omega/km}$$

$$\%\chi = \chi\,\frac{P}{10E^2} = \chi^{\Omega/km}\,\frac{10,000}{10\times(6.6)^2}\ \%/km$$（小数点４位以下切捨）

電力ケーブルの線路定数は，電気書院「電気設備技術計算ハンドブック」による。

表10.3　電力ケーブル許容電流

3,300V　6,600V CV　　（単位：A）

布設条件 / 公称断面積 (mm²)	空中・暗渠布設 T_2＝40℃			直理布設 T_2＝25℃				管路布設 T_2＝25℃							
	単心	2心	3心	単心	2心	3心		単心		3心		3心		単心	
	3条布設 S=2D	1条布設	1条布設	3条布設 S=2D	1条布設	1条布設		4孔3条布設		4孔4条布設		4孔4条布設		6孔6条布設	
	CV	CV	CV	CV	CV	BN	CV	BN	CV	BN	CV	BN	CV	BN	CV
8	79	69	60	82	82	65	69	—	77	53	58	44	—	—	70
14	105	98	83	110	110	90	93	—	93	73	80	61	—	—	94
22	140	125	105	140	140	115	120	—	120	93	100	77	—	—	120
38	195	175	145	190	195	155	160	—	160	125	135	105	—	—	160
60	260	230	195	250	260	200	210	—	210	160	175	130	—	—	210
100	355	—	265	330	—	260	280	295	280	—	—	175	190	255	275
150	455	—	345	415	—	340	350	370	350	—	—	225	240	320	345
200	540	—	415	485	—	380	410	425	410	—	—	255	280	365	400
250	615	—	175	550	—	440	460	485	460	—	—	200	315	415	450
325	720	—	560	630	—	495	525	555	525	—	—	335	370	475	520
400	810	—	—	705	—	—	—	630	—	—	—	—	—	535	575
500	935	—	—	790	—	—	—	690	—	—	—	—	—	585	650
600	1,040	—	—	865	—	—	—	790	—	—	—	—	—	670	710
800	1,230	—	—	990	—	—	—	920	—	—	—	—	—	720	815
1000	1,380	—	—	1,090	—	—	—	1,035	—	—	—	—	—	865	895

3,300V　6,600V CVT

布設条件 / 公称断面積 (mm²)	空中，暗渠布設	直理布設	管路布設
	1条布設	1条布設	1条布設
22	120	130	110
38	170	175	150
60	225	225	195
100	310	300	265
150	410	380	335
200	490	440	395
250	560	495	455
325	665	570	530
400	750	630	585
500	860	705	660
600	955	765	720

（注）1.　アルミ導体の場合は0.8を乗ずる。

2.　T_1　：導体温度

3.　周囲温度

4.　g＝100℃cm／w　　L_1＝1.0

(4) 変圧器の%インピーダンス（10,000^{kVA}ベース）

変圧器の%インピーダンスは銘板に記入されている。もし，記入してない場合は，購入時の試験成績表に明示されている。不明な場合は，一次電圧が6kVの場合，3%として計算することになっている。

（%インピーダンスでなくインピーダンス電圧で表はされている場合もある。

$$\%インピーダンス = \frac{インピーダンス電圧}{定格電圧} \times 100\%$$

）

変圧器の%インピーダンスでは，抵抗分を無視して%リアクタンスのみとして良い。

例 ① 3φ1,000^{kVA}%Z＝4.1%の変圧器を10,000^{kVA}ベースに換算

10,000^{kVA}ベースに換算した%インピーダンスを%Z_tとすると

$$\%Z_t = j\,4.1\% \times \frac{10,000^{kVA}}{1,000^{kVA}} = j\,41.0\%$$

もし%Zが不明の場合は，%Z＝3.0%とすることになっているから

$$\%Z_t = j\,3.0\% \times \frac{10,000^{kVA}}{1,000^{kVA}} = j\,30.0\%$$

例 ② 3φ200^{kVA}インピーダンス電圧：200^{V}の場合，変圧器の10,000^{kVA} ベースに換算した。

%インピーダンスを求めると（ただし定格電圧6.3^{kV}）

変圧器の%インピーダンスを%Zとすると

$$\%Z = \frac{200^{V}}{6300^{V}} \times 100\% \fallingdotseq 3.1746\%$$

10,000^{kVA}ベースに換算した%インピーダンスを%Z_tとすると

$$\%Z_t = j\,3.1746 \times \frac{10,000^{kVA}}{200^{kVA}} = j\,158.730\%$$

① 単相変圧器の場合

単相変圧器の%インピーダンスは，同容量の変圧器2台でV結線をしたと仮定して10,000^{kVA}ベースに換算する。

ただし，短絡電流を計算する場合は，単相変圧器であるから二線短絡電流を求める。

例 ① 一次電圧6.6^{kV}単相200^{kVA}%Z＝3.2%の短絡電流を求める。

短絡電流をI_s'定格に一次電流をI_1とする。

$$I_1 = \frac{P^{(kVA)}}{E^{(kV)}} = \frac{200}{6.6}$$

$$I_s' = I_1 \times \frac{100}{\%Z} = \frac{200}{6.6} \times \frac{100}{3.2} = 946.969 \fallingdotseq 947^A$$

10,000^{kVA}ベースに換算し3φ回路とした場合

$$\%Z_t = j\,3.2\% \times \frac{10,000}{200 \times 2} = j\,80\%$$

三相短絡容量P_sは　$P_s = \dfrac{100}{\%Z_t} \times 10,000^{kVA} = 12,500^{kVA}$

三相短絡電流I_sは　$I_s = \dfrac{P_s}{\sqrt{3} \times 6.6} = 1093,498^A \div 1093^A$

単相短絡電流I_s'は　$I_s' = I_s \dfrac{\sqrt{3}}{2} = 946,969 \fallingdotseq 947^A$

変圧器単体で電源の%インピーダンスを無視する場合は，わざわざ10,000^{kVA} ベースに換算したり見掛上の三相回路に変換したりする必要がないが，%インピーダンスマップから電源からの%インピーダンスを考慮して計算する場合は，このような変換を必要とする。

11. 誘導形過電流継電器限時動作特性曲線から動作時間を求める実験式

11.1 実験式の算出式

誘導形過電流継電器限時要素の動作時間を求める場合，故障時に流れる回路電流を計算，整定タップの倍数%を算出，動作特性曲線から動作時間を求める。

故障時に流れる回路電流から動作時間を求める実験式を作成し計算できれば便利である。今回，炉工の受配電盤の過電流継電器の整定にあたり設置される明電舎製過電流継電器，“ＫＩＯ－ＣＰ”“ＫＩＯ－C_6Ｐ”の限時要素動作時間特性曲線について考察する。実験式を作成するにあたり$t=AI^n$の形で示すことのできる条件は，特性曲線を対数グラフに示したとき，ほぼ直線になる。

したがって，一つの直線で表されない時は，いくつかの直線に分割することで条件を満足させる方法で実験式を求める。

炉工受配電盤過電流継電器特性曲線

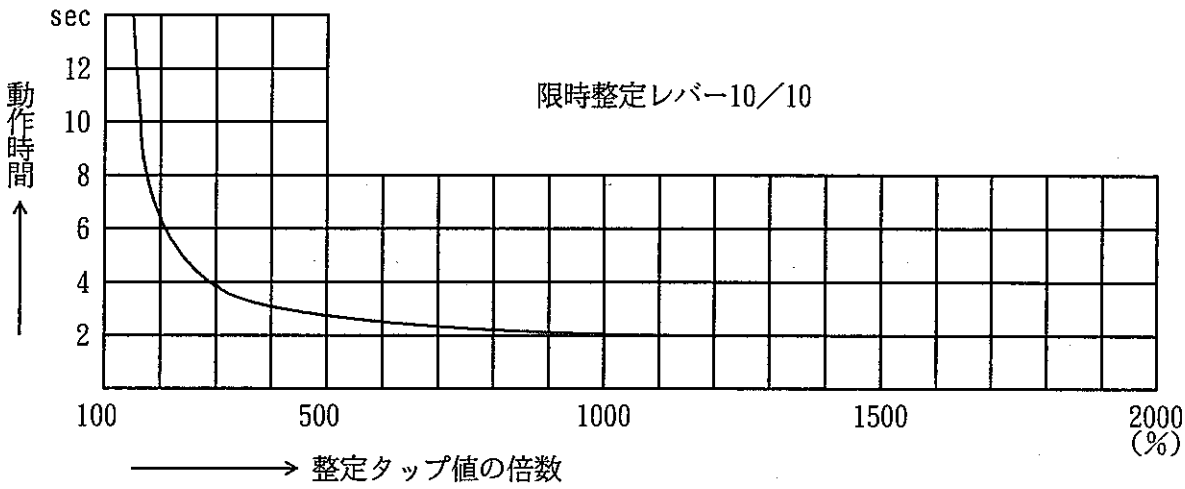


図11.1　　ＫＩＯ－C_6Ｐ形継電器限時要素動作時間特性

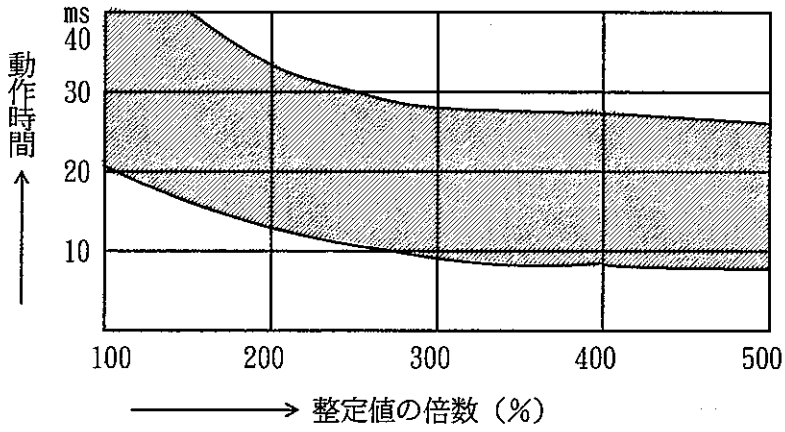


図11.2　　ＫＩＯ－C_6Ｐ
ＫＩＯ－C_6ＹＰ　　継電器瞬時要素
動作時間特性

11.2 動作時間特性

図11.1　ＫＩＯ－Ｃ$_6$Ｐ形継電器限時要素動作時間特性から表11.1ができる。

表11.1　動作時間特性

①		②		③	
I（%）	t（秒）	I（%）	t（秒）	I（%）	t（秒）
150	12.0	200	6.6	300	4.0
170	9.0	250	5.0	350	3.5
180	8.0	300	4.0	400	3.2
200	6.6				

④		⑤		⑥	
I（%）	t（秒）	I（%）	t（秒）	I（%）	t（秒）
400	3.2	800	2.3	1400	2.0
450	3.0	1000	2.15	1700	2.0
500	2.85	1400	2.0	2000	2.0
650	2.5				
800	2.3				

Ｉ：整定タップ値の倍数（%）

Ｔ：動作時間（秒）（タイム・レバーＬ＝ $\frac{10}{10}$ のとき）

11.3 実験式の算出

表11.1の値を対数グラフで示すと図11.3のように①～⑤の領域でほぼ直線になる。

したがって，各領域内で $t = AI^n$ で表すことができる。

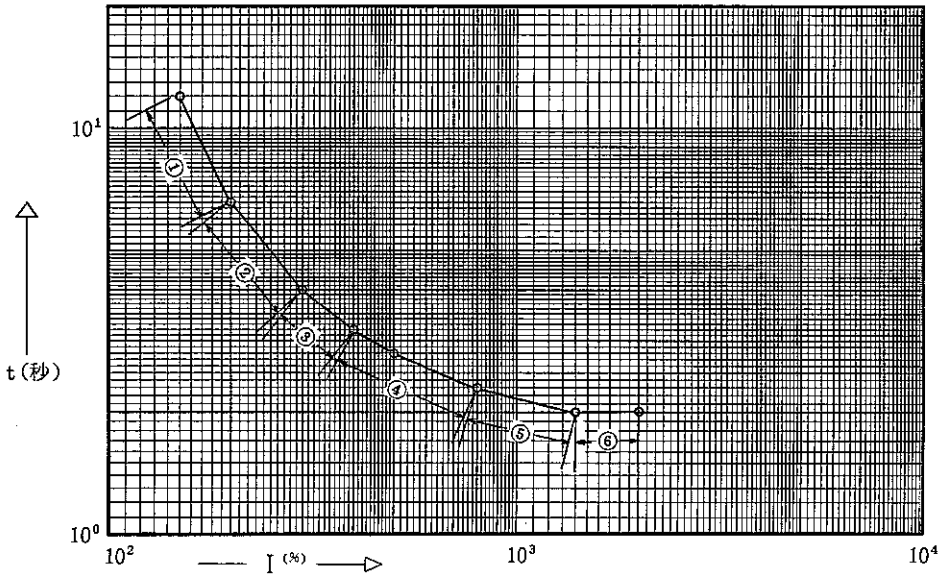


図11.3　実験式による動作時間特性

(1) ①の領域（I＝150 ～200%）の $t = AI^n$ のA及びnを求める。

表11.2　過電流継電器①の領域の動作特性

I (%)	t (秒)	log I	log t	$t_{(x)} = AI^n_{(x)}$	$e = \frac{t_x - t}{t} \times 100\%$
150	12.0	2.1760912	1.0791812	12,000	0
170	9.0	———	———	9,252	2,800
180	8.0	———	———	8,215	2,688
200	6.6	2.3010299	0.8195439	6,600	0

選点法によって $t_{(x)} = AI^n_{(x)}$ のA及びnを求める。（ただし，$Z = \frac{1}{A}$ とする。）

$1.0791812 = 2.1760912n - \log Z$ ……(1)

$0.8195439 = 2.3010299n - \log Z$ ……(2)

が成立する。

(1)−(2)

0.2596373＝−0.1249387n　　n ＝−2.0781175 ……(3)

(3)式を(1)式に代入する。

1.0791812＝−4.5221732−logZ　　logZ＝−5.6013544

$$Z=\frac{1}{399350.68}\quad\therefore\quad A=\frac{1}{Z}=399350.68$$

求める実験は，$t_{(x)}=AI^{n}_{(x)}=399350.68\,I^{-2.0781175}_{(x)}$ ……(4)

(2) ②の領域（I＝200〜300%）のt＝AI^{n}のA及びnを求める。

表11.3　過電流継電器②の領域の動作特性

I(%)	t(秒)	log I	log t	$t_{(x)}=AI^{n}_{(x)}$	$e=\frac{t_x-t}{t}\times100\%$
200	6.6	2.3010299	0.8195439	6.600	0
250	5.0	———	———	5.010	0.200
300	4.0	2.4771212	0.6020599	4.000	0

選点法によって$t_{(x)}=AI^{n}_{(x)}$のA及びnを求める。

0.8195439＝2.3010299n−LogZ ……(1)

0.6020599＝2.4771212n−logZ ……(2)

が成立する。

(1)−(2)

0.217484＝−0.1760913n　　n＝−1.2350638 ……(3)

(3)式を(1)に代入する。

0.8195439＝−2.8419188−logZ　　logZ ＝−3.6614627

$$Z=\frac{1}{4586.3032}\quad\therefore\quad A=\frac{1}{Z}=4586.3032$$

求める実験式は，$t_{(x)}=AI^{n}_{(x)}=4586.3032\,I^{-1.2350638}_{(x)}$ ……(4)

(3) ③の領域（I＝300～400％）のt＝AI^{n}のA及びnを求める。

表11.4　過電流継電器③の領域の動作特性

I（％）	t（秒）	log I	log t	$t_{(x)}=AI_{(x)}^{n}$	$e=\frac{t(x)-t}{t}\times100\%$
300	4.0	2.4771212	0.6020599	4.000	0
350	3.5	――――	――――	3.549	1.400
400	3.2	2.6020599	0.5051499	3.200	0

選点法によって$t_{(x)}=AI_{(x)}^{n}$のA及びnを求める。（ただし，$Z=\frac{1}{A}$ とする）

0.6020599＝2.4771212n－logZ　……(1)

0.5051499＝2.6020599n－logZ　……(2)

が成立する。

(1)－(2)

0.09691＝－0.1249387n　　n ＝－0.7756603 ……(3)

(3)式を(1)式に代入する。

0.6020599＝－1.9214047－logZ　　logZ＝－2.5234646

$$Z=\frac{1}{333.78335}\qquad\therefore\qquad A=\frac{1}{Z}=333.78335.$$

求める実験式は，$t_{(x)}=AI_{(x)}^{n}=333.78335I_{(x)}^{-0.7756603}$ ……(4)

(4) ④の領域 I ＝（400～800％）の $t = AI^n$ のA及びnを求める。

表11.5　過電流継電器④の領域の動作特性

I（％）	t（秒）	log I	log t	$t_{(x)} = AI_{(x)}^{n}$	$e = \frac{t_x - t}{t} \times 100\%$
400	3.2	2.6020599	0.5051499	3.200	0
450	3.0	――	――	3.025	0.833
500	2.85	――	――	2.877	0.947
650	2.5	――	――	2.539	1.560
800	2.3	2.9030899	0.3617278	2.300	0

選点法によって $t_{(x)} = AI_{(x)}^{n}$ のA及びnを求める。（ただし，$Z = \frac{1}{A}$ とする。）

$0.5051499 = 2.6020599n - \log Z$ ……(1)

$0.3617278 = 2.9030899n - \log Z$ ……(2)

が成立する。

(1)－(2)

$0.1434221 = -0.30103n$　　$n = -0.4764378$ ……(3)

(3)を(1)式に代入する

$0.5051499 = -1.2397199 - \log Z$　　$\log Z = -1.7448698$

$$Z = \frac{1}{55.573768} \quad \therefore \quad A = \frac{1}{Z} = 55.573768$$

求める実験式は，$t_{(x)} = AI_{(x)}^{n} = 55.573768\ I_{(x)}^{-0.4764378}$ ……(4)

(5) ⑤の領域（I＝800 ～1400%）のt＝AI^{n}のA及びnを求める。

表11.6　過電流継電器⑤の領域の動作特性

I(%)	t(秒)	log I	log t	$t_{(x)}=AI^n_{(x)}$	$e=\frac{t_x-t}{t}\times100\%$
800	2.3	2.9030899	0.3617278	2.300	0
1000	2.15	――――	――――	2.175	1.163
1400	2.0	3.146128	0.3010299	2.000	0

選点法によって$t_{(x)}=AI^n_{(x)}$のA及びnを求める。（ただし，$Z=\frac{1}{A}$ とする。）

0.3617278＝2.9030899n－logZ……(1)

0.3010299＝3.146128n －logZ……(2)

が成立する。

(1)－(2)

0.0606979＝－0.2430381n　n ＝－0.2497464 ……(3)

(3)を(1)式に代入する

0.3617278＝－0.7250363－logZ　logZ ＝－1.0867641

$$Z=\frac{1}{12.211363}\quad\therefore\quad A=\frac{1}{Z}=12.211363$$

求める実験式は　$t_{(x)}=AI^n_{(x)}=12.211363I^{-0.2497464}_{(x)}$……(4)

(6) ⑥の領域I ≧1400%は，定限時となりt＝2.0secである。

(7) 各領域の実験式のまとめ

（ただしｔの値は，タイム・レバー　$L = \frac{10}{10}$ のときを示す。）

① $I =$ (150～200%)　　$t_{(x)} = 399350.68 \times I_{(x)}^{-2.0781175}$ 秒

② $I =$ (200～300%)　　$t_{(x)} = 4586.3032 \times I_{(x)}^{-1.2350638}$ 秒

③ $I =$ (300～400%)　　$t_{(x)} = 333.78335 \times I_{(x)}^{-0.7756803}$ 秒

④ $I =$ (400～800%)　　$t_{(x)} = 55.573768 \times I_{(x)}^{-0.4764378}$ 秒

⑤ $I =$ (800～1400%)　　$t_{(x)} = 12.211363 \times I_{(x)}^{-0.2497464}$ 秒

⑥ $I \geqq 1400\%$　　$t_{(x)} = 2.0$ 秒

表11.7　炉工保護継電器整定

遮断器	変流器	限時要素		瞬時要素		摘　　要
		タップ	レバー	整定値	回路電流	
52R	600/5A	5A	$\frac{1}{10}$	20A	2400A	
$52F_1$	50/5A	4A	〃	30A	300A	
$52F_2$	150/5A	〃	〃	25A	750A	
$52F_3$	〃	〃	〃	〃	〃	
$52F_4$	〃	〃	〃	〃	〃	
$52F_5$	100/5A	5A	〃	35A	700A	
$52F_6$	200/5A	〃	〃	30A	1200A	

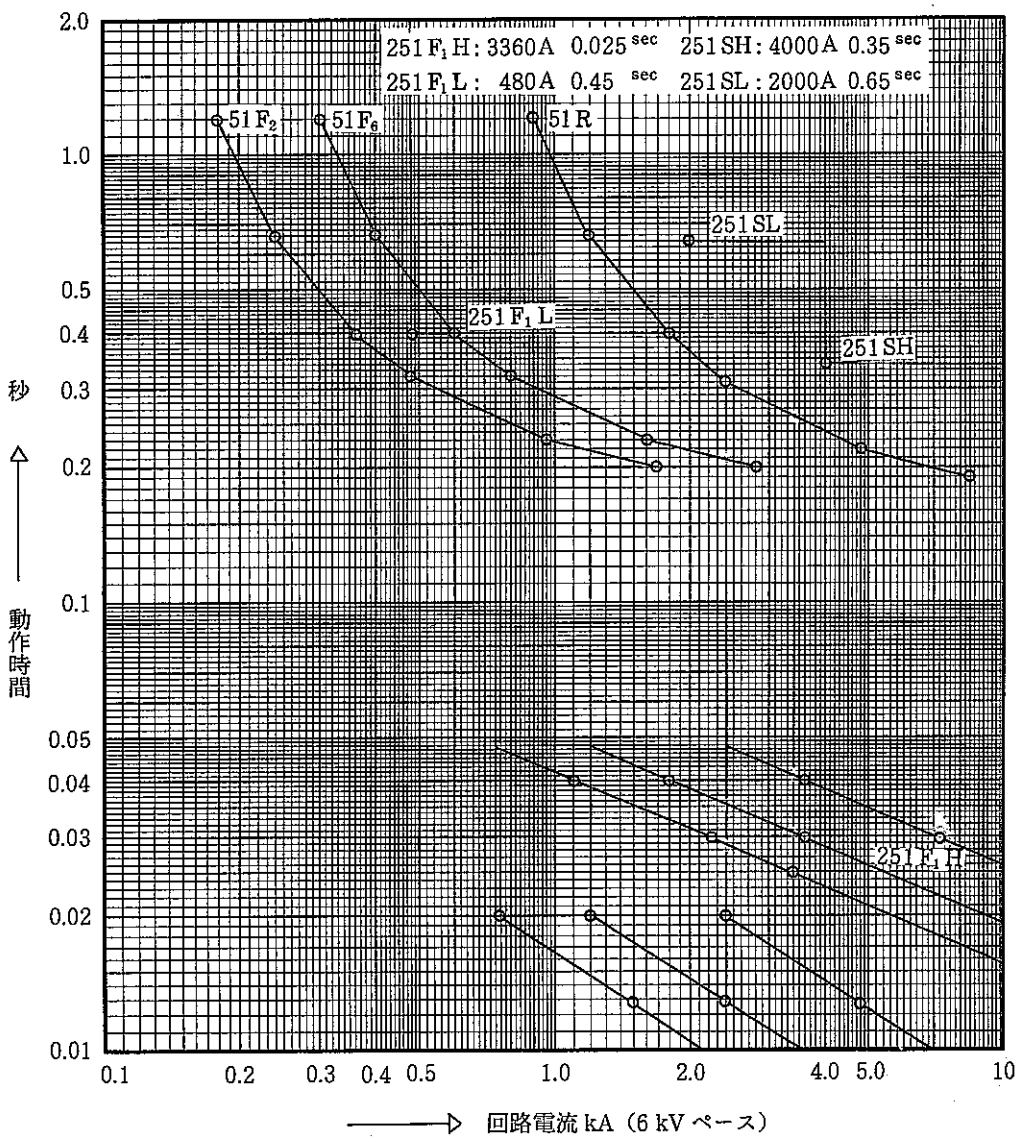


図11.4　過電流継電器動作特性曲線

12. 大洗変電所6kV系遮断容量の設定

遮断器の遮断容量を決定する場合は，実際に起り得る最も苛酷な条件を想定した%リアクタンスマップを作成し短絡容量，短絡電流を計算して故障電流を安全に遮断できる機種を選定する。次に，大洗変電所における配電用遮断器の例を示す。（抜すい）

(1) 60kV受電点の%リアクタンスの設定

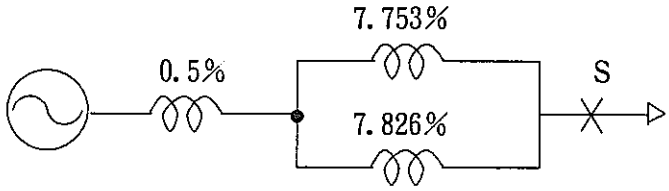
現在は，3,102 %（10,000 kVAベース）であるが，電源の系統が増強されることを考慮すると%リアクタンスが0.5 %になる可能性がある（一次変電所60kV母線の%リアクタンスだけと仮定する。）　（60kV受電点の%リアクタンス；$\%\chi_0=0.5\%$とする。）

(2) 2号変圧器，4号変圧器を並列運転した時の6kV母線%リアクタンス

2号変圧器の10,000 kVAベース換算$\%Z_{t2}$は$\%Z_{t2}=11.63\ \%\times\dfrac{10,000\text{kVA}}{15,000\text{kVA}}=7.753\ \%$

4号変圧器の10,000 kVAベース換算$\%Z_{t4}$は$\%Z_{t4}=11.74\%\times\dfrac{10,000\text{kVA}}{15,000\text{kVA}}\fallingdotseq 7.826\ \%$

電源から6kV母線までの%リアクタンスマップ（10,000kVA ベース）



短絡点Sまでの%リアクタンス$\%\chi_{2-4}$は

$$\%\chi_{2-4}=0.5\%+\left(\frac{7.753\times7.826}{7.753+7.826}\%\right)\fallingdotseq0.5\%+3.894\%=4.394\%$$

$$\text{三相短絡容量}P_{s2-4}=\frac{100}{\%\chi_{2-4}}\times10,000\text{kVA}=\frac{100}{4.394}\times10,000\text{kVA}=227,583\text{kVA}$$

$$\text{三相短絡電流}I_{s-4}=\frac{P_{s2-4}}{\sqrt{3}\times6.6}\fallingdotseq19909^{A}=19,909\text{kA}$$

以上の計算結果から，大洗工学センター内に施設する6kV遮断器の定格遮断電流は，20kAとする。（定格遮断電流20kAは，定格断容量が250,000kVAに相当する。）

13. 大洗変電所過電流継電器の整定

13.1 60kV受電51R₁ 及び51R₂ 整定値

(1) 過電流継電器の仕様

明電舎製トランジスタリレー電流検出部形式N51-89S

時限整定部形式N02-480F

① L側

電流タップ調整範囲　0.8 −1.0 −1.2 −1.4 −1.6 −2.0 −2.4A

（ただし，定格電流1.0A）

時限調整範囲　0.2 ～ 5.0秒（連続）

② H側

電流%調整範囲　電流タップ整定値の200 ～ 500%（連続）

時限調整範囲　0.05 ～ 0.5秒（連続）

(2) 変流器の変流比　300／1A（300／5A−5／1A）

(3) 東京電力㈱から指定された整定値

① L側　電流タップ整定値　I_t =1.6A(回路電流480A)

時限整定値　T_L =1.0 秒

② H側　電流%整定値　I% =280%（回路電流1344A）

時限整定値　T_H =0.05秒

(4) L側電流タップ整定値

① 60kV送電線の許容電流

動燃大洗線　鋼心アルミニウム線（ACSR）許容電流I=388A

② 60kV変圧器の定格一次電流

1号	変圧器	3φ	15000kVA	142A	(at 61kV)	
2号	変圧器	3φ	15000kVA	134A	(at 64.5kV)	
3号	変圧器	3φ	12500kVA	112A	(at 64.5kV)	常陽変電所
4号	変圧器	3φ	15000kVA	134A	(at 64.5kV)	
				計 552A		

ただし，2号，4号変圧器の中1台は予備であるから予備分を差引くと計338A

③ 契約電力　　最大22,000kW

④ L側電流タップの整定値を負荷設備定格電流の1.2 ～ 1.5倍の範囲に整定する。

$$I_t = 388^A \times \frac{1}{300^A}(1.2 \sim 1.5^A) = 1.552 \sim 1.94^A$$

東京電力㈱から指定された電流タップ値は1.6Aであるから，計算値の範囲にある。
しがって，この整定値は正しい。

$$I_t = 1.6^A \ (\text{回路電流 } I = 1.6^A \times \frac{300^A}{1^A} = 480^A)$$

負荷設備の定格電流に対する％　$\frac{480^A}{388^A} \times 100\% = 123.71\%$

送電線許容電流に対する％　$\frac{480^A}{388^A} \times 100\% = 123.71\%$

(5) H側電流％整定値

① 短絡故障点における短絡電流

イ．大洗変電所％インピーダンスマップ（ａｔ10MVAベース）の作成

ロ．単線接続図

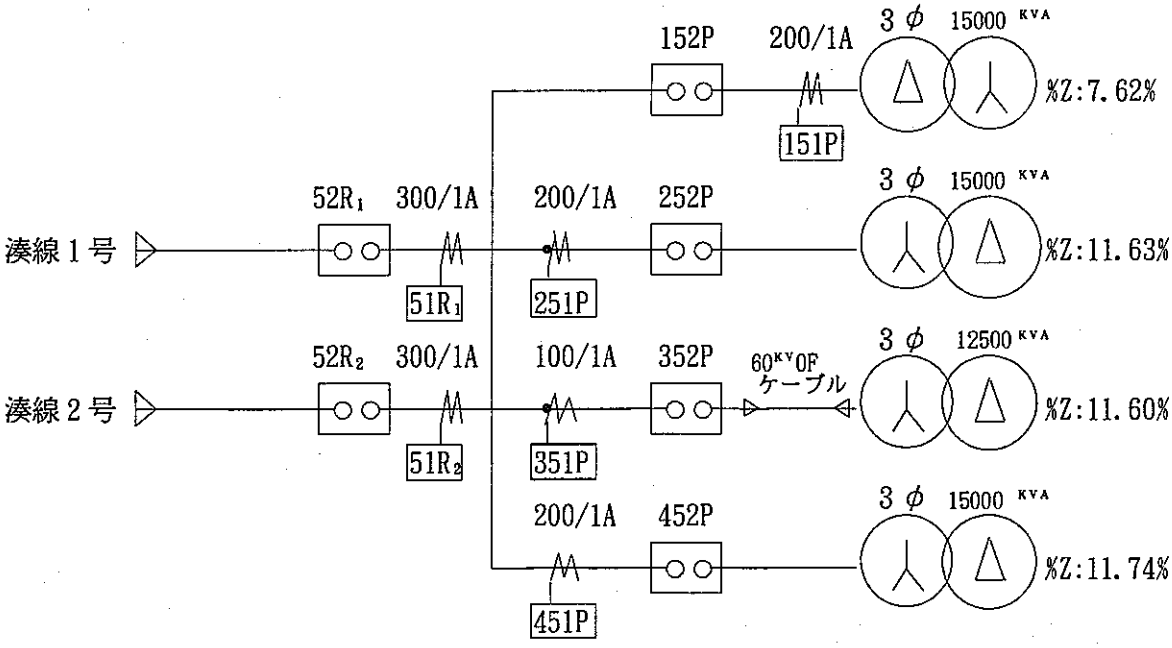


図13.1　単 線 接 続 図

ハ．各変圧器の%インピーダンスを10MVAベースに換算する

（ただし，変圧器の%インピーダンスは，抵抗分を無視しリアクタンス分のみとする。）

(イ) 1号変圧器3φ15000kVA.　$\%Z = 7.62\% \fallingdotseq \%\chi$

10MVAベースに換算した%リアクタンス$\%\chi_{t1}$は

$$\%\chi_{t1} = j\,7.62\% \times \frac{10\mathrm{MVA}}{15\mathrm{MVA}} = j\,5.080\%$$

(ロ) 2号変圧器3φ15000kVA.　$\%Z = 11.63\ \% \fallingdotseq \%\chi$

10MVAベースに換算した%リアクタンス$\%\chi_{t2}$は

$$\%\chi_{t2} = j\,11.63\ \% \times \frac{10\mathrm{MVA}}{15\mathrm{MVA}} \fallingdotseq j\,7.753\%$$

(ハ) 3号変圧器（常陽）3φ12500kVA.　$\%Z = 11.60\ \% \fallingdotseq \%\chi$

10MVAベースに換算した%リアクタンス$\%\chi_{t3}$は

$$\%\chi_{t3} = j\,11.60\ \% \times \frac{10\mathrm{MVA}}{12.5\mathrm{MVA}} = j\,9.280\%$$

(ニ) 4号変圧器3φ15000kVA.　$\%Z = 11.74\ \% \fallingdotseq \%\chi$

10MVAベースに換算した%リアクタンス$\%\chi_{t4}$は

$$\%\chi_{t4} = j\,11.74\ \% \times \frac{10\mathrm{MVA}}{15\mathrm{MVA}} \fallingdotseq j\,7.826\%$$

ニ．60KV常陽線OFケーブルの%インピーダンス（at10MVAベース）

60^{kV} OF 3C－100□ 亘長 1044^{m}

1km当りの%インピーダンス$\%Z_L = (0.04155 + j\,0.02595)\ \%/\mathrm{km}$

60KV常陽線の%インピーダンス$\%Z_{\ell 1}$は

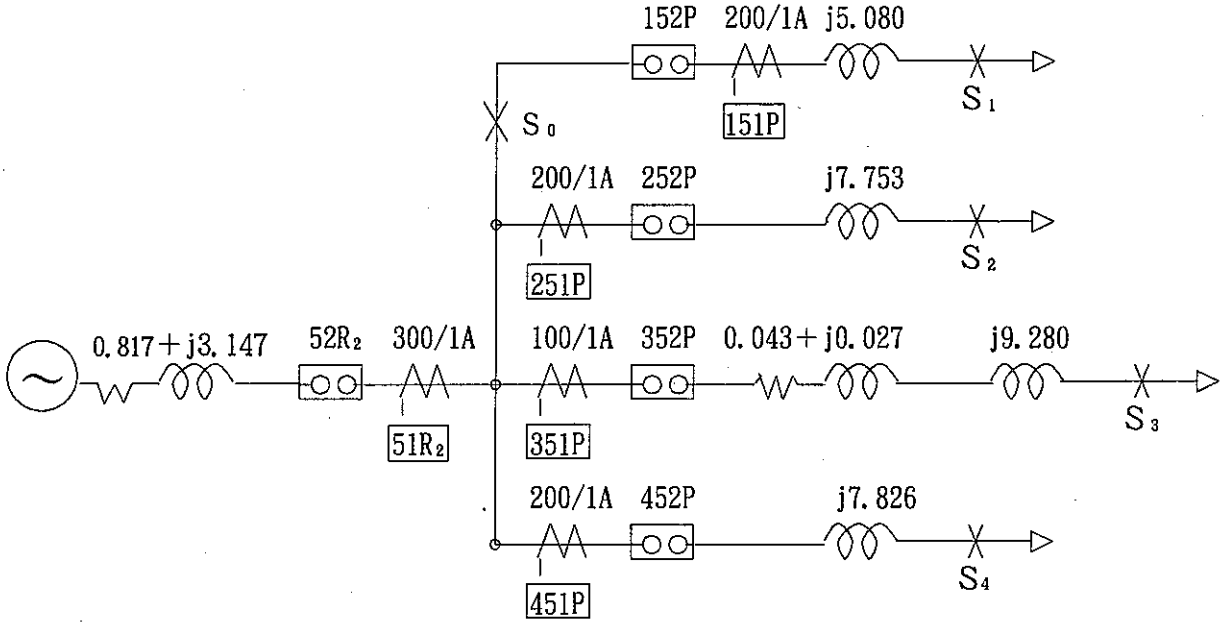
$$\%Z_{\ell 1} = 1.044\ \mathrm{km} \times (0.04155 + j\,0.02595)\ \%/\mathrm{km} \fallingdotseq (0.043 + j\,0.027)\ \%$$

ホ．%インピーダンス，マップ（at10MVA ベース）

(イ) 常時線湊2号線受電の場合とする。

(ロ)　60kV受電点の%インピーダンスは，東京電力㈱の資料から

$\%Z_B = (0.817 + j3.147)$ %とする。



S_0・S_1～S_4 短絡故障点

図13.2　単 線 接 続 図

ヘ．各短絡点における短絡電流

(イ) S_0点（60kV母線）

S_0点までの合成%インピーダンス$\%Z_0$は

$\%Z_{S0} = (0.817 + j3.147)$

$|\%Z_{S0}| = \sqrt{(0.817+)^2 + (3.147)^2} = \sqrt{0.667489 + 9.903609} = \sqrt{10.571098}$

$= 3.251326 \fallingdotseq 3.251$ %

三相短絡電流　$I_{s_0} = \dfrac{100\ \%}{3.251\ \%} \times \dfrac{10.000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 66\text{kV}} = 2690.860 \fallingdotseq 2691^A$(60kV側)

二線短絡電流　$I'_{s_0} = I_{s_0} \times \dfrac{\sqrt{3}}{2} = 2330.285 \fallingdotseq 2330^A$ (60kV側)

(ロ) S_1点（1号変圧器二次側母線）

S_1点までの合成%インピーダンス$\%Z_{s1}$は

$\%Z_{s1}=0.817+j3.147+j5.080=(0.817+j8.227)\%$

$$|\%Z_{s1}|=\sqrt{(0.817)^2+(8.227)^2}=\sqrt{0.667489+67.683529}=\sqrt{68.351018}$$
$$=8.267467\fallingdotseq 8.267\ \%$$

三相短絡電流　$I_{s_1}=\dfrac{100\ \%}{8.267\ \%}\times\dfrac{10.000^{KVA}}{\sqrt{3}\times 66^{KV}}=1058.181\fallingdotseq 1058^A$（60kV側）

二線短絡電流　$I'_{s_1}=I_{s_1}\times\dfrac{\sqrt{3}}{2}=916.385\fallingdotseq 916^A$（60kV側）

(ハ) S_2点（2号変圧器二次側母線）

S_2点までの合成%インピーダンス$\%Z_{s2}$は

$\%Z_{s2}=0.817+j3.147+j7.753=(0.817+j10.900)\ \%$

$$|\%Z_{s2}|=\sqrt{(0.817)^2+(10.90)^2}=\sqrt{0.667489+118.810}=\sqrt{119.477489}$$
$$=10.930575\fallingdotseq 10.930\%$$

三相短絡電流　$I_{s_2}=\dfrac{100\ \%}{10.930\%}\times\dfrac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 66\mathrm{kV}}=800.364\fallingdotseq 800^A$（60kV側）

二線短絡電流　$I'_{s_2}=I_{s_2}\times\dfrac{\sqrt{3}}{2}=693.115\fallingdotseq 693^A$（60kV側）

(ニ) S_3点（常陽変電所二次側母線）

S_3点までの合成%インピーダンス$\%Z_{s3}$は

$\%Z_{s3}=0.817+j3.147+0.043+j0.027+j9.280=(0.860+j12.454)\%$

$$|\%Z_{s3}|=\sqrt{(0.860)^2+(12.454)^2}$$
$$=\sqrt{0.7396+155.102116}=\sqrt{155.841716}=12.483657\fallingdotseq 12.483\%$$

三相短絡電流　$I_{s3}=\dfrac{100\ \%}{12.483\%}\times\dfrac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 66\mathrm{kV}}=700.792\fallingdotseq 701^A$（60kV側）

二線短絡電流　$I'_{s3}=I_{s3}\times\dfrac{\sqrt{3}}{2}=606.885\fallingdotseq 607^A$（60kV側）

ホ.　S_4点（4号変圧器二次側母線）

S_4点までの合成%インピーダンス$\%Z_{s4}$は

$\%Z_{s4}=0.817+j3.147+j7.826=(0.817+j10.973)\%$

$$|\%Z_{s4}|=\sqrt{(0.817)^2+(10.973)^2}=\sqrt{0.667489+120.406729}=11.003373$$
$$\fallingdotseq 11.003\%$$

三相短絡電流　$I_{s_4}=\dfrac{100\%}{11.003\%}\times\dfrac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 66kV}=795.054=795^A$(60kV側)

二線短絡電流　$I'_{s_4}=I_{s_4}\times\dfrac{\sqrt{3}}{2}=688.517\fallingdotseq 689^A$（60kV側）

ト.　各短絡点における短絡電流

表13.1　短　絡　電　流　　（単位：A）

短絡点	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4
三相短絡電流	2691	1058	800	701	795
二線短絡電流	2330	916	693	607	689

② 変圧器の励磁突入電流

変圧器の励磁突入電流を求める実験式により求める。

$I_{in}=k_1\{56.46(P)^{-0.2632}\}\times I$ ……(1)

$k_1=0.8C^{-0.27}$ ……(2)

I_{in}：変圧器励磁突入電流(A)

P：変圧器定格容量(kVA)

I：変圧器定格電流(A)

k_1:変圧器励磁突入電流減衰係数

C：50Hz で表した時限(Hz)

$k_1 = 0.8(50^{Hz/s} \times 0.05^{s})^{-0.27} = 0.6246635 \fallingdotseq 0.625$

（0.05秒としたのは，H側時限整定値を0.05秒に整定しているため。）

・1号変圧器　$I_{1in} = 0.625\ \{56.46(15000)^{-0.2632}\} \times 142^{A} = 398.8 \fallingdotseq 399^{A}$

・2号変圧器　$I_{2in} = 0.625\ \{56.46(15000)^{-0.2632}\} \times 134^{A} = 376.3 \fallingdotseq 376^{A}$

・常陽変圧器　$I_{3in} = 0.625\ \{56.46(12500)^{-0.2632}\} \times 112^{A} = 330^{A}$

・4号変圧器　$I_{4in} = 0.625\ \{56.46(15000)^{-0.2632}\} \times 134^{A} = 376.3 \fallingdotseq 376^{A}$

常時1号，3号変圧器と2号又は4号変圧器を使用している。

したがって，商用電源が停電し復電するとき同時に電圧を印加される変圧器の励確突入電流の合計は　$\Sigma I_{in} = 399^{A} + 376^{A} + 330^{A} = 1105^{A}$となるが3台同時に最大値になることは極めて少なく，$1,105^{A}$を超えることはないと考えて良い。

③　H側電流%の整定

イ．60kV母線二線短絡電流で安定動作させる。

$$I = I'_{s_0} \times \frac{1}{1.5} = 2330^{A} \times \frac{1}{1.5} \fallingdotseq 1553^{A}$$ 以下に整定する。

ロ．変圧器の二次側短絡電流で動作させない。設置している変圧器二次側短絡電流の最大値$I_{s1} = 1058^{A}$（1号変圧器二次側三相短絡電流）以上に整定する。

ハ，変圧器励磁突入電流で動作させない。

$\Sigma I_{in} = 1105^{A}$ 以上に整定する。

ニ．前項イ～ハからH側電流%の整定は

$$\frac{1105^{A}}{480^{A}} \times 100\% < I^{\%} < \frac{1553^{A}}{480^{A}} \times 100\%$$

$230.208\% < I^{\%} < 323.541\%$

$I^{\%} = 231 \sim 323\%$の範囲に整定すれば良い。

東京電力㈱から指定された電流%の整定値280%は計算値の範囲にある。したがって，この整定値は正しい。

以上の検討結果から東京電力㈱から指定された$51R_1$又は$51R_2$の電流整定値の指定値は正しいものと判定される。

時限の整定値については，東京電力㈱西水戸変電所との保護協調上L側は1.0 秒，H側は0.05秒に指定されている。これは，60kV 系の短絡事故については最小の0.05秒で動作させ，変圧器の二次側短絡の後備保護については1.0 秒で動作することになる（変圧器の短絡保護は，%インピーダンスが4%以上の場合自己インピーダンスから制限される電流で2秒間熱的強度に耐えることになっているので，1秒間で動作すれば完全に保護できる。）

13.2　1号変圧器151Pの整定

変流器の変流比　200／1A（200／5A－5／1A）

(1)　L側電流タップの整定

1号変圧器定格一次電流の1.2 ～1.5 倍の範囲に整定する。

$$I_t = 142^A \times \frac{1^A}{200^A}(1.2 \sim 1.5) = 0.852 \sim 1.065^A$$

したがって　$I_t = 1.0^A$ に整定する。

定格電流に対する比…… $\frac{200^A}{142^A} \times 100\% = 140.845\%$

(2)　H側電流%の整定

①　60kV二線短絡電流で安定動作させる。

$$I = I'_{s_0} \times \frac{1}{1.5} = 2330^A \times \frac{1}{1.5} \fallingdotseq 1553^A$$ 以下に整定する。

②　変圧器二次側短絡電流で動作させない。

$I_{s1} = 1058^A$ 以上に整定する。

③　変圧器励磁突入電流で動作させない。

$I_{1in} = 399^A$ 以上に整定する。

④　前項①～③からH側電流%の整定は

$$\frac{1058^A}{200^A} \times 100\ \% < I\ \% < \frac{1553^A}{200^A} \times 100\%$$

$529\% < I\ \% < 776.5\%$

$I\ \% = 529 \sim 776.5\%$の範囲に整定すれば良い。

ただし，H側調整範囲は200 ～500%であるから$I\ \% = 500\%$に整定する。

したがって，変圧器二次側三相短絡電流で動作することがある。

⑤　1号変圧器は，ＨＴＬに単独送電しているので変圧器二次側の短絡故障時に動作させるとすると，二線短絡電流でも安定動作させるため

$$I = I'_{s_1} \times \frac{1}{1.5} = 916^A \times \frac{1}{1.5} = 610.666^A$$ 以下に整定する。

⑥ 変圧器励磁突入電流で動作させず変圧器二次側二線短絡電流で安定動作させる電流%の整定は $\frac{399^A}{200^A}\times 100\ \% < I\ \% < \frac{610^A}{200^A}\times 100\% = 199.5\ \sim 305\%$

H側調整範囲は200 ～305%の範囲に整定すれば良い。

I %＝300%

(3) 151Pの時限・整定

① L側時限の整定

$51R_1$又は$51R_2$のL側と時限協調できるようにする。

トランジスタリレーを使用しているので次の式を用いる。

$T_1 > T_2 + B_2 + \alpha$ ……(1)

$T_1 = 1.0^{Sec}$　$T_2 = \chi^{Sec}$

$B_2 = 0.1^{sec}$　$\alpha = 0.1^{sec}$

T_1 ：$51R_1$又は$51R_2$のL側整定値(秒)

T_2 ：151PL側の整定値(秒)

B_2 ：遮断器の遮断時間(秒)

α ：余裕時間(秒)

$1.0 > T_2 + 0.1 + 0.1$

$T_2 < 0.8$ 秒　余裕をみて$T_2 = 0.75$秒とする（調整範囲0.2 ～5.0秒）

② H側時限の整定

変圧器一次側短絡故障の場合$51R_1$又は$51R_2$との時限協調ができれば理想的であるが$51R_1$又は$51R_2$のH側の時限整定値が0.05秒に整定されているので時限協調ができず直列遮断するがH側の時限の整定値は最小値の0.05秒とする。

(4) 151Pの電流及び時限・整定値

L側	電流タップ整定値	1.0^A（回路電流200^A）
	時限整定値	0.75秒
H側	電流%整定値	300%（回路電流600^A）
	時限整定値	0.05秒

13.3　2号変圧器251Pの整定

変流器の変流比　　200／1A(200／5A－5／1A)

(1)　L側電流タップの整定

2号変圧器定格一次電流の1.2～1.5倍の範囲に整定する。

$$I_t = 134^A \times \frac{1^A}{200^A}(1.2 \sim 1.5) = 0.804 \sim 1.005^A$$

したがって，$I_t = 1.0^A$に整定する。

定格電流に対する比　$\dfrac{200^A}{134^A} \times 100\% = 149.253\%$

(2)　H側電流%の整定

イ．60kV二線短絡電流で安定動作させる。

$$I = I'_{s_0} \times \frac{1}{1.5} = 2330^A \times \frac{1}{1.5} \fallingdotseq 1553^A$$ 以下に整定する。

ロ．変圧器の二次側短絡電流で動作させない。

$I_{s2} = 800^A$ 以上に整定する。

ハ．変圧器の励磁突入電流で動作させない。

$I_{21n} = 376^A$ 以上とする。

ニ．前項イ～ハからH側電流%の整定は

$$\frac{800^A}{200^A} \times 100\% < I\% < \frac{1553^A}{200^A} \times 100\%$$

400%＜I%＜776.5%　ただし，I%の調整範囲は200～500%である。

I%＝401～500%の範囲で整定すれば良い。

したがって，I%＝500%とする。

(3)　252Pの時限，整定

イ．L側時限の整定

$51R_1$又は$51R_2$のL側と時限協調できるようにする。

トランジスタリレーを使用しているので次の式を用いる。

$T_1 > T_2 + B_2 + \alpha$……(1)

$T_1 = 1.0$ 秒　　$B_2 = 0.1$ 秒　　$\alpha = 0.1$ 秒

$T_2 = 1.0$ 秒－(0.1＋0.1)秒＝0.8 秒余裕をみて$T_2 = 0.75$秒に整定する。

ロ．H側時限の整理

151Pと同様に0.05秒に整定する。

(4) 251Pの電流及び時限整定値の決定

L側	電流タップ整定値	1.0A（回路電流200A）
	時限整定値	0.75秒
H側	電流%整定値	500%（回路電流1000A）
	時限整定値	0.05秒

13.4　3号変圧器（常陽）351Pの整定

変流器の変流比　　100／1（100／5A ～5／1A）

(1)　L側電流タップの整定

3号変圧器定格一次電流の1.2 ～1.5 倍の範囲に整定する。

$$I_t = 112^A \times \frac{1}{100^A}(1.2 \sim 1.5) = 1.344 \sim 1.68^A$$

したがって，$I_t = 1.6^A$に整定する。

変圧器定格電流に対する比　$\frac{160^A}{112^A} \times 100\% = 142.857\%$

60kVOF ケーブル3C-100□ 管路布設1本　許容電流 $I = 255^A$ 電力ケーブルの許容電流に対する比 $\frac{160^A}{255^A} \times 100\% = 62.745\%$

(2)　H側電流%の整定

①　60kv二線短絡電流で安定動作をさせる。

短絡点を常陽線OFケーブル端末とすると短絡点までの合成%インピーダンス$\%Z_{so3}$は

$$\%Z_{so3} = 0.817 + j3.147 + 0.043 + j0.027 = (0.860 + j3.174)\%$$

$$|\%Z_{so3}| = \sqrt{(0.86)^2 + (3.174)^2} = \sqrt{0.7396 + 10.074276} = \sqrt{10.813876}$$

$$= 3.2884445 \fallingdotseq 3.288\%$$

三相短絡電流　$I_{s03} = \frac{100\%}{3.288\%} \times \frac{10.000kVA}{\sqrt{3} \times 66kV} = 2660.580 \fallingdotseq 2661^A$

二線短絡電流　$I'_{s03} = I_{s03} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 2304.062 \fallingdotseq 2304$

したがって，$I = I'_{s03} \times \frac{1}{1.5} = 2304^A \times \frac{1}{1.5} = 1536^A$ 以下に整定する。

②　変圧器二次側の短絡電流で動作させない。

$I_{s3} = 701^A$ 以上に整定する。

③　変圧器励磁突入電流で動作させない。

$I_{3in} = 330^A$ 以上に整定する。

④ 前項①～③からH側電流%の整定は

$$\frac{701^{A}}{160^{A}}\times 100\% < I\% < \frac{1536^{A}}{160^{A}}\times 100\%$$

438.125%＜I%＜960%　　ただし，H側の調整範囲は200 ～500%であるから

I%＝440 ～500%　　I%＝450%に整定する。

(3) 351Pの時限，整定

① L側　251Pと同様にT_2＝0.75秒とする。

② H側　251Pと同様にT_H＝0.05秒とする。

(4) 351Pの電流及び時限整定値の決定

L側	電流タップ整定値	1.6^{A}（回路電流160^{A}）
	時限整定値	0.75秒
H側	電流%整定値	450%（回路電流720^{A}）
	時限整定値	0.05秒

13.5　4号変圧器　451Pの整定

変流器の変流比　　200／1A（200／5～5／1A）

(1) 451Pの電流及び時限整定値の決定

2号変圧器と同様の条件により

L側　電流タップ整定値　　1.0A（回路電流200A）

　　時限整定値　　0.75秒

H側　電流%整定値　　500%（回路電流1000A）

　　時限整定値　　0.05秒

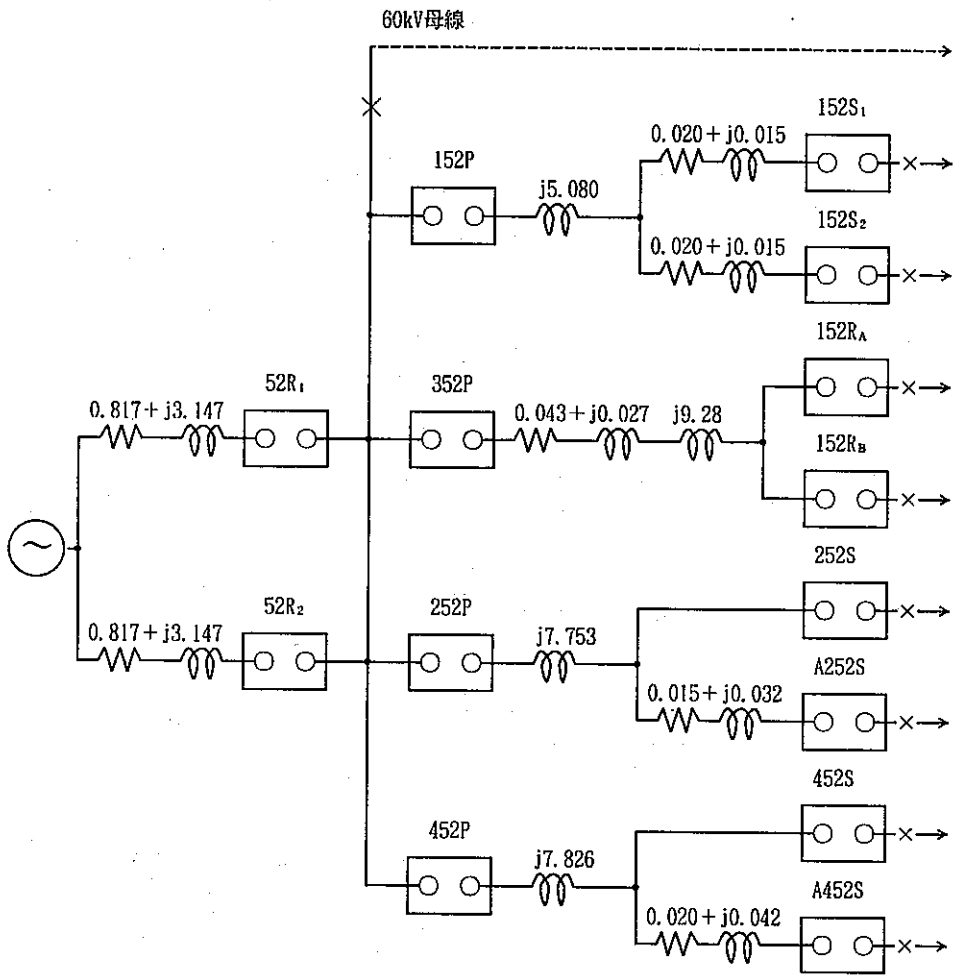
表13.2　大洗変電所60kV過電流継電器整定表

継電器	変流器	L側整定値			H側整定値		
	変流比	電流タップ(A)	回路電流(A)	時限(秒)	電流(%)	回路電流(A)	時限(秒)
$51R_1$	300/1A	1.6	480	1.0	280	1344	0.05
$51R_2$	300/1	1.6	480	1.0	280	1344	0.05
151P	200/1	1.0	200	0.75	300	600	0.05
251P	200/1	1.0	200	0.75	500	1000	0.05
351P	100/1	1.6	160	0.75	450	720	0.05
451P	200/1	1.0	200	0.75	500	1000	0.05

（1／5）

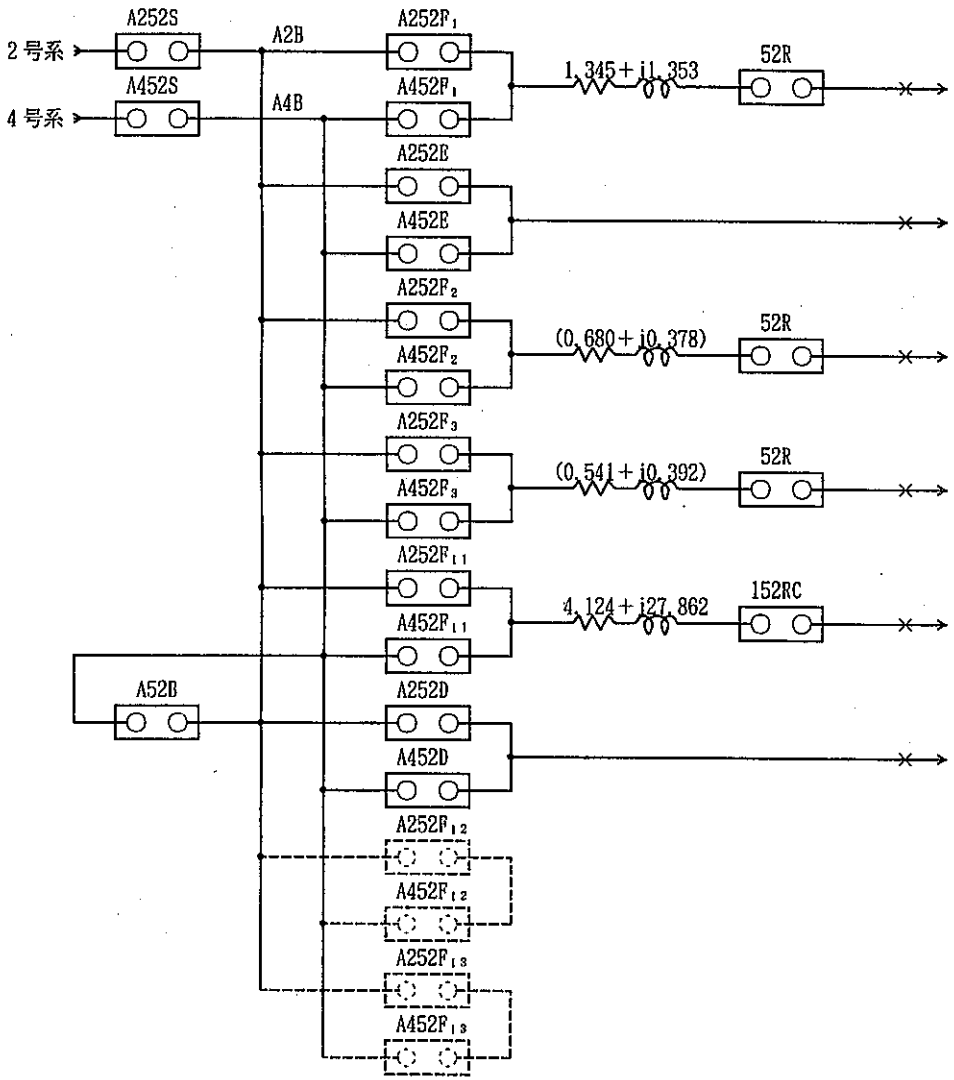
（６０ｋＶ系・６ｋＶ主幹）

（×印は，短絡点を示す。）



短　絡　点	（%） %インピーダンス	%インピーダンス 絶　対　値	短絡電流(60kV) 三　相	短絡電流(60kV) 二　線
60ｋＶ母線	0.817＋j3.147	3.251 %	2691 A	2330 A
ＨＴＬ二次側(A)	0.837＋j8.242	3.284 %	1056 A	915 A
ＨＴＬ二次側(B)	0.837＋j8.242	8.284 %	1056 A	915 A
「常陽」二次側(A)	0.860＋j12.454	12.483 %	701 A	607 A
「常陽」二次側(B)	0.860＋j12.454	12.483 %	701 A	607 A
6kV２Ｂ母線	0.817＋j10.900	10.930 %	800 A	693 A
6kVＡ２Ｂ母線	0.832＋j10.932	10.963 %	798 A	691 A
6kV４Ｂ母線	0.817＋j10.973	11.003 %	795 A	689 A
6kVＡ４Ｂ母線	0.837＋j11.015	11.046 %	792 A	686 A

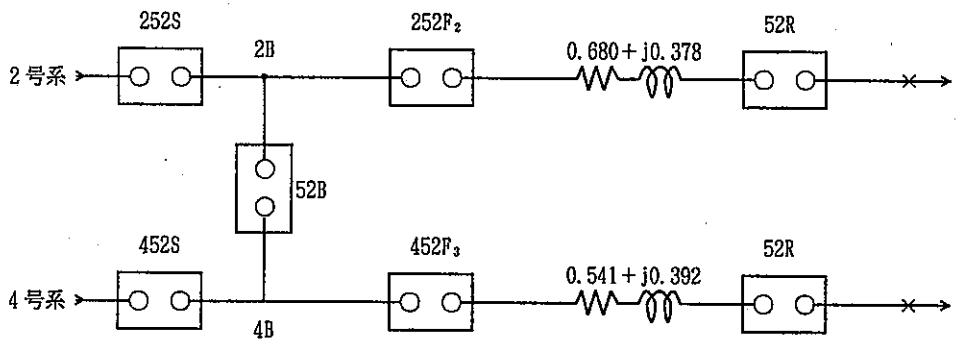
図13.6　大洗変電所　%インピーダンス，マップ（at 10MVAベース）



(2／5)

短絡点	%インピーダンス (%)	%インピーダンス 絶対値	短絡電流 (6kV) 三相	短絡電流 (6kV) 二線
A安3MW	2.177+j12.285	12.476 %	7.012A	6.072A
	2.182+j12.368	12.559 %	6.966A	6.032A
6kVE母線	0.832+j10.932	10.963 %	7.980A	6.910A
	0.837+j11.015	11.046 %	7.920A	6.858A
(Na機器構造)	1.512+j11.310	11.410 %	7.667A	6.640A
	1.517+j11.393	11.493 %	7.612A	6.592A
(50MWSG)	1.373+j11.324	11.406 %	7.670A	6.642A
	1.378+j11.407	11.489 %	7.614A	6.594A
6kV「常陽」線	4.941+j31.009	31.400 %	2.785A	2.413A
	4.941+j31.082	31.472 %	2.780A	2.407A
6kVD母線	0.832+j10.932	10.963 %	7.980A	6.910A
	0.837+j11.015	11.046 %	7.920A	6.858A

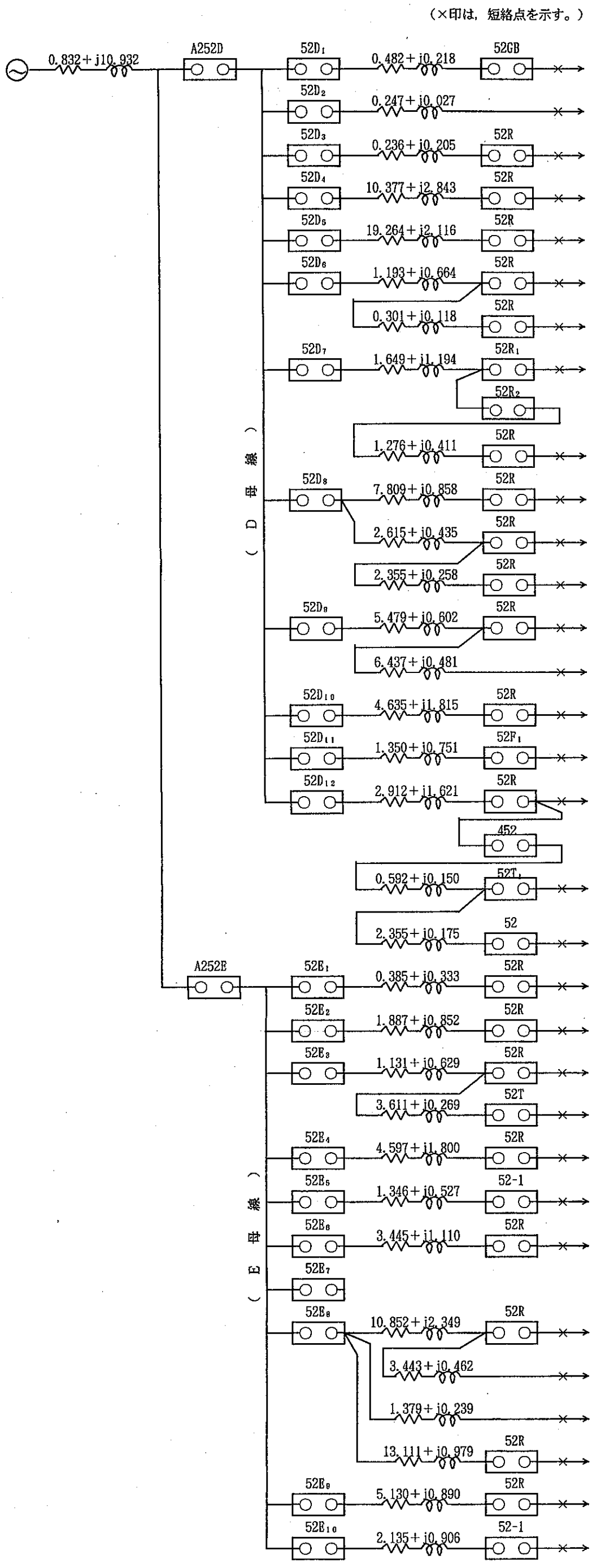
図13.7　6kV屋外キュービクル



（3／5）

短絡点		%インピーダンス（%）	%インピーダンス 絶対値	短絡電流（6kV） 三相	短絡電流（6kV） 二線
Na機器構造	(2B)	1.497＋j11.278	11.376 %	7.690A	6.659A
	(4B)	1.497＋j11.351	11.449 %	7.641A	6.617A
50MWSG	(2B)	1.358＋j11.292	11.373 %	7.692A	6.661A
	(4B)	1.358＋j11.365	11.445 %	7.644A	6.619A

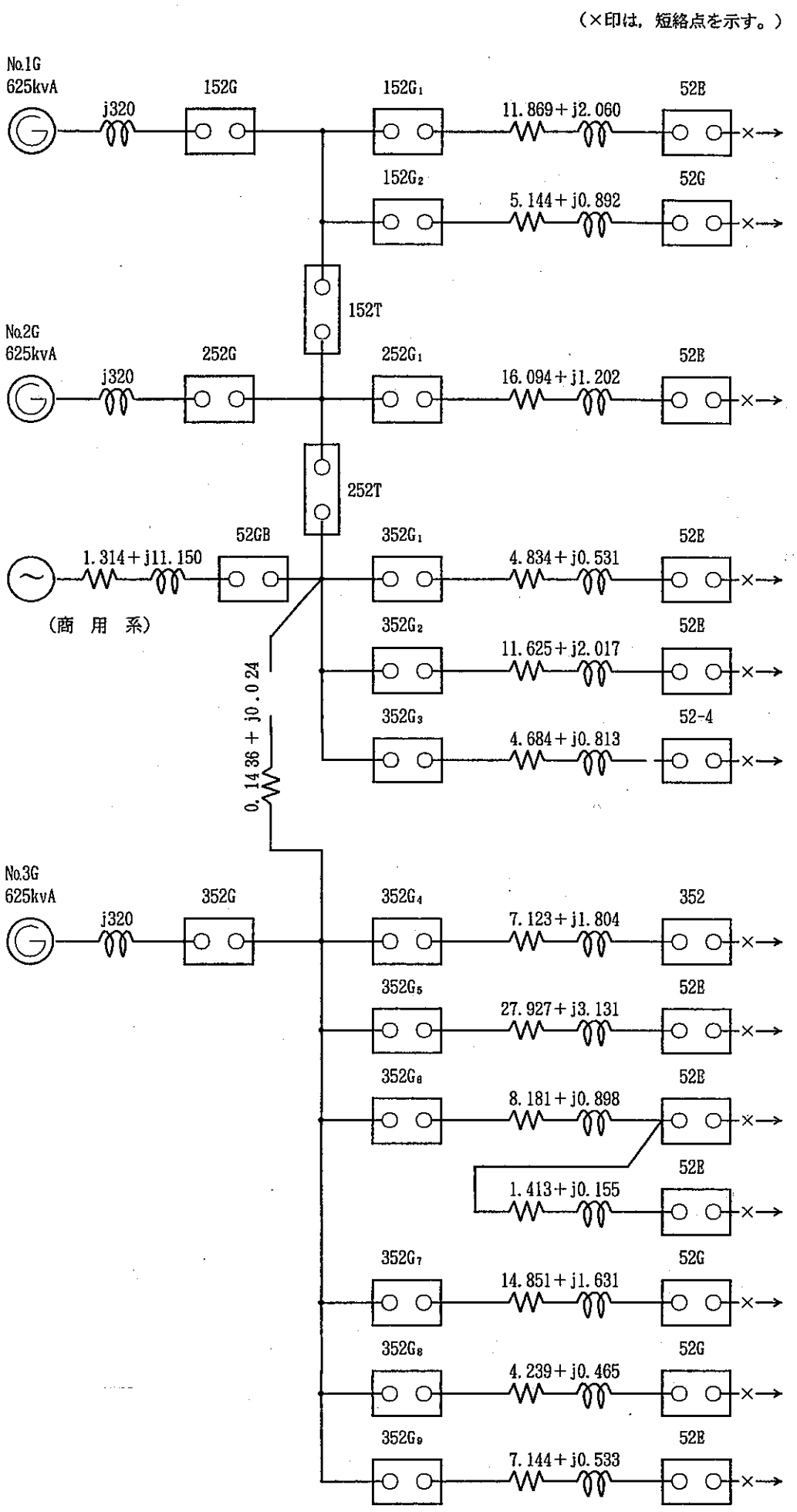
図13.8　6kV屋外キュービクル



短絡点	%インピーダンス (%)	%インピーダンス 絶対値	短絡電流（6kV） 三相	短絡電流（6kV） 二線
非常連絡	1.314＋j11.150	11.227 %	7.792A	6.748A
所内	1.079＋j10.959	11.011 %	7.945A	6.880A
ATR工学	1.068＋j11.137	11.188 %	4.926A	6.771A
FMF	11.209＋j13.775	17.759 %	3.651A	4.266A
計算機室	20.096＋j13.048	23.960 %	7.471A	3.162A
高温Na	2.025＋j11.596	11.710 %	7.325A	6.469A
材料強度	2.326＋j11.714	11.942 %	7.068A	6.344A
FSI	2.481＋j12.126	12.377 %	795 A	6.121A
ATTF	3.757＋j12.537	13.087 %	6.684A	5.789A
本館	8.641＋j11.790	14.617 %	5.985A	5.183A
安管棟	3.477＋j11.367	11.878 %	7.365A	6.378A
体育館	5.802＋j11.625	12.992 %	6.733A	5.831A
給排水	6.311＋j11.534	13.147 %	6.654A	5.762A
排水処理	12.748 j12.015	17.517 %	4.994A	4.325A
MMF	5.467＋j12.747	13.869 %	6.308A	5.462A
Na機器第2	2.182＋j11.683	11.885 %	7.361A	6.374A
F安第3	3.744＋j12.553	13.099 %	6.678A	5.783A
F安第1，第2	4.336＋j12.703	13.422 %	6.518A	5.644A
F安第2	6.691＋j12.878	14.512 %	6.028A	5.220A
Na流動伝熱	1.217＋j11.265	11.330 %	7.721A	6.686A
ISI	2.719＋j11.784	12.090 %	7.236A	6.266A
水流動	1.963＋j11.561	11.726 %	7.460A	6.461A
水キャビ	5.574＋j11.830	13.077 %	6.690A	5.793A
WDF	5.429＋j12.732	13.841 %	6.320A	5.473A
ATR安全性	2.718＋j11.459	1.6644 %	7.500A	6.495A
DCA	4.277＋j12.042	12.778 %	6.846A	5.929A
TRU	11.684＋j13.281	17.689 %	4.945A	4.283A
第1，第2業者団地	15.127＋j13.743	20.437 %	4.280A	3.707A
第3業者団地	2.211＋j11.171	11.387 %	7.682A	6.653A
情報管理棟	13.943＋j11.911	18.337 %	4.771A	4.131A
Na分析	5.962＋j11.822	13.240 %	6.607A	5.722A
小型SG	2.967＋j11.838	12.204 %	7.168A	6.208A

（備　考）　2号変圧器からA252Sを経由し、受電したものとして算出した。

図13.9　D母線・E母線　%インピーダンスマップ



（5／5）

短絡点	給電系	%インピーダンス（10MVAベース）	%インピーダンス 絶対値	短絡電流（6kV） 三相	短絡電流（6kV） 二線
W D F	非常系	11.869＋j162.060	162.494 %	538 A	466 A
	商用系	13.183＋j13.210	18.662 %	4688 A	4059 A
Na機器構造	非常系	5.144＋j160.892	160.974 %	543 A	471 A
	商用系	6.458＋j12.042	13.664 %	6402 A	5544 A
I S I	非常系	16.092＋j161.202	162.003 %	540 A	468 A
	商用系	17.408＋j12.352	21.345 %	4098 A	3549 A
給 排 水	非常系	4.977＋j320.555	320.593 %	273 A	236 A
	商用系	6.148＋j11.681	13.200 %	6627 A	5739 A
M M F	非常系	11.768＋j322.041	322.255 %	271 A	235 A
	商用系	12.939＋j13.167	18.460 %	4739 A	4104 A
Na機器第2	非常系	4.827＋j320.837	320.837 %	273 A	236 A
	商用系	5.998＋j12.313	13.696 %	6387 A	5531 A
F安第3	非常系	7.123＋j321.804	321.882 %	272 A	235 A
	商用系	8.580＋j12.978	15.557 %	5623 A	4870 A
F M F	非常系	27.927＋j323.131	324.335 %	270 A	234 A
	商用系	29.384＋j14.305	32.681 %	2677 A	2318 A
高温Na	非常系	8.181＋j320.898	321.002 %	273 A	236 A
	商用系	9.638＋j12.072	15.447 %	5668 A	4904 A
材料強度	非常系	9.594＋j321.053	321.196 %	272 A	236 A
	商用系	11.051＋j12.227	16.481 %	5308 A	4597 A
F S I	非常系	14.851＋j321.631	321.973 %	272 A	235 A
	商用系	16.308＋j12.805	20.734 %	4219 A	3654 A
ATR工学	非常系	4.239＋j320.465	320.493 %	273 A	236 A
	商用系	5.696＋j11.639	12.958 %	6751 A	5846 A
安 管 棟	非常系	7.144＋j320.533	320.612 %	273 A	236 A
	商用系	8.600＋j11.707	14.526 %	6022 A	5215 A

（備　考）

非　常　系　：　No.1G，No.2Gは、並列運転として算出した。

No.3Gは、単独運転として算出した。

商　用　系　：　2号変圧器からA252を経由し受電したものとして算出した。

図13.10 非常系　%インピーダンスマップ

（事例－１）

短絡電流の計算（炉工系）

(1) 単線接続図

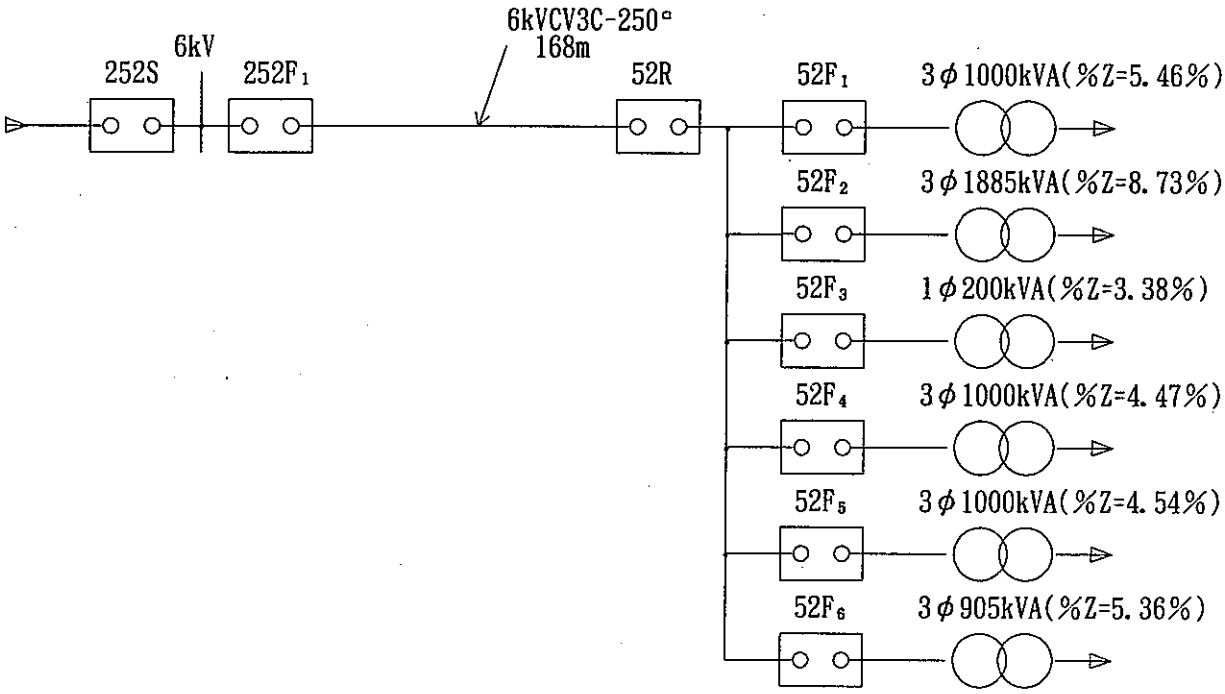


図13.4　単線接続図

(2) %インピーダンス（at10MVA）

① 特高変電所6kV母線より電源を見た%インピーダンス　$\%Z_B$ は

$\%Z_B$ ＝（0.817 ＋j10.900 ）%（昭和62年12月：東京電力資料による。）

② 電力ケーブル6kV CV 3C-250□　亘長168mの%インピーダンス$\%Z_1$は6kV CV 3C-250□ 1km当たりの%インピーダンス（ただし，10MVA ベース）$\%Z_1$は$\%Z_1=(2.252+j1.953)\%/km$

$$\%Z_1 = 168 \times \frac{1}{1000}(2.252+j1.953) = 0.378336+j0.328104 \fallingdotseq (0.378+j0.328)\%$$

③ 変圧器の%インピーダンスを%χとし10MVA ベースに換算する。

イ．3 φ1000kVA　%Z ＝5.46%の10MVA ベース換算%リアクダンスを$\%\chi_{t1}$とすると

$$\%\chi_{t1} = j5.46\ \% \times \frac{10000}{1000} \fallingdotseq j54.6\%$$

ロ．3 φ1885kVA　%Z ＝8.73%の10MVA ベース換算%リアクダンスを$\%\chi_{t2}$とすると

$$\%\chi_{t2} = j8.73\ \% \times \frac{10000}{1885} \fallingdotseq j46.312\ \%$$

ハ．1 φ200kVA　%Z ＝3.38%の10MVA ベース換算%リアクダンスを$\%\chi_{t3}$とすると

$$\%\chi_{t3} = j3.38\ \% \times \frac{10000}{200\times 2} \fallingdotseq j84.50\%$$

ニ. 3 φ1000kVA　%Z ＝j4.47 %の10MVA ベース換算%リアクダンスを$\%\chi_{t4}$とすると

$$\%\chi_{t4}=j4.47\ \%\times\frac{10000}{1000}\fallingdotseq j44.7\%$$

ホ. 3 φ1000kVA　%Z ＝j4.54 %の10MVA ベース換算%リアクダンスを$\%\chi_{t5}$とすると

$$\%\chi_{t5}=j4.54\ \%\times\frac{10000}{1000}\fallingdotseq j45.40\%$$

ヘ. 3 φ 905kVA　%Z ＝j5.36 %の10MVA ベース換算%リアクダンスを$\%\chi_{t6}$とすると

$$\%\chi_{t6}=j5.36\ \%\times\frac{10000}{905}\fallingdotseq j59.226\%$$

(3) %インピーダンスアップ(at 10MVA ベース)

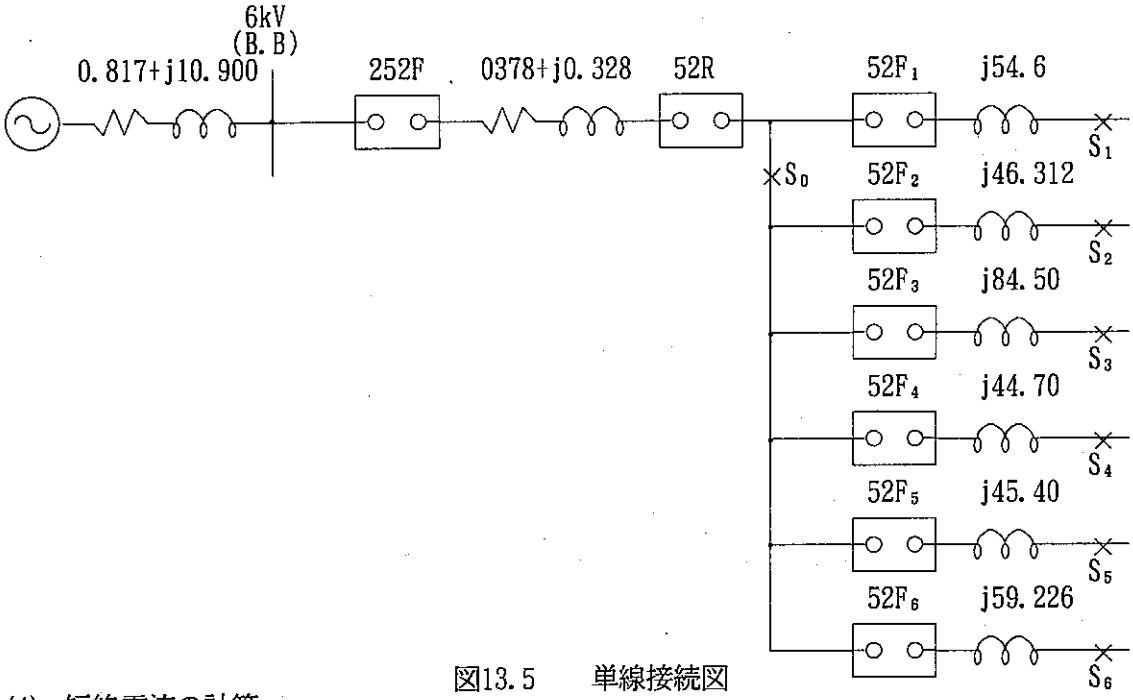


図13.5　単線接続図

(4) 短絡電流の計算

① 短絡点S_0の短絡容量，短絡電流を求める。

イ. S_0点までの合成%インピーダンス　$\%Z_0$は

$$\%Z_0=0.817+j10.900+0.378+j0.328=1.195+j11.228$$

$$|\%Z_0|=\sqrt{(1.195)^2+(11.228)^2}=\sqrt{1.42805+126.067984}=\sqrt{127.496009}\fallingdotseq 11.291\%$$

ロ. 三相短絡容量P_{s0}は

$$P_{s0}=\frac{100}{11.291}\times 10.000\text{kVA}=88566.1146045^{\text{kVA}}$$

ハ. 三相短絡容量I_{s0}は

$$I_{s0}=\frac{P_{s0}}{\sqrt{3}\times 6.6}=7747.753\fallingdotseq 7748^{\text{A}}$$

ニ．二線短絡電流 I'_{s0} は

$$I'_{s0} = I_{s0} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 6709.554 \fallingdotseq 6710^{A}$$

② 短絡点S_1の短絡容量，短絡電流を求める。

イ．S_1点までの合成%インピーダンス　$\%Z_1$は

$$\%Z_1 = 1.195 + j11.228 + j54.6 = 1.195 + j65.828$$

$$|\%Z_1| = \sqrt{(1.195)^2 + (65.828)^2} = \sqrt{1.428025 + 4333.325584} = \sqrt{4334.753609} \fallingdotseq 65.838\%$$

ロ．三相短絡容量P_{s1}は

$$P_{s1} = \frac{100}{65.838} \times 10000kVA = 15188.7967435kVA$$

ハ．三相短絡容量 I_{s1} は

$$I_{s1} = \frac{P_{s1}}{\sqrt{3} \times 6.6} = 1328.714 \fallingdotseq 1329^{A}$$

ニ．二線短絡電流 I'_{s1} は

$$I'_{s1} = I_{s1} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 1150.666 \fallingdotseq 1151^{A}$$

③ 短絡点S_2の短絡容量，短絡電流を求める。

イ．S_2点までの合成%インピーダンス　$\%Z_2$は

$$\%Z_2 = 1.195 + j11.228 + j46.312 = 1.195 + j57.540$$

$$|\%Z_2| = \sqrt{(1.195)^2 + (57.540)^2} = \sqrt{1.428025 + 3310.8516} = \sqrt{3312.279625} \fallingdotseq 57.552\%$$

ロ．三相短絡容量P_{s2}は

$$P_{s2} = \frac{100}{57.552} \times 10000kVA = 17375.59077kVA$$

ハ．三相短絡容量 I_{s2} は

$$I_{s2} = \frac{P_{s2}}{\sqrt{3} \times 6.6} = 1520.014 \fallingdotseq 1520^{A}$$

ニ．二線短絡電流 I'_{s2} は

$$I'_{s2} = I_{s2} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 1316.332 \fallingdotseq 1316^{A}$$

④ 短絡点S_3の短絡容量，短絡電流を求める。

イ．短絡点S_3までの合成%インピーダンス　$\%Z_3$は

$$\%Z_3 = 1.195 + j11.228 + j84.500 = 1.195 + j95.728$$

$$|\%Z_3| = \sqrt{(1.195)^2 + (95.728)^2} = \sqrt{1.428025 + 9163.849984} = \sqrt{9165.278009}$$

$$\fallingdotseq 95.735\%$$

ロ．三相短絡容量P_{s3}は

$$P_{s3} = \frac{100}{95.735} \times 10.000\text{kVA} = 10445.5006006\text{kVA}$$

ハ．単相短絡容量I'_{s3}は（単相変圧器二次側）

$$I'_{s3} = \frac{P_{s3}}{\sqrt{3} \times 6.6} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 791.325 \fallingdotseq 791^{A}$$

⑤ 短絡点S_4の短絡容量，短絡電流を求める。

イ．短絡点S_4までの合成%インピーダンス　$\%Z_4$は

$$\%Z_4 = 1.195 + j11.228 + j44.700 = 1.195 + j55.928$$

$$|\%Z_4| = \sqrt{(1.195)^2 + (55.928)^2} = \sqrt{1.428025 + 3127.941184} = \sqrt{3129.369209}$$

$$\fallingdotseq 55.940\%$$

ロ．三相短絡容量P_{s4}は

$$P_{s4} = \frac{100}{55.940} \times 10.000\text{kVA} = 17876.2960314\text{kVA}$$

ハ．三相短絡電流：I_{s4}

$$I_{s4} = \frac{P_{s4}}{\sqrt{3} \times 6.6} = 1563.816 \fallingdotseq 1564^{A}$$

ニ．二線短絡電流：I'_{s4}

$$I'_{s4} = I_{s4} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 1354.264 \fallingdotseq 1354^{A}$$

⑥ 短絡点S_5の短絡容量，短絡電流を求める。

イ．短絡点S_5までの合成%インピーダンス　$\%Z_5$は

$$\%Z_5 = 1.195 + j11.228 + j45.400 = 1.195 + j56.628$$

$$|\%Z_5| = \sqrt{(1.195)^2 + (56.628)^2} = \sqrt{1.428025 + 3206.730384} = \sqrt{3208.158409}$$

$$\fallingdotseq 56.640\%$$

ロ．三相短絡容量P_{s5}は

$$P_{s5} = \frac{100}{56.640} \times 10.000\text{kVA} = 17655.3672316\text{kVA}$$

ハ．三相短絡電流 I_{s5} は

$$I_{s5}=\frac{P_{s5}}{\sqrt{3}\times 6.6}=1544.489\fallingdotseq 1544^{A}$$

ニ．二線短絡電流 I'_{s5} は

$$I'_{s5}=I_{s5}\times\frac{\sqrt{3}}{2}=1337.527\fallingdotseq 1338^{A}$$

⑦ 短絡点S_6の短絡容量，短絡電流を求める。

イ．短絡点S_6までの合成%インピーダンス　$\%Z_6$は

$$\%Z_6=1.195+j11.228+j59.226=1.195+j70.454$$

$$|\%Z_6|=\sqrt{(1.195)^2+(70.454)^2}=\sqrt{1.428025+4963.766116}=\sqrt{4965.194141}$$

$$\fallingdotseq 70.464\%$$

ロ．三相短絡容量P_{s6}は

$$P_{s6}=\frac{100}{70.464}\times 10.000\text{kVA}=14191.64396\text{kVA}$$

ハ．三相短絡電流 I_{s6} は

$$I_{s6}=\frac{P_{s6}}{\sqrt{3}\times 6.6}=1241.483\fallingdotseq 1241^{A}$$

ニ．二線短絡電流 I'_{s6} は

$$I'_{s6}=I_{s6}\times\frac{\sqrt{3}}{2}=1075.124\fallingdotseq 1075^{A}$$

（事例－２）

配電盤用（炉工）過電流継電器の整定

(1) 変流器の変流比　600/1A（変更前：300/1A）

(2) 過電流継電器　　Ｌ側　電流タップ調製範囲

（0.8－1.0－1.2－1.4－1.6－2.0－2.4^{A}）

Ｈ側　バリオーム調製範囲

（Ｌ側タップ整定値の200～700％）

大洗変電所に設置されている過電流継電器は，明電舎製トランジスタリレーで段階限時方式を採用している。

６ｋＶフイダは，動作時限の協調のためＨ側は，0.025 秒，Ｌ側は，0.4 秒である。

① Ｌ側電流タップの整定

イ．電力ケーブルによる制限

6kV CV 3C-250°　許容電流Ｉ＝475^{A}

電流タップの整定値を許容電流の1.2 ～1.5 倍とする。

$$I_t = \frac{1}{600} \times 475^{A}(1.2 \sim 1.5) = 0.949999^{A} \sim 1.187499^{A}$$

$$\left(変更前：I_t = \frac{1}{300} \times 475^{A}(1.2 \sim 1.5) = 1.8999^{A} \sim 2.3749^{A} \right)$$

$\therefore I_t = 1.0^{A}$　（変更前：$I_t = 2.0^{A}$）

ロ．変圧器設備の定格一次電流による制限

Ｉ＝563^{A} 電力ケーブルの許容電流が 475^{A} であるので電流タップの整定値は，1.0^{A} を採用する。

電流整定値の変圧器一次電流に対する比は

$$\frac{600^{A}}{563} \times 100\% = 106.572\%$$

$$\left(変更前：\frac{300^{A}}{1} \times 2 \div 563^{A} \times 100\ \% \fallingdotseq 106.572 \right)$$

ハ. （変更前）

電力ケーブルの許容電流以内とすると

$$I_t = \frac{1}{300} \times 475^A = 1.58A$$ 以下とする

$$I_t = 1.4^A$$

$$\frac{300}{1} \times 1.4^A = 420^A$$

変圧器設備に対する比は

$$\frac{420}{563} \times 100\ \% = 74.6\%$$

安全のため電流タップ $I_t = 1.4^A$ とする。

② H側流値の整定

イ. 炉工側の6kV側で二線短絡した場合でも安定動作する。

$I'_{so} = 6710^A$ 安定動作されるための変流器二次電流 i_2 は

$$i_2 = 6710^A \times \frac{1}{600} \times \frac{1}{1.5} \fallingdotseq 7.455^A$$

$$\left(変更前：i_2 = 6710^A \times \frac{1}{300^A} \times \frac{1}{1.5} = 14.911^A \right)$$

L側電流タップに対する％ $I_H = \frac{7.455^A}{1^A} \times 100\% = 745.5\%$ 以下ならば良い。

$$\left(変更前：I_H = \frac{14.911^A}{1.4^A} \times 100\% = 1065.071\% \right)$$

ロ. 炉工側最大容量変圧器の励磁突入電流で動作しない。

最大容量変圧器3φ1885kVA定格一次電流173A(at6.3kV)

励磁突入電流の計算，昭和62年製であるからkを求める式を

$k = 48.159P^{-0.213727}$ を使用する。

$$I_{in} = 173 \times 48.159(1885)^{-0.213727} \times 0.753 = 1251.6879 = 1252^A$$

L側電流タップに対する％ $I_H = 1252 \times \frac{1}{600} \times 100 = 208.666 \fallingdotseq 209\%$

$I_H = 209\%$ 以上ならば良い。 $\left(変更前：\%I_H = 1252 \times \frac{1}{300} \times 100\ \% = 298.095\ \% \right)$

ハ．炉工側の変圧器二次側短絡電流で動作しない。

$I_{s_4}=1564^A$

L側電流タップに対する％　$I_H=1564\times\frac{1}{600}\times100=260.666\fallingdotseq261$ ％

I_H ＝261％以上ならば良い。　（変更前：％$I_H=1564^A\times\frac{1}{300}\times\frac{1}{1.4}\times100\%$
$=372.3895=373\%$）

ニ．H側の電流整定値Ｉは

745.5％＞Ｉ＞261％　調整範囲200～700％であるから

（変更前：1605％＞Ｉ＞373％）

Ｉ＝300％とする。

L側電流タップ 1.0^A （回路電流600^A）時限0.4 秒

（　　420^A＞）

（変更前：1.4^A ＜回路電流31800^A）

H側電流バリオーム300％（回路電流1800^A）時限0.025 秒

（変更前：400％＜回路電流1680^A＞）

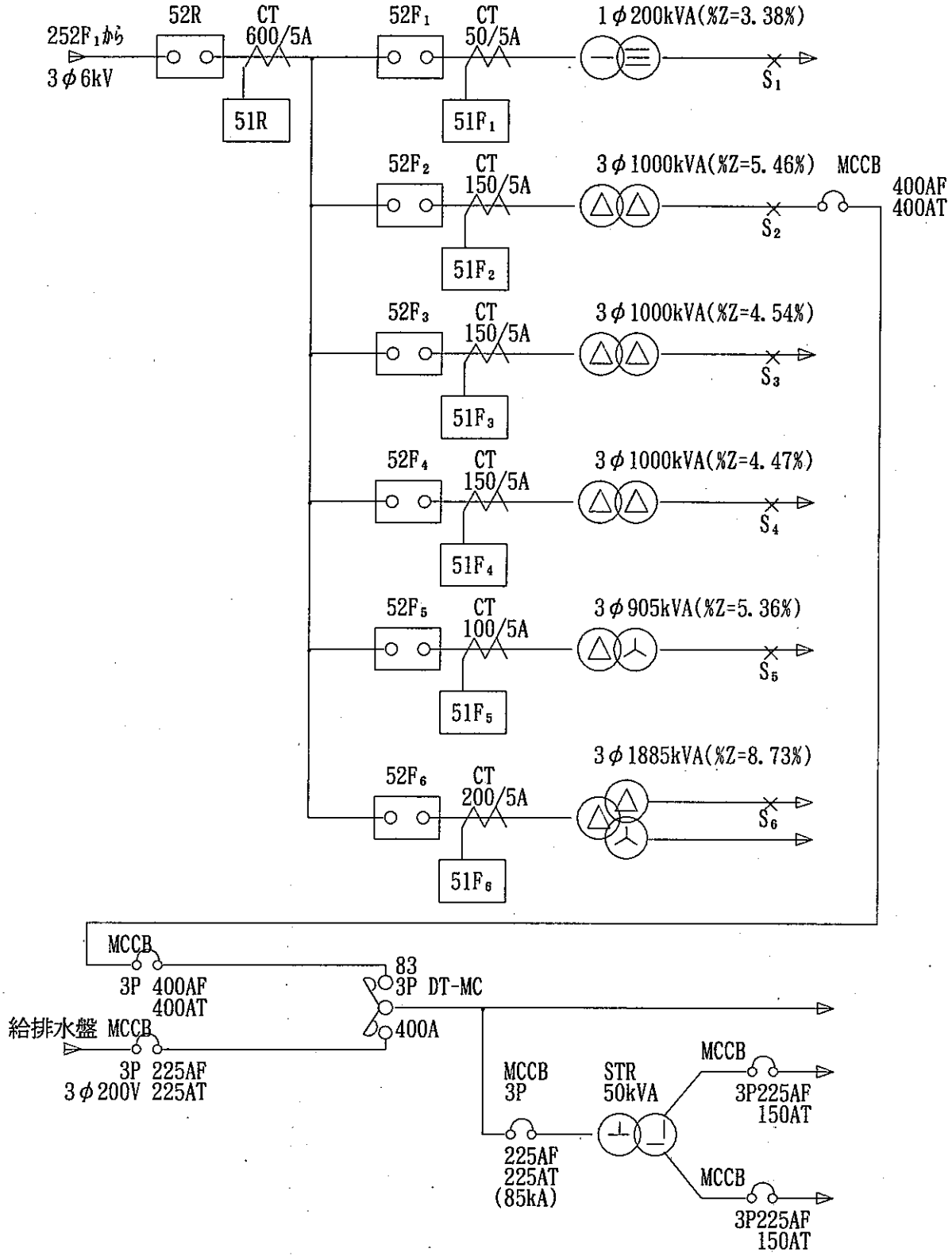

252F1から
3φ6kV
52R
CT
600/5A
51R
52F1
CT
50/5A
51F1
1φ200kVA(%Z=3.38%)
S1
52F2
CT
150/5A
51F2
3φ1000kVA(%Z=5.46%)
MCCB
400AF
400AT
S2
52F3
CT
150/5A
51F3
3φ1000kVA(%Z=4.54%)
S3
52F4
CT
150/5A
51F4
3φ1000kVA(%Z=4.47%)
S4
52F5
CT
100/5A
51F5
3φ905kVA(%Z=5.36%)
S5
52F6
CT
200/5A
51F6
3φ1885kVA(%Z=8.73%)
S6
MCCB
3P 400AF
400AT
83
3P DT-MC
400A
給排水盤 MCCB
3P 225AF
3φ200V 225AT
MCCB
3P
225AF
225AT
(85kA)
STR
50kVA
MCCB
3P225AF
150AT
MCCB
3P225AF
150AT

図13.3　単 線 接 続 図

(3) 各変圧器ごとの励磁突入電流及び短絡電流

表13.3　励磁突入電流及び短絡電流

遮断器	変流器	変圧器容量	%Z	励磁突入電流		変圧器二次側短絡電流			備考
				6kV I_{in}	CT二次I_2	6kV $I_s(3\phi)$	6kV $I_s(1\phi)$	CT二次I_2	
$52F_1$	$50/5^A$	1ϕ200kVA	3.38%	290^A	29.0^A	——	791^A	——	
								79.1A	
$52F_2$	150/5	3ϕ1000	5.46	633	21.1	1329^A	1151	44.3	
								38.4	
$52F_3$	150/5	3ϕ1000	4.54	633	21.1	1544	1338	51.5	
								44.6	
$52F_4$	150/5	3ϕ1000	4.47	633	21.1	1564	1354	52.1	
								45.1	
$52F_5$	100/5	3ϕ905	5.36	※702	35.1	1241	1075	62.1	
								53.8	
$52F_6$	200/5	3ϕ1885	8.73	1252	31.3	1520	1316	38.0	
								32.9	

(4) 瞬時要素の整定

（変圧器の励磁突入電流では動作せず二次側短絡電流で動作する整定値）

ただし、調整範囲は、$20\sim80^A$ 連続可調整である。

イ. $51F_1$　$29^A < I < 79.1^A$ 短絡故障時の安定動作を考慮して

$$79.1^A \times \frac{1}{1.5} = 52.733^A \text{ 以下にすると}$$

$29^A < I < 52^A$　$\therefore I = 40^A$ とする。

ロ. $51F_2$　$21.1^A < I < 38.4^A$ 短絡故障時の安定動作を考慮して

$$38.4^A \times \frac{1}{1.5} = 25.6^A \quad \therefore 21.1^A < I < 25.6^A \quad I = 25^A \text{ とする。}$$

ハ. $51F_3$　$21.1^A < I < 44.6^A$

$$44.6^A \times \frac{1}{1.5} = 29.773^A \quad \therefore 21.1^A < I < 29.7^A \quad I = 25^A \text{ とする。}$$

ニ. $51F_4$　$21.1^A < I < 45.1^A$

$$45.1^A \times \frac{1}{1.5} = 30.06^A \quad \therefore 21.1^A < I < 30.06^A \quad I = 25^A \text{ とする。}$$

ホ. $51F_5$　$35.1^A < I < 53.8^A$ 短絡故障時の安定動作を考慮して

$$53.8^A \times \frac{1}{1.5} = 35.86^A \quad \therefore 35.1^A < I < 35.86^A \quad I = 35.86 \fallingdotseq 36^A \text{ とする。}$$

ヘ. $51F_6$　$31.3^A < I < 32.9^A$　$\therefore I = 32^A$

ただし，この場合背向電力が計算値より小さくなると瞬時要素が動作しない。

(5) 電流タップの整定

① $52F_1$

イ．変流器の変流比　50/5A

ロ．1φ200kVA変圧器の定格一次電流　31.75A (at 6.3kV)

ハ．電流タップの整定値を変圧器一次定格電流の1.2～1.5 倍とすると

$$I_t = \frac{5}{50} \times 31.75^A\ (1.2 \sim 1.5) = 3.81 \sim 4.7625^A$$

$I_t = 4^A$とする。

② $52F_2$　($52F_3$. $52F_4$も同じ)

イ．変流器の変流比　150/5A

ハ．3φ1000kVA 変圧器の定格一次電流 91.65A

ロ．電流タップの整定値を変圧器一次定格電流の1.2～1.5 倍とすると

$$I_t = \frac{5}{150} \times 91.65^A\ (1.2 \sim 1.5) = 3.666 \sim 4.5825^A$$

$I_t = 4^A$ とする。

③ $52F_5$

イ．変流器の変流比　100/5A

ロ．3φ905kVA変圧器の一次定格電流　82.94A

ハ．電流タップの整定値を変圧器一次定格電流の1.2～1.5倍とすると

$$I_t = \frac{5}{100} \times 82.94^A\ (1.2 \sim 1.5) = 4.9764 \sim 6.2205^A$$

$I_t = 5^A$ とする。

④ $52F_6$

イ．変流器の変流比　200/5A

ロ．3φ1885kVA 変圧器の一次定格電流　172.75A

ハ．電流タップの整定値を変圧器一次定格電流の1.2～1.5倍とすると

$$I_t = \frac{5}{200} \times 172.75(1.2 \sim 1.5) = 5.1825 \sim 6.478^A$$

$I_t = 5^A$ とする。

(6) 51Rと$51F_1$の検討

51R:電流タップ整定値5A 変流器600/5A

(1φ200kVA変圧器の二次側で短絡した場合)

6kV側短絡電流（計算値）$I_s = 791^A$

イ．51R の動作時間 t_R を求める。

$$I_R^{(\%)} = \frac{5^A}{600^A} \times \frac{100\%}{5^A} \times 791^A = 131.833\%$$ 150%以下であるが①式により求める

$$t_R = 399350.68 \times (131.833)^{-2.0781175} = 15.92609 \fallingdotseq 15.693$$ 秒

タイムレバー整定値 $L = \frac{1}{10}$ とすると $t_R' = 15.693 \times \frac{1}{10} = 1.5693$ 秒

ロ．$51F_1$ の動作時間 t_1 を求める。

$$I_1^{(\%)} = \frac{50^A}{50^A} \times \frac{100\%}{4^A} \times 791^A = 1977.5\%$$ 1400% 以上は $t_1 = 2.0$ 秒

タイムレバー整定値 $L = \frac{1}{10}$ とすると $t_1' = 2.0 \times \frac{1}{10} = 0.2$ 秒

ハ．t_R' と t_1' の差Tは

$T = t_R' - t_1' = 1.5693 - 0.2 = 1.3693$ 秒

限時要素による直列遮断はなく保護強調できる。

(7) 51Rと$51F_1$の検討

（3 φ1000kVA 変圧器の二次側で三相短絡した場合）

6kV側短絡電流（計算値）$I_s = 1329^A$

イ．51R の動作時間 t_R を求める。

$$I_R^{(\%)} = \frac{5^A}{600^A} \times \frac{100\%}{5^A} \times 1329_A = 22.15\ \%$$ ②式により求める

$$t_R = 4586.3032 \times (221.5)^{-1.2350638} = 5.8180384 \fallingdotseq 5.818$$ 秒

タイムレバー整定値 $L = \frac{1}{10}$ とすると $t_R' = 5.818 \times \frac{1}{10} = 0.5818$ 秒

ロ．$51F_2$ の動作時間 t_2 を求める。

$$I_2^{\%} = \frac{5^A}{150^A} \times \frac{100\%}{4^A} \times 1329A = 1107.5\%$$ ⑤式により求める。

$$t_2 = 12.211363 \times (1107.5)^{-0.2497464} = 2.1205585 \fallingdotseq 2.121$$ 秒

タイムレバー整定値 $L = \frac{1}{10}$ とすると $t_2' = 2.121 \times \frac{1}{10} = 0.2121$ 秒

ハ．t_R' と t_2' の差Tは

$T = t_R' - t_2' = 0.5818 - 0.2121 = 0.3697$ 秒

限時要素による直列遮断はなく保護協調できる。

(8) 51Rと51F_3の検討

（3 φ1000kVA 変圧器の二次側で三相短絡した場合）

6kV側短絡電流（計算値） $I_s = 1544^A$

イ．51Rの動作時間 t_R を求める

$$I_R^{(\%)} = \frac{5^A}{600^A} \times \frac{100\%}{5^A} \times 1544^A = 257.333\%$$ ②式により求める

$$t_R = 4586.3032 \times (257.333)^{-1.2350638} = 4.8344497 \fallingdotseq 4.834 \text{ 秒}$$

タイムレバー整定値L＝ $\frac{1}{10}$ とすると $t_R' = 4.834 \times \frac{1}{10} = 0.4838$秒

ロ．51F_3の動作時間 t_3 を求める。

$$I_3^{(\%)} = \frac{5^A}{150^A} \times \frac{100\%}{4^A} \times 1544^A = 1286.666\%$$ ⑤式に求める。

$$t_3 = 12.^{211363} \times (1286.666)^{-0.2497464} = 2.0426137 \fallingdotseq 2.043\text{秒}$$

タイムレバー整定値L＝ $\frac{1}{10}$ とすると $t_3' = 2.043 \times \frac{1}{10} = 0.2043$秒

ハ．t_R' と t_3' の差Tは

$T = t_R' - t_3' = 0.4834 - 0.2043 = 0.2791$秒

一般に保護協調できる時間差は0.3秒といわれている。したがって直列遮断するおそれがある。

ニ．計算条件の背向電力の何％になれば保護協調できるか。

簡単のために t_3 側が変わらないとして計算する。

$t_R = 2.043 + 3.0 = 5.043$

$$5.043 = 4586.3032(I_R)^{-1.2350638} \qquad \frac{5.043}{4586.3032} = (I_R)^{-1.2350638}$$

両辺を対数計算する。$\log \frac{5.043}{4586.3032} = -1.23506381 \log I_R$

$-2.9587738 = -1.2350638 \log I_R \qquad \log I_R = 2.3956445$

$$I_R = 248.68208\% \qquad I_s = I_R \times \frac{600}{5} \times \frac{5}{100} = 1492.09248A \fallingdotseq 1492A$$

$\frac{1492}{1544} \chi 100\% = 96.632\%$ 以下になれば直列遮断しない。

ホ. 検 算

$I_s' = 1544 \times 0.96 = 1482.24^A$

$I_R^{(\%)} = 1482.24^A \times \dfrac{5^A}{600^A} \times \dfrac{100\%}{5^A} = 247.04\%$……②式によって求める。

$t_R = 4586.3032 \times (247.04)^{-1.2350638} = 5.084433 \fallingdotseq 5.084$ 秒

$t_R' = 5.084 \times \dfrac{1}{10} = 0.5084$秒

$I_3^{(\%)} = 1482.24^A \times \dfrac{5^A}{150^A} \times \dfrac{100\%}{4^A} = 1235.2\%$　　⑤式によって求める。

$t_3 = 12.211363 \times (1235.2)^{-0.2497464} = 2.0635447 \fallingdotseq 2.064$ 秒

$t_3' = 2.064 \times \dfrac{1}{10} = 0.2064$秒

$T = 0.5084 - 0.2064 = 0.3020$秒

背向電力が計算条件の96%以下になれば直列遮断防止できる。

(9) 51Rと51F_4の検討

（3 φ1000kVA 変圧器の二次側で三相短絡した場合）

6kV側短絡電流（計算値） $I_s = 1564^A$

イ. 51Rの動作時間 t_R 求める。

$I_R^{(\%)} = 1564^A \times \dfrac{5^A}{600^A} \times \dfrac{100\%}{5^A} = 260.66\%$　　②式によって求める。

$t_R = 4586.3032 \times (260.666)^{-1.2350638} = 4.7582189 \fallingdotseq 4.758$秒

タイムレバー整定値$L = \dfrac{1}{10}$ とすると $t_R' = 4.758 \times \dfrac{1}{10} = 0.4758$秒

ロ. 51F_4の動作時間 t_4 を求める。

$t_4^{(\%)} = 1564^A \times \dfrac{5^A}{150^A} \times \dfrac{100\%}{4^A} = 1303.333\%$　　⑤式によって求める。

$t_4 = 12.211363 \times (1303.333)^{-0.2497464} = 2.0360585 \fallingdotseq 2.036$秒

タイムレバー整定値$L = \dfrac{1}{10}$ とすると $t_4' = 2.036 \times \dfrac{1}{10} = 0.2036$秒

ハ. t_R' と t_4' の差Tは

$T = t_R' - t_4' = 0.4758 - 0.2036 = 0.2722$秒

一般に保護協調できる時間差は0.3秒といわれている。したがって、直列遮断するおそれある。

ニ. 計算条件の背向電力の何%になれば保護協調できるか。

簡単のために t_4 は変わらないものとして計算する。

$t_R = 2.036 + 3.0 = 5.036$ 秒

$$5.036 = 4586.3032 \times (I_R)^{-1.2350638} \quad \frac{5.036}{4586.3032} = I_R^{-1.2350368}$$

両辺を対数計算する $\log \dfrac{5.036}{4586.3032} = -1.2350638 \log I_R$

$-2.959377 = -1.2350638 \log I_R$

$\log I_R = 2.3961329 \qquad I_R = 248.96192\ \%$

$$I_S = I_R^{(\%)} \times \frac{600^A}{5^A} \times \frac{5^A}{100\%} = 1493.7715A$$

$\dfrac{1493.7715}{1564} \times 100\% = 95.50968\% \fallingdotseq 95\%$ 以下になれば直列遮断しない。

ホ. 検　算

$I_S' = 1564^A \times 0.95 = 1485.8^A$

$I_R^{(\%)} = 1485.8^A \times \dfrac{5^A}{600^A} \times \dfrac{100\%}{5^A} = 247.633\%$……②式により求める。

$t_R = 4586.3032 \times (247.633)^{-1.2350638} = 5.0693996 \fallingdotseq 5.069$ 秒

$t_R' = 5.069 \times \dfrac{1}{10} = 0.5069$ 秒

$I_4 = 1485.8^A \times \dfrac{5^A}{150^A} \times \dfrac{100\%}{4^A} = 1238.166\%$……⑤式により求める。

$t_4 = 12.211363 \times (1238.166)^{-0.2497464} = 2.062309 \fallingdotseq 2.06$ 秒

$t_4' = 2.062 \times \dfrac{1}{10} = 0.2062$ 秒

$T = t_R' - t_4' = 0.5069 - 0.2062 = 0.3007$ 秒

背向電力が計算条件の95%以下になれば直列遮断は防止できる。

(10) 51Rと51F_5の検討

（3 ϕ 905kVA 変圧器の二次側で三相短絡した場合）

6kV側短絡電流（計算値）$I_S = 1241^A$

イ. 51R の動作時間 t_R を求める。

$I_R^{(\%)} = 1241^A \times \dfrac{5^A}{600^A} \times \dfrac{100\%}{5^A} = 206.833\%$……②式により求める。

$t_R = 4586.3032 \times (206.833)^{-1.2350638} = 6.3317612 \fallingdotseq 6.332$ 秒

タイムレバー整定値L＝ $\frac{1}{10}$ とすると $t_R{}' = 6.332 \times \frac{1}{10} = 0.6332$秒

ロ．51F_5の動作時間 t_5 を求める。

$I_5^{(\%)} = 1241^A \times \frac{5^A}{100^A} \times \frac{100\%}{5^A} = 1241\%$　⑤式により求める。

$t_5 = 12.211363 \times (1241)^{-0.244497464} = 2.0611319 \fallingdotseq 2.061$ 秒

タイムレバー整定値L＝ $\frac{1}{10}$ とすると $t_5{}' = 2.061 \times \frac{1}{10} = 0.2061$秒

ハ．$t_R{}'$ と $t_5{}'$ の差Tは

$T = t_R{}' - t_5{}' = 0.6332 - 0.2061 = 0.4271$秒

限時要素による直列遮断はなく保護協調できる。

(11) 51Rと51F_6の検討

（3 φ1885kVA 変圧器の二次側で三相短絡した場合）

6kV側短絡電流（計算値） $I_s = 1520^A$

イ．51R の動作時間 t_R を求める。

$I_R^{(\%)} = 1520^A \times \frac{5^A}{600^A} \times \frac{100\%}{5^A} = 253.333\ \%$　②式により求める。

$t_R = 4586.3032 \times (253.333)^{-1.2350638} = 4.9289009 \fallingdotseq 4.929$ 秒

タイムレバー整定値L＝ $\frac{1}{10}$ とすると $t_R{}' = 4.929 \times \frac{1}{10} = 0.4929$秒

ロ．51F_6の動作時間 t_6 を求める。

$I_R^{(\%)} = 1520^A \times \frac{5^A}{200^A} \times \frac{100\%}{5^A} = 760\ \%$　④式により求める。

$t_6 = 55.573768 \times (760)^{-0.4764378} = 2.356901 \fallingdotseq 2.357$ 秒

タイムレバー整定値L＝ $\frac{1}{10}$ とすると $t_6{}' = 2.357 \times \frac{1}{10} = 0.2357$秒

ハ．$t_R{}'$ と $t_6{}'$ の差Tは

$T = t_R{}' - t_6{}' = 0.4929 - 0.2357 = 0.2572$秒

Tの値が0.3 秒以下であると保護協調ができず直列遮断する。

ニ．計算条件の背向電力の何％になれば保護協調できるか。

簡単のために t_6 の値に変わらないものとして計算する。

$t_R = t_6 + 3.0 = 2.357 + 3.0 = 5.357$ 秒

$$5.357 = 4586.3032 \times I_R{}^{-1.2350638} \quad \frac{5.357}{4586.3032} = I_R{}^{-1.2350638}$$

両辺を対数計算する $\log \dfrac{5.357}{4586.3032} = -1.2350638 \log I_R$

$-2.9325411 = -1.2350638 \log I_R \quad \log I_R = 2.3744045$

$I_R^{(\%)} = 236.81246\ \% \quad I_S = I_R^{(\%)} \times \dfrac{600^A}{5^A} \times \dfrac{5^A}{100\%} = 1420.8748^A$

$\dfrac{1420.8748}{1520} \times 100\% = 93.4785\ \%$

ホ. 検 算

- $I_S' = 1520 \times 0.93 = 1413.6^A \quad 93\%$

$I_R^{(\%)} = 1413.6 \times \dfrac{5^A}{600^A} \times \dfrac{100\%}{5^A} = 235.6\ \%$ ②式により求める。

$t_R = 4586.3032 \times (235.6)^{-1.2350638} = 5.3910696 \fallingdotseq 5.391$ 秒

$t_R' = 5.391 \times \dfrac{1}{10} = 0.5391$秒

$I_6^{(\%)} = 1413.6 \times \dfrac{5^A}{200^A} \times \dfrac{100\%}{5^A} = 706.8\ \%$ ④式により求める。

$I_6 = 55.573768 \times (706.8)^{-0.4764378} = 2.439817 \fallingdotseq 2.440$ 秒

$t_6' = 2.440 \times \dfrac{1}{10} = 0.2440$秒

$T = t_R' - t_6' = 0.5391 - 0.2440 = 0.2951$

- $I_S' = 1520 \times 0.92 = 1398.4^A$ ……92%

$I_R = 1398.4A \times \dfrac{5^A}{600^A} \times \dfrac{100\%}{5^A} = 233.066\ \%$ ②式により求める。

$t_R = 4586.3032 \times (233.066)^{-1.2350638} = 5.4635543 \fallingdotseq 5.464$ 秒

$t_R' = 5.464 \times \dfrac{1}{10} = 0.5464$秒

$I_6 = 1398.4^A \times \dfrac{5^A}{200^A} \times \dfrac{100\%}{5^A} = 699.2\ \%$ ④式により求める。

$t_6 = 55.573768 \times (699.2)^{-0.4764378} = 2.4524163 \fallingdotseq 2.452$ 秒

$t_6' = 2.452 \times \dfrac{1}{10} = 0.2452$秒

$T = t_R' - t_6' = 0.5464 - 0.2452 = 0.3012$

背向電力が計算条件の92%以下になれば直列遮蔽は防止できる。

（事例－３）

ATTF系過電流継電器電流タップの整定値変更

平成３年２月４日，ＡＴＴＦに設置するコンプレッサ（電動機；三相440V 205kW）について過電流継電器設定値の評価を行う。コンプレッサは，電動機容量90kW×2 台を205kW ×１台に更新する。

1. FSI($52D_7$) ATFF系，過電流継電器の整定値

(1) 大洗変電所，FSI($51D_7$)（明電舎トランジスタ式）

① 変流器　400/1A

② Ｌ側（限時要素に相当）電流タップ1A（回路電流400A）
タイム0.4秒（固定）

③ Ｈ側（瞬時要素に相当）タップ値の500％（5A回路電流2000A）
タイム0.025秒（固定）

(2) FSI，ATTF分岐($51R_2$)（明電舎KIO-C_6P形）

① 変流器　75/5A

② 限時要素　電流タップ　3^A（回路電流45^A）タイムレバー $\frac{1}{10}$

③ 瞬時要素　電流タップ30^A（回路電流450^A）タイム約0.04／秒

(3) ATTF受電(51R)（三菱CO-18I-D形）

① 変流器　75/5A

② 限時要素　電流タップ 4^A（回路電流60^A）タイムレバー $\frac{1}{10}$

③ 瞬時要素　電流タップ30^A（回路電流450^A）タイム約0.04/秒

2. 電動機の最大始動電流による過電流継電器の検討

試験成績表によると最大始動電流I_sは，$I_s = 1,866^A$(at 440V)

6kV側に換算すると$I_{s1} = 1866^A \times \frac{440V}{6,300V} = 130.323^A$

（ただし，ATTF 3φ300kVA変圧器一次側タップを6,300Vとする。）

(1) 大洗変電所FSI　($51D_7$)の検討

① Ｌ側：整定値に対する回路電流　$400^A > I_{s1}$不動作

② Ｈ側：整定値に対する回路電流　$2000^A > I_{s1}$不動作

(2) FSI, ATTF分岐$51R_2$の検討

① 限時要素：整定値に対する回路電流 $45^A < I_{s1}$動作

動作時間：整定値に対する電流％ $I\% = \frac{130.323^A}{45^A} \times 100\% = 289.606\%$

動作特性曲線によると動作時間はタイムレバー $\frac{10}{10}$ のとき約4秒であるタイムレバーの整定値が $\frac{1}{10}$ であるから $t = 4 \times \frac{1}{10} = 0.4$ 秒で動作する。

② 瞬時要素：整定値に対する回路電流$450^A > I_{s1}$不動作

(3) ATTF受電51Rの検討

① 限時要素：整定値に対する回路電流 $60^A < I_{s1}$動作

動作時間：整定値に対する電流％ $I\% = \frac{130.323^A}{60^A} \times 100\% = 217.205\%$

動作試験記録から動作時間はタイムレバー－ $\frac{10}{10}$ のとき約20秒で動作する。

$\left(\text{タイムレバーの整定値は } \frac{10}{10} \right)$

② 瞬時要素：整定値に対する回路電流 $450^A > I_{s1}$不動作

以上の検討結果，電動機の最大始動電流から$51R_2$が0.4 秒後に動作$52R_2$が自動遮蔽したため51R は動作途中から復帰し52Rは遮蔽しない。

3. 電動機最大始動電流を考慮した電流タップの整定

(1) FSI, ATTF 分岐$51R_2$電流タップの整定

① タイムレバーの整定値 $\frac{1}{10}$ は，大洗変電所$51D_7$との協調のために変更しない。

② 電流タップの整定

電動機始動時変流器二次側に流れる最大始動電流 i_2 は

$$i_2 = 132.323^A \times \frac{5^A}{75^A} = 8.6882^A$$

電動機試験成績表には起動時間の記録がなく起動時間を測定するため電流タップの整定を最大の8^A に整定する。

(2) ATTF受電51R の電流タップの整定

① タイムレバーの整定値 $\frac{10}{10}$ に整定されているが，52R の定格遮断電流12.5kA，$52R_2$の定格遮断電流20kAのため短絡故障電流を$52R_2$にて遮断するように整定したものと考えられるのでこのままとする。

② 電流タップの整定

電動の最大始動電流は，タイムレバーの整定で動作時間を長くしているので電流タップの整定は設置変圧器定格一次電流で決定する。

- 3 φ300kVA 27.5A (at6.3kV)
- 3 φ150kVA 13.75A (at6.3kV)
- 1 φ 75kVA 11.9A (at6.3kV)

(計) 53.15A

限時要素の電流タップ整定値は，一般に定格電流の1.2～1.5倍の範囲に整定する。

$$I_t = \frac{5^A}{75^A} \times 53.15^A\ (1.2 \sim 1.5) = 4.252^A \sim 5.315^A$$

$\therefore I_t = 5^A$ に整定する。

② 電動機始動電流に対する動作時間

整定値に対する電流% $I\% = \frac{130.323^A}{75^A} \times 100\% = 173.764\ \%$

動作試験記録から推定すると約30秒で動作する。

3. $51R_2$，51R の電流タップ整定変更後の電動機の起動試験

表13.4 電流タップとタイムレバー

	電流タップ	タイムレバー	備 考
51R_2	8A	$\frac{1}{10}$	不作動
51R	5A	$\frac{1}{10}$	不作動

(1) 起動時間の測定

電動機が起動して電流計の指示が73A に静止するまで約2秒，その後14A に低下し運転状態になった。

（ただし，起動前のATTF負荷電流計の指示は約2Aであった。）

(2) ATTFの負荷3 φ150kVA, 1 φ 75kVAの負荷20～25^{A}増加することを考慮しても電流タップの整定値は6^A （回路電流90^A）に整定を変更すべきである。

(3) 電流タップ6^{A}に整定した場合の最大始動電流による動作時間整定タップに対する電流%が

$$I\% = \frac{130.323^A}{90^A} \times 100\% = 144.803\ \%$$

動作時間特性曲線から約13秒となる。

タイムレバーの整定が $\frac{1}{10}$ であるから t ＝13秒× $\frac{1}{10}$ ＝1.3 秒で動作する。

4. 51R_2の電流タップ整定値のみ6^{A}に変更後205kW 電流機の起動試験51R_2, 51R とも不動作であり異常がなかった。

14. 二次変電設備変圧器二次母線に設置する遮断器の遮断容量評価

大洗変電所6kV A2B母線の％インピーダンスの値は，％Z=(0.832+j10.932)％であり施設側受電点の％インピーダンスの最小値は52D$_3$(ATR工学）の％Z=1.068+j11.137 である。(at 10 ^{MVA} ベース）二次変電設備二次側の短絡電流を求めるには10^{MVA}ベースに換算した変圧器の％インピーダンス≒％リアクタンスを加へ短絡電流を算出する。短絡点までの％インピーダンスの実数部は虚数部に比較して小さくなり実数部を無視し虚数部のみ※1で計算しても問題にならない。

※1 ATR工学（52D$_3$）の場合

3φ750kVA％Z=4.9％の二次側母線にて短絡したことを想定した場合

3φ750kVA変圧器の％リアクダンス（at10^{MVA}ベース）％χ_tは

$$\%\chi_t = j4.90^{\%} \times \frac{10,000^{KVA}}{750^{KVA}} \fallingdotseq j65.333\%$$

短絡点Ｓまでの合成％インピーダンス，％Z_s は

$$\%Z_s = 1.068 + j11.137 + j65.333 = (1.068 + j76.470)$$

$$\text{絶対値} \mid \%Z_s \mid = \sqrt{1.140624 + 5847.6609} = \sqrt{5848.801524} \fallingdotseq 76.477\%$$

$$\text{三相短絡電流} I_s = \frac{100\%}{76.477\%} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} = 35950.254 \fallingdotseq 35950^A$$

％Z_s の実数部を無視したとき％Z_s $= j76.470$ $\mid \%Z_s \mid = 76.470\%$

$$I_s = \frac{100}{76.470} \times \frac{10000}{\sqrt{3} \times 0.21} = 35953.545 \fallingdotseq 35954^A$$

$$\text{誤差} \quad e = \frac{35954 - 35950}{35950} \times 100^{\%} \fallingdotseq 0.011\%$$

したがって，実数部を無視しても実用上は差しつかいないので虚数部（％リアクタンス）のみで計算を進める。

受電点の％リアクタンスを安全側に見て11.000％とする。

14.1 三相変圧器二次系（200V系）

変圧器二次電圧三相200V系について遮断器の定格遮断容量 125^{kA}, 85^{kA}, 50^{kA}, 25^{kA}, 10^{kA}, 5^{kA}の選択法を述べる。

① 遮断容量 $I_s = 125^{kA}$

$I_s = 125^{kA}$のときの%インピーダンス$\%Z = \dfrac{100^{\%}}{125000^{A}} \times \dfrac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} = 21.994 \fallingdotseq 22.0^{\%}$

受電点11.00% 変圧器の10^{MVA} ベースに換算した%リアクダンス$\%\chi_t$ は

$\%\chi_t = 22.0 - 11.0 = 11.0^{\%}$

三相 1500^{kVA} のとき $11.0^{\%} \times \dfrac{1500^{kVA}}{10000^{kVA}} = 1.650^{\%}$ 以上（$I_s = 125^{kA}$で安全）

三相 1000^{kVA} のとき $11.0^{\%} \times \dfrac{1000^{kVA}}{10000^{kVA}} = 1.100^{\%}$ 以上（$I_s = 125^{kA}$で安全）

② 遮断容量 $I_s = 85^{kV}$

$I_s = 85^{kA}$のときの%インピーダンス $\%Z = \dfrac{100^{\%}}{85000^{A}} \times \dfrac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} = 32.345 \fallingdotseq 32.5^{\%}$

$\%\chi_t = 32.5 - 11.0 = 21.5^{\%}$

三相 1500^{kVA} のとき $21.5^{\%} \times \dfrac{1500^{kVA}}{10000^{kVA}} = 3.225^{\%}$ 以上（$I_s = 85^{kA}$で安全）

三相 1000^{kVA} のとき $21.5^{\%} \times \dfrac{1000^{kVA}}{10000^{kVA}} = 2.150^{\%}$ 以上（$I_s = 85^{kA}$で安全）

三相 750^{kVA} のとき $21.5^{\%} \times \dfrac{750^{kVA}}{10000^{kVA}} = 1.613^{\%}$ 以上（$I_s = 85^{kA}$で安全）

三相 500^{kVA} のとき $21.5^{\%} \times \dfrac{500^{kVA}}{10000^{kVA}} = 1.075^{\%}$ 以上（$I_s = 85^{kA}$で安全）

③ 遮断容量 $I_s = 50^{kA}$

$I_s = 50^{kA}$のときの%インピーダンス $\%Z = \dfrac{100^{\%}}{50000^{A}} \times \dfrac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} = 54.987 \fallingdotseq 55.0^{\%}$

$\%\chi_t = 55.0^{\%} - 11.0^{\%} = 44.0^{\%}$

三相 1500^{kVA} のとき $44.0^{\%} \times \dfrac{1500^{kVA}}{10000^{kVA}} = 6.600^{\%}$ 以上（$I_s = 50^{kA}$で安全）

三相 1000^{kVA} のとき $44.0^{\%} \times \dfrac{1000^{kVA}}{10000^{kVA}} = 4.400^{\%}$ 以上（$I_s = 50^{kA}$で安全）

三相 750^{kVA} のとき $44.0^{\%} \times \dfrac{750^{kVA}}{10000^{kVA}} = 3.300^{\%}$ 以上（$I_s = 50^{kA}$で安全）

三相 500^{kVA} のとき $44.0^{\%} \times \dfrac{500^{kVA}}{10000^{kVA}} = 2.200^{\%}$ 以上（$I_s = 50^{kA}$で安全）

三相 400^{kVA} のとき $44.0^{\%} \times \dfrac{400^{kVA}}{10000^{kVA}} = 1.760^{\%}$ 以上（$I_s = 50^{kA}$で安全）

三相 300^{kVA} のとき $44.0^{\%} \times \dfrac{300^{kVA}}{10000^{kVA}} = 1.320^{\%}$ 以上（$I_s = 50^{kA}$で安全）

④ 遮断容量　$I_s = 25^{kA}$

$I_s = 25^{kA}$のときの%インピーダンス$\%Z = \dfrac{100^{\%}}{25000^{A}} \times \dfrac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} = 109.974 \fallingdotseq 110.0^{\%}$

$\%\chi_t = 110.0 - 11.0 = 99.0^{\%}$

三相　1500^{kVA} のとき　$99.0^{\%} \times \dfrac{1500^{kVA}}{10000^{kVA}} = 14.850^{\%}$以上（$I_s = 25^{kA}$で安全）

三相　1000^{kVA} のとき　$99.0^{\%} \times \dfrac{1000^{kVA}}{10000^{kVA}} = 9.900^{\%}$ 以上（$I_s = 25^{kA}$で安全）

三相　750^{kVA} のとき　$99.0^{\%} \times \dfrac{750^{kVA}}{10000^{kVA}} = 7.425^{\%}$ 以上（$I_s = 25^{kA}$で安全）

三相　500^{kVA} のとき　$99.0^{\%} \times \dfrac{500^{kVA}}{10000^{kVA}} = 4.950^{\%}$ 以上（$I_s = 25^{kA}$で安全）

三相　400^{kVA} のとき　$99.0^{\%} \times \dfrac{400^{kVA}}{10000^{kVA}} = 3.960^{\%}$ 以上（$I_s = 25^{kA}$で安全）

三相　300^{kVA} のとき　$99.0^{\%} \times \dfrac{300^{kVA}}{10000^{kVA}} = 2.970^{\%}$ 以上（$I_s = 25^{kA}$で安全）

三相　200^{kVA} のとき　$99.0^{\%} \times \dfrac{200^{kVA}}{10000^{kVA}} = 1.980^{\%}$ 以上（$I_s = 25^{kA}$で安全）

三相　150^{kVA} のとき　$99.0^{\%} \times \dfrac{150^{kVA}}{10000^{kVA}} = 1.485^{\%}$ 以上（$I_s = 25^{kA}$で安全）

三相　100^{kVA} のとき　$99.0^{\%} \times \dfrac{100^{kVA}}{10000^{kVA}} = 0.990^{\%}$ 以上（$I_s = 25^{kA}$で安全）

⑤ 遮断容量　$I_s = 10^{kA}$

$I_s = 10^{kA}$のときの%インピーダンス$\%Z = \dfrac{100^{\%}}{10000^{A}} \times \dfrac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} = 274.936 \fallingdotseq 275^{\%}$

$\%\chi_t = 275^{\%} - 11.0^{\%} = 264.0^{\%}$

三相　750^{kVA} のとき $264^{\%} \times \dfrac{750^{kVA}}{10000^{kVA}} = 19.800^{\%}$ 以上（$I_s = 10^{kA}$で安全）

三相　500^{kVA} のとき $264^{\%} \times \dfrac{500^{kVA}}{10000^{kVA}} = 13.200^{\%}$ 以上（$I_s = 10^{kA}$で安全）

三相　400^{kVA} のとき $264^{\%} \times \dfrac{400^{kVA}}{10000^{kVA}} = 10.560^{\%}$ 以上（$I_s = 10^{kA}$で安全）

三相　300^{kVA} のとき $264^{\%} \times \dfrac{300^{kVA}}{10000^{kVA}} = 7.920^{\%}$ 以上（$I_s = 10^{kA}$で安全）

三相　200kVA のとき 264% × $\frac{200^{kVA}}{10000^{kVA}}$ = 5.280% 以上（I_s =10kAで安全）

三相　150kVA のとき 264% × $\frac{150^{kVA}}{10000^{kVA}}$ = 3.960% 以上（I_s =10kAで安全）

三相　100kVA のとき 264% × $\frac{100^{kVA}}{10000^{kVA}}$ = 2.640% 以上（I_s =10kAで安全）

三相　75kVA のとき 264% × $\frac{75^{kVA}}{10000^{kVA}}$ = 1.980% 以上（I_s =10kAで安全）

三相　60kVA のとき 264% × $\frac{60^{kVA}}{10000^{kVA}}$ = 1.584% 以上（I_s =10kAで安全）

⑥ 遮断容量　I_s = 5kA

I_s = 5kAのときの%インピーダンス%Z = $\frac{100\%}{5000^{A}} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV}$ =549.873≒550%

$\%\chi_t$ =550−11=539.0%

三相　300kVA のとき 539% × $\frac{300^{kVA}}{10000^{kVA}}$ =16.170% 以上（I_s = 5kAで安全）

三相　200kVA のとき 539% × $\frac{200^{kVA}}{10000^{kVA}}$ =10.780% 以上（I_s = 5kAで安全）

三相　150kVA のとき 539% × $\frac{150^{kVA}}{10000^{kVA}}$ = 8.085% 以上（I_s = 5kAで安全）

三相　100kVA のとき 539% × $\frac{100^{kVA}}{10000^{kVA}}$ = 5.390% 以上（I_s = 5kAで安全）

三相　75kVA のとき 539% × $\frac{75^{kVA}}{10000^{kVA}}$ = 4.043% 以上（I_s = 5kAで安全）

三相　60kVA のとき 539% × $\frac{60^{kVA}}{10000^{kVA}}$ = 3.234% 以上（I_s = 5kAで安全）

表14－1　二次変電設備三相変圧器二次母線用遮断器，遮断容量選定表

（ただし，一次電圧は，6kVとする。）

変圧器		遮断器（AC 600V 3P）					
定格容量 (kVA)	二次電圧 (V)	R.C 125kA %インピーダンス	R.C 85kA %インピーダンス	R.C 50kA %インピーダンス	R.C 25kA %インピーダンス	R.C 10kA %インピーダンス	R.C 5kA %インピーダンス
1500	210	1.650 ~	3.225 ~	6.600 ~	14.850 ~		
1000	210	1.100 ~	2.150 ~	4.400 ~	9.900 ~		
750	210		1.613 ~	3.300 ~	7.425 ~	19.800 ~	
500	210		1.075 ~	2.200 ~	4.950 ~	13.200 ~	
400	210			1.760 ~	3.960 ~	10.560 ~	
300	210			1.320 ~	2.970 ~	7.920 ~	16.170 ~
200	210				1.980 ~	5.280 ~	10.780 ~
150	210				1.485 ~	3.960 ~	8.085 ~
100	210				0.990 ~	2.640 ~	5.390 ~
75	210					1.980 ~	4.043 ~
60	210					1.584 ~	3.237 ~

14.2 単相変圧器二次系（200V系）

単相変圧器二次電圧200V系について遮断器の定格遮断容量 85^{kA}, 50^{kA}, 25^{kA}, 10^{kA}, 5^{kA} の選定法を述べる。

① 遮断器，遮断容量 $I_s = 85^{kA}$

$I_s = 85^{kA}$ のときの％インピーダンス

$$\%Z = \frac{100^{\%}}{85000^{A}} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 28.011 \fallingdotseq 28.0^{\%}$$

$\%\chi_t = 28.0 - 11.0 = 17.0\%$

単相　400^{kVA} のとき　$17^{\%} \times \dfrac{400^{kVA} \times 2}{10000^{kVA}} = 1.360^{\%}$ 以上（$I_s = 85^{kA}$ で安全）

単相　300^{kVA} のとき　$17^{\%} \times \dfrac{300^{kVA} \times 2}{10000^{kVA}} = 1.020^{\%}$ 以上（$I_s = 85^{kA}$ で安全）

② 遮断器，遮断容量 $I_s = 50^{kA}$

$I_s = 50^{kA}$ のときの％インピーダンス

$$\%Z = \frac{100^{\%}}{50000^{A}} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 47.619 \fallingdotseq 48^{\%}$$

$\%\chi_t = 48.0 - 11.0 = 37.0\%$

単相　400^{kVA} のとき　$37^{\%} \times \dfrac{400^{kVA} \times 2}{10000^{kVA}} = 2.960^{\%}$ 以上（$I_s = 50^{kA}$ で安全）

単相　300^{kVA} のとき　$37^{\%} \times \dfrac{300^{kVA} \times 2}{10000^{kVA}} = 2.220^{\%}$ 以上（$I_s = 50^{kA}$ で安全）

単相　250^{kVA} のとき　$37^{\%} \times \dfrac{250^{kVA} \times 2}{10000^{kVA}} = 1.850^{\%}$ 以上（$I_s = 50^{kA}$ で安全）

単相　200^{kVA} のとき　$37^{\%} \times \dfrac{200^{kVA} \times 2}{10000^{kVA}} = 1.480^{\%}$ 以上（$I_s = 50^{kA}$ で安全）

単相　150^{kVA} のとき　$37^{\%} \times \dfrac{150^{kVA} \times 2}{10000^{kVA}} = 1.110^{\%}$ 以上（$I_s = 50^{kA}$ で安全）

③ 遮断器，遮断容量 $I_s = 25^{kA}$

$I_s = 25^{kA}$ のときの％インピーダンス

$$\%Z = \frac{100^{\%}}{25000^{A}} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 95.238 \fallingdotseq 95.5^{\%}$$

$\%\chi_t = 95.5 - 11.0 = 84.5\%$

単相　400kVA のとき84.5% × $\frac{400^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ = 6.760% 以上（Is =25kAで安全）

単相　300kVA のとき84.5% × $\frac{300^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ = 5.070% 以上（Is =25kAで安全）

単相　250kVA のとき84.5% × $\frac{250^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ = 4.225% 以上（Is =25kAで安全）

単相　200kVA のとき84.5% × $\frac{200^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ = 3.380% 以上（Is =25kAで安全）

単相　150kVA のとき84.5% × $\frac{150^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ = 2.535% 以上（Is =25kAで安全）

単相　100kVA のとき84.5% × $\frac{100^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ = 1.690% 以上（Is =25kAで安全）

単相　75kVA のとき84.5% × $\frac{75^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ = 1.268% 以上（Is =25kAで安全）

単相　60kVA のとき84.5% × $\frac{60^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ = 1.014% 以上（Is =25kAで安全）

④ 遮断容量 Is = 10kA

Is =10kAのときの%インピーダンス

$$\%Z = \frac{100\%}{10000^{A}} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 238.095 \fallingdotseq 238\%$$

$\%\chi_t = 238 - 11 = 227\%$

単相　300kVA のとき 227% × $\frac{300^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ =13.620% 以上（Is =10kAで安全）

単相　250kVA のとき 227% × $\frac{250^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ =11.350% 以上（Is =10kAで安全）

単相　200kVA のとき 227% × $\frac{200^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ = 9.080% 以上（Is =10kAで安全）

単相　150kVA のとき 227% × $\frac{150^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ = 6.810% 以上（Is =10kAで安全）

単相　100kVA のとき 227% × $\frac{100^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ = 4.540% 以上（Is =10kAで安全）

単相　75kVA のとき 227% × $\frac{75^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ = 3.405% 以上（Is =10kAで安全）

単相　60^{kVA} のとき 227% × $\dfrac{60^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ = $2.724^{\%}$ 以上（I_s =10^{kA}で安全）

⑤ 遮断容量 I_s = 5^{kA}

I_s = 5^{kA}のときの%インピーダンス

$$\%Z = \frac{100^{\%}}{5000^{A}} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 476.190 \fallingdotseq 476.2^{\%}$$

$$\%\chi_t = 476.2 - 11.0 = 465.2^{\%}$$

単相　150^{kVA} のとき465.2%× $\dfrac{150^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ =$13.956^{\%}$ 以上（I_s = 5^{kA}で安全）

単相　100^{kVA} のとき465.2%× $\dfrac{100^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ = $9.304^{\%}$ 以上（I_s = 5^{kA}で安全）

単相　75^{kVA} のとき465.2%× $\dfrac{75^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ = $6.978^{\%}$ 以上（I_s = 5^{kA}で安全）

単相　60^{kVA} のとき465.2%× $\dfrac{60^{kVA}\times 2}{10000^{kVA}}$ = $5.583^{\%}$ 以上（I_s = 5^{kA}で安全）

表14－2　二次変電設備単相変圧器二次母線用遮断器，遮断容量選定表

（ただし，一次電圧は，6kVとする。）

変圧器		遮断器（AC 600V 3P）					
定格容量	二次電圧	R.C 125kA	R.C 85kA	R.C 50kA	R.C 25kA	R.C 10kA	R.C 5kA
(kVA)	(V)	%インピーダンス	%インピーダンス	%インピーダンス	%インピーダンス	%インピーダンス	%インピーダンス
400	210		1.360 ~	2.960 ~	6.760 ~		
300	210		1.020 ~	2.220 ~	5.070 ~	13.620 ~	
250	210			1.850 ~	4.225 ~	11.350 ~	
200	210			1.480 ~	3.380 ~	9.080 ~	
150	210			1.110 ~	2.535 ~	6.810 ~	13.956 ~
100	210				1.690 ~	4.540 ~	9.304 ~
75	210				1.268 ~	3.405 ~	6.978 ~
60	210				1.014 ~	2.724 ~	5.583 ~

14.3 三相変圧器二次系（400V系）

三相変圧器二次電圧400V系について遮断器の定格遮断容量 85^{kA}, 42^{kA}, 22^{kA}, 10^{kA}, 5^{kA} の選択法について述べる。

① 遮断容量 $I_s = 85^{kA}$

$I_s = 85^{kA}$ のときの%インピーダンス

$$\%Z = \frac{100^{\%}}{85000^{A}} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.42kV} = 16.172 \fallingdotseq 16.2^{\%}$$

$$\%\chi_t = 16.2 - 11.0 = 5.2^{\%}$$

三相 3000^{kVA} のとき $5.2^{\%} \times \dfrac{3000^{kVA}}{10000^{kVA}} = 1.560^{\%}$ 以上（$I_s = 85^{kA}$ で安全）

三相 2000^{kVA} のとき $5.2^{\%} \times \dfrac{2000^{kVA}}{10000^{kVA}} = 1.040^{\%}$ 以上（$I_s = 85^{kA}$ で安全）

② 遮断容量 $I_s = 42^{kA}$

$I_s = 42^{kA}$ のときの%インピーダンス

$$\%Z = \frac{100^{\%}}{42000^{A}} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.42kV} = 32.730 \fallingdotseq 32.8^{\%}$$

$$\%\chi_t = 32.8 - 11.0 = 21.8^{\%}$$

三相 3000^{kVA} のとき $21.8^{\%} \times \dfrac{3000^{kVA}}{10000^{kVA}} = 6.540^{\%}$ 以上（$I_s = 42^{kA}$ で安全）

三相 2000^{kVA} のとき $21.8^{\%} \times \dfrac{2000^{kVA}}{10000^{kVA}} = 4.360^{\%}$ 以上（$I_s = 42^{kA}$ で安全）

三相 1500^{kVA} のとき $21.8^{\%} \times \dfrac{1500^{kVA}}{10000^{kVA}} = 3.270^{\%}$ 以上（$I_s = 42^{kA}$ で安全）

三相 1200^{kVA} のとき $21.8^{\%} \times \dfrac{1200^{kVA}}{10000^{kVA}} = 2.616^{\%}$ 以上（$I_s = 42^{kA}$ で安全）

三相 1000^{kVA} のとき $21.8^{\%} \times \dfrac{1000^{kVA}}{10000^{kVA}} = 2.180^{\%}$ 以上（$I_s = 42^{kA}$ で安全）

三相 750^{kVA} のとき $21.8^{\%} \times \dfrac{750^{kVA}}{10000^{kVA}} = 1.635^{\%}$ 以上（$I_s = 42^{kA}$ で安全）

三相 500^{kVA} のとき $21.8^{\%} \times \dfrac{500^{kVA}}{10000^{kVA}} = 1.090^{\%}$ 以上（$I_s = 42^{kA}$ で安全）

③ 遮断容量 $I_s = 22^{kA}$

$I_s = 22^{kA}$のときの%インピーダンス

$$\%Z = \frac{100^{\%}}{22000^{A}} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.42kV} = 62.485 \fallingdotseq 62.5^{\%}$$

$\%\chi_t = 62.5 - 11.0 = 51.5^{\%}$

三相 3000^{kVA} のとき$51.5^{\%} \times \dfrac{3000^{kVA}}{10000^{kVA}} = 15.450^{\%}$ 以上（$I_s = 22^{kA}$で安全）

三相 2000^{kVA} のとき$51.5^{\%} \times \dfrac{2000^{kVA}}{10000^{kVA}} = 10.300^{\%}$ 以上（$I_s = 22^{kA}$で安全）

三相 1500^{kVA} のとき$51.5^{\%} \times \dfrac{1500^{kVA}}{10000^{kVA}} = 7.725^{\%}$ 以上（$I_s = 22^{kA}$で安全）

三相 1200^{kVA} のとき$51.5^{\%} \times \dfrac{1200^{kVA}}{10000^{kVA}} = 6.180^{\%}$ 以上（$I_s = 22^{kA}$で安全）

三相 1000^{kVA} のとき$51.5^{\%} \times \dfrac{1000^{kVA}}{10000^{kVA}} = 5.150^{\%}$ 以上（$I_s = 22^{kA}$で安全）

三相 750^{kVA} のとき$51.5^{\%} \times \dfrac{750^{kVA}}{10000^{kVA}} = 3.863^{\%}$ 以上（$I_s = 22^{kA}$で安全）

三相 500^{kVA} のとき$51.5^{\%} \times \dfrac{500^{kVA}}{10000^{kVA}} = 2.575^{\%}$ 以上（$I_s = 22^{kA}$で安全）

三相 300^{kVA} のとき$51.5^{\%} \times \dfrac{300^{kVA}}{10000^{kVA}} = 1.545^{\%}$ 以上（$I_s = 22^{kA}$で安全）

④ 遮断容量 $I_s = 10^{kA}$

$I_s = 10^{kA}$のときの%インピーダンス

$$\%Z = \frac{100^{\%}}{10000^{A}} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.42kV} = 137.468 \fallingdotseq 137.5^{\%}$$

$\%\chi_t = 137.5 - 11.0 = 126.5^{\%}$

三相 1200^{kVA} のとき $126.5^{\%} \times \dfrac{1200^{kVA}}{10000^{kVA}} = 15.180^{\%}$ 以上（$I_s = 10^{kA}$で安全）

三相 1000^{kVA} のとき $126.5^{\%} \times \dfrac{1000^{kVA}}{10000^{kVA}} = 12.650^{\%}$ 以上（$I_s = 10^{kA}$で安全）

三相 750^{kVA} のとき $126.5^{\%} \times \dfrac{750^{kVA}}{10000^{kVA}} = 9.488^{\%}$ 以上（$I_s = 10^{kA}$で安全）

三相　500kVA のとき 126.5% × $\frac{500^{kVA}}{10000^{kVA}}$ = 6.325% 以上（Is =10kAで安全）

三相　300kVA のとき 126.5% × $\frac{300^{kVA}}{10000^{kVA}}$ = 3.795% 以上（Is =10kAで安全）

三相　100kVA のとき 126.5% × $\frac{100^{kVA}}{10000^{kVA}}$ = 1.265% 以上（Is =10kAで安全）

⑤ 遮断容量 Is = 5kA

Is = 5kAのときの%インピーダンス

$$\%Z = \frac{100^{\%}}{5000^{A}} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.42kV} = 274.936 \fallingdotseq 275^{\%}$$

$$\%\chi_t = 275 - 11 = 264^{\%}$$

三相　500kVA のとき 264% × $\frac{500^{kVA}}{10000^{kVA}}$ =13.200% 以上（Is = 5kAで安全）

三相　300kVA のとき 264% × $\frac{300^{kVA}}{10000^{kVA}}$ = 7.920% 以上（Is = 5kAで安全）

三相　100kVA のとき 264% × $\frac{100^{kVA}}{10000^{kVA}}$ = 2.640% 以上（Is = 5kAで安全）

表14－3　二次変電設備三相変圧器二次母線用遮断器，遮断容量選定表

（ただし，一次電圧は，6kVとする。）

変圧器		遮断器（AC 600V 3P）					
定格容量	二次電圧	R.C 125kA	R.C 85kA	R.C 50kA	R.C 25kA	R.C 10kA	R.C 5kA
(kVA)	(V)	%インピーダンス	%インピーダンス	%インピーダンス	%インピーダンス	%インピーダンス	%インピーダンス
3000	420		1.560 ~	6.540 ~	15.450 ~		
2000	420		1.040 ~	4.360 ~	10.300 ~		
1550	420			3.270 ~	7.725 ~		
1200	420			2.616 ~	6.180 ~	15.180 ~	
1000	420			2.180 ~	5.150 ~	12.650 ~	
750	420			1.635 ~	3.863 ~	9.488 ~	
500	420			1.090 ~	2.575 ~	6.325 ~	13.200 ~
300	420				1.545 ~	3.795 ~	7.920 ~
100	420					1.265	2.640 ~

15. 構内二次変電設備200V系の短絡電流計算

三相変圧器二次測200V母線から600VCV3C-100$^{mm^2}$電力ケーブル亘長，5^m，10^m，20^m，30^m，50^m，100^{m}の点における短絡電流を計算する。

ただし，電力ケーブル600^{V}CV3C-100$^{mm^2}$ 1km当り%インピーダンス(at10^{MVA}ベース)

$\%Z_{100^{\square}}$=(5419.501+j175.965)%/km(電圧210^{V}する。)

亘長5^{m}の%インピーダンスを$\%Z_{\ell 5}$とする。

$$\%Z_{\ell 5}=\frac{5}{1000}(5419.501+j1715.965)=27.097505+j8.579825\fallingdotseq 27.097+j8.579$$

同様に亘長10^m～100^{m}を計算する。

$$\%Z_{\ell 10}=\frac{10}{1000}(5419.501+j1715.965)=54.19501+j17.15965\fallingdotseq 54.195+j17.195$$

$$\%Z_{\ell 20}=\frac{20}{1000}(5419.501+j1715.965)=108.39002+j34.3193\fallingdotseq 108.309+j34.319$$

$$\%Z_{\ell 30}=\frac{30}{1000}(5419.501+j1715.965)=162.58503+j51.47895\fallingdotseq 162.585+j51.478$$

$$\%Z_{\ell 50}=\frac{50}{1000}(5419.501+j1715.965)=270.97505+j85.79825\fallingdotseq 270.975+j85.798$$

$$\%Z_{\ell 100}=\frac{100}{1000}(5419.501+j1715.965)=541.9501+j171.5965\fallingdotseq 541.950+j171.596$$

15.1 52E$_1$(Na流動伝熱)

6kV受電点の%インピーダンス$\%Z=(1.217+j11.265)^{\%}$

(1) 52F$_2$3ϕ1000^{KVA}　$\%Z=5.46\%$　$jX_t=j5.46^{\%}\times\dfrac{10000kVA}{1000kVA}=j54.60^{\%}$

二次母線の%インピーダンス$\%Z_{s2}=1.217+j11.265+j54.60=(1.217+65.865)^{\%}$

$$|\%Z_{s2}|=\sqrt{(1.217)^2+(65.865)^2}=\sqrt{1.481089+4338.198225}=\sqrt{4339.679314}\fallingdotseq 65.976^{\%}$$

三相短絡電流I_sは　$I_s=\dfrac{100\%}{65.876\%}\times\dfrac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=41735.497\fallingdotseq 41735^A$

① 100$^{\square}$亘長5^{m}の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s5}$は

$\%Z_{s5}=1.217+j65.865+27.097+j8.579=28.314+j74.444$

$$|\%Z_{s5}| = \sqrt{(28.314)^2+(74.444)^2} = \sqrt{801.682596+5541.909136}$$

$$= \sqrt{6343.591732} \fallingdotseq 79.646\ \%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{79.646\ \%} \times \frac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\mathrm{kV}} = 34519.845 \fallingdotseq 3520^{A}$$

② 100□亘長10m の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s10}$は

$$\%Z_{s10} = 1.217+j65.865+54.159+j17.159 = 55.412+j83.024$$

$$|\%Z_{s10}| = \sqrt{(55.412)^2+(83.024)^2} = \sqrt{3070.489744+6892.984576}$$

$$= \sqrt{9963.47432} \fallingdotseq 99.817\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{99.817\ \%} \times \frac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\mathrm{kV}} = 27544.082 \fallingdotseq 27544^{A}$$

③ 100□亘長20m の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s20}$は

$$\%Z_{s20} = 1.217+j65.865+108.390+j34.319 = 109.607+j100.184$$

$$|\%Z_{s20}| = \sqrt{(109.607)^2+(100.184)^2} = \sqrt{12013.694449+10036.833856}$$

$$= \sqrt{22050.528305} \fallingdotseq 148.494\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{148.494\ \%} \times \frac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\mathrm{kV}} = 18515.008 \fallingdotseq 18515^{A}$$

④ 100□亘長30m の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s30}$は

$$\%Z_{s30} = 1.217+j65.865+162.585+j51.478 = 163.802+j117.343$$

$$|\%Z_{s30}| = \sqrt{(163.802)^2+(117.343)^2} = \sqrt{26831.095204+13769.379649}$$

$$= \sqrt{40600.474853} \fallingdotseq 201.495\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{201.495\ \%} \times \frac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\mathrm{kV}} = 13644.843 \fallingdotseq 13645^{A}$$

⑤ 100□亘長50m の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s50}$は

$$\%Z_{s50} = 1.217+j65.865+270.975+j85.798 = 272.192+j151.663$$

$$|\%Z_{s50}| = \sqrt{(272.192)^2+(151.663)^2} = \sqrt{74088.484864+23001.665569}$$

$$= \sqrt{97090.150433} \fallingdotseq 311.592\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{311.592\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3}\ \times 0.21\text{kV}} = 8823.614 \fallingdotseq 8824^{A}$$

⑥ 100□亘長100ᵐ の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s100}$は

$\%Z_{s100} = 1.217 + j65.865 + 541.950 + j171.596 = 543.167 + j237.461$

$$|\%Z_{s100}| = \sqrt{(543.167)^2 + (237.461)^2} = \sqrt{295030.389889 + 56387.726521}$$

$$= \sqrt{35148.11641} \fallingdotseq 392.805^{\%}$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{592.805\ \%} \times \frac{1000\text{kVA}}{\sqrt{3}\ \times 0.21\text{kV}} = 4637.895 \fallingdotseq 4638^{A}$$

(2) $52F_4$ 3 φ1000kVA　$\%Z = 4.47\%$　$jx_t = j4.47\% \times \dfrac{10000\text{kVA}}{1000\text{kVA}} = j44.70\%$

二次母線の%インピーダンス　$\%Z_{s2} = 1.217 + j11.265 + j44.70 = 1.217 + j55.965$

$$|\%Z_{s2}| = \sqrt{(1.217)^2 + (55.965)^2} = \sqrt{1.481089 + 3132.081225} = \sqrt{3133.562314}$$

$$\fallingdotseq 55.978\%$$

三相短絡電流 I_s は　$I_s = \dfrac{100\ \%}{55.978\ \%} \times \dfrac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3}\ \times 0.21\text{kV}} = 49115.146 \fallingdotseq 49115^{A}$

① 100□亘長5ᵐ の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s5}$は

$\%Z_{s5} = 1.217 + j55.965 + 27.097 + j8.579 = 28.314 + j64.544$

$$|\%Z_{s5}| = \sqrt{(28.314)^2 + (64.544)^2} = \sqrt{801.682596 + 4165.927936}$$

$$= \sqrt{4967.610532} \fallingdotseq 70.481\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{70.481\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3}\ \times 0.21\text{kV}} = 39008.635 \fallingdotseq 39009^{A}$$

② 100□亘長10ᵐの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s10}$は

$\%Z_{s10} = 1.217 + j55.965 + 54.195 + j17.159 = 55.412 + j73.124$

$$|\%Z_{s10}| = \sqrt{(55.412)^2 + (73.124)^2} = \sqrt{3070.489744 + 5347.119376}$$

$$= \sqrt{8417.60912} \fallingdotseq 91.747^{\%}$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{91.747\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3}\ \times 0.21\text{kV}} = 29966.839 \fallingdotseq 29967^{A}$$

③ 100□亘長20mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s20}$は

$\%Z_{s20}=1.217+j55.965+108.390+j34.319=109.607+j90.284$

$|\%Z_{s20}|=\sqrt{(109.607))^2+(90.284)^2}=\sqrt{12013.694449+8151.200656}$

$=\sqrt{20164.895105}\fallingdotseq 142.003$

$$I_s=\frac{100\ \%}{142.003\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=19361.334=19361^A$$

④ 100□亘長30mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s30}$は

$\%Z_{s30}=1.217+j55.965+162.585+j51.478=163.802+j107.443$

$|\%Z_{s30}|=\sqrt{(163.802)^2+(107.443)^2}=\sqrt{26831.095204+11543.998249}$

$=\sqrt{38375.093453}\fallingdotseq 195.895^{\%}$

$$I_s=\frac{100\ \%}{195.859\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=14034.904\fallingdotseq 14035^A$$

⑤ 100□亘長50mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s50}$は

$\%Z_{s50}=1.217+j55.965+270.975+j85.798=272.192+j141.763$

$|\%Z_{s50}|=\sqrt{(272.192)^2+(144.763)^2}=\sqrt{74088.484864+20096.748169}$

$=\sqrt{94185.233033}\fallingdotseq 306.896^{\%}$

$$I_s=\frac{100\ \%}{306.896\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=8958.629\fallingdotseq 8959^A$$

⑥ 100□亘長100mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s100}$は

$\%Z_{s100}=1.217+j55.965+541.950+j171.596=543.167+j227.561$

$|\%Z_{s100}|=\sqrt{(543.167)^2+(227.561)^2}=\sqrt{295030.389889+51784.008721}$

$=\sqrt{346814.39861}\fallingdotseq 588.909^{\%}$

$$I_s=\frac{100\ \%}{588.909\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=4668.578\fallingdotseq 4669^A$$

15.2　52D$_{11}$(Na機器第2)

6kV受電点の%インピーダンス　$\%Z = (2.160 + j11.671)^{\%}$

(1)　52F$_1$3　φ1000kVA　$\%Z = 3.94^{\%}$　$jx_t = j3.94^{\%} \times \dfrac{10000kVA}{1000kVA} = j39.40^{\%}$

二次母線の%インピーダンス　$\%Z_{s2} = 2.160 + j11.671 + j39.40 = 2.160 + j51.071$

$$|\%Z_{s2}| = \sqrt{(2.160)^2 + (51.071)^2} = \sqrt{4.6656 + 2608.247041} = \sqrt{2612.912641}$$
$$\fallingdotseq 51.116^{\%}$$

三相短絡電流I_sは　$I_s = \dfrac{100\ \%}{51.116\ \%} \times \dfrac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} = 53786.830 \fallingdotseq 53787^A$

① 100□亘長5^{m}の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s5}$は

$\%Z_{s5} = 2.160 + j51.071 + 27.097 + j8.579 = 29.257 + j59.65$

$$|\%Z_{s5}| = \sqrt{(29.257)^2 + (59.650)^2} = \sqrt{855.972049 + 3558.1225}$$
$$= \sqrt{4414.094549} \fallingdotseq 66.438^{\%}$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{66.438\ \%} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} = 41382.456 \fallingdotseq 41382^A$$

② 100□亘長10^{m}の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s10}$は

$\%Z_{s10} = 2.160 + j51.071 + 54.195 + j17.159 = 56.355 + j68.230$

$$|\%Z_{s10}| = \sqrt{(56.355)^2 + (68.230)^2} = \sqrt{3175.886025 + 4655.3329}$$
$$= \sqrt{7831.218925} \fallingdotseq 88.494^{\%}$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{88.494\ \%} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} = 31068.407 \fallingdotseq 31068^A$$

③ 100□亘長20^{m}の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s20}$は

$\%Z_{s20} = 2.160 + j51.071 + 108.390 + j34.319 = 110.55 + j85.39$

$$|\%Z_{s20}| = \sqrt{(110.55)^2 + (85.39)^2} = \sqrt{12221.305 + 7291.4521}$$
$$= \sqrt{19512.7546} = 139.688^{\%}$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{139.688\%} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} = 19682.203 \fallingdotseq 19682^A$$

④ 100□亘長30mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s30}$は

$\%Z_{s30}=2.160+j51.071+162.585+j51.478=164.745+j102.549$

$$|\%Z_{s30}|=\sqrt{(164.745)^2+(102.549)^2}=\sqrt{27140.915025+10516.297401}$$

$$=\sqrt{37657.212426}\fallingdotseq 194.054^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{194.054\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=14168.054\fallingdotseq 14168^{A}$$

⑤ 100□亘長50mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s50}$は

$\%Z_{s50}=2.160+j51.071+270.975+j85.798=273.135+j136.869$

$$|\%Z_{s50}|=\sqrt{(273.135)^2+(136.869)^2}=\sqrt{74602.728225+18733.123161}$$

$$=\sqrt{93335.851386}=305.509^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{305.509\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=8999.301\fallingdotseq 8999^{A}$$

⑥ 100□亘長100mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s100}$は

$\%Z_{s100}=2.160+j51.071+541.950+j171.596=544.110+j222.667$

$$|\%Z_{s100}|=\sqrt{(544.11)^2+(222.667)^2}=\sqrt{296055.6921+49580.592889}$$

$$=\sqrt{345636.284989}\fallingdotseq 587.908^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{587.908\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=4676.527\fallingdotseq 4677^{A}$$

15.3 52E$_6$(DCA)

6kV 受電点の%インピーダンス　$\%Z=(4.275+12.047)$

(1) 52F$_2$3φ1000kVA　$\%Z=5.2^{\%}$　$jx_t=j5.20^{\%}\times\dfrac{1000kVA}{1000kVA}=j52.0^{\%}$

二次母線の%インピーダンス　$\%ZS_2=4.275+j12.047+j52.0=4.275+j64.047$

$$|\%Z_{s2}|=\sqrt{(4.275)^2+(64.047)^2}=\sqrt{18.275625+4102.018209}$$

$$=\sqrt{4120.293834}\fallingdotseq 64.189^{\%}$$

三相短絡電流I_sは　$I_s=\dfrac{100\ \%}{64.189\ \%}\times\dfrac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=42832.380\fallingdotseq 42832^{A}$

① 100□亘長5mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s5}$は

$\%Z_{s5}=4.275+j64.047+27.097+j8.579=31.372+j72.626$

$$|\%Z_{s5}|=\sqrt{(31.372)^2+(72.626)^2}=\sqrt{984.202384+5274.535876}$$

$$=\sqrt{6258.73826}\fallingdotseq 79.112^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{79.112\ \%}\times\frac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\mathrm{kV}}=34752.852\fallingdotseq 34753^{A}$$

② 100□亘長10mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s10}$は

$\%Z_{s10}=4.275+j64.047+54.195+j17.159=58.470+j81.206$

$$|\%Z_{s10}|=\sqrt{(58.47)^2+(81.206)^2}=\sqrt{3418.7409+6594.414436}$$

$$=\sqrt{10013.155336}\fallingdotseq 100.065^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{100.065\ \%}\times\frac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\mathrm{kV}}=27475.817\fallingdotseq 27476^{A}$$

③ 100□亘長20mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s20}$は

$\%Z_{s20}=4.275+j64.047+108.390+j34.319=112.665+j98.366$

$$|\%Z_{s20}|=\sqrt{(112.665)^2+(98.366)^2}=\sqrt{12693.402225+9675.869956}$$

$$=\sqrt{22369.272181}\fallingdotseq 149.563^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{149.563\ \%}\times\frac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\mathrm{kV}}=18382.672\fallingdotseq 18383^{A}$$

④ 100□亘長30mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s30}$は

$\%Z_{s30}=4.275+j64.047+162.585+j51.478=166.860+j115.525$

$$|\%Z_{s30}|=\sqrt{(166.860)^2+(115.525)^2}=\sqrt{27842.2596+13346.025625}$$

$$=\sqrt{41188.285225}\fallingdotseq 202.948^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{202.948\ \%}\times\frac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\mathrm{kV}}=13547.153\fallingdotseq 13547^{A}$$

⑤ 100□亘長50mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s50}$は

$\%Z_{s50}=4.275+j64.047+270.975+j85.798=275.250+j149.845$

$$|\%Z_{s50}|=\sqrt{(275.25)^2+(149.845)^2}=\sqrt{75762.5625+22453.524025}$$

$$=\sqrt{98216.086525}=313.394^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{313.394\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=8772.879\fallingdotseq 8773^A$$

⑥ 100□亘長100mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s100}$は

$\%Z_{s100}=4.275+j64.047+541.950+j171.596=546.225+j235.643$

$$|\%Z_{s100}|=\sqrt{(546.225)^2+(235.643)^2}=\sqrt{298361.750625+55527.623449}$$

$$=\sqrt{353889.374074}\fallingdotseq 594.886^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{594.886\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=4621.671\fallingdotseq 4622^A$$

15.4 $252F_2$(Na機器構造)

6kV 受電点の%インピーダンス，$\%Z=1.497+j11.278$

(1) $52F_{12}3\phi100kVA$ $\%Z=6.25\%$ $jx_t=j6.25^{\%}\times\frac{10000kVA}{1000kVA}=j62.5^{\%}$

二次母線の%インピーダンス $\%Z_{s2}=1.497+j11.278+j62.50=1.497+j73.778$

$$|\%Z_{s2}|=\sqrt{(1.497)^2+(73.778)^2}=\sqrt{2.241009+5443.193284}$$

$$=\sqrt{5445.434293}\fallingdotseq 73.793^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{73.793\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=37257.838\fallingdotseq 37258^A$$

① 100□亘長5m の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s5}$は

$\%Z_{s5}=1.497+j73.778+27.097+j8.579=28.594+j82.357$

$$|\%Z_{s5}|=\sqrt{(28.594)^2+(82.357)^2}=\sqrt{817.616836+6782.675449}$$

$$=\sqrt{7600.292285}\fallingdotseq 87.179^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{87.179\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=31537.040\fallingdotseq 31537^A$$

② 100□亘長10mの点の合成%インピーダンス%, Z_{s10} は

$\%Z_{s10} = 1.497 + j73.778 + 54.195 + j17.159 = 55.692 + j90.937$

$$|\%Z_{s10}| = \sqrt{(55.692)^2 + (90.937)^2} = \sqrt{3101.598864 + 8269.537969}$$

$$= \sqrt{11371.136833} \fallingdotseq 106.635\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{106.635\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 25782.975 \fallingdotseq 25783^A$$

③ 100□亘長20mの点の合成%インピーダンス, $\%Z_{s20}$は

$\%Z_{s20} = 1.497 + j73.778 + 108.390 + j34.319 = 109.887 + j108.097$

$$|\%Z_{s20}| = \sqrt{(109.887)^2 + (108.097)^2} = \sqrt{12075.152769 + 11684.961409}$$

$$= \sqrt{23760.114178} \fallingdotseq 154.143\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{154.143\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 17836.474 \fallingdotseq 17836^A$$

④ 100□亘長30mの点の合成%インピーダンス$\%Z_{s30}$は

$\%Z_{s30} = 1.497 + j73.778 + 162.585 + j51.478 = 164.082 + j125.256$

$$|\%Z_{s30}| = \sqrt{(164.082)^2 + (125.256)^2} = \sqrt{26922.902724 + 15689.065536}$$

$$= \sqrt{42611.968268} \fallingdotseq 206.426\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{206.426\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 13318.901 \fallingdotseq 13319^A$$

⑤ 100□亘長50mの点の合成%インピーダンス, $\%Z_{s50}$は

$\%Z_{s50} = 1.497 + j73.778 + 270.975 + j85.798 = 272.472 + j159.576$

$$|\%Z_{s50}| = \sqrt{(272.472)^2 + (159.576)^2} = \sqrt{74240.990784 + 25464.499776}$$

$$= \sqrt{99705.49056} \fallingdotseq 315.761\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{315.761\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 8707.115 \fallingdotseq 8707^A$$

⑥ 100□亘長100mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s100}$ は

$\%Z_{s100}=1.497+j73.778+541.950+j171.596=543.447+j245.374$

$$|\%Z_{s100}|=\sqrt{(543.447)^2+(245.374)^2}=\sqrt{295334.641809+60208.399876}$$

$$=\sqrt{355543.041685}\fallingdotseq 596.274^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{596.274\ \%}\times\frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\text{kV}}=4610.913\fallingdotseq 4611^{A}$$

15.5 52D₃(ATR工学)

6kV 受電点の%インピーダンス，$\%Z=1.058+j11.159$

(1) 52F₅ 3φ750kVA $\%Z=6.68\%$ $\%X_t=j6.68^{\%}\times\dfrac{10000\text{kVA}}{750\text{kVA}}\fallingdotseq j89.066^{\%}$

二次母線の%インピーダンス，$\%Z_{s2}=1.058+j11.159+j89.066=1.058+j100.225$

$$|\%Z_{s2}|=\sqrt{(1.058)^2+(100.225)^2}=\sqrt{1.119364+10045.050625}$$

$$=\sqrt{10046.169989}\fallingdotseq 100.230^{\%}$$

三相短絡電流 I_s は $I_s=\dfrac{100\ \%}{100.23\ \%}\times\dfrac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\text{kV}}=27430.586\fallingdotseq 27431^{A}$

① 100□亘長5mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s5}$は

$\%Z_{s5}=1.058+j100.225+27.097+j8.579=28.155+j108.804$

$$|\%Z_{s5}|=\sqrt{(28.155)^2+(108.804)^2}=\sqrt{792.704025+11838.310416}$$

$$=\sqrt{12631.014441}\fallingdotseq 112.387^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{112.387\ \%}\times\frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\text{kV}}=24463.395\fallingdotseq 24463^{A}$$

② 100□亘長10mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s10}$は

$\%Z_{s10}=1.058+j100.225+54.195+j17.159=55.253+j117.384$

$$|\%Z_{s10}|=\sqrt{(55.253)^2+(117.384)^2}=\sqrt{3052.894009+13779.003456}$$

$$=\sqrt{16831.897465}\fallingdotseq 129.737^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{129.737\ \%}\times\frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\text{kV}}=21191.854\fallingdotseq 21192^{A}$$

③ 100□亘長20mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s20}$は

$\%Z_{s20}=1.058+j100.225+108.390+j34.319=109.448+j134.544$

$$|\%Z_{s20}|=\sqrt{(109.448)^2+(134.524)^2}=\sqrt{11978.864704+18102.087936}$$

$$=\sqrt{30080.95264}\fallingdotseq 173.438\%$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{173.438\ \%}\times\frac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\mathrm{kV}}=15852.164\fallingdotseq 15852^{A}$$

④ 100□亘長30mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s30}$は

$\%Z_{s30}=1.058+j100.225+162.585+j51.478=163.643+j151.703$

$$|\%Z_{s30}|=\sqrt{(163.643)^2+(151.703)^2}=\sqrt{26779.031449+23013.800209}$$

$$=\sqrt{49792.831658}\fallingdotseq 223.143\%$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{223.143\ \%}\times\frac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\mathrm{kV}}=12321.101\fallingdotseq 12321^{A}$$

⑤ 100□亘長50mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s50}$は

$\%Z_{s50}=1.058+j100.225+270.975+j85.798=272.033+j186.023$

$$|\%Z_{s50}|=\sqrt{(272.033)^2+(186.023)^2}=\sqrt{74001.953089+34604.556529}$$

$$=\sqrt{108606.509618}\fallingdotseq 329.555\%$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{329.555\ \%}\times\frac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\mathrm{kV}}=8342.667\fallingdotseq 8343^{A}$$

⑥ 100□亘長100mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s100}$は

$\%Z_{s100}=1.058+j100.225+541.950+j171.596=543.008+j271.821$

$$|\%Z_{s100}|=\sqrt{(543.008)^2+(271.821)^2}=\sqrt{294857.688064+73886.656041}$$

$$=\sqrt{368744.344105}\fallingdotseq 607.243\%$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{607.243\ \%}\times\frac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\mathrm{kV}}=4527.623\fallingdotseq 4528^{A}$$

15.6 52D$_{11}$(Na機器第2)

6kV 受電点の%インピーダンス　$\%Z = 2.160 + 11.671$

(1) 52-$_2$ 3φ750kVA　$\%Z = 3.68\%$　$jx_t = j3.68^{\%} \times \dfrac{1000kVA}{750kVA} \fallingdotseq j49.066^{\%}$

二次母線の%インピーダンス　$\%Z_{s2} = 2.160 + j11.671 + j49.066 = 2.160 + j60.737$

$$|\%Z_{s2}| = \sqrt{(2.160)^2 + (60.737)^2} = \sqrt{4.6656 + 3688.983169} = \sqrt{3693.648769} \fallingdotseq 60.775^{\%}$$

三相短絡電流 I_s は　$I_s = \dfrac{100\ \%}{60.775\ \%} \times \dfrac{1000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} = 45238.463 \fallingdotseq 45238^A$

① 100□亘長5^{m}の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s5}$ は

$\%Z_{s5} = 2.16 + j60.737 + 27.097 + j8.579 = 29.257 + j69.316$

$$|\%Z_{s5}| = \sqrt{(29.257)^2 + (69.316)^2} = \sqrt{855.972049 + 4804.707856} = \sqrt{5660.679905} \fallingdotseq 75.237^A$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{75.237\ \%} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} = 36542.760 \fallingdotseq 36543^A$$

② 100□亘長10^{m}の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s10}$ は

$\%Z_{s10} = 2.16 + j60.737 + 54.195 + j17.159 + 56.355 + j77.896$

$$|\%Z_{s10}| = \sqrt{(56.355)^2 + (77.896)^2} = \sqrt{3175.886025 + 6067.786816} = \sqrt{9243.672841} \fallingdotseq 96.144^{\%}$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{96.144\ \%} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} = 28596.351 \fallingdotseq 28596^A$$

③ 100□亘長20^{m}の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s20}$ は

$\%Z_{s20} = 2.16 + j60.737 + 108.390 + j34.319 + 110.55 + j95.056$

$$|\%Z_{s20}| = \sqrt{(110.55)^2 + (95.056)^2} = \sqrt{12221.3025 + 9035.643136} = \sqrt{21256.945636} \fallingdotseq 145.797^{\%}$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{145.797\ \%} \times \frac{10000kVA}{\sqrt{3} \times 0.21kV} = 18857.504 \fallingdotseq 18858^A$$

④ 100□亘長30mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s30}$は

$\%Z_{s30}$ ＝2.16＋j60.737＋162.585＋j51.478＝164.745＋j112.215

$$|\%Z_{s30}| = \sqrt{(164.745)^2+(112.215)^2} = \sqrt{27140.915025+12592.206225}$$

$$= \sqrt{39733.12125} \fallingdotseq 199.331\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{199.331\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 13792.975 \fallingdotseq 13793^A$$

⑤ 100□亘長50mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s50}$は

$\%Z_{s50}$ ＝2.16＋j60.737＋270.975＋j85.798＝273.135＋j146.535

$$|\%Z_{s50}| = \sqrt{(273.135)^2+(146.535)^2} = \sqrt{74602.728225+21472.506225}$$

$$= \sqrt{96075.23445} \fallingdotseq 309.960\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{309.96\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 8870.072 \fallingdotseq 8870^A$$

⑥ 100□亘長100 mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s100}$は

$\%Z_{s100}$＝2.16＋j60.737＋541.950＋j171.596＝544.11＋j232.333

$$|\%Z_{s100}| = \sqrt{(544.11)^2+(232.333)^2} = \sqrt{296055.6921+53978.622889}$$

$$= \sqrt{350034.314989} \fallingdotseq 591.636\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{591.636\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 4647.059 \fallingdotseq 4647^A$$

15.7 $52D_7$(FSI)

6kV 受電点の%インピーダンス　%Z＝2.553 ＋j12.178

(1) $52F_1$ 3φ750kVA　%Z＝5.72%　$\%X_t = j5.725\% \times \frac{10000\text{kVA}}{750\text{kVA}} = j76.266$

二次母線の%インピーダンス　$\%Z_{s2}$＝2.553＋j12.178＋j76.266＝2.553＋j88.444

$$|\%Z_{s2}| = \sqrt{(2.553)^2+(88.444)^2} = \sqrt{6.517809+7822.341136}$$

$$= \sqrt{7828.85945} \fallingdotseq 88.480\%$$

三相短絡電流 I_s は　$I_s = \frac{100\ \%}{88.480\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 31073.323 = 31073^A$

① 100□亘長5 mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s5}$は

$\%Z_{s5}=2.553+j88.444+27.0970+j8.579=29.650+j97.023$

$$|\%Z_{s5}| = \sqrt{(29.65)^2+(97.023)^2} = \sqrt{879.1225+9413.462529}$$

$$= \sqrt{10292.585029} \fallingdotseq 101.452$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{101.452\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 27100.181 \fallingdotseq 27100^{A}$$

② 100□亘長10mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s10}$は

$\%Z_{s10}=2.553+j88.444+54.195+j17.159=56.748+j105.603$

$$|\%Z_{s10}| = \sqrt{(56.748)^2+(105.603)^2} = \sqrt{3220.335504+11151.993609}$$

$$= \sqrt{14372.329113} \fallingdotseq 119.884^{\%}$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{119.884\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 22933.566 \fallingdotseq 22934^{A}$$

③ 100□亘長20mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s20}$は

$\%Z_{s20}=2.553+j88.444+108.390+j34.319=110.943+j122.763$

$$|\%Z_{s20}| = \sqrt{(110.943)^2+(122.763)^2} = \sqrt{12308.349249+15070.754169}$$

$$= \sqrt{27379.103418} \fallingdotseq 165.466^{\%}$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{165.466\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 16615.906 \fallingdotseq 16616^{A}$$

④ 100□亘長30mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s30}$は

$\%Z_{s30}=2.553+j88.444+162.585+j51.478=165.138+j139.922$

$$|\%Z_{s30}| = \sqrt{(165.138)^2+(139.922)^2} = \sqrt{27270.559044+19578.166084}$$

$$= \sqrt{46848.725128} \fallingdotseq 216.445^{\%}$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{216.445\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 12702.384 \fallingdotseq 12702^{A}$$

⑤ 100□亘長50mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s50}$は

$\%Z_{s50}=2.553+j88.444+270.975+j85.798=273.528+j174.242$

$$|\%Z_{s50}|=\sqrt{(273.528)^2+(174.242)^2}=\sqrt{74817.566784+30360.274564}$$

$$=\sqrt{105177.841348}\fallingdotseq 324.311\%$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{324.311\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=8477.565\fallingdotseq 8478^A$$

⑥ 100□亘長100mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s100}$は

$\%Z_{s100}=2.553+j88.444+541.950+j171.596=544.503+j260.040$

$$|\%Z_{s100}|=\sqrt{(544.503)^2+(260.04)^2}=\sqrt{296483.517009+67620.8016}$$

$$=\sqrt{364104.318609}\fallingdotseq 603.410\%$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{603.41\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=4556.383\fallingdotseq 4556^A$$

15.8 $52E_2$(ISI)

6kV 受電点の%インピーダンス　$\%Z=(2.631+j11.745)\%$

(1) $52F_2$ 3φ500kVA　$\%Z=3.02\%\ jx_t=j3.02\%\times\frac{10000kVA}{500kVA}=j60.40\%$

二次母線の%インピーダンス　$\%Z=2.631+j11.745+j60.40=2631+j72.145$

$$|\%Z_{s2}|=\sqrt{(2.631)^2+(72.145)^2}=\sqrt{6.922161+5204.901025}$$

$$=\sqrt{5211.823186}\fallingdotseq 72.192\%$$

三相短絡電流I_sは　$I_s=\frac{100\ \%}{72.192\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=38084.104\fallingdotseq 38084^A$

① 100□亘長5mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s5}$は

$\%Z_{s5}=2.631+j72.145+27.097+j8.579=29.728+j80.724$

$$|\%Z_{s5}|=\sqrt{(29.728)^2+(80.724)^2}=\sqrt{883.753984+6516.364176}$$

$$=\sqrt{7400.11816}\fallingdotseq 86.023\%$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{86.023\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=31960.843\fallingdotseq 31961^A$$

② 100□亘長10mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s10}$は

$\%Z_{s10}=2.631+j72.145+54.195+j17.159=56.826+j89.304$

$$|\%Z_{s10}|=\sqrt{(56.826)^2+(89.304)^2}=\sqrt{3229.194276+7975.204416}$$

$$=\sqrt{11204.398692}\fallingdotseq 105.850^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{105.85\ \%}\times\frac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\mathrm{kV}}=25974.186\fallingdotseq 25974^{A}$$

③ 100□亘長20mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s20}$は

$\%Z_{s20}=2.631+j72.145+108.390+j34.319=111.021+j106.464$

$$|\%Z_{s20}|=\sqrt{(111.021)^2+(106.464)^2}=\sqrt{12325.662441+11334.583296}$$

$$=\sqrt{23660.245737}\fallingdotseq 153.818^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{153.818\ \%}\times\frac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\mathrm{kV}}=17874.160\fallingdotseq 17874^{A}$$

④ 100□亘長30mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s30}$は

$\%Z_{s30}=2.631+j72.145+162.585+j51.478=165.216+j123.623$

$$|\%Z_{s30}|=\sqrt{(165.216)^2+(123.623)^2}=\sqrt{27296.326656+15282.646129}$$

$$=\sqrt{42578.972785}\fallingdotseq 206.346^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{206.346\ \%}\times\frac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\mathrm{kV}}=13324.065\fallingdotseq 13324^{A}$$

⑤ 100□亘長50mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s50}$は

$\%Z_{s50}=2.631+j72.145+270.975+j85.798=273.606+j157.943$

$$|\%Z_{s50}|=\sqrt{(273.606)^2+(157.943)^2}=\sqrt{74860.243236+24945.991249}$$

$$=\sqrt{99806.234485}\fallingdotseq 315.921^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{315.921\ \%}\times\frac{10000\mathrm{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\mathrm{kV}}=8702.706\fallingdotseq 8703^{A}$$

⑥ 100□亘長100mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s100}$は

$\%Z_{s100}=2.631+j72.145+541.95+j171.596=544.581+j243.741$

$$|\%Z_{s100}|=\sqrt{(544.581)^2+(243.741)^2}=\sqrt{296568.465561+59409.675081}$$

$$=\sqrt{355978.140642}\fallingdotseq 596.639\%$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{596.639\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=46089.092\fallingdotseq 4608^A$$

15.9 52E₃(水流動)

6kV 受電点の%インピーダンス　$\%Z=(1.978+j11.570)\%$

(1) 52F₁ 3φ500kVA　$\%Z=5.14\%$　$\%Z_t=j5.14\%\times\dfrac{10000kVA}{500kVA}=j102.80\%$

二次母線の%インピーダンス　$\%Z_{s2}=1.978+j11.57+j102.8=1.978+j114.370$

$$|\%Z_{s2}|=\sqrt{(1.978)^2+(114.37)^2}=\sqrt{3.912484+13080.4969}=\sqrt{13084.409384}$$

$$\fallingdotseq 114.387\%$$

三相短絡電流 I_s は　$I_s=\dfrac{100\ \%}{114.387\ \%}\times\dfrac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=24035.665\fallingdotseq 24036^A$

① 100□亘長5mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s5}$は

$\%Z_{s5}=1.978+j114.37+27.097+j8.579=29.075+j122.949$

$$|\%Z_{s5}|=\sqrt{(29.075)^2+(122.949)^2}=\sqrt{845.355625+15116.456601}$$

$$=\sqrt{15961.812226}\fallingdotseq 126.340\%$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{126.34\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=21761.656\fallingdotseq 21762^A$$

② 100□亘長10mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s10}$は

$\%Z_{s10}=1.978+j114.37+54.195+j17.159=56.173+131.529$

$$|\%Z_{s10}|=\sqrt{(56.173)^2+(131.529)^2}=\sqrt{3155.405929+17299.877841}$$

$$=\sqrt{20455.28377}\fallingdotseq 143.021\%$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{143.021\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=19223.524\fallingdotseq 19224^A$$

③ 100□亘長20mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s20}$は

$\%Z_{s20} = 1.978 + j114.37 + 108.390 + j34.319 = 110.368 + j148.689$

$|\%Z_{s20}| = \sqrt{(110.368)^2 + (148.689)^2} = \sqrt{12181.095424 + 22108.418721}$

$= \sqrt{34289.514145} \fallingdotseq 185.174\%$

$$I_s = \frac{100\ \%}{185.174\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 14847.482 \fallingdotseq 14847^A$$

④ 100□亘長30mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s30}$は

$\%Z_{s30} = 1.978 + j114.37 + 162.585 + j51.478 = 164.563 + j165.848$

$|\%Z_{s30}| = \sqrt{(164.563)^2 + (166.848)^2} = \sqrt{27080.980969 + 27505.559104}$

$= \sqrt{54586.540073} \fallingdotseq 233.637\%$

$$I_s = \frac{100\ \%}{233.637\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 11767.689 \fallingdotseq 11768^A$$

⑤ 100□亘長50mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s50}$は

$\%Z_{s50} = 1.978 + j114.37 + 270.975 + j85.798 = 272.953 + j200.168$

$|\%Z_{s50}| = \sqrt{(272.953)^2 + (200.168)^2} = \sqrt{74503.340209 + 40067.228224}$

$= \sqrt{114570.568433} \fallingdotseq 338.482\%$

$$I_s = \frac{100\ \%}{338.482\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 8122.640 \fallingdotseq 8123^A$$

⑥ 100□亘長100mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s100}$は

$\%Z_{s100} = 1.978 + j114.37 + 541.950 + j171.596 = 543.928 + j285.966$

$|\%Z_{s100}| = \sqrt{(543.928)^2 + (285.966)^2} = \sqrt{295857.669184 + 81776.553156}$

$= \sqrt{377634.22234} \fallingdotseq 614.519\%$

$$I_s = \frac{100\ \%}{614.519\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 4474.015 \fallingdotseq 4474^A$$

15.10 52E$_3$(水流動)

6kV 受動点の%インピーダンス　$\%Z=(1.978+j11.570)^{\%}$

(1) 52T$_2$ 3φ300kVA　$\%Z=3.7^{\%}$　$\%X_t=j3.70^{\%}\times\dfrac{10000kVA}{300kVA}\fallingdotseq j123.333^{\%}$

二次母線の%インピーダンス　$\%Z_{s2}=1.978+j11.57+j123.333=1.978+j134.903$

$$|\%Z_{s2}|=\sqrt{(1.978)^2+(134.903)^2}=\sqrt{3.912484+18198.819409}$$

$$=\sqrt{18202.731893}\fallingdotseq 134.917^{\%}$$

三相短絡電流 I_s は　$I_s=\dfrac{100\ \%}{134.917\ \%}\times\dfrac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=20378.215\fallingdotseq 20378^A$

① 100$^{\square}$亘長5^{m}の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s5}$は

$\%Z_{s5}=1.978+j134.903+27.097+j8.579=29.075+j143.482$

$$|\%Z_{s5}|=\sqrt{(29.075)^2+(143.482)^2}=\sqrt{845.355625+20587.084324}$$

$$=\sqrt{21432.439949}\fallingdotseq 146.398^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{146.398\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=18780.090\fallingdotseq 18780^A$$

② 100$^{\square}$亘長10^{m}の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s10}$は

$\%Z_{s10}=1.978+j134.903+54.159+j17.159=56.137+j152.062$

$$|\%Z_{s10}|=\sqrt{(56.137)^2+(152.062)^2}=\sqrt{3151.362769+23122.851844}$$

$$=\sqrt{26274.214613}\fallingdotseq 162.093^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{162.093\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=16961.667\fallingdotseq 16962^A$$

③ 100$^{\square}$亘長20^{m}の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s20}$は

$\%Z_{s20}=1.978+j134.903+108.390+j34.319=110.368+j169.222$

$$|\%Z_{s20}|=\sqrt{(110.368)^2+(169.222)^2}=\sqrt{12181.095424+28636.085284}$$

$$=\sqrt{40817.180708}\fallingdotseq 202.032^{\%}$$

$$I_s=\frac{100\ \%}{202.032\ \%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times 0.21kV}=13608.575\fallingdotseq 13609^A$$

④ 100□亘長30mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s30}$は

$\%Z_{s30} = 1.978 + j134.903 + 162.585 + j51.478 = 164.563 + j186.381$

$|\%Z_{s30}| = \sqrt{(164.563)^2 + (186.381)^2} = \sqrt{27080.980969 + 34737.877161}$

$= \sqrt{61818.85813} \fallingdotseq 248.633^{\%}$

$$I_s = \frac{100\ \%}{248.633\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 11057.935 \fallingdotseq 11058^{A}$$

⑤ 100□亘長50mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s50}$は

$\%Z_{s50} = 1.978 + j134.903 + 270.975 + j85.798 = 272.953 + j220.701$

$|\%Z_{s50}| = \sqrt{(272.953)^2 + (220.701)^2} = \sqrt{74503.340209 + 48708.931401}$

$= \sqrt{123212.27161} \fallingdotseq 351.016^{\%}$

$$I_s = \frac{100\ \%}{351.016\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 7832.599 \fallingdotseq 7833^{A}$$

⑥ 100□亘長100mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s100}$は

$\%Z_{s100} = 1.978 + j134.903 + 541.950 + j171.596 = 543.928 + j306.499$

$|\%Z_{s100}| = \sqrt{(543.928)^2 + (306.499)^2} = \sqrt{295857.669184 + 93941.637001}$

$= \sqrt{389799.306185} \fallingdotseq 624.339^{\%}$

$$I_s = \frac{100\ \%}{624.339\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 4403.645 \fallingdotseq 4404^{A}$$

15.11 $52D_{10}$(MMF)

6kV 受電点の%インピーダンス　$\%Z = (5.440 + j12.736)^{\%}$

(1) $52T_2$ 3φ300kVA　$\%Z = 6.12\%$　$\%X_t = j6.12^{\%} \times \dfrac{10000\text{kVA}}{300\text{kVA}} = j204.0^{\%}$

二次母線の%インピーダンス　$\%Z_{s2} = 5.440 + j12.736 + j204.0 = 5.440 + j216.736$

$|\%Z_{s2}| = \sqrt{(5.44)^2 + (216.736)^2} = \sqrt{29.5936 + 46974.493696}$

$= \sqrt{47004.087296} \fallingdotseq 216.804^{\%}$

三相短絡電流 I_s は　$I_s = \dfrac{100\ \%}{216.804\ \%} \times \dfrac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 12681.351 \fallingdotseq 12681^{A}$

① 100□亘長5mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s5}$は

$\%Z_{s5} = 5.44 + j216.736 + 27.097 + j8.579 = 32.537 + j225.315$

$$|\%Z_{s5}| = \sqrt{(32.537)^2 + (225.315)^2} = \sqrt{1058.656369 + 50766.849225}$$

$$= \sqrt{51825.505594} \fallingdotseq 227.652\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{227.652\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 12077.063 \fallingdotseq 12077^A$$

② 100□亘長10mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s10}$ は

$\%Z_{s10} = 5.44 + j216.736 + 54.195 + j17.159 = 59.635 + j233.895$

$$|\%Z_{s10}| = \sqrt{(59.635)^2 + (233.895)^2} = \sqrt{3556.333225 + 54706.871025}$$

$$= \sqrt{58263.20425} = 241.377\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{241.377\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 11390.346 \fallingdotseq 11390^A$$

③ 100□亘長20mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s20}$ は

$\%Z_{s20} = 5.44 + j216.736 + 108.39 + j34.319 = 113.83 + j251.055$

$$|\%Z_{s20}| = \sqrt{(113.83)^2 + (251.055)^2} = \sqrt{12957.2689 + 63028.613025}$$

$$= \sqrt{75985.881925} \fallingdotseq 275.655\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{275.655\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 9973.944 \fallingdotseq 9974^A$$

④ 100□亘長30mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s30}$は

$\%Z_{s30} = 5.44 + j216.736 + 162.585 + j51.478 = 168.025 + j268.214$

$$|\%Z_{s30}| = \sqrt{(168.025)^2 + (268.214)^2} = \sqrt{28232.400625 + 71938.749796}$$

$$= \sqrt{100171.150421} \fallingdotseq 316.498\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{316.498\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 8686.840 \fallingdotseq 8687^A$$

⑤ 100□亘長50mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s50}$は

$\%Z_{s50} = 5.44 + j216.736 + 270.975 + j85.798 = 276.415 + j302.534$

$$|\%Z_{s50}| = \sqrt{(276.415)^2 + (302.534)^2} = \sqrt{76405.252225 + 91526.821156}$$

$$= \sqrt{167932.073381} \fallingdotseq 409.795^{\%}$$

$$I_s = \frac{100\%}{409.795\%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 6709.129 \fallingdotseq 6709^{A}$$

⑥ 100□亘長100mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s100}$は

$\%Z_{s100} = 5.44 + j216.736 + 541.950 + j171.596 = 547.39 + j388.686$

$$|\%Z_{s100}| = \sqrt{(547.39)^2 + (388.686)^2} = \sqrt{299635.8121 + 151076.806596}$$

$$= \sqrt{450712.618696} \fallingdotseq 671.351^{\%}$$

$$I_s = \frac{100\%}{671.351\%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 4095.276 \fallingdotseq 4095^{A}$$

15.12 52E5(A安，ボイラ)

6kV受電点の%インピーダンス　$\%Z=(2.192+j11.464)^{\%}$

(1) 52R(ボイラ) 3φ200kVA　$\%Z=3.3\%$　$\%\chi_t=j3.3^{\%}\times\dfrac{10000kVA}{200kVA}=j165.0\%$

二次母線の%インピーダンス$\%Z_{s2}=2.192+j11.464+j165.0=2.192+j176.464$

$$|\%Z_{s2}|=\sqrt{(2.192)^2+(176.464)^2}=\sqrt{4.804864+31139.543296}=\sqrt{31144.34816}$$
$$\fallingdotseq 176.477\%$$

三相短絡電流I_sは$I_s=\dfrac{100\%}{176.477\%}\times\dfrac{10000kVA}{\sqrt{3}\times0.21kV}=15579.183\fallingdotseq15579^A$

① 100□ 亘長 5m の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s5}$は

$\%Z_{s5}=2.192+j176.477+27.097+j8.579=29.289+j185.056$

$$|\%Z_{s5}|=\sqrt{(29.289)^2+(185.056)^2}=\sqrt{857.845521+34245.723136}$$
$$=\sqrt{35103.568657}\fallingdotseq 187.359\%$$

$$I_s=\frac{100\%}{187.359\%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times0.21kV}=14674.329\fallingdotseq14674^A$$

② 100□ 亘長10m の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s10}$は

$\%Z_{s10}=2.192+j176.477+54.195+j17.159=56.387+j193.636$

$$|\%Z_{s10}|=\sqrt{(56.387)^2+(193.636)^2}=\sqrt{3179.493769+37494.900496}$$
$$=\sqrt{40674.394265}\fallingdotseq 201.678\%$$

$$I_s=\frac{100\%}{201.678\%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times0.21kV}=13632.461\fallingdotseq13632^A$$

③ 100□ 亘長20m の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s20}$は

$\%Z_{s20}=2.192+j176.477+108.390+j34.319=110.582+j210.796$

$$|\%Z_{s20}|=\sqrt{(110.582)^2+(210.796)^2}=\sqrt{12228.378724+44434.953616}$$
$$=\sqrt{56663.33234}\fallingdotseq 238.040\%$$

$$I_s=\frac{100\%}{238.040\%}\times\frac{10000kVA}{\sqrt{3}\times0.21kV}=11550.023\fallingdotseq11550^A$$

④ 100□ 亘長30m の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s30}$は

$\%Z_{s30}$ =2.192 + j176.477 +162.585 + j51.478=164.777 + j227.955

$$|\%Z_{s30}| = \sqrt{(164.777)^2+(227.955)^2} = \sqrt{27151.459729+51963.482025}$$

$$= \sqrt{79114.941754} = 281.273\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{281.273\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\text{kV}} = 9774.730 \fallingdotseq 9775^A$$

⑤ 100□ 亘長50m の点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s50}$は

$\%Z_{s50}$ =2.192 + j176.477 +270.975 + j85.798=273.167 + j262.275

$$|\%Z_{s50}| = \sqrt{(273.167)^2+(262.275)^2} = \sqrt{74620.209889+68788.175625}$$

$$= \sqrt{143408.385514} \fallingdotseq 378.692\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{378.692\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\text{kV}} = 7260.168 \fallingdotseq 7260^A$$

⑥ 100□ 亘長100mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s100}$は

$\%Z_{s100}$=2.192 + j176.477 +541.950 + j171.596 = 544.142+ j348.073

$$|\%Z_{s100}| = \sqrt{(544.142)^2+(348.073)^2} = \sqrt{296090.516164 + 121154.813329}$$

$$= \sqrt{417245.329493} \fallingdotseq 645.945\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{645.945\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\text{kV}} = 4256.349 \fallingdotseq 4256^A$$

15.13 52D8（本館）

6kV 受電点の%インピーダンス%Z=(8.443+j11.768)%

(1) 52R （本館）3φ 200kVA %Z=3.84% $\%\chi_t$ =j3.84%× $\frac{10000\text{kVA}}{200\text{kVA}}$ =j192.0%

二次母線の%インピーダンス $\%Z_{s2}$=8.443 +j11.768 +j192.0=8.443 +j203.768

$$|\%Z_{s2}| = \sqrt{(8.443)^2+(203.768)^2} = \sqrt{71.284249 + 41521.397824}$$

$$= \sqrt{41592.682073} \fallingdotseq 203.942\%$$

三相短絡電流 I_s は $I_s = \frac{100\ \%}{203.942\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\text{kV}} = 13481.125 \fallingdotseq 13481^A$

① 100□ 亘長5mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s5}$は

$\%Z_{s5}=8.443 + j203.768 + 27.079 + j8.579 = 35.522 + j212.347$

$|\%Z_{s5}|=\sqrt{(35.522)^2+(212.347)^2}=\sqrt{1261.812484+45091.248409}$

$=\sqrt{46353.060893} \fallingdotseq 215.297\%$

$$I_s = \frac{100\ \%}{215.297\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\text{kV}} = 12770.115 \fallingdotseq 12770^A$$

② 100□ 亘長10mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s10}$は

$\%Z_{s10}=8.443 + j203.768 + 54.195 + j17.159 = 62.638 + j220.927$

$|\%Z_{s10}|=\sqrt{(62.638)^2+(220.927)^2}=\sqrt{3923.519044+48808.739329}$

$=\sqrt{52732.258373} \fallingdotseq 229.635\%$

$$I_s = \frac{100\ \%}{229.635\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\text{kV}} = 11972.772 \fallingdotseq 11973^A$$

③ 100□ 亘長20mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s20}$は

$\%Z_{s20}=8.443 + j203.768 + 108.39 + j34.319 = 116.833 + j238.087$

$|\%Z_{s20}|=\sqrt{(116.833)^2+(238.087)^2}=\sqrt{13649.949889+56685.419569}$

$=\sqrt{70335.369458} \fallingdotseq 265.208\%$

$$I_s = \frac{100\ \%}{265.208\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\text{kV}} = 10366.835 \fallingdotseq 10367^A$$

④ 100□ 亘長30mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s30}$は

$\%Z_{s30}=8.443 + j203.768 + 162.585 + j51.478 = 171.028 + j255.246$

$|\%Z_{s30}|=\sqrt{(171.028)^2+(255.246)^2}=\sqrt{29250.576784+65150.520516}$

$=\sqrt{94401.0973} \fallingdotseq 307.247\%$

$$I_s = \frac{100\ \%}{307.247\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3}\times 0.21\text{kV}} = 8948.395 \fallingdotseq 8948^A$$

⑤ 100□ 亘長50mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s50}$は

$$\%Z_{s50} = 8.443 + j203.768 + 270.975 + j85.798 = 279.418 + j289.566$$

$$|\%Z_{s50}| = \sqrt{(279.418)^2 + (289.566)^2} = \sqrt{78074.418724 + 83848.468356}$$

$$= \sqrt{161922.88708} \fallingdotseq 402.396\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{402.396\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 6832.492 \fallingdotseq 6832^{A}$$

⑥ 100□ 亘長100mの点の合成%インピーダンス，$\%Z_{s100}$は

$$\%Z_{s100} = 8.443 + j203.768 + 541.95 + j171.596 = 550.393 + j375.364$$

$$|\%Z_{s100}| = \sqrt{(550.393)^2 + (375.364)^2} = \sqrt{302932.454449 + 140898.132496}$$

$$= \sqrt{443830.586945} \fallingdotseq 666.206\%$$

$$I_s = \frac{100\ \%}{666.206\ \%} \times \frac{10000\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.21\text{kV}} = 4126.903 \fallingdotseq 4127^{A}$$

表15－1　構内二次変電設備200V系の短絡電流

	施設名	変圧器		三相短絡電流（A）						
		定格容量(kVA)	二次電圧(V)	二次母線	600 V CV3C－100 □ 亘長					
					5m	10m	20m	30m	50m	100m
$52E_1$	Na流動伝熱	3φ 1000	210	41735	34520	27544	18515	13645	8824	4635
$52E_1$	Na流動伝熱	3φ 1000	210	49115	39009	29967	19361	14035	5959	4669
$52D_{11}$	Na機器第2	3φ 1000	210	53787	41382	31068	19682	14168	8959	4677
$52E_6$	D C A	3φ 1000	210	42832	34753	27476	18383	13547	8773	4622
$252F_2$	Na機器構造	3φ 1000	210	37258	31537	25783	17836	13319	8707	4611
$52D_3$	ATR工学	3φ 750	210	27431	24463	21192	15852	12321	8343	4528
$52D_{11}$	Na機器第2	3φ 750	210	45238	36543	28596	18858	13793	8870	4647
$52D_7$	F S I	3φ 750	210	31073	27100	22934	16616	12702	8478	4556
$52E_2$	I S I	3φ 500	210	38084	31961	25974	17874	13324	8703	4608
$52E_3$	水流動	3φ 500	210	24036	21762	19224	14847	11768	8123	4474
$52E_3$	水流動	3φ 300	210	20378	18780	16962	13609	11058	7833	4404
$52D_{10}$	M M F	3φ 300	210	12681	12077	11390	9974	8687	6709	4095
$52E_5$	A安，ﾎｲﾗ	3φ 200	210	15579	14674	13632	11550	9775	7260	4256
$52D_8$	本館	3φ 200	210	13481	12770	11973	10367	8948	6832	4127

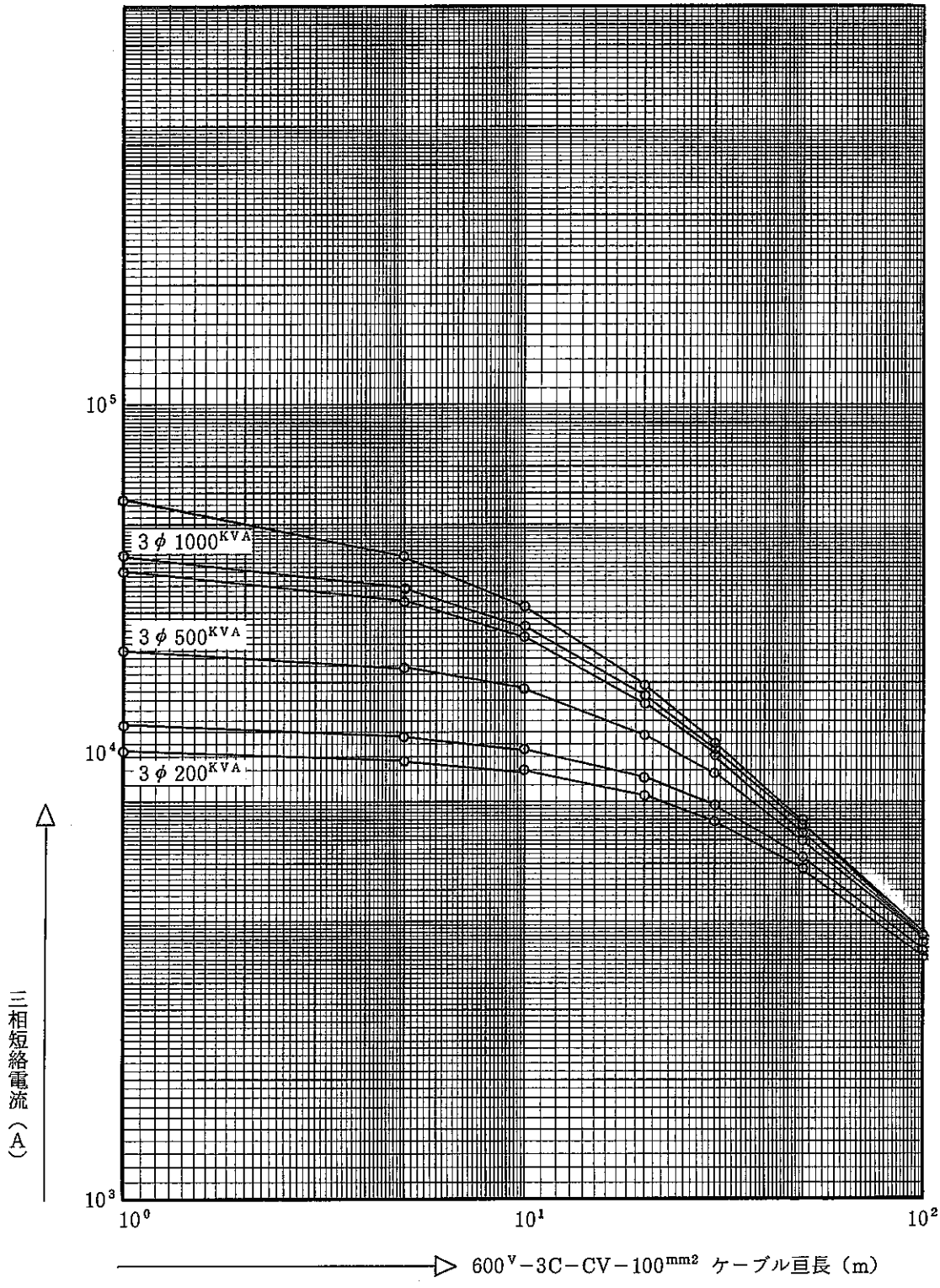


図15－1　三相短絡電流と電力ケーブルとの関係
（構内二次変電設備200系）

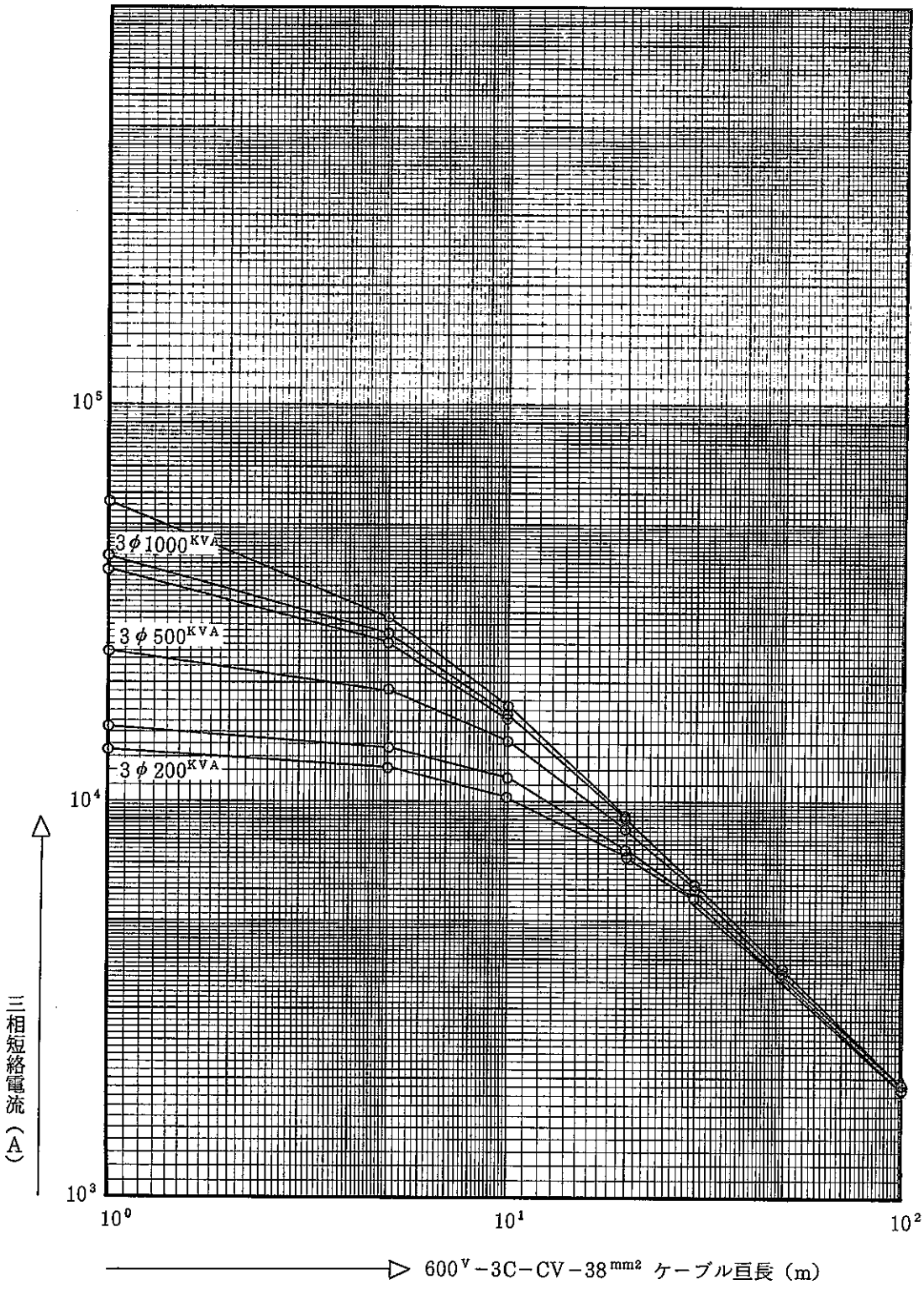


図15－2　三相短絡電流と電力ケーブルとの関係

（構内二次変電設備200V系）

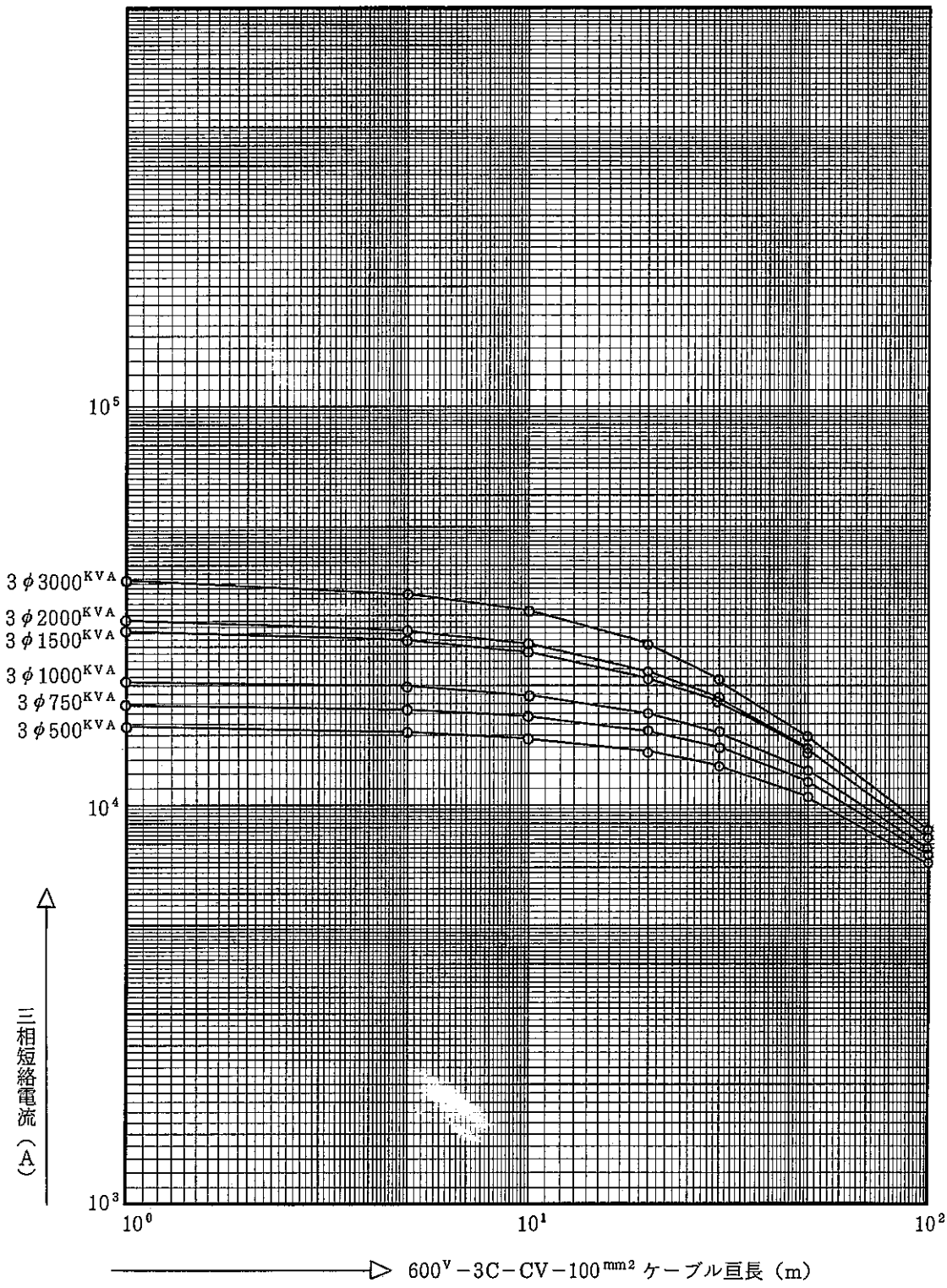


図15－3　三相短絡電流と電力ケーブルとの関係

（構内二次変電設備400V系）

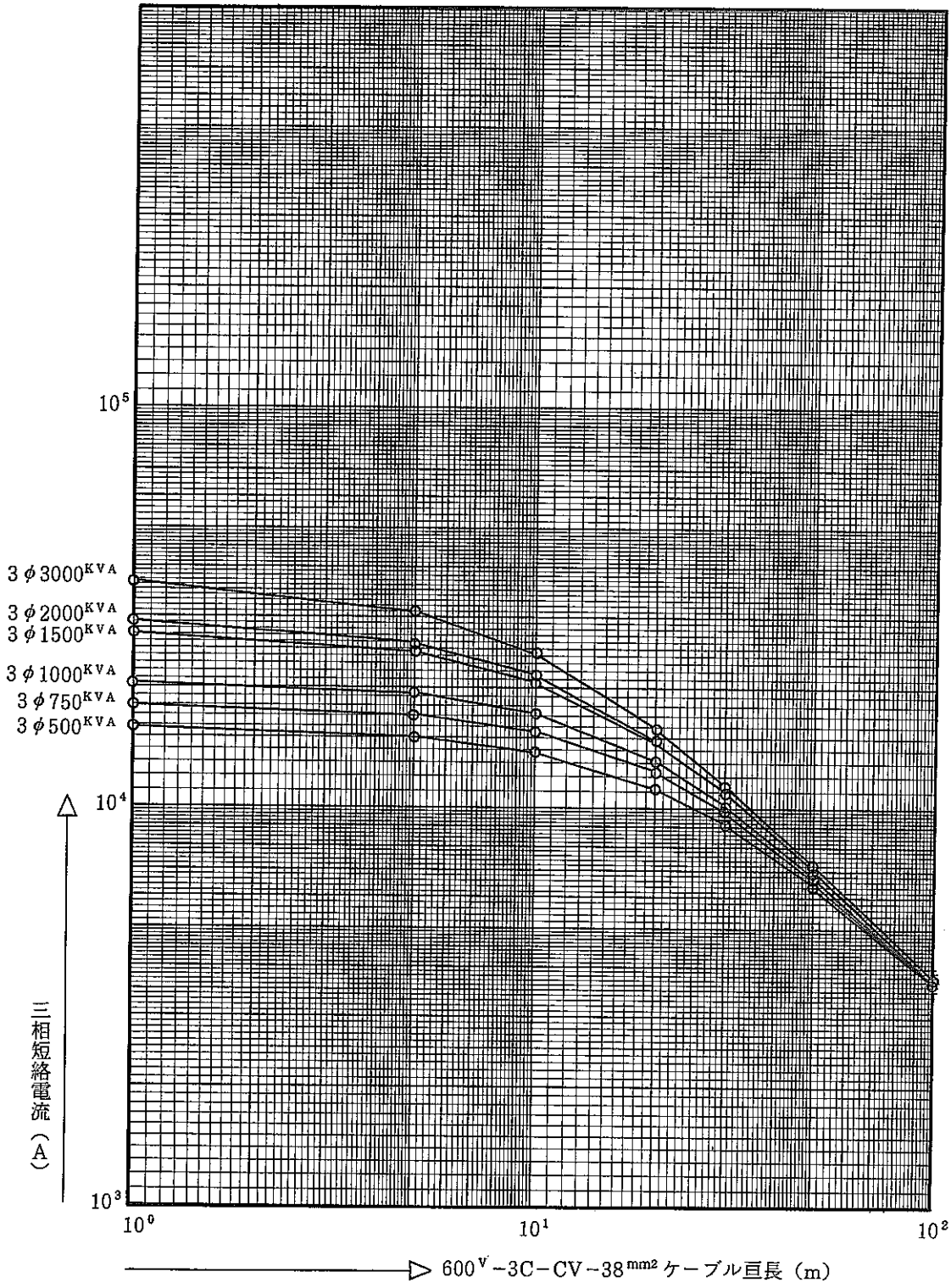


図15－4　三相短絡電流と電力ケーブルとの関係

（構内二次変電設備400V系）

（参考資料）

表15－2　600V CV(架橋ポリエチレン絶縁電力ケーブル) インダクタンス表

1991.6.24

導体			絶縁体厚さ	導体中心距離	インダクタンス	備考
公称断面積 (mm²)	構成 本／mm	外径 d_1 (mm)	t (mm)	$S=d_1+2t$ (mm)	$L=0.2\log_e \frac{2s}{d_1}+0.05$ (mH／km)	
2.0	7/0.6	1.8	0.8	3.4	0.315827≒0.316	
3.5	7/0.8	2.4	0.8	4.0	0.290794≒0.291	
5.5	7/1.0	3.0	1.0	5.0	0.290794≒0.291	
8	円形圧縮	3.4	1.0	5.4	0.281154≒0.281	
14	—	4.4	1.0	6.4	0.263568≒0.264	
22	—	5.5	1.2	7.9	0.261052≒0.261	
(30)	—	6.5	1.2	8.9	0.251479≒0.251	
38	—	7.3	1.2	9.7	0.245479≒0.245	
(50)	—	8.5	1.5	11.5	0.249085≒0.249	
60	—	9.3	1.5	12.3	0.244546≒0.245	
(80)	—	10.8	1.5	13.8	0.237653≒0.238	
100	—	12.0	2.0	16.0	0.246165≒0.246	
(125)	—	13.5	2.0	17.5	0.240531≒0.241	
150	—	14.7	2.0	18.7	0.236764≒0.237	
200	—	17.0	2.5	22.0	0.240195≒0.240	
250	—	19.0	2.5	24.0	0.235352≒0.235	
325	—	21.7	2.5	26.7	0.230099≒0.230	

電力ケーブルの導体構成は，昭和電線㈱「電線要覧」による。

表15－3　600V CV3C電力ケーブル（架橋ポリエチレン絶縁電力ケーブル）
導体（銅）210Vにおける%インピーダンス表（at 10MVAベース）

導　体	抵　　抗			リアクタンス			インピーダンス
公　称 断面積 (mm²)	r(Ω／km) (at 20℃)	50Hz at 90℃		インダクタンス L (mH/km)	50Hz		50Hz
		R(Ω／km)	%／km		ωL(Ω／km)	%／km	%Z(%／km)
2.0	9.42	12.011	272358.276	0.316	0.099224	2249.977	272367.569
3.5	5.30	6.758	153242.630	0.291	0.091374	2071.972	153256.636
5.5	3.40	4.335	98299.319	0.291	0.091374	2071.972	98321.153
8	2.36	3.010	68253.968	0.281	0.088234	2000.770	68283.286
14	1.34	1.71	38775.510	0.264	0.082896	1879.727	38821.045
22	0.849	1.08	24489.795	0.261	0.081954	1858.367	24560.203
(30)	0.622	0.793	17981.859	0.251	0.078814	1787.165	18070.451
38	0.491	0.626	14195.011	0.245	0.076930	1744.444	14301.797
(50)	0.373	0.476	10793.650	0.249	0.078186	1772.925	10938.287
60	0.311	0.397	9002.267	0.245	0.076930	1744.444	9169.727
(80)	0.234	0.299	6780.045	0.238	0.074732	1694.603	6988.611
100	0.189	0.239	5419.501	0.246	0.077244	1751.564	5695.521
(125)	0.149	0.191	4331.065	0.241	0.075674	1715.963	4658.610
150	0.124	0.159	3605.442	0.237	0.074418	1687.482	3980.804
200	0.0933	0.120	2721.088	0.240	0.075360	1708.843	3213.170
250	0.0754	0.0977	2215.419	0.235	0.073790	1673.242	2776.296
325	0.0579	0.0759	1721.088	0.230	0.072220	1637.641	2375.712

公称断面積において（　）は標準外サイズを示す。

$$\%r = r\ \frac{P}{10E^2} = R^{\Omega/km} \times \frac{10,000^{kVA}}{10\times(0.21^{kv})^2}\ (\%/km)$$ （小数点4位以下切捨）

$$\%\chi = \chi\ \frac{P}{10E^2} = \omega L^{\Omega/km} \times \frac{10,000^{kVA}}{10\times(0.21^{kv})^2}\ (\%/km)$$ （小数点4位以下切捨）

$$\omega L = 2\pi f L = 2\times3.14\times50\times L^{mH/km}\times10^{-3} = 0.314L\ (\Omega/km)$$

表15－4　600V CV3C電力ケーブル（架橋ポリエチレン絶縁電力ケーブル）
導体（銅）420Vにおける％インピーダンス表（at 10MVAベース）

導体	抵抗			リアクタンス			インピーダンス
公称断面積 (mm²)	r(Ω／km) (at 20℃)	50Hz at 90℃ R(Ω／km)	50Hz at 90℃ ％／km	インダクタンス L (mH/km)	50Hz ωL(Ω／km)	50Hz ％／km	50Hz ％Z(％／km)
2.0	9.42	12.011	68089.569	0.316	0.099224	562.494	68091.892
3.5	5.30	6.758	38310.657	0.291	0.091374	517.993	38314.158
5.5	3.40	4.335	24574.829	0.291	0.091374	517.993	24580.287
8	2.36	3.010	17063.492	0.281	0.088234	500.192	17070.821
14	1.34	1.71	9693.877	0.264	0.082896	469.931	9705.260
22	0.849	1.08	6122.448	0.261	0.081954	464.591	6140.050
(30)	0.622	0.793	4495.464	0.251	0.078814	446.791	4517.612
38	0.491	0.626	3548.752	0.245	0.076930	436.111	3575.448
(50)	0.373	0.476	2698.412	0.249	0.078186	443.231	2734.571
60	0.311	0.397	2250.566	0.245	0.076930	436.111	2292.431
(80)	0.234	0.299	1695.011	0.238	0.074732	423.650	1747.152
100	0.189	0.239	1354.875	0.246	0.071244	437.891	1423.880
(125)	0.149	0.191	1082.766	0.241	0.075674	428.990	1164.652
150	0.124	0.159	901.360	0.237	0.074418	421.870	995.200
200	0.0933	0.120	680.272	0.240	0.075360	427.210	803.292
250	0.0754	0.0977	553.854	0.235	0.073790	418.310	694.073
325	0.0579	0.0759	430.272	0.230	0.072220	409.410	593.928

公称断面積において（　）は標準外サイズを示す。

$$\%r = r\,\frac{P}{10E^2} = R^{\Omega/km} \times \frac{10,000^{kVA}}{10\times(0.42^{kv})^2}\ (\%/km)$$ （小数点4位以下切捨）

$$\%\chi = \chi\,\frac{P}{10E^2} = \omega L^{\Omega/km} \times \frac{10,000^{kVA}}{10\times(0.42^{kv})^2}\ (\%/km)$$ （小数点4位以下切捨）

$$\omega L = 2\pi f L = 2\times3.14\times50\times L^{mH/km}\times10^{-3} = 0.314L\ (\Omega/km)$$

表15－5　6kV三相変圧器の励磁突入電流表

三相変圧器		1985年以前製造の変圧器			1986年以降製造の変圧器		
定格容量 P(kVA)	定格電流 I(A)	$k=56.46(P)^{-0.2632}$	減衰係数 k_1 (0.025^s)	突入電流 $I_{in}=k, k_1 I$ (A)	$k=48.159(P)^{-0.213727}$	減衰係数 k_1 (0.025^s)	突入電流 $I_{in}=k, k_1 I$ (A)
3000	274.94	6.8637676	0.753	1421	8.7000702	0.753	1801
2500	229.11	7.2011698	〃	1242	9.0457781	〃	1561
2000	183.29	7.6367711	〃	1054	9.4876403	〃	1309
1500	137.47	8.2374665	〃	853	10.089299	〃	1044
1200	109.97	8.7357537	〃	723	10.582135	〃	876
1000	91.65	9.1651772	〃	633	11.002628	〃	759
750	68.73	9.886094	〃	512	11.700360	〃	606
500	45.82	10.999475	〃	380	12.759530	〃	440
450	41.24	11.308769	〃	351	13.050114	〃	405
400	36.66	11.664836	〃	322	13.382800	〃	369
300	27.49	12.582372	〃	260	14.231470	〃	295
250	22.91	13.200885	〃	228	14.796975	〃	255
200	18.33	13.999411	〃	193	15.197670	〃	214
150	13.75	15.100581	〃	156	16.503953	〃	171
100	9.17	16.801222	〃	116	17.997967	〃	124
75	6.87	18.122776	〃	94	19.139308	〃	99
60	5.50	19.21903	〃	80	20.074213	〃	83
50	4.58	20.163781	〃	70	20.871886	〃	72
30	2.75	23.065483	〃	48	23.279667	〃	48

P：変圧器定格容量（kVA）　I：変圧器定格一次電流（A）〔at 6.3kV〕

k：$\dfrac{\text{突入電流（波高値）}}{\text{定格電流（実効値）}}$ を求める実験式　　k_1：減衰係数を求める実験式

$k_1 = 0.8C^{-0.27}$　但し　C：50Hzで表した時限（1Hz～5Hzに適用する）

$C = 50^{Hz/s} \times 0.025^s = 1.25^{Hz}$　　$k_1 = 0.8(1.25)^{-0.27} = 0.7532242 \fallingdotseq 0.753$

表15－6　6kV単相変圧器の励磁突入電流表

三相変圧器		1985年以前製造の変圧器			1986年以降製造の変圧器		
定格容量 P(kVA)	定格電流 I(A)	$k=56.46(\sqrt{3}P)^{-0.2632}$	減衰係数 k_1 (0.025[s])	突入電流 $I_{in}=k_1 I$ (A)	$k=48.159(\sqrt{3}P)^{-0.213727}$	減衰係数 k_1 (0.025[s])	突入電流 $I_{in}=k_1 I$ (A)
500	79.37	9.5188866	0.753	569	11.346203	0.753	678
450	71.43	9.7865483	〃	526	11.604600	〃	624
400	63.49	10.094687	〃	483	11.900435	〃	569
300	47.62	10.888718	〃	390	12.655101	〃	454
250	39.68	11.423975	〃	341	13.157967	〃	393
200	31.75	12.115015	〃	290	13.800699	〃	330
150	23.81	13.067961	〃	234	14.675870	〃	263
100	15.87	14.539687	〃	174	16.004397	〃	191
75	11.90	15.683353	〃	141	17.019316	〃	153
60	9.52	16.632045	〃	119	17.850665	〃	128
50	7.94	17.449627	〃	104	18.559983	〃	111
30	4.76	19.960745	〃	72	20.701062	〃	74

実験式（I）　三相変圧器　$I_{in}=k_1.k.I=0.753\ \{56.46(P)^{-0.2632}\}\times I$ ……(1)

単相変圧器　$I_{in}=k_1.k.I=0.753\ \{56.46(\sqrt{3}P)^{-0.2632}\}\times I$ ……(2)

実験式（II）　三相変圧器　$I_{in}=k_1 kI=0.753\ \{48.159(P)^{-0.213727}\}\times I$ ……(3)

単相変圧器　$I_{in}=k_1 kI=0.753\ \{48.159(\sqrt{3}P)^{-0.213727}\}\times I$ ……(4)

I_{in}：変圧器励磁突入電流最大値（A）

k_1：減衰係数

k：$\dfrac{\text{突入電流（波高値）}}{\text{定格電流（実効値）}}$

I：変圧器定格一次電流（A）　　$I=\dfrac{P^{(kVA)}}{\sqrt{3}\times 6.3^{(kV)}}$

P：変圧器定格容量（kVA）