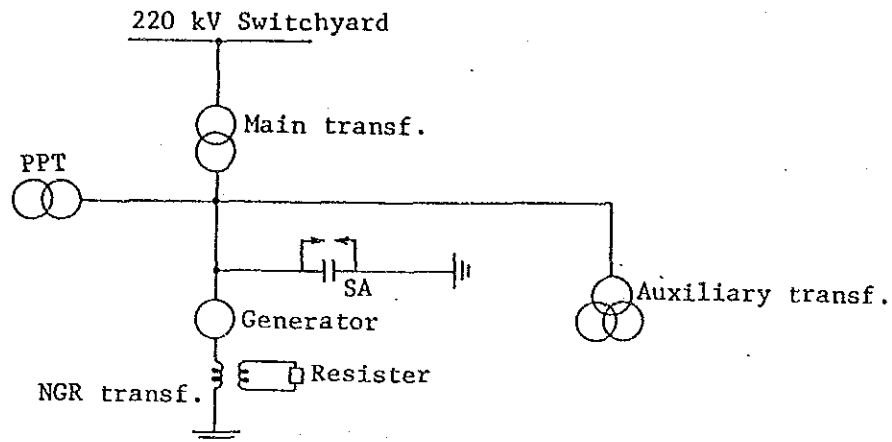


## E-7 発電機中性点接地変圧器容量

### 発電機主回路

発電機中性点接地用変圧器および抵抗器の容量を、事故点に於ける発電機を回路の静電容量を通した充電電流によって求めた。

#### 1. 回路



#### 2. 静電容量

本計算に用いた各機器の静電容量値は、本ユニットと同容量機より想定した。

Supposing capacitance value will be as follows:

|              |  |  |
|--------------|--|--|
| $C_G$ :      | Generator capacitance                              | 0.442 ( $\mu\text{F}/\text{phase}$ )                       |
| $C_M$ :      | Main transf. capacitance<br>(Low side-Earth)       | 0.0024 ( $\mu\text{F}/\text{phase}$ )                      |
| $C_A$ :      | Auxiliary transf. capacitance<br>(High side-Earth) | 0.0018 ( $\mu\text{F}/\text{phase}$ )                      |
| $C_S$ :      | Sarge absorber capacitance                         | 0.125 ( $\mu\text{F}/\text{phase}$ )                       |
| $C_I$ :      | Isolated phase bus capacitance                     | 64.9 (pF/phase/m)<br>0.0026 ( $\mu\text{F}/\text{phase}$ ) |
| $C_E$ :      | Power potential transf. capacitance                | 0.002 ( $\mu\text{F}/\text{phase}$ )                       |
| IPB length : |  | 40 (m/phase)   |

### 3. 計 算

#### (1) 全静電容量および電流

$$\text{Total capacitance } C = C_G + C_M + C_A + C_S + C_I + C_E$$

$$C = 0.442 + 0.0024 + 0.0018 + 0.125 + 0.0026 + 0.002$$

$$= 0.5758 \text{ ( F/phase)}$$

Capacitive fault current ( $I_c$ ) at the line to ground fault in the generator circuit.

$$I_c = j3 \ c \ E_g$$

$$= j3 \times 2 \times 50 \times 0.5758 \times 10^{-6} \times \frac{18,000}{\sqrt{3}}$$

$$= 5.64 \text{ (A)}$$

#### (2) 中性点接地変圧器定格

Rated voltage

$$\text{Primary} \quad V_1 = 18,000 \text{ (V)}$$

$$\text{Secondary} \quad V_2 = 190 \text{ (V)}$$

Secondary voltage under one phase ground fault

$$V_{2c} = \frac{V_g}{\sqrt{3}} \times \frac{V_2}{V_1}$$

$$= \frac{18,000}{\sqrt{3}} \times \frac{190}{18,000} = 109.7 = 110 \text{ (V)}$$

Capacity of neutral grounding transformer

$$P_c = V_1 \times I_c$$

$$= 18,000 \times 5.64 = 101.5 \text{ (KVA)}$$

Therefore, 110 (KVA) (5 minutes)

(3) 中性点接地抵抗器

Secondary current of neutral grounding resister

$$I_2 = \frac{P_c}{V_2}$$
$$= \frac{100 \times 10}{190} = 578.9 = 579 \text{ (A)}$$

Resistance of neutral grounding resister

$$R = \frac{V_{2c}}{I_{c2}} = \frac{V_{2c}}{I_c \times \frac{V_1}{\sqrt{2}}}$$
$$= \frac{110}{5.64 \times \frac{18,000}{190}} = \frac{110}{534.3} = 0.206 = 0.21 \text{ ( )}$$

4. 結 論

In case of generator voltage 18 (KV) is as foolws.

(1) 接地変圧器

Rated voltage

Primary 18,000 (V)

Secondary 190 (V)

Time rating 5 (minutes)

(2) 接地抵抗器

Resistance 0.21 (ohm)

Rated current 579 (A)

Rated voltage 110 (V)

Time rating 5 (minutes)

282



E-8 発電機サージアブソーバ容量

1. 回路構成

発電機サージアブソーバの回路構成は Fig. 1 の通り。

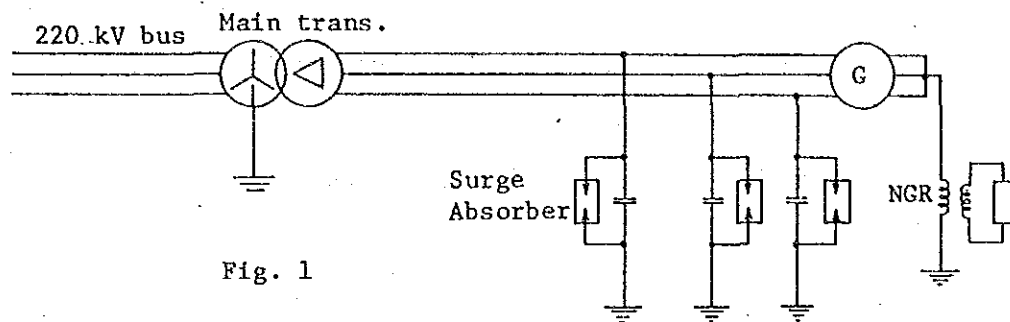


Fig. 1

2. 設計条件

(1) 侵入サージ

主変圧器高圧側よりの侵入サージの値は、主変圧高圧側の B I L 値と同等とする。

$$220 \text{ kV side } (E_2) : 950 \text{ kV} : 1.2 \times 50 \mu\text{s}$$

(2) 発電機定数

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| Rated capacity:            | 248.3 MVA |
| Frequency:                 | 50 Hz     |
| Rated voltage:             | 18 KV     |
| Surge impedance ( $Z_1$ ): | 42 /phase |

(3) 主変圧器定数

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Rated capacity: | 247 MVA |
|-----------------|---------|

7/23

Rated voltage

Low voltage side: 18 KV

High voltage side: 220 KV

%IZ: 11%

Capacitance

High-Low, Earth (CHE): 1,700 pF/phase

Low-High, Earth (CHE): 3,400 pF/phase

High-Low (CHE): 2,500 pF/phase

Transformer ratio, N

$$= \frac{18}{220} = 0.0818 \quad \frac{20}{220} = 0.0909$$

Transformer inductance,  $L_1$

$$= \frac{1}{2F \times 50} \times \frac{(18)^2}{247} \times \frac{11}{100} = 0.473 \text{ (mH)}$$

(4) 発電機衝撃耐電圧

$$(2E + 3) \times 1.25 \times \sqrt{2} = (2 \times 18 + 3) \times 1.25 \times \sqrt{2}$$
$$= 68.9 \text{ (KV)}$$

where E: Generator voltage (KV)

1.25: Margin of generator

(5) 静電容量

$$C_1 = 0.1 \text{ (}\mu\text{F/phase)}$$

(6) サージ アブソーバー

Rated voltage: 22.5 KV

Discharge spark voltage: 33.8 KV or more

Impulse spart voltage: 65.5 KV

(7) Other capacitance of this circuit

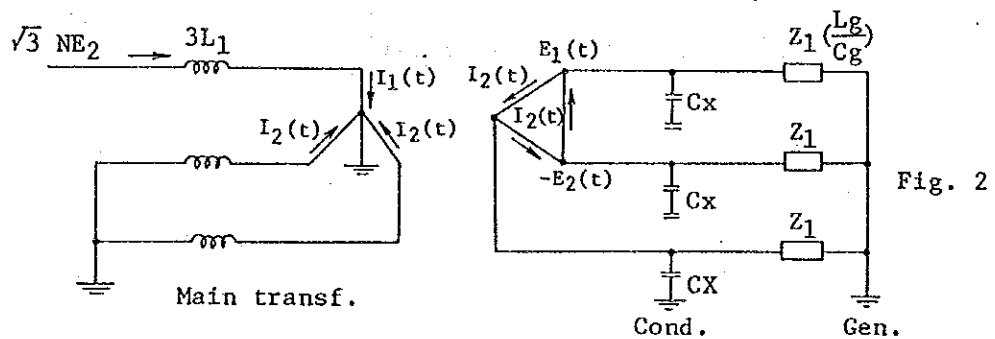
Any ground static current capacity of the IPB and auxiliary transformer will not be taken into account in this calculation.

3. 移行電圧の計算

Among the voltage transferred into the low voltage side, there are a component transferred into static current when surge equivalent to BIL is applied into the high voltage side of main transformer.

These components are calculated hereunder.

(1) 電磁移行電圧の計算



The voltage electromagnetic,  $E_1(t)$  transferred into the low voltage side from this circuit is expressed according to the following equation:

$$e_2(t) = E_2 K (\xi^{-\alpha t} - \xi^{-\beta t})$$

where  $e_2(t)$ : Surge voltage applied into the high voltage side.

The full wave form of surging shall be  $1 \times 10 \mu s$

$E_2$  : Value of BIL of high voltage side

$K$  : Constant of 1.039

$\alpha$  : Reciprocal number of time constant and is  
 $0.0184 \times 10^6$  1/sec.

$\beta$  : Reciprocal number of time constant and is  
 $2.95 \times 10^6$  1/sec.

In case  $Z_1 > \frac{i}{2} \cdot \frac{L_1}{C_x}$ ; the solution of the above equation is:

$$Z_1 = 39 > \frac{1}{2} \sqrt{\frac{0.413 \times 10}{0.1 \times 10^{-6}}} = 34.4$$

$$E_1 = NE_2 \frac{K}{3L_1 C_x} \left[ \frac{1}{(A-\alpha)^2 + B^2} \{e^{-t} \sqrt{\frac{(A-\alpha)^2 + B^2}{B}} e^{-At} \sin(Bt + \varphi)\} - \frac{1}{(A-\beta)^2 + B^2} \{e^{-\beta t} \sqrt{\frac{(A-\alpha)^2 + B^2}{B}} e^{-At} \sin(Bt + \varphi)\} \right]$$

$$= NE_2 \cdot K_1$$

where

$$A = \frac{1}{2C_x Z_1}$$

$$B = \frac{1}{LC_x} - \frac{1}{4C_x Z_1^2}$$

$$= \tan^{-1} \frac{B}{A-\alpha}$$

$$= \frac{B}{A-\beta}$$

$$K_1 = \frac{K}{3L_1 C_x} \sqrt{\frac{1}{(A-\alpha)^2 + B^2}} \{e^{-\alpha t} -$$

$$\sqrt{\frac{(A-\alpha)^2 - B^2}{B}} e^{-At} \sin(Bt + \varphi)\} -$$

288



$$\frac{1}{(A-\beta)^2 + B^2} \left\{ e^{-\beta t} - \frac{(A-\beta)^2 + B^2}{B} e^{-At} \sin(Bt + \theta) \right\}$$

Therefore,

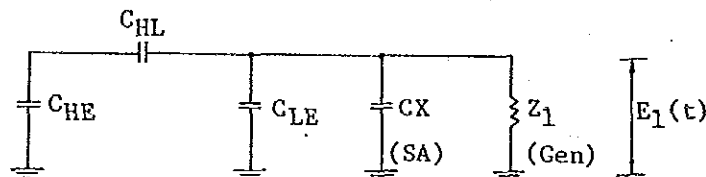
$$E_{1,max} = N \cdot E_2 \cdot K_{max} = 31.8 \text{ (KV)}$$

The time, T in this case is:

$$T = 26.1 \text{ ( s)}$$

(2) 静電移行電圧の計算

Since the static transition component is transferred due to connection of condenser, the component becomes as indicated in the following diagram because of the static current capacity of the main transformer and generator circuit, as well as the surge impedance of the generator.



where

- $C_{HL}$ : Static current capacity/phase between high voltage and low voltage sides of main transformer
- $C_{HE}$ : Static current capacity/phase between high voltage side of main transformer and ground
- $C_{LE}$ : Static current capacity/phase between low voltage side of main transformer and ground
- $C_X$ : Protective condenser capacity/phase
- $Z_1$ : Surge impedance of generator

In case  $e_2(t) = E_2 \cdot k(\epsilon^{-\alpha t} - \epsilon^{-\beta t})$ , the static transition voltage is calculated as follows:

$$E_1(t) = E_2 \cdot k \cdot a \left\{ \frac{1}{a-b} (a\epsilon^{-\alpha t} - b\epsilon^{-\beta t}) - \frac{1}{\beta-b} (\beta\epsilon^{-\beta t} - b\epsilon^{-bt}) \right\}$$

$$= E_2 \cdot a \cdot K$$

where

$$a = \frac{C_{HL}}{C_{HL} + C_{LX} + C_x}$$

$$b = \frac{1}{Z_1(C_{HL} + C_{LE} + C_x)}$$

$$K = k \left\{ \frac{1}{a-b} (a\epsilon^{-\alpha t} - b\epsilon^{-bt}) - \frac{1}{\beta-b} (\beta\epsilon^{-\beta t} - b\epsilon^{-bt}) \right\}$$

Therefore,

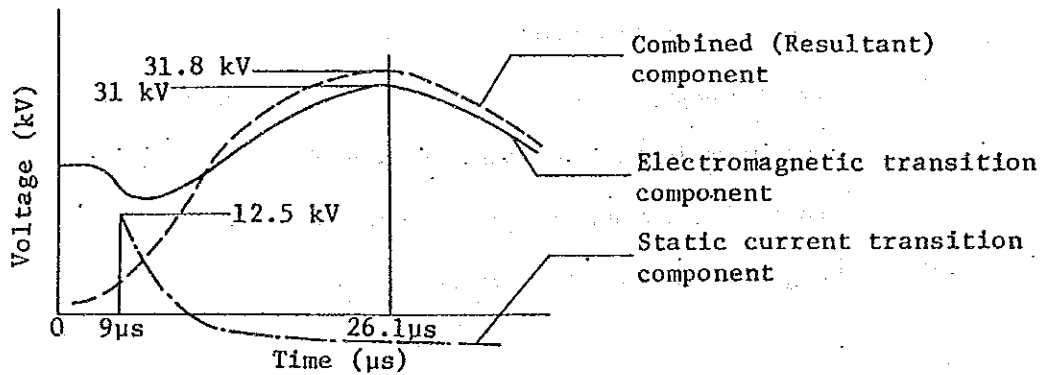
$$E_{1,max} = E_2 \cdot a \cdot k$$

$$= 12.5 \text{ (KV)}$$

$$T = 0.9 \text{ (\mu s)}$$

#### 4. 計算結果

Based upon the results of calculation, the electromagnetic transition component and the static current transition component are superimposed in the following diagram:



288

There will be no problem since the maximum value of Compinéd (Result) component is 31 KV, and less than 68.9 KV of the impulse wave dielectric strength of generator as indicated in the above diagram.

$$E_{1\max} = 31 \text{ (KV)}$$

$$T = 26.1 \text{ (}\mu\text{s)}$$

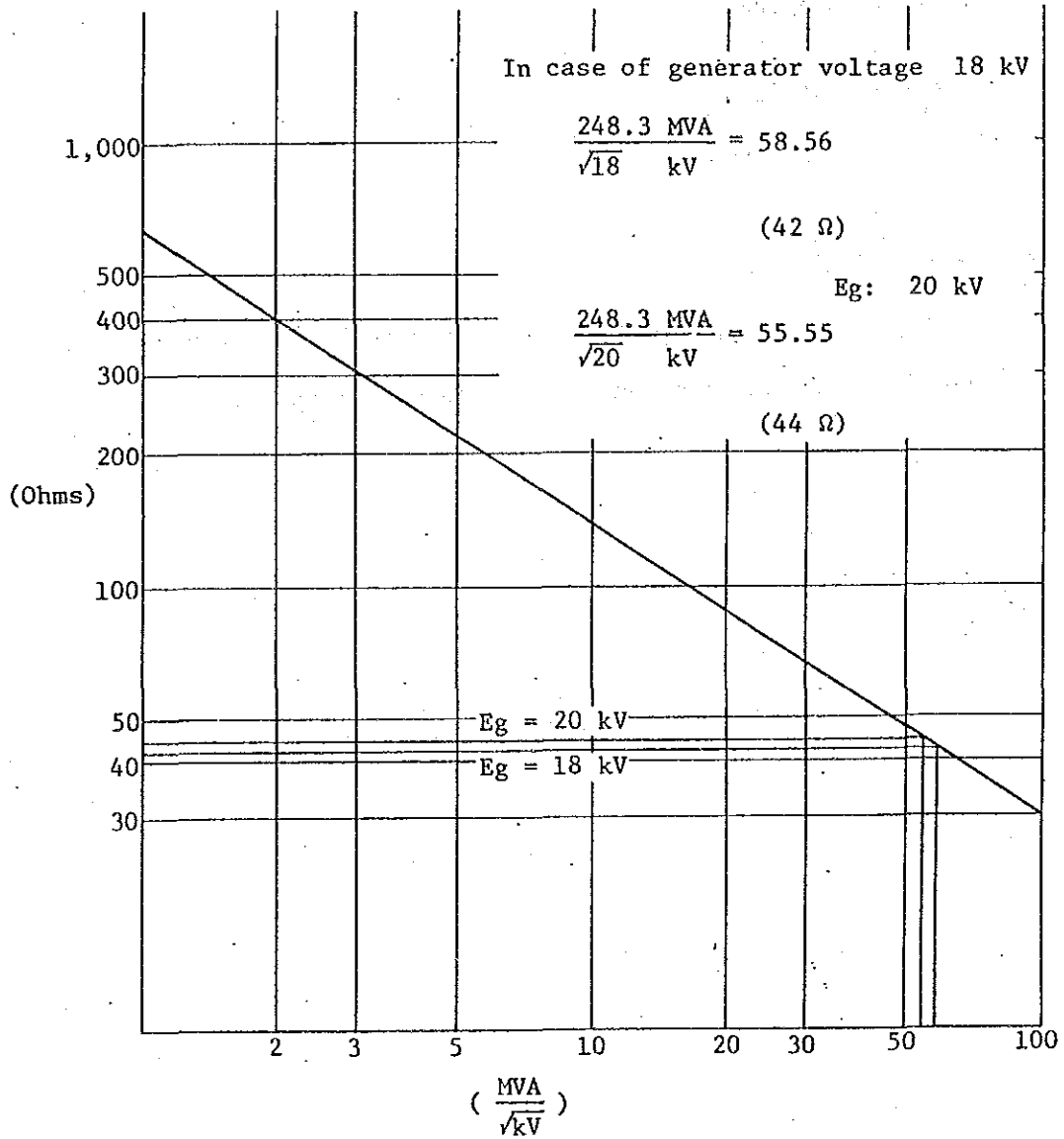
#### 5. コンデンサー容量

The capacity of condenser is calculated to be 0.1  $\mu\text{F}$  per phase.

Therefore, the minimum capacity of condenser is 0.1  $\mu\text{F}$ .

SURGE IMPEDANCE OF GENERATOR

SURGE IMPEDANCE OF GENERATOR

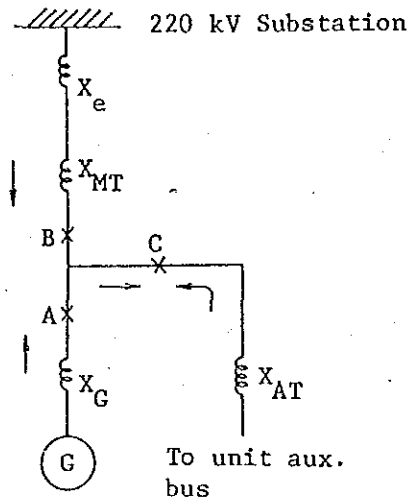


290

## E-9 相分離母線

### 1. インピーダンス マップ

Impedance map is shown in Fig. 1.



where:

$X_e$  : System external impedance

$X_{MT}$  : Main transf. impedance

$X_{AT}$  : Auxiliary transf. impedance

$X_G$  : Generator subtransient impedance

The impedance are supposing as follows:

$$x_e = 0$$

$$X_{MT} = 0.11(\text{PU}) \text{ at } 247 \text{ MVA}$$

$$X_{AT} = 0.08(\text{PU}) \text{ at } 19 \text{ MVA}$$

$$X_G = 0.2 (\text{PU}) \text{ at } 248.3 \text{ MVA}$$

Conversion of above impedance to 100 MVA base and per unit indication.

$$X_e = 0$$

$$X_{MT} = 0.044(\text{PU}) \quad 0.11 \times \frac{100}{247} \text{ PU}$$

$$X_{AT} = 0.4 (\text{PU}) \quad 0.08 \times \frac{100}{20} \text{ PU}$$

$$X_G = 0.08 (\text{PU}) \quad 0.2 \times \frac{100}{248.3} \text{ PU}$$

## 2. 短絡電流の計算

Calculate for short circuit current at each point (A, B, C) shown in Fig. 1 is as follows.

### (1) A点の短絡容量

From generator

$$P_G = \frac{100}{X_G} = \frac{100}{0.08} = 1,250 \text{ (MVA)}$$

From main transformer

$$P_{MT} = \frac{100}{X_{MT} + X_e} = \frac{100}{0.044} = 2,272.7 \text{ (MVA)} \quad 2,273 \text{ (MVA)}$$

From auxiliary transformer

$$P_{AT} = \frac{100}{X_{AT}} = \frac{100}{0.4} = 250 \text{ (MVA)}$$

Therefore,

$$\text{Point "A"} = P_G \text{ or } P_{MT} + P_{AT}$$

$$\text{Point "A"} = 2,523 \text{ (MVA)} \quad 1,250 < 2,273 + 250$$

### (2) B点の短絡容量

$$\text{Point "B"} = P_{MT} \text{ or } P_G + P_{AT}$$

$$\text{Point "B"} = 2,273 \text{ (MVA)} \quad 2,273 < 1,250 + 200 = 1,450$$

### (3) C点の短絡容量

$$\text{Point "C"} = P_{MT} + P_{AT} \text{ or } P_{AT}$$

$$\text{Point "C"} = 3,523 \text{ (MVA)} \quad 2,273 + 1,250 = 3,523 > 200$$

### (4) 短絡容量より短絡電流への変換

Usually, generator rated voltage is considered in the rage of

18 kV to 20 kV.

As we are supposing the most usually condition, generator voltage is 18 kV.

Therefore, current of each point are as follows:

$$\text{Point "A"} = \frac{2,523 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 18} = 81.0 \text{ (KA)}$$

$$\text{Point "A"} = \frac{2,273 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 18} = 73.0 \text{ (KA)}$$

$$\text{Point "C"} = \frac{3,523 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 18} = 113.1 \text{ (KA)}$$

Momentary short circuit current are as follows.

Asymmetrical factor should be 1.73 (Note 1).

$$\text{Asymmetrical factor} = \frac{\text{Asymmetrical Valve}}{\text{Symmetrical Valve}}$$

$$\text{Point "A"} = 1.73 \times 81.0 = 140.1 \text{ (KA)}$$

$$\text{Point "B"} = 1.73 \times 73.0 = 126.3 \text{ (KA)}$$

$$\text{Point "C"} = 1.73 \times 113.1 = 195.6 \text{ (KA)}$$

Therefore,

|           | Symmetrical short circuit capacity (KA) | Momentary short circuit capacity asymmetrical (rms) (KA) |
|-----------|---|--|
| Point "A" | 81.0                                    | 140.1  |
| Point "B" | 73.0                                    | 126.3  |
| Point "C" | 113.1                                   | 195.6  |

In case of generator voltage is 15 KV:

|           | Symmetrical short circuit capacity (KA) | Momentary short circuit capacity asymmetrical (rms) (KA) |
|-----------|---|--|
| Point "A" | 97.22                                   | 168.2  |
| Point "B" | 87.6                                    | 151.5  |
| Point "C" | 135.8                                   | 234.9  |

In case of generator voltage is 20 KV:

|           | Symmetrical short circuit capacity (KA) | Momentary short circuit capacity asymmetrical (rms) (KA) |
|-----------|---|--|
| Point "A" | 72.9                                    | 126.1  |
| Point "B" | 65.7                                    | 113.7  |
| Point "C" | 101.8                                   | 176.1  |

(5) 主母線の定格

transformer at 18 kV.

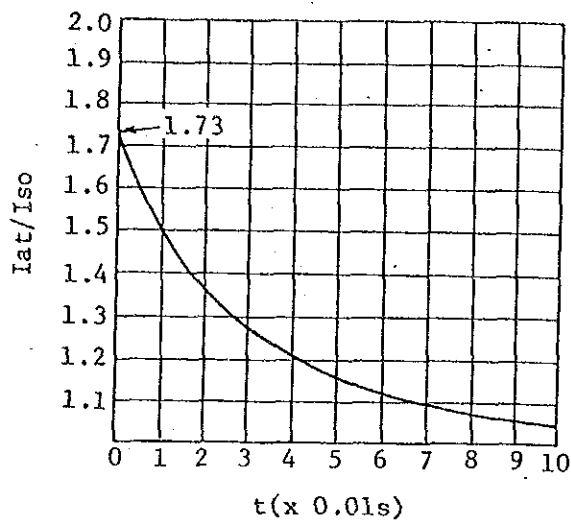
|  |            |
|--|------------|
| Normal current rating                    | 11,000 (A) |
| Short time current rating<br>(2 seconds) | 81.0 (KA)  |
| Momentary current rating                 | 140.1 (KA) |

(6) 副母線の定格

|  |            |
|--|------------|
| Normal current rating                    | 800 (A)    |
| Short time current rating<br>(2 seconds) | 113.1 (KA) |
| Momentary current rating                 | 195.6 (KA) |



Note 1. When not attenuation of symmetrical current is not taken into account,  $\beta = 1.73$  according to the following diagram:



where

$I_{at}$ : Asymmetrical short circuit current (A)

$I_{iso}$ : Symmetrical short circuit current (A)

$t$ : Time after occurrence of short circuit (sec.)

295



## E-10 所内電気回路方式

### 1. 一般事項

ウエスト・ワーフ火力発電所の電気回路方式は、高信頼度および経済性を考慮してユニットシステムを計画した。

各電気回路の母線電圧はK E S Cの既設発電所の値を基に、運転および保守の容量な値を採用した。

### 2. 変電所

変電所は 220kV, 132kV開閉所と2台の連絡変圧器より構成されている。220kV開閉所は、復母線方式で発電機出力を受電し、電力を 220KV送電線として系統に電力を供給する。また、220kV母線は連絡変圧器を介し、132kVと接続される。

220kV送電線は2回線でバルディア変電所に接続される。また、220kV変電所は将来用220kV送電線2回線のバイスペースのみを用意する。

132kV開閉所は復母線方式で連絡変圧器を介し、220kV開閉所より電力を受電する。132kV母線は起動変圧器および 132kV/11kV変圧器2台と接続されている。また、この母線に接続される 132kV送電線は次の7回線である。

|                    |   |              |
|--------------------|---|--------------|
| • To S. I. T. E    | : | One (1) cct  |
| • To MAULIPUR      | : | One (1) cct  |
| • To OLD TOWN      | : | One (1) cct  |
| • To GARDEN EAST   | : | One (1) cct  |
| • To QUEEN ROAD    | : | Two (2) ccts |
| • To DIFENCE EIGHT | : | One (1) cct  |

### 3. 発電機主回路

発電機よりの電力は主変圧器により、220kVに昇圧されて 220kV開閉所へ送られる。一方、ユニットの所内電力は発電機回路より分岐され、所内変圧器により 6.6kVに高圧され、それぞれの補機に供給される。

ユニットの起動および停止時の補機電力は起動変圧器より供給される。

#### 4. 共通回路

起動変圧器は 132kV開閉所より受電され、6.6kVに高圧してユニット起動の補機電力を供給する。起動変圧器はユニットNo.1 およびNo.2の起動に必要な容量を持っている。発電機並列後負荷が10%～20%程度で補機電力を所内変圧器に切替える。そして、水処理設備、照明等共通補機に電力を供給する。

#### 5. 所内回路

6.6kVメタルクラッドスイッチギヤより所内高圧機器に電力を供給する。

また、所内動力変圧器により 6.6kVより 400Vに降圧して、400Vパワーセンター、コントロールセンターへ電力を供給する。

887

| System                                   | Phase and Wire  | Rated Voltage (V) | Lightning Impulse Withstand Voltage BIL (kV) Full Wave | Power Frequency Withstand Voltage (kV) | Grounding System                   |
|--|-----------------|-------------------|--|--|------------------------------------|
| 220 kV                                   |                 |                   |  |  |                                    |
| 220 kW Switchyard                        | AC 3 $\phi$ -3W | 220               | 950  | 395                                    | Direct grounding                   |
| 132 kV Switchyard                        | AC 3 $\phi$ -3W | 132               | 650  | 145                                    | Direct grounding                   |
| 18 kV - 21 kV Generator Main Circuit     | AC-3 $\phi$ -3W | -                 | -  | 50                                     | Single phase transformer grounding |
| 6.6 kV Metal Clad Switchgear             | AC 3 $\phi$ -3W | 6.6               | 60   | 22                                     | High resistance grounding (10A)    |
| 400 V Power Center                       | AC 3 $\phi$ -3W | 0.4               | -  | 2.2                                    | GPT grounded                       |
| 400 V Control Center                     | AC 3 $\phi$ -3W | 0.4               | -  | 2.2                                    | GPT grounded                       |
| 220 V Control Center                     | AC 3 $\phi$ -3W | 0.22              | -  | 1.5                                    | Ungrounded                         |
| 220 V Lighting Distribution Panel        | AC 3 $\phi$ -3W | 0.22              | -  | 1.5                                    | Ungrounded                         |
| Miscellaneous Distribution Panel         | AC 3 $\phi$ -4W | 0.38              | -  | 2.2/1.5                                | Direct grounding                   |
| Instrument Distribution Panel            | AC 1 $\phi$ -2W | 0.11              | -  | 1.5                                    | Ungrounded                         |
| Emergency Diesel Engine Generator        | AC 3 $\phi$ -3W | 0.43              | -  | 2.2                                    | Ungrounded                         |
| UPS (CVCF)                               | AC 3 $\phi$ -3W | 0.11              | -  | 1.5                                    | Ungrounded                         |
| DC Control Center and Distribution Panel | DC 1 $\phi$ -2W | 0.11              | -  | -                                      | -                                  |





## 1. 2 回路別接地方式

### (1) 発電機主回路

発電機の中性点は接地変圧器に単線を通し接地されているので、1相地路の場合、地路電流は非常に小さい。

2相地路の場合は、IPB（相分離母線）の外被に大電流が流れる。

この電流は、一つは発電機固定子巻線を通り循環電流となり、他は発電機中性点接地変圧器巻線に流れて制限される。

### (2) 220kV開閉所母線

220kVは発電機主変圧器中性点により直接接地する。

### (3) 6.6kV高圧回路

6.6kV高圧回路は、所内変圧器および起動変圧器低圧側で接地。変圧器により高インピーダンスで接地する。

### (4) 400V低圧回路

400V低圧回路は接地変圧器接地とする。従って、地路電流は非常に少い。

## 2. 接地設計

(1) 電位上昇は歩巾電圧、接触電圧および電気品の耐電圧を考慮して1,000V以下とする。

### (2) 最大電位差

$$V_E = I_A \cdot R_G$$

where:  $V_E$ : Maximum potential difference (V)

$I_A$ : Maximum grounding current (A)

$R_G$ : Grounding mesh resistance (ohms)



(3) 一線地路時の健全相電圧上昇に基く接地抵抗目標値

That is,

$$\text{In case of } I_A - I_N > I_N \text{ ----- } R \leq \frac{10}{I_A - I_N} \text{ (ohm)}$$

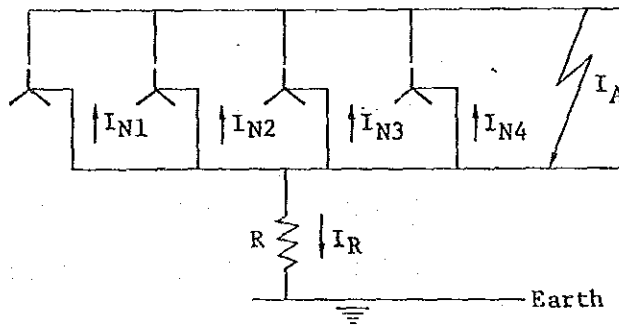
$$\text{In case of } I_A - I_N < I_N \text{ ----- } R \leq \frac{10}{I_N} \text{ (ohm)}$$

where:  $I_A$ : Maximum grounding current when one phase ground

$I_N$ : Total neutral current

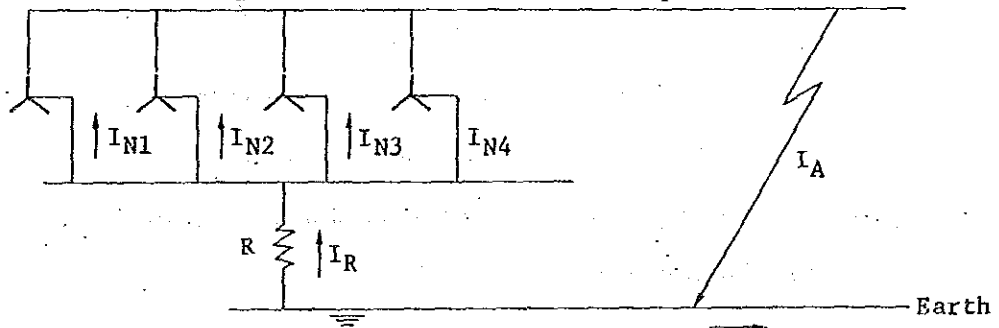
(4) 地路電流の分布

. In case of ground fault occurs inside power station



$$I_R = I_A - (I_{N1} + I_{N2} + I_{N3} + I_{N4})$$

. In case of ground fault occurs outside power station



$$I_R = I_{N1} + I_{N2} + I_{N3} + I_{N4}$$

$$I_O = I_A - (I_{N1} + I_{N2} + I_{N3} + I_{N4})$$

301

### 3. 計 算

#### 3. 1 地路電流の計算

##### 前提条件

(1) 最大地路電流

The supposed grounding fault current of 220 kV used for calculation has been adopted as 40 kA.

(2) インピーダンスおよび中性点電流

The following respective impedance used for calculation have been estimated to be the same as capacities of generator and transformer.

a. Impedance at rated capacity

|                       | (MVA) | $X_1$ (%) | $X_2$ (%) | $X_0$ (%) |
|-----------------------|-------|-----------|-----------|-----------|
| Generator             | 248.3 | 160.0     | 20.0      | 10.0      |
| Gen. main transformer | 247.0 | 11.0      | 11.0      | 8.0       |
| Tie transformer       | 250.0 | 11.0      | 11.0      | 8.0       |

Note;

$X_1$ : Positive phase sequence reactance

$X_2$ : Negative phase sequence reactance

$X_0$ : Zero phase sequence reactance

b. The above impedance is converted to 247 base.

a) Generator % Z

Positive phase sequence reactance  $X_{1G} = 160 \times \frac{247}{248.3} = 159.16\%$

Negative phase

sequence reactance  $X_{2G} = 20 \times \frac{247}{248.3} = 19.89\%$

b) Generator main transformer % Z

$$X_{1M} = 11 \text{ ---- } 11.0\%$$

$$X_{2M} = 11 \text{ ---- } 11.0\%$$

$$X_{0M} = 8 \text{ ---- } 8.0\%$$

c) 220 kV/132 kV tie transformer % Z

$$X_{1T} = 11 \times \frac{247}{250} = 10.86\%$$

$$X_{2T} = 11 \times \frac{247}{250} = 10.86\%$$

$$X_{0T} = 8 \times \frac{247}{250} = 7.90\%$$

c. The above percent impedance is converted to ohms value from the following equation.

$$\text{ohms} = \frac{\%Z \times 10E}{\text{kVA}}$$

where:

E: Rated voltage ---- 220 kV

kVA: Base kVA ---- 247,000 kVA

a) Generator

$$X_{1G} = \frac{159.16 \times 10 \times 220}{247 \times 10^3} = 311.87 \text{ ohm}$$

$$X_{2G} = \frac{19.89 \times 10 \times 220}{247 \times 10^3} = 38.97 \text{ ohm}$$

$$X_{0G} = \frac{9.94 \times 10 \times 220}{247 \times 10^3} = 19.47 \text{ ohm}$$

b) Generator main transformer

$$X_{1M} = \frac{11.0 \times 10 \times 220}{247 \times 10^3} = 21.55 \text{ ohm}$$

$$X_{2M} = \frac{11.0 \times 10 \times 220}{247 \times 10^3} = 21.55 \text{ ohm}$$

$$X_{0M} = \frac{8.0 \times 10 \times 220}{247 \times 10^3} = 25.67 \text{ ohm}$$

c) 220 kV/132 kV tie transformer

$$X_{1T} = \frac{10.86 \times 10 \times 220}{247 \times 10^3} = 21.28 \text{ ohm}$$

$$X_{2T} = \frac{10.86 \times 10 \times 220}{247 \times 10^3} = 21.28 \text{ ohm}$$

$$X_{0T} = \frac{7.9 \times 10 \times 220}{247 \times 10^3} = 15.48 \text{ ohm}$$

d. One line ground fault current to obtain the following equation.

$$I_N = \frac{3 \times E_0}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (A)$$

where:

$E_0$ : Phase voltage --- 220 kV/ $\sqrt{3}$

$Z_0$ : Zero phase  
sequence impedance ---  $Z_{0M}$  (ohm)

$Z_1$ : Positive phase  
sequence impedance ---  $Z_{1G} + Z_{1M}$  (ohm)

$Z_2$ : Negative phase  
sequence impedance ---  $Z_{2G} + Z_{2M}$  (ohm)

a) Generator main transformer neutral current

$$I_{IGT} = \frac{3 \times 220 \times 10 \times 1/3}{21.55 + (311.87 + 21.55) \times (38.97 + 21.55)}$$

$$= \frac{381,502.89}{415.49}$$

$$= 918.19 \text{ (A)}$$

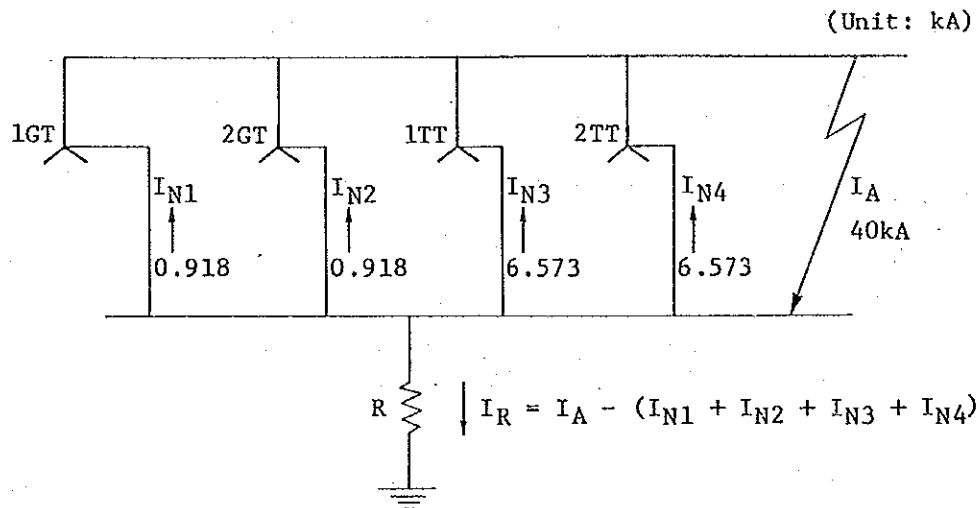
b) 220 kV/132 kV tie transformer neutral current

$$I_{NT} = \frac{3 \times 220 \times 10 \times 1/\sqrt{3}}{21.28 + 21.28 + 15.48}$$

$$= \frac{381,502.89}{58.04}$$

$$= 6,573.1 \text{ (A)}$$

c) Ground fault current flow



$$I_R = 40 - (0.918 + 0.918 + 6.573 + 6.573)$$

$$= 40 - 14.982$$

$$= 25.018 \text{ kA}$$

### 3. 必要接地接抗

The required grounding resistance is obtained by the following equations.

$$R \leq \frac{1,000}{I_A - I_{NO}}$$

305

$$R \leq \frac{1,000}{25.018 \times 10^3}$$

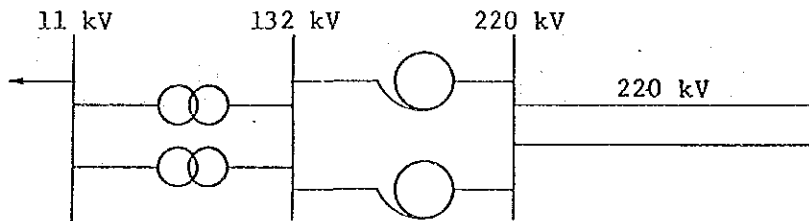
$$R \leq 0.039 \text{ (ohm)}$$

(4) 受電時に於ける必要接地抵抗

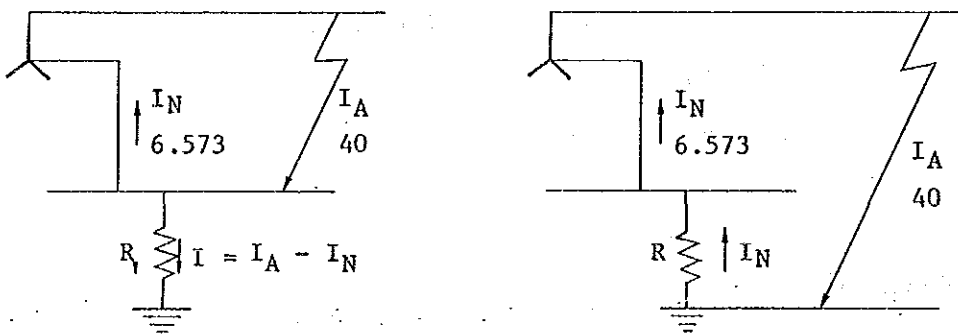
The West Wharf thermal power plant should to receive 220 kV electric power so as to supply power to the 11 kV grid station though 220 kV, 132 kV switchyard via tie transformer.

Therefore, the required grounding resistance value should be determined based on the following circuit.

a) Power receiving circuit



b) One set of tie transformer operation has been considered



c) Required grounding resistance

$$R \leq \frac{1,000}{(40 - 6.573) \times 10^3} \quad R \leq \frac{1,000}{6.573 \times 10^3}$$
$$\leq \frac{1,000}{33.427 \times 10^3} \quad R \leq 0.152$$
$$\leq 0.0299 \text{ (ohm)}$$

The required grounding resistance should be less than 0.029 ohm.

#### 4. 接地面の計算

##### (1) 接地線布設方法

In order to get the resistance value less than 0.029 , the grounding method of thermal power plant and switchyard should be combined the mesh method with steel pile method.

##### (2) 接地網

Main building space  
unit No. 1 = 3,444.3 m<sup>2</sup>

unit No. 2 = 2,984.3 m<sup>2</sup>

Switchyard space = 1,421.2 m<sup>2</sup>

Mesh distance is about 20 m.

##### (3) 地路電流

The same as interrupting current

$I_s = 40 \text{ kA}$

##### (4) 地絡継続時間

$t = 2 \text{ sec.}$

(5) 大地固有抵抗値

$$= 100 \text{ ohm/m}$$

(6) 電位上昇値

$$E = \text{Not more than } 1,000 \text{ V}$$

(7) 接地網の計算

The following formula is applied to the calculation of ground resistance.

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

where R : Grounding mesh resistance (ohm)

$\rho$  : Average ground resistivity (ohm-m)

$\gamma$  : Radius of grounding mesh area (m)

$$= \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

A : Ground mesh area ( $\text{m}^2$ )

L : Total length of buried conductor (m)

$$\gamma = \sqrt{\frac{3,444.3 + 2,984.3}{3.14}} = \sqrt{\frac{7,428.6}{3.14}} = 2,365.8 = 48.6 \text{ m}$$

$$L = 981.4 \text{ m}$$

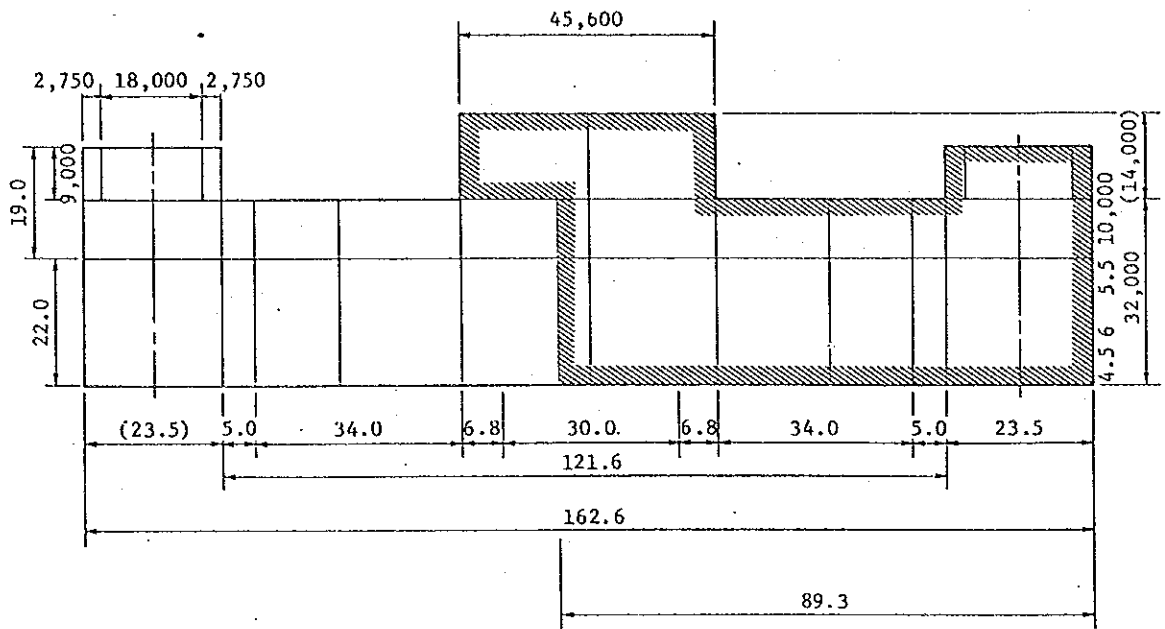
Accordingly;

$$R = \frac{100}{4 \times 48.6} + \frac{100}{981.4}$$

$$= \frac{100}{194.4} + \frac{100}{981.4} = 0.514 + 0.102$$

$$= 0.616 \text{ ohm}$$





Space

Unit No. 1 main building

and boiler area (m<sup>2</sup>) : (89.3 m x 32.0 m) + (14.0 m x 26.8 m)

$$= 2,857.6 \text{ m}^2 + 375.2 \text{ m}^2 + 211.5$$

$$= 3,444.3 \text{ m}^2$$

Unit No. 2

: (79.3 m x 32.0 m) + (14.0 m x 16.8 m)

$$= 2,537.6 \text{ m}^2 + 235.2 \text{ m}^2 + 211.5$$

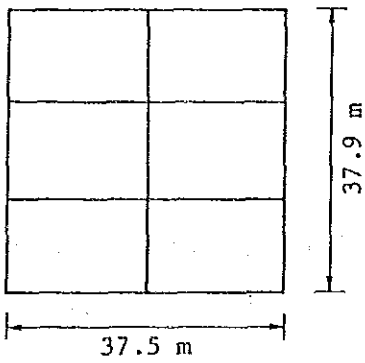
$$= 2,984.3 \text{ m}^2$$

308

Length:

|   |                     |               |
|---|---------------------|---------------|
|   | 168.6 m x 2 = 337.2 |               |
|   | 121.6 x 1 = 121.6   |               |
| H | 23.5 x 2 = 47.0     | 551.4 m       |
|   | 45.6 x 1 = 45.6     |               |
|   | 22.0 x 11 = 242.0   | Total 981.4 m |
|   | 19.0 x 4 = 76.0     |               |
| D | 10.0 x 7 = 70.0     | 430.0 m       |
|   | 14.0 x 3 = 42.0     |               |

Switchyard



Space:

$$37.5 \text{ m} \times 37.9 \text{ m} = 1,421.1 \text{ m}^2$$

Length:  $37.5 \times 4 = 149.6 \text{ m}$

$37.9 \times 3 = 113.7 \text{ m}$

Total  $263.3 \text{ m}$

(8) スチールパイルの抵抗および数量

(1) Steel pile resistance value

$$Y = \frac{\rho}{2\pi\ell} \left( 2.3 \log_{10} \frac{4\ell}{\phi} - 1 \right) \text{ ohm}$$

where:

$\ell$  : Pile length 24 m

$\phi$  : Pile diameter 0.61 m

$\rho$  : Earth peculiar resistance 100 ohm-m

$$= \frac{100}{2 \times 24} \left( 2.3 \log_{10} \frac{4 \times 24}{0.61} - 1 \right) = 3.15$$

Total of steel pile resistance value should be less than 0.028 ohm.

because 
$$\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 0.029$$

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R}{R_1 - R} = \frac{0.616 \times 0.029}{0.616 - 0.029} = \frac{0.017}{0.587} = 0.028$$

where:

$R_1$  : Mesh grounding resistance 0.616 ohm

$R_2$  : Steel pile grounding resistance 0.028 ohm

Accordingly, number of steel piles are

$$n = \frac{g \cdot r}{R} = \frac{1.35 \times 3.15}{0.022} = 151.8$$

where:

$n$  : Number of steel pile

$g$  : Gathering factor 1.35

$r$  : Steel pile resistance 3.15

R : Required grounding resistance 0.029

Therefore, necessary number of steel pile are . . .

$$= \frac{100}{2 \times 24} (2.3 \log_{10} \frac{4 \times 24}{0.61} - 1)$$

$$= 0.663 \times (2.3 \log_{10} 314.75 - 1)$$

$$= 0.663 \times (2.3 \times 2.498 - 1)$$

$$= 0.663 \times 4.745$$

$$= 3.146 \text{ ohm}$$

Total of steel pile resistance value should be less than 0.028 ohm.

(9) 220kV受電時の接地抵抗値

$$R_M = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

|                     | <u>Unit No. 1</u> | <u>Switchyard</u> |
|---------------------|-------------------|-------------------|
| A (m <sup>2</sup> ) | : 3,444.3         | 1,421.1           |
| L (m)               | : 551.4           | 263.3             |

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$
$$= \sqrt{\frac{3,444.3 + 1,421.2}{3.14}} = \sqrt{\frac{4,865.5}{3.14}} = \sqrt{1,549.5}$$
$$= 39.4$$

$$R_M = \frac{100}{4 \times 39.4} + \frac{100}{814.7}$$

$$= 0.635 + 0.123$$

$$= 0.758 ( )$$

$$R_P = \frac{R \cdot RM}{RM - R}$$

$$= \frac{0.758 \times 0.029}{0.758 - 0.029} = \frac{0.022}{0.729} = 0.03$$

Accordingly, number of steel pile are

$$n = \frac{q \cdot r}{R_P} = \frac{1.35 \times 3.15}{0.03} = \frac{42,525}{0.03} = 141.75$$

#### 5. 接地線サイズ

The grounding wire specification has been determine based on the following formura.

$$A = \sqrt{\frac{C_1 I_s}{\log_{10} \left( \frac{T_M - T_a}{234 + T_a} + 1 \right) \cdot 33 \times 2}}$$

where;

$C_1$  : Connection content of unit  $C_1 = 507 \times 10^{-6}$   
(CM mm<sup>2</sup>)

I : Maximum ground fault current (A) 40,000

S : Dulation of ground fault current (sec.) 2

$T_M$  : Maximum allowable temperature  
rising of conductor (°C) 1,083

$T_a$  : Ambient temperature (°C) 40

A : Section area

d : Diameter

$$A \geq \frac{507 \times 10^{-6} \times 40,000}{\sqrt{\frac{\log_{10} \left( \frac{1,083 - 40}{234 + 40} + 1 \right)}}{\sqrt{\frac{\log_{10} 4.807}{66}}}} = \frac{5.07 \times 4}{\sqrt{\frac{\log_{10} \left( \frac{1,083 - 40}{234 + 40} + 1 \right)}}{\sqrt{\frac{\log_{10} 4.807}{66}}}}$$

$$\geq \frac{20.28}{\sqrt{\frac{0.682}{66}}} = \frac{20.28}{\sqrt{0.0103}} = \frac{20.28}{0.1} =$$

$\geq 202.8$  → Bare conductor copper wire

250 mm<sup>2</sup>

## E-12 220kV/132kV 開閉所配置

### 1. 一般事項

変電所は復母線方式の 220kVおよび 132kV開閉所、ならびに連絡変圧器2台より構成されている。

### 2. 開閉所形式

220kVおよび 132kV開閉所は、SF<sub>6</sub>ガス絶縁開閉装置を適用し、これは塩害防止のため屋内に据付けられている。

GISは従来形に比べ必要面積が小さいとともに、高信頼性、運転保守の容易性、安全性、単純構造であり建設期間が短い。

### 3. 開閉所の回路構成

開閉所の回路構成は、次の事項を検討した上選択した。

- (1) 事故が発生した場合でもこれを局限化し、迅速な復旧が出来る回路であること。
- (2) 運転保守が容易であるよう、その回路は整然とし、誤操作の恐れがないこと。
- (3) 作業の安全性が確保され、停電区間が出来るだけ局限化すること。

| 項 目     | 単母線方式                               | 復母線方式  | 1½ CB方式                                   |
|---------|-------------------------------------|--|---|
| 経済比較    | 機器の数および据付面積が三種類の方式の内最も少ない。<br>最も経済的 | 機器の数および据付面積が単母線方式に比べ大きい。                     | 機器の数および末決面積が復母線方式に比べ大きい。                  |
| 運転および保守 | 機器故障が発生すると回路は停電する。<br>信頼性は低い。       | 機器の点検およびシステム運用は容易。<br>機器故障が発生しても単母線運用が可能である。 | 機器の点検およびシステム運用は容易。<br>母線が全部停止しても送電が可能である。 |
| 適 用     | 比較的小規模な変電所で採用されている。                 | 機器数および送電線引出数が多い重要な変電所で採用されている。               | 一時変電所、および500kV変電所に採用されている。                |

220kVおよび 132kV開閉所の母線構成は、上記の理由により復母線方式を採用した。



#### 4. 回路数および引出回線

220kVおよび 132kV開閉所の回路, 引出回線は、次の通り回路の接続については添付  
 図 No WETS-1001 "KEY SINGLE LINE DIAGRAM" 参照のこと。

| <u>220 kV switchyard</u> |               | <u>132 kV switchyard</u> |                |
|--------------------------|---------------|--------------------------|----------------|
| 1. NO.1 GMT              | x 1           | 1. NO.1 ICT              | x 1            |
| 2. NO. 2 GMT             | x 1           | 2. NO.2 ICT              | x 1            |
| 3. T/L BALDIA NO.1       | x 1           | 3. STR                   | x 1            |
| 4. T/L BALDIA NO.2       | x 1           | 4. NO.1 GST              | x 1            |
| 5. NO.1 IGT              | x 1           | 5. NO.2 GST              | x 1            |
| 6. NO.2 ict              | x 1           | 6. T/L S.I.T.E           | x 1            |
| 7. BUS TIE               | x 1           | 7. T/L MAULPUR           | x 1            |
| 8. T/L FUTURE            | x 1           | 8. T/L OLD TOWN          | x 1            |
| (Space only)             |               | 9. T/L GARDEN EAST       | x 1            |
| 9. T/L FUTURE            | x 1           | 10. T/L QUEES ROAD NO.1  | x 1            |
| (Space only)             |               | 11. T/L QUESS ROAD NO.2  | x 1            |
|                          |               | 12. T/L DIFENCE VIII     | x 1            |
|                          |               | 13. BUS TIE              | x 1            |
| <u>Total</u>             | <u>9 bays</u> | <u>Total</u>             | <u>13 bays</u> |

#### 5. 通電容量

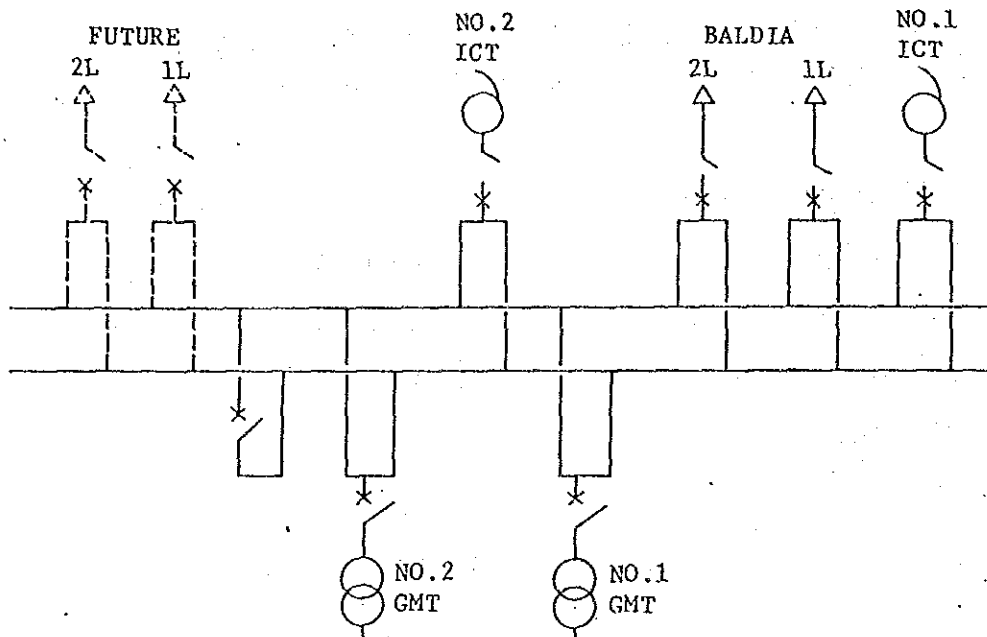
母線機器等の通電容量は大別して次の3種である。

##### (1) 連続通電容量

通常の運転状態で連続して通電できる電流値で、定格電流に相当する。

3/7

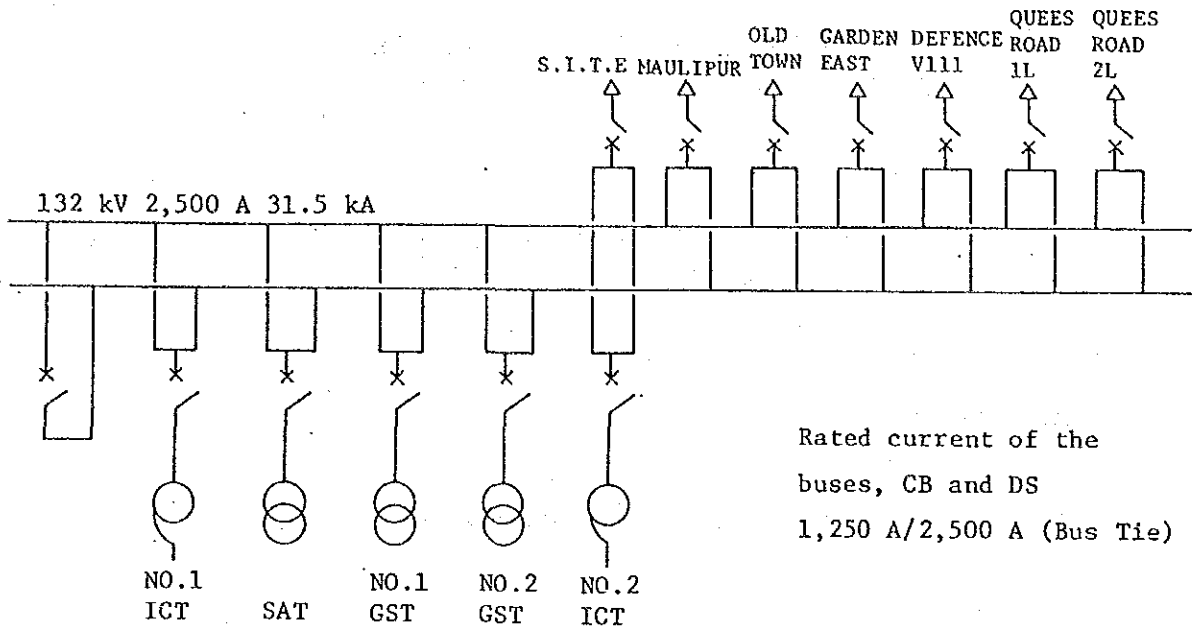
a. 220 kV switchyard



| Equipment    | Capacity (MVA) | Rated current (A)   | Remarks   |
|--------------|----------------|---|---|
| 1. No. 1 GMT | 248.3          | $\frac{248.3 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 220 \text{ kV} \times 0.95} \times 10^3 = 686.73 \text{ (A)}$                     | Where;<br>220 kV x 0.95:<br>Minimum tap<br>of the transf. |
| 2. No. 2 GMT | 248.3          | - Ditto - = 686.73 (A)  |   |
| 3. No. 1 ICT | 250            | $\frac{250 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 220 \text{ kV} \times 0.95} \times 10^3 = 691.43 \text{ (A)}$                       | p.f: 0.85   |
| 4. No. 2 ICT | 250            | - Ditto - = 691.43 (A)  |   |
| 5. BALDIA 1L | 400 MW         | $\frac{400 \text{ MW} \times 0.95}{\sqrt{3} \times 220 \text{ kV} \times 0.95 \times 0.85} \times 10^3 = 1,236 \text{ (A)}$ | No.1, 2 GMT<br>under operation,<br>through bus tie        |
| 6. BALDIA 2L | 400 MW         | - Ditto - = 1,236 (A)   |   |
| 7. Bus Tie   | 500 KVA        | $\frac{500 \text{ MW}}{\sqrt{3} \times 220 \times 0.95} \times 10^3 = 1,382.96 \text{ (A)}$                                 |   |

3/08

b. 132 kV switchyard



| Equipment      | Capacity | Rated current  | Remarks   |
|----------------|----------|--|---|
| No. 1 ICT      | 250      | $\frac{250 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 132 \text{ kV} \times 0.95} \times 10^3 = 1,152.4 \text{ (A)}$ | Where;<br>132 kV x 0.95:<br>Minimum tap of<br>the transf. |
| No. 2 ICT      | 250      | - Ditto - = 1,152.4 (A)  |   |
| SAT            | 30       | $\frac{30 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 132 \text{ kV} \times 0.95} \times 10^3 = 138.3 \text{ (A)}$    |   |
| No. 1 GST      | 30       | $\frac{30 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 132 \text{ kV} \times 0.95} \times 10^3 = 138.3 \text{ (A)}$    |   |
| No. 2 GST      | 30       | - Ditto - = 138.3 (A)  |   |
| T/L SITE       | 160      | $\frac{160 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 132 \text{ kV} \times 0.95} \times 10^3 = 737.5 \text{ (A)}$   |   |
| MAUPUR         | 160      | - Ditto - = 737.5 (A)  |   |
| OLD TOWN       | 160      | - Ditto - = 737.5 (A)  |   |
| GARDEN EAST    | 160      | - Ditto - = 737.5 (A)  |   |
| DEFENCE VIII   | 160      | - Ditto - = 737.5 (A)  |   |
| 1L QUEENS ROAD | 160      | - Ditto - = 737.5 (A)  |   |
| 2L QUEENS ROAD | 160      | - Ditto - = 737.5 (A)  |   |
| Bus Tie        | 500      | $\frac{500 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 132 \text{ kV} \times 0.95} \times 10^3 = 2,304.8 \text{ (A)}$ |   |

3/18

(2) 過負荷通電容量

原則的には機器は数パーセントの過負荷は許されていないが、一般的に機器の負荷電流が1時的に定格電流を多少越えても直ちに故障に結びつくものではなく、機器の温度特性および周囲温度の諸条件により機器は問題ないこともある。

(3) 短時間電流

The allowable short time will be determined not less than maximum fault current (symm.) with duration of 2 sec.

6. 絶 縁

220kVおよび132kV機器および母線の絶縁設計は次の条件の通り。

(1) 設計条件

- (a) 塩分付着密度は  $0.03\text{mg}/\text{cm}^2$  とする。
- (b) 220kVおよび132kV回路は直接接地方式とする。

(2) 耐電圧目標値

耐電圧目標値は回路の一線地路時、健全相の電圧上昇により他の相がフラッシュオーバーをおこすことを防止することを意とする。

従って、目標値は回路一線地路時の健全相対地電圧に耐へる値とする。耐電圧目標値 (V) は次式による。

$$V = q \times E \text{ (kV)}$$

where q : 一線地路時の健全相対地電圧上昇率直接接地系は 1.3。

E : 故障発生前の対地電圧最高回路電圧  $\times 1/\sqrt{3}$

(a) 220kV

$$V = 1.3 \times 245 \times 1/\sqrt{3} = 183.89 \text{ (kV)} = 183.9 \text{ (kV)}$$

(b) 132kV

$$V = 1.3 \times 145 \times 1/\sqrt{3} = 108.95 \text{ (kV)} = 109.0 \text{ (kV)}$$

(3) 絶縁協調

開閉所機器および関連送電線の絶縁協調は次の通り。

|   |                 |                   |
|---|-----------------|-------------------|
| Nominal voltage                                       | 220 kV          | 132 kV            |
| Highest voltage                                       | 245 kV          | 145 kV            |
| Insulation coordination and impulse withstand voltage | (BIL FULL WAVE) | (Power Frequency) |
| Transmission line                                     | 1,050 kV        | 650 kV            |
| Switchyard  | 950 kV          | 650 kV            |
| Transformer   | 950 kV          | 550 kV            |
| Lightning arrester                                    | 1,050 kV        | 650 kV            |

Note:

In accordance with IEC 71 & 99, the following insulation level are applied.

|                           |        |        |
|---------------------------|--------|--------|
| Nominal voltage           | 220 kV | 132 kV |
| Highest voltage           | 245 kV | 145 kV |
| Neutral grounding system  | Direct | Direct |
| Transformer               |        |        |
| Rated voltage             | 220 kV | 132 kV |
| Lightning impulse         | 950 kV | 550 kV |
| Power frequency           | 395 kV |        |
| Arrester                  |        |        |
| Rated voltage             | 198 kV |        |
| Nominal discharge current | 10 kA  | 10 kA  |
| Lightning impulse         | 950 kV | 650    |

32/

7. 開閉所仕様

|                                   | <u>22kV</u>  | <u>132kV</u> |
|-----------------------------------|--|--------------|
| (1) 共通項目                          |  |              |
| Type                              | : Indoor, 220 kV SF6 Gas<br>Insulated Metalclad Switchgear |              |
| Standards                         | : IEC  |              |
| Rated voltage                     | : 220 kV   | 132 kV       |
| Maximum system voltage            | : 245 kV   | 145 kV       |
| Rated frequency                   | : 50 Hz  | 50 Hz        |
| Rated short-circuit current       | : 40 kA  | 31.5 kA      |
| Insulation medium                 | : SF6 Gas  | SF6 Gas      |
| Materials of enclosures           | : Aluminum   | Aluminum     |
| Impulse withstand voltage         |  |              |
| at nominal gas pressure           | : 950 kV   | 650 kV       |
| at minimum gas pressure           | : 950 kV   | 650 kV       |
| Power frequency withstand voltage |  |              |
| at nominal gas pressure           | : 395 kV   | 345 kV       |
| at minimum gas pressure           | : 395 kV   | 145 kV       |

(2) 母線

|                                      |                |             |
|--------------------------------------|----------------|-------------|
| Rated normal current at 48°C ambient | : 3,150 A      | 2,500 A     |
| Bus bar materials                    | : Aluminium    | Aluminium   |
| Bus bar enclosed tubing arrangement  | : Single-phase | Three-phase |

|   | <u>220kV</u>                       | <u>132kV</u>                     |
|---|------------------------------------|----------------------------------|
| (3) 遮断器                                 |                                    |                                  |
| Standards                               | : IEC                              | IEC                              |
| Rated voltage                           | : 245 kV                           | 145 kV                           |
| Rated current                           | : 1,250 A<br>/3,150 A<br>(Bus Tie) | 1,250 A<br>12,500 A<br>(Bus Tie) |
| Rated short circuit<br>breaking current | : 40 kA                            | 31.5 kA                          |
| Impulse withstand voltage<br>(peak)     | : 950 kV                           | 650 kV                           |
| Power frequency withstand<br>voltage    | : 395 kV                           | 145 kV                           |
| Driving mechanism                       |                                    |                                  |
| . type                                  | :                                  |                                  |
| . rated supply voltage                  | : D.C. 110 V                       |                                  |
| Auto-reclose (T/L only)                 | : Single-phase and three-phase     |                                  |
| Rated operating duty                    | : 0-0.3sec.-CO-3min.-CO            |                                  |

|  |                                    |                                  |
|--|------------------------------------|----------------------------------|
| (4) 碍子                                   |                                    |                                  |
| Standards                                | : IEC                              | IEC                              |
| Rated normal current at                  | : 1,250 A<br>/3,150 A<br>(Bus Tie) | 1,250 A<br>/2,500 A<br>(Bus Tie) |
| Rated short-time withstand<br>current    | : 40 kA                            | 31.5 kA                          |
| Impulse withstand voltage<br>(full wave) | : 950 kV                           | 650 kV                           |
| Power frequency withstand<br>voltage     | : 395 kV                           | 145 kV                           |
| Operating mechanism                      | : Motor drive                      |                                  |
| . Motor voltage                          | : D.C. 110 V                       | D.C. 110 V                       |

323

|  | <u>220kV</u>                    | <u>132kV</u>         |
|--|---------------------------------|----------------------|
| (5) 高速接地開閉器                              |                                 |                      |
| Standards                                | : IEC                           | IEC                  |
| Rated making current                     | : 40 kA                         | 31.5 kA              |
| Impulse withstand voltage<br>(full wave) | : 950 kV                        | 650 kV               |
| Power frequency withstand<br>voltage     | : 395 kV                        | 145 kV               |
| Operating mechanism                      | : Motor drive and hand-operated |                      |
| . Motor voltage                          | : D.C. 110 V                    | D.C. 110 V           |
| (6) 接地開閉器                                |                                 |                      |
| Standards                                | : IEC                           | IEC                  |
| Rated making current                     | : 40 kA                         | 31.5 kA              |
| Impulse withstand voltage<br>(full wave) | : 950 kV                        | 650 kV               |
| Power frequency withstand<br>voltage     | : 395 kV                        | 145 kV               |
| Operating mechanism                      | : Hand operated                 |                      |
| (7) 避雷器                                  |                                 |                      |
| Standards                                | : IEC                           | IEC                  |
| Rated voltage                            | : 198 kV                        | 109 kV               |
| Nominal discharge current                | : 10 kA                         | 10 kA                |
| Lightning impulse                        | : 1,050 kV                      | 650 kV               |
| (8) 変流器                                  |                                 |                      |
| Standards                                | : IEC                           | IEC                  |
| Rated primary current                    | : 700, 1,250,<br>3,000 A        | 600, 800,<br>2,500 A |
| Rated secondary current                  | : 1 A                           | 1 A                  |



|  | <u>220kV</u> | <u>132kV</u> |
|--|--------------|--------------|
| Accuracy class                           |              |              |
| . Measuring                              | : CL 0.2     | CL 0.2       |
| . Protection 1                           | : 5P 30      | 5P 20        |
| . Protection 2                           | : 5P 30      | 5P 20        |
| . Differential protection                | :            |              |
| Burden                                   |              |              |
| . Measuring                              | : 20 VA      | 20 VA        |
| . Protection 1                           | : 40 VA      | 20 VA        |
| . Protection 2                           | : 40 VA      | 40 VA        |
| Impulse withstand voltage<br>(full wave) | : 900 kV     | 650 kV       |
| Power frequency withstand<br>voltage     | : 395 kV     | 145 kV       |

(9) 電圧変成器

|  |                     |                   |
|--|---------------------|-------------------|
| Standards                                | : IEC               | IEC               |
| Rated primary voltage                    | : $220/\sqrt{3}$ kV | $132/\sqrt{3}$ kV |
| Rated secondary voltage                  | : $100/\sqrt{3}$ V  | $100/\sqrt{3}$ V  |
| Rated tertiary voltage                   | : $100/\sqrt{3}$ V  | $100/\sqrt{3}$ V  |
| Accuracy class                           | : 1.0               | 1.0               |
| Burden                                   |                     |                   |
| . Secondary                              | : 200 VA            | VA                |
| . Tertiary                               | : 50 VA             |                   |
| Impulse withstand voltage<br>(full wave) | : 900 kV            | 650 kV            |
| Power frequency withstand<br>voltage     | : 395 kV            | 145 kV            |

## 8. 開閉所位置

新設 220kVおよび 132kV開閉所は発電所南側、即ち、既設 66kV開閉所の反対側に位置するように計画した。開閉所の位置および配置については、引出送電線および各変圧器の位置を考慮し検討を行った。

### 変電所位置比較

| 場 所<br>項 目   | 既設 66kV屋外開閉所   | PSO油タンク                                |
|--|--|--|
| 敷地の確保  | 66kV屋外開閉所撤去移設  | 油タンク撤去移設                               |
| 11kV配電所への<br>電源供給信頼度   | 屋外開閉撤去移設工事中<br>電源1回線停止時期有り   | 現状のまま運転可能                              |
| "BX"発電所  | No.9ユニット用 66kV開閉所<br>回路移設のため一定期間停止   | 現状のまま                                  |
| 既設 66kV開閉所   | 改造工事が必要<br>1. 新 66kV開閉所設置<br>2. 屋外開閉所回路移設  | 現状のまま                                  |
| 新設送電線互長  | ベース  | 300m/回線 長い                             |
| 220kV送電線<br>ケーブルルート<br><br>主変圧器, 起動<br>変圧器, 220kV<br>ケーブルルート | 道路側より引込<br><br>1. BX発電所放水管路横断<br>2. BX発電所とアドミニスト<br>レーションビル間が狭い<br>3. ユニットNo.2の放水路工事<br>との取合有り | 道路側より引込<br><br>ユニットNo.1の建設敷地内で<br>施工可能 |

## 9. 開閉所配置

The arrangement of substation has been studied taking into consideration easy operation, maintenance and also extension works.

However, the space of substation is small, limited to the effective space with approximately 1,600 m<sup>2</sup> (40 m x 40 m) and boundary wall between power station and KPT entrance is standing at south side.

The necessary space of 220 kV, 132 kV switchyard and transformers are as follows.

|                           |                 |                    |
|---------------------------|-----------------|--------------------|
| 220 kV Switchyard         | 37.5 m x 11.2 m | Nine (9) bays      |
| 132 kV Switchyard         | 27.0 m x 9.7 m  | Thirteen (13) bays |
| 220 kV/132 kV Transformer | 2.0 m x 8.0 m   | Two (2) sets       |
| 132 kV/11 kV Transformer  | 4.5 m x 4.5 m   | Two (2) sets       |

The cable routes among above facilities to be designed underground cable tunnel.

The arrangement of substation has been designed taking into account the following matters.

To coordinate with power plant layout main and starting transformer

To coordinate with outgoing transmission lines (underground cable)

The arrangement of substation as attached.

## 10. 開閉所制御室の位置

変電所操作室は 132kV開閉所屋上に設置する。この操作室には 220kVおよび 132kV開閉所制御盤、および母線、送電線保護継電器盤ならびに通信装置盤等が設置する。

変電所用蓄電池は同階の別室に設置する。

発電機並列回路および起動変圧器回路の操作および監視は、発電所中操のBTG盤より行う。従って、これ等の回路は変電所操作室では監視のみとなる。

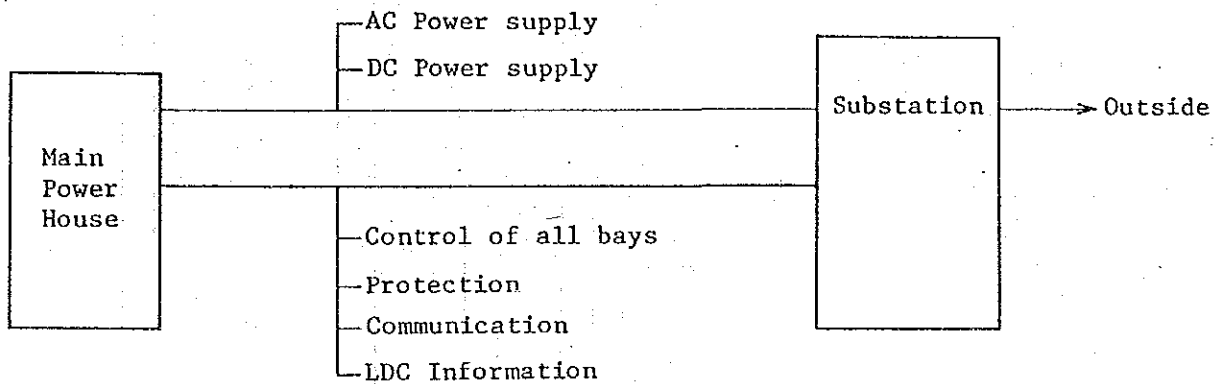
操作室を変電所に建設することにより受電工程が確保されるとともに、制御ケーブルの量が少く経済的であり有利である。

The comparison study of the location of switchyard control room is as describe hereunder.

a. Cable route among respective equipment for switchyard

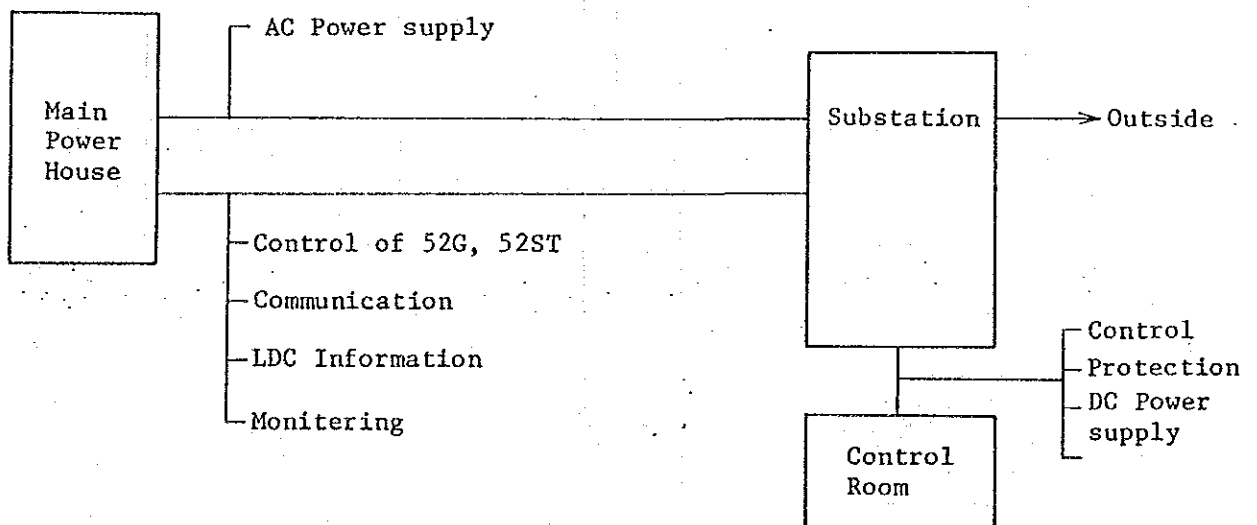
Case-1

The control and relay panel of the 220 kV and 132 kV switchyards and associated equipments will be installed in the central control room,



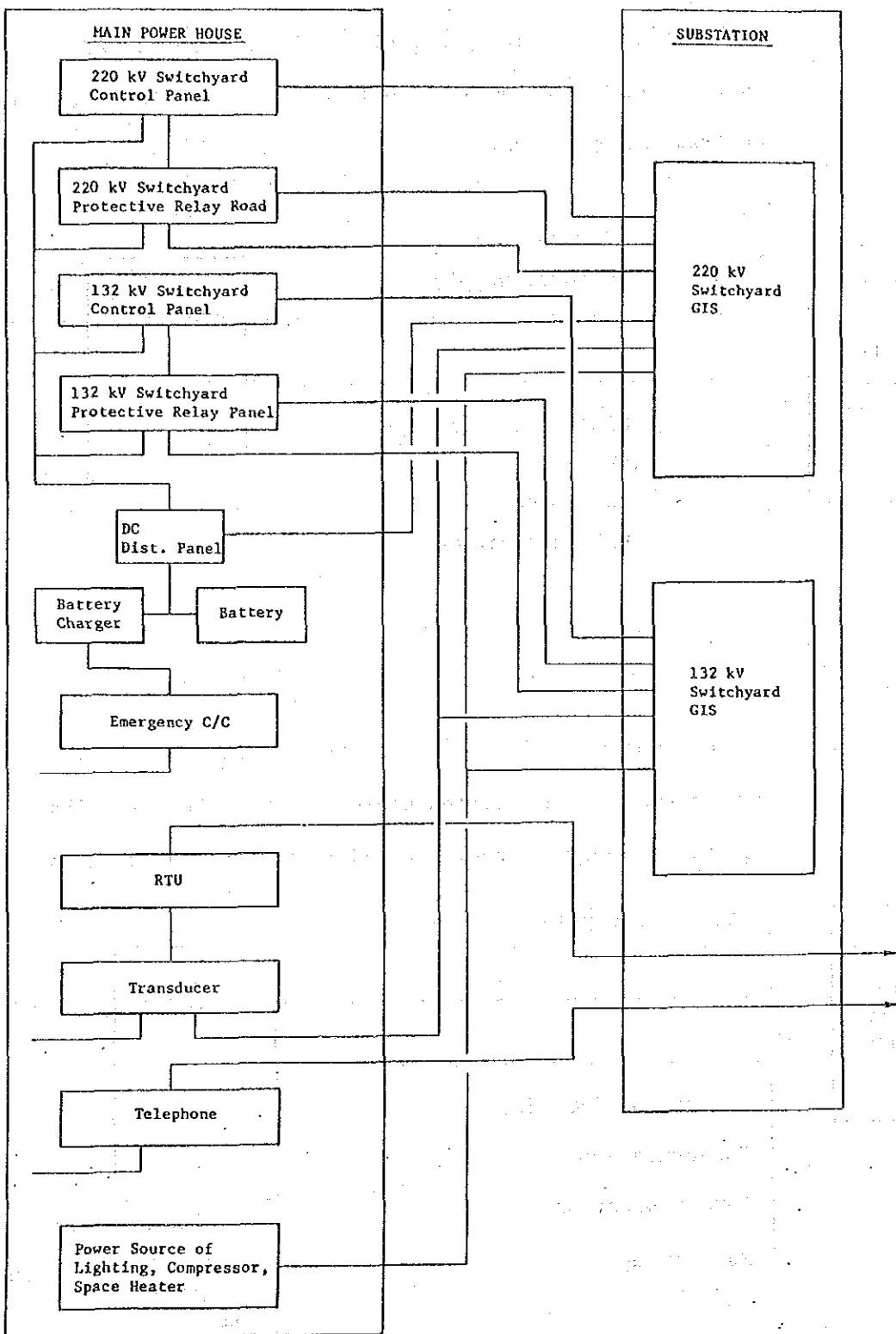
Case-2

The control and relay panels of the 220 kV and 132 kV switchyard, and associated equipments will be installed in the substation control room, located in the substation area.

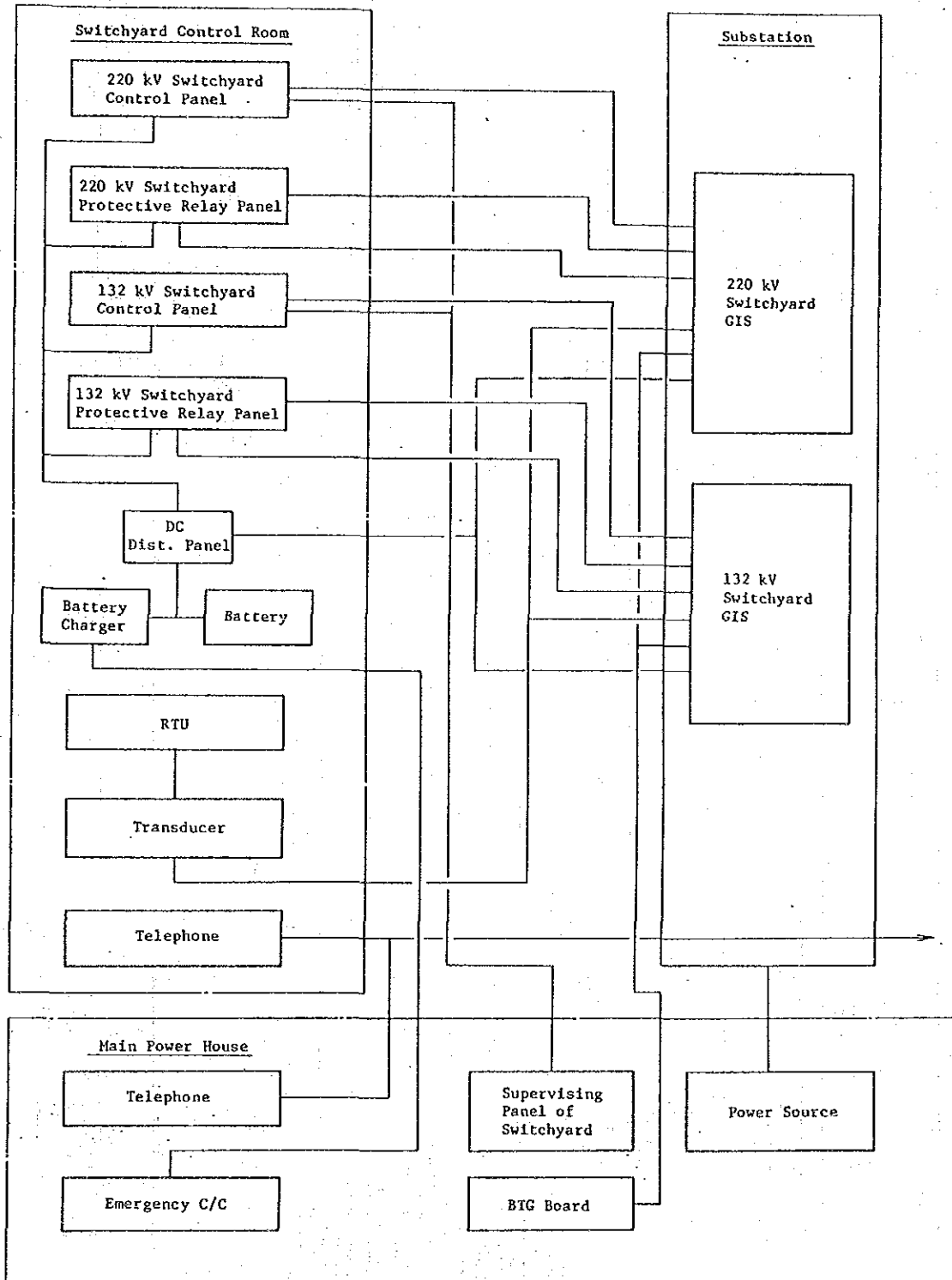


329

b. Cable Route of Control Scheme (Case-1)



c. Cable route of Control Scheme (Case-2)



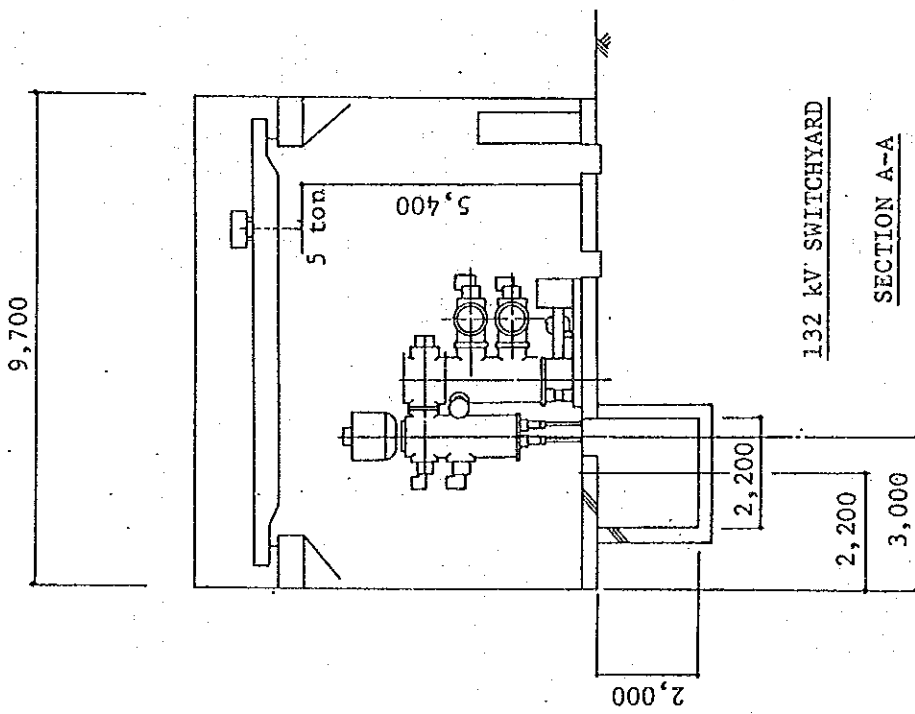
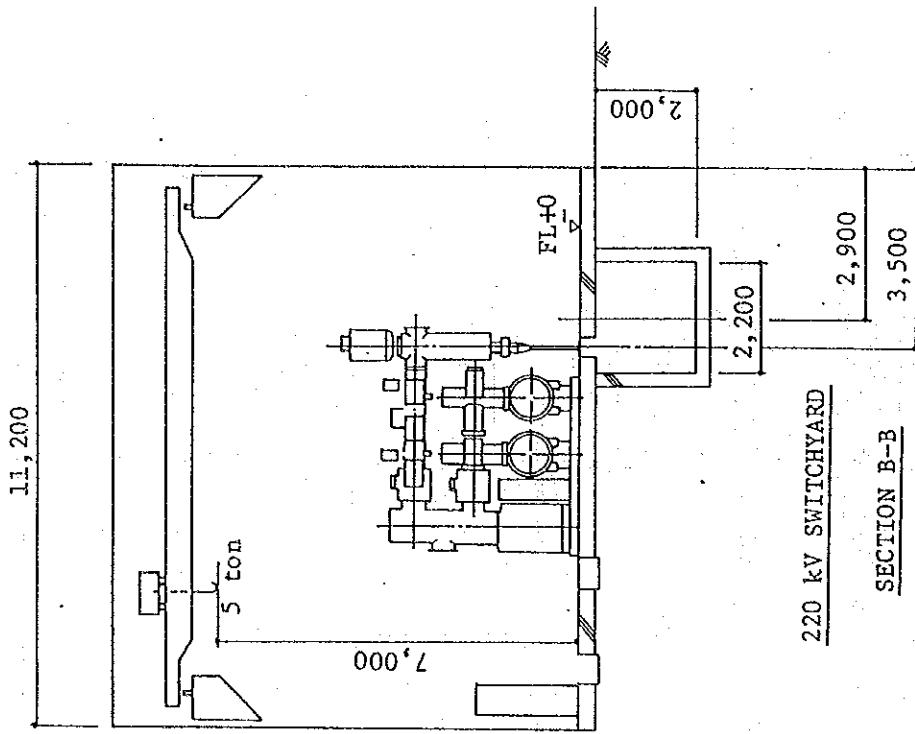
1/88







SECTION VIEW OF 220 kV AND 132 kV SWITCHYARD



334

## E-13 照 明 設 備

### 1. 一般事項

照明は、常用照明（AC）の常・非常用照明（AC）および非常用照明（DC）より構成され、屋内外機器、事務室および道路に適用する。

常・非常用照明は、常用照明電源停止時に保安照明電源を自動的に供給する。非常用照明の設置場所は、本館ボイラおよび変電所である。

非常用照明は常用照明電源停止時に、保安照明電源を自動的に供給する。非常用照明の設置場所は、上記常・非常用照明と同一である。

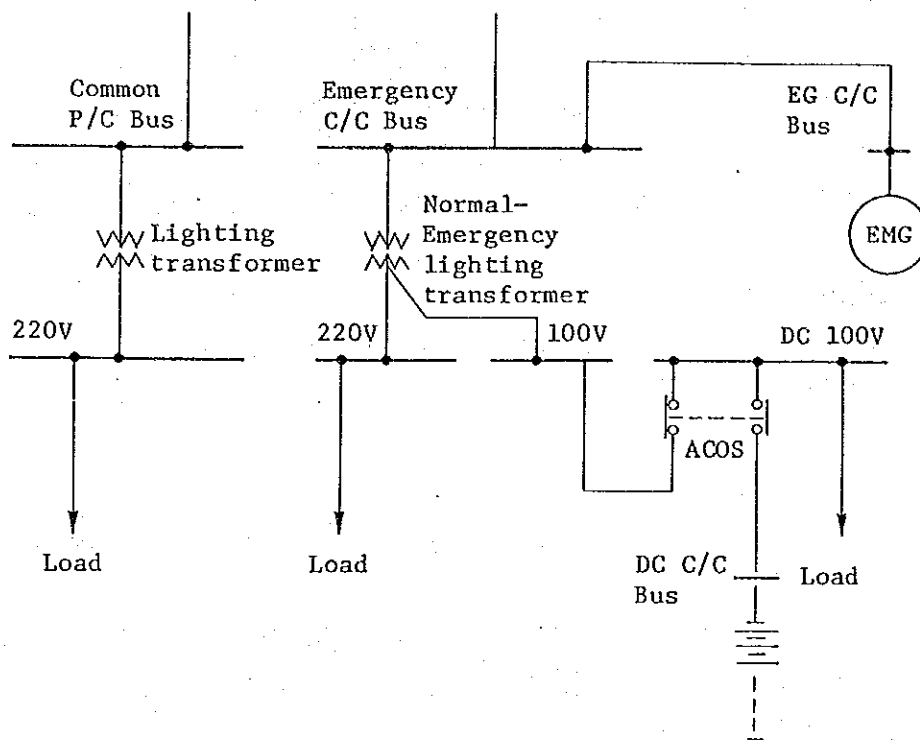
### 2. 照 度 (lx)

各々の場所の常用、常・非常用および非常用照明の照度は次の通り。

| Area  | Illumination level (lx) |                           |                    |
|---|-------------------------|---------------------------|--------------------|
|   | Normal lighting         | Normal emergency lighting | Emergency lighting |
| Central control room, substation control room | 500                     | 50                        | 5                  |
| Office  | 300                     |                           |                    |
| Shift room, shift supervisor room             | 200                     |                           |                    |
| Instrument and electrical repair room         |                         |                           |                    |
| Metal clad switchgear                         |                         |                           |                    |
| Power center, control center                  |                         |                           |                    |
| Turbine-generator room                        | 100                     |                           |                    |
| Emergency diesel generator                    |                         |                           |                    |
| Control equipment room                        |                         |                           |                    |
| Plant water equipment control room            |                         |                           |                    |
| Waste water control and chemical storage room |                         |                           |                    |
| Generator PT, battery room                    | 70                      |                           |                    |
| Other rooms, stairs                           |                         |                           |                    |
| Generator seal oil equipment area             |                         |                           |                    |
| Fuel equipment, screen area, evaporator       | 50                      |                           |                    |
| Air compressor, BFP and condenser area        |                         |                           |                    |
| Main, auxiliary and starting transformer      | 20                      |                           |                    |
| Main roads                                    | 5                       |                           |                    |
| Switchyard                                    |                         |                           |                    |
| Branch roads                                  | 2                       |                           |                    |

### 3. 照明回路の基本設計

#### (1) 照明回路電源供給方式



即ち、常用および常・非常用照明電源は、通常AC 210V、非常用電源はDC 105Vである。照明電源は共通パワーセンターより供給され、照明分電盤より各々の照明器具へ供給される。

(2) 回路方式決定に当たっての留意事項

- a. 電気供給方式、点灯方式を考慮して経済的な配線計画とする。
- b. 分岐回路については電圧降下、機械的強度を考慮する。
- c. 幹線計画については、将来の負荷変動要素を加味したものとし、分電盤取付位置は点検保守が容易な場所で、かつ負荷の中心に近い場所を選定する。

(3) 電線サイズの選定

通常、電線サイズの決定にあたっては機械的強度、電流容量、許容電圧降下の3条件を十分満足する様に選定する。

a. 電線の機械的強度

屋内配線では架空線に比べ機械的荷重はわずかであるが、保安、保守および施工上十分な強度を必要とする。従って、電線最小太さについて法規で制限されており、原則として1.6mm<sup>2</sup>の軟銅線と同等以上の太さ、強さが要求されているが、発電所の場合、配線環境が苛酷な条件にさらされることより2.0mm<sup>2</sup>の軟銅燃線としている。

b. 電線の許容電流

電線には許容電流が規定されており、それ以上の電流を通すことは許されない。

c. 許容電圧降下

許容電圧降下の決定には、次の諸条件を考慮する必要がある。

- (a) 負荷の機能を損しないこと。
- (b) 負荷端子電圧の変動幅を少なくすること。
- (c) 各負荷端子電圧の均一化をはかること。
- (d) 配線中の電力損を軽減すること。
- (e) 不経済にならないこと。

以上の諸点を考慮して、分岐回路、幹線の電線サイズを決定する。

通常許容電圧降下は、幹線と分電盤2次側とに分け、分電盤2次側以降で2%、幹線で3%~10%（電線直長による変わる）としている。

d. 電圧降下の計算

次の近次式を用い、負荷は平衡しているものとして計算する。

$$V = Kw (R \cos \theta + X \sin \theta) IL$$

ここに Kw : 電気方式による係数で下記の通り

単相または直流2線式 ..... 2

単相または直流3線式 ..... 1

3相4線式

3相3線式 ..... 3

R : 電線1mあたりの抵抗 ( $\Omega$ )

X : 電線1mあたりのリアクタンス ( $\Omega$ )

$\theta$  : 力率角 (直流の場合は  $\theta = 0$ )

I : 電流 (A)

L : 亘長 (m)

(4) 発電所本館, ボイラ廻りへの適用

a. 照明電線

a) 使用電圧

(a) 一般照明用電源 (200V) AC 3 $\phi$ 3W 210V

(b) 一般照明用電源 (100V) AC 3 $\phi$ 3W 105V

コンセント用電源

(c) 非常灯用電源 AC/AC 1 $\phi$ 2W 210V

AC/AC 1 $\phi$ 2W 105V

AC/DC 1 $\phi$ -DC2W105V

b) 電源の電圧降下

電源の電圧降下は一般に幹線と分電盤2次側とに分けて考える。内線規程による標準電圧降下は下表の通りである。幹線と2次側の亘長の関係で、表により難しい時は水銀灯に限り下線、2次側の合計で10%以下とする。

| 亘長      | 幹線電圧降下 | 分電盤2次側電圧降下 |
|---------|--------|------------|
| 60M 以下  | 3%     | 2%         |
| 120M "  | 5%     | "          |
| 200M "  | 6%     | "          |
| 200M 超過 | 7%     | "          |

339

## b. 回路方式

### a) 点滅回路

全ての灯具を常時点灯回路と自動点滅回路に分類する。

#### (a) 常時点灯回路

- ・本館タービン室1階
- ・     "       2階
- ・     "       3階
- ・ボイラー廻り下層階 (FL 20,000mm前後まで)

但し、本館建屋より高い部分であっても、ダクト等の陰に当る部分は常時点灯回路とする。

- ・ボイラー、バーナー付近

#### (b) 自動点滅回路 (タイマー操作)

- ・ボイラー廻り上層階
- ・主変圧器廻り
- ・煙道付近
- ・道路照明

なお、以上に掲げる回路の区分は、原則として日中、夜間を問わず照明を必要とし、特に日中でも日陰に当る部分は常時点灯回路を、その他の部分には自動点滅回路を適用する。

## c. 非常灯回路

- ① 階段及び通路を主としてその設置対象部分とする。
- ② 予備電源として30分以上点灯できる容量の専用バッテリーか、或は10秒スタートの専用発電機が必要である。
- ③ 配線は耐火性のあるものでなければならない。

発電所には所内用バッテリー装置及び非常用発電装置があり、運転上の非常灯設備が設置される。

組込型の白熱灯は二重コイルのものを採用し、AC/DC回路の配線には耐熱ビニル絶縁電線 (HIV) を使用し、別配管を施すものとする。

#### (a) AC/DC 105V回路

- ・本館1, 2, 3階、階段及び通路、中央操作室一部
- ・本館タービン天井非常灯 (白熱灯)
- ・ボイラー廻り階段及び通路
- ・     "       ボイラーバーナー前

#### (b) AC/AC 210V回路

- ・本館1, 2, 3階機器廻り、補機室、中央操作室



#### d. 分岐回路

- (a) 分岐回路はMCCB2P50AF20ATを原則とする。
- (b) 分岐回路の容量はTRIP値の80%以下とする。
- (c) 回路のまとめ方
  - ・電気方式、点灯方式を考慮し、ムダな配線経路とならない様にする。
  - ・保守を考慮、複雑な配線とならない様にする。
- (d) 分岐回路のサイズ
  - 電圧降下、機械的強度を考慮する。
  - ・一般照明 AC 210V, 非常照明 AC/AC 210V
  - ・非常照明 AC/DC 150V

## 2. 器具の選定

器具の選定に際しては、経済性（設備費及び経常費）と実用性との総合勘定の上光源の種類を決定する。一般には点灯時間の長いものは、経常費の安い蛍光灯を使用し、点灯時間の比較的短いものは設備費の安い白熱灯または、蛍光灯などを選定する。

また、広範囲にわたる照明に対しては、高輝度、高効率、長寿命である水銀灯が有利である。

### (1) 白熱電球

白熱電球は各種大小の容量のものが得られるので、使用範囲の広い特長をもっている。しかし、数多くの光源を必要としたり、大容量のランプを使用する際は、その輝度のためにまぶしさを与えることがある。

### (2) けい光灯

けい光灯は効率が高く、かつ輝度が低いため、天井の低い場所、高照度の床、鉛直面照度を必要とする所に適した光源である。

タービン室一、二階も比較的低い天井構造なら高出力けい光灯の line light 照明で高照度、快適な照明ができる。

けい光灯には予熱起動形と、ラビット形のもののが使用されている。予熱起動形は一般に普及していて、起動に点灯管（グローランプ）を使用する方式で、ラビットスタート形は点灯管を用いず、ランプ管壁の内側または外側に起動を補助する処理がしてある。

(3) 水銀灯（高圧水銀灯，けい光高圧水銀灯）

高天井のタービン室三階には必ず水銀灯が使われている。屋内用には光色を補正したけい光高圧水銀灯を用い、屋外には普通の高圧水銀灯と、けい光水銀灯が使用される。効率がよいため投光器の光源としても使用される。

水銀灯投光器は火力発電所の屋外照明，変電所，物置場，油タンクなどの照明には適した光源である。水銀灯は起動および再点灯に数分を要するから、必要の場所には停電灯用の白熱電灯またはけい光灯を併置するようにする。

(4) 器具の選定

前項の各光源使用による具体的な選定例を次に示す。

- a. タービン建屋本館 1，2，3階および屋上、本館 1，2階は原則として、けい光灯 40W×2灯用、反射笠パイプ吊を配置し、階段灯は非常照明が必要なため、白熱灯組込型（AC/DC，105V供給）を使用する。一方機器廻りの非常照明については、非常時、内1灯点灯の常時、非常時兼用型（AC/AC 210V供給）を使用する。また一部天井の高い所や、所要照度の確保が出来ない所（低圧給水過熱器廻り、大物搬入口等）にはけい光水銀灯，HF 400W，セード付パイプ吊，並びにラケットを使用する。

本館3階タービン天井は天井が高い上に一般の場所と比較して高照度を必要とするため、高出力けい光水銀灯 400Wを使用する。また3階タービン天井に於ける非常照明は、白熱灯 300W（AC/DC 105V供給）で行い、非常時の照度を確保する。

なお、パワーセンター廻りに於いては、3階タービン台と同一フロアのため、タービン天井照明と同一タイプの蛍光水銀灯HF 300Wセード付、パイプ器具を使用し、非常灯はタービン天井と同一の白熱灯 300W（AC/DC 105V供給）する。

屋上、脱気器廻りに於いては、けい光灯 40W×2灯用反射笠直付（防水型）とし、冷却水ヘッドタンク照明及び階段照明にはけい光水銀灯HF 400W，ブラケット（防水型）を使用する。

- b. ボイラー及びボイラーバーナー廻り

蛍光灯 40W×2灯用反射笠直付を原則として設置し、防爆範囲内に於いては第1種，第2種危険場所を判定して、それぞれの場所に合った照明器具とする。

ボイラー廻りの取付位置の高い部分に於いては、適当な取付個所が少ない為、蛍光水銀灯を使用し、可能な限り鉄骨を利用したブラケット型とする。

階段部分には非常灯器具として、白熱灯直付（AC/DC 105V供給）を取付ける。

c. 主変圧器および煙道廻り

主変圧器廻りの一部を除き、全て蛍光水銀灯HF 400Wを使用し、できるだけ架台鉄骨を利用したブラケット型とし、やむを得ない場合のみボール灯とする。

d. 構内道路

原則としてハイウェイ灯HF 400Wを採用し、器具の配列は片側配列とする。取付高さは拡道路に於ては10m、狭道路に於ては8mとする。または器具間隔は約 $60 \times H$ とするが、拡道路、狭道路に於て最低1lxの路面照度を確保する。

e. 中央操作室

光源はけい光灯(FLR-40W)とし、器具はルーバー方式とする。非常灯は、白熱灯60W(AC/DC 105V)埋込型を採用する。

343







## PIC-1 プラントインターロック

1. 最近の火力プラント設備には、巾広い高度の制御機能と、運転機能が要求される。設備の誤操作や装置の故障からプラントを保護するため、プラントインターロック装置を含むいくつかの保護装置が必要となる。

ウエストワープ1, 2号ユニットの保護機能の基本的な考え方は、ドラム型ボイラと蒸気タービン発電機の間で協調のとれた下記のような基本計画をベースにしている。

### 2. ユニット保護機能 (プラントインターロック)

#### 2.1 発電機

- (1) 送電系統の事故による急激な負荷遮断の場合、運転中のユニットの発電機と変圧器に異常がなければ、発電機保護インターロック (52G) を開にすることによって、ユニットは保護されなければならない。
- (2) ユニット1号(2号)が運転中、タービン事故によりタービン マスタトリップソレノイドリレー(MTS)が動作した場合、発電機のモータリングを防止するため86Gが動作する。
- (3) 86Gが動作した場合、MTSリレーが動作してタービントリップに至らしめる。

#### 2.2 タービン

- (1) ユニット1号(2号)が運転中に、タービンに事故が発生した場合、発電機をトリップさせるため、タービンのMTSリレーを動作させることによって、86Gを動作させる。
- (2) ユニット1号(2号)が運転中に、86Gリレーが動作する事故の場合は、タービンをトリップさせるべくMTSリレーが動作する。

- (3) マスター フェール トリップリレー(MFT)が動作する事故では、タービンの MTSリレーが動作し、タービンをトリップさせるべく動作する。

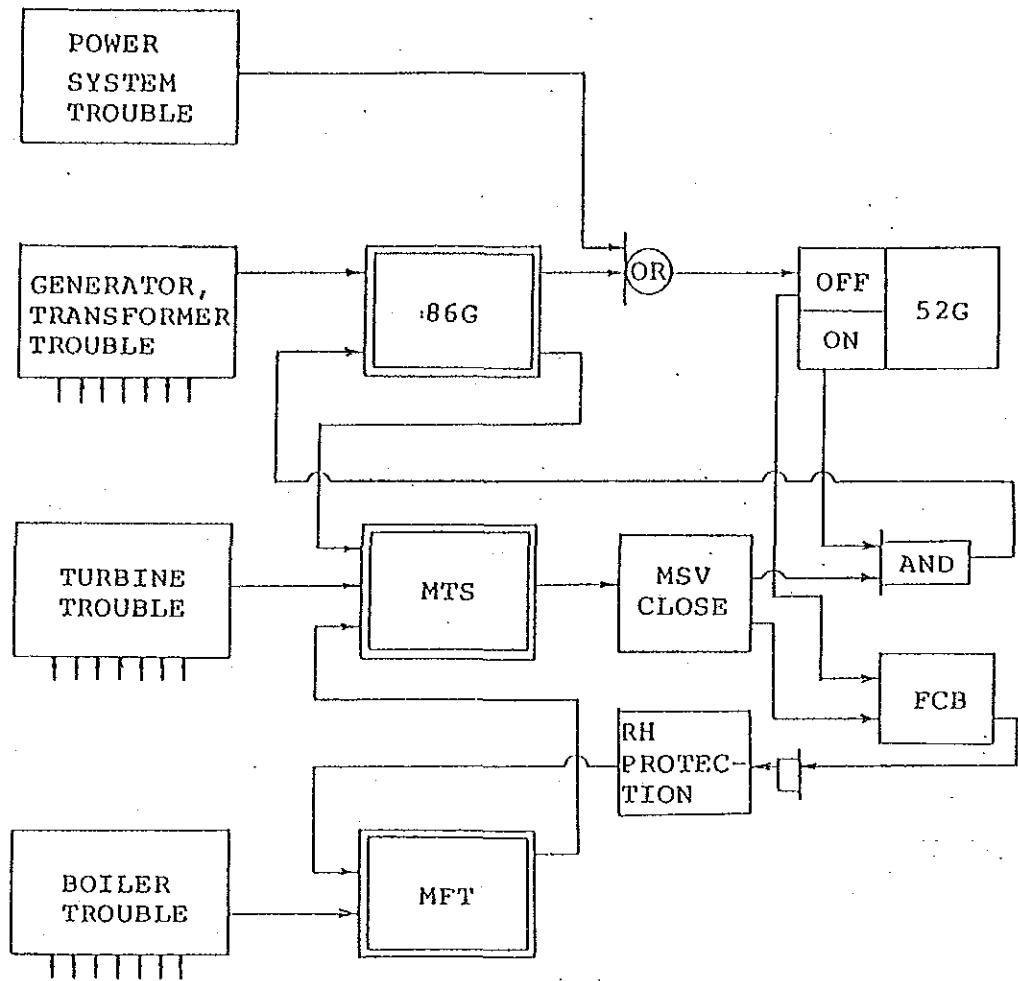
## 2.3 ボイラ

- (1) ユニット1号(2号)が運転中に送電線側事故により 52Gが遮断された場合、ボイラは燃料の高速絞り込み (FCB) により、所内単独運転を継続させる。
- (2) 再熱器保護
- a. ボイラの再熱器保護のため、FCBシステムを採用する。
  - b. タービンバイパスを採用するプラントの場合で、ユニットが所内単独運転になってもタービンバイパス弁が開とならず、そして燃料流量がボイラの最低負荷相当の流量まで減少しないときは、MFTリレーが動作する。

## 3. まとめ

ボイラ、タービン、発電機のトリップ及び、それぞれの事故に関する詳細は、実施設計段階で決める。





BASIC PLANT INTERLOCK

PIC-1-3

346



## PIC-2 プラント制御システムの設計概要

1. ウェストワープ火力1号、2号ユニット出力は、それぞれ 200MWに計画されており、カラチ電力会社(KESC)のユニットの中でも最大ユニットの1つである。このため、このユニットの停止はKESC全体の電力系統に実質的な影響を与える。この重要性を考慮して、ウェストワープ火力発電所の1号及び2号設備は、KESCの電力系統に整合した設計計画を行った。

- 電力の安定供給を行うために、発電出力の増加、減少が行い易いことが必要である。
- 送電系統の周波数調整装置があること。
- 系統事故時、適切な対策がとれること。

上記の観点から、ウェストワープ1号及び2号ユニットの制御機能を持つものとして計画した。

- (1) ユニットの安全性
- (2) 高い信頼性と事故率の低いこと
- (3) プラントの運転が容易なこと
- (4) プラントの制御が容易なこと
- (5) 高い制御性能
- (6) 保守の容易なこと
- (7) 経済性のあること

## 2. プラント制御系の必要事項

系統からの要求に対して、ユニット1号(2号)のプラント制御システムは、下記条件を配慮して設計した。

### 2.1 ユニットの安全性

設備の監視機能を充足するため、プラントコンピューターを導入した。更に、タービン内へのドレンの浸入防止、燃料油のボイラー内への漏洩など、ユニットの安全に対して対応出来る制御機能を持つものとした。

系統事故の場合、所内単独運転を継続するため、FCB(ファースト カット バック)機能を採用した。

## 2. 2 高信頼性と事故の減少

高い信頼性を得るため、信頼性の高い電子式制御方式をボイラ制御装置(ABC)、自動バーナ制御装置(ABC)、電気-油圧タービンガバナ制御装置(EHC)に採用した。アクチュエータは、数多くの火力プラントに採用されている空気式とした。これは、高温、過酷な環境、振動などに対して優れているためである。

ローカル制御系にも同様の理由から、空気式の装置を採用する。

信頼性を向上させ事故の発生を最少とするため、プラント制御系は、自己診断機能を組みこんだものとした。

## 2. 3 プラント運転の安全性

負荷の増減に対して、ボイラとタービンの協調制御の信頼性を高めるために、ALP(自動負荷追従)機能を採用し、ユニットの安定運転を確保出来るようにした。

## 2. 4 中央制御システムの採用

操作端は、操作を集中化するとの観点から、中央操作室内のBTG盤に集中することが望ましい。しかしながら、簡単な制御システムはローカル設備に取付け、中央集中制御と現場制御を分けるものとする。

BTG操作盤、補助盤のアレンジは、誤操作を防ぐため、人間工学の観点から最適なデザインとする。

## 2. 5 制御性

大容量火力発電所に於ては、高い制御機能が要求されることから、電子式制御方式をABC、ABS及びEHCに採用した。

## 2.6 保守性

電子式制御装置には原則として、自己診断機能をもたせる。保守が簡易に出来るよう、プラント制御装置はメンテナンスフリーに近いものとする。

制御キャビネット内に置く予備プリント板への電源供給は、実施設計段階で検討する。

## 2.7 経済性

制御装置の役割は、発電設備を安定して運転する事にある。

発電設備に付属する制御機能は、発電設備の信頼性に対して大きな影響を与える。

プラント全体に占る制御装置のコストは、僅かに数パーセントにすぎない。

したがって、信頼性があり、保守の容易な制御装置は、そのコストに左右されず、採用すべきである。

これにより、発電設備として信頼性を高め、プラント全体の経済性を高めることになる。

すなわち、高い信頼性と故障しない制御装置を選択することが、最終的に最も経済的なるからである。

## 3. プラント制御の基本構成の思想

上記に述べた必要事項を考慮して、プラント制御装置基本構成の概念は、Fig. 1とTable 1に示す通りである。

Table 1は制御系統を階層別に、ブレイクダウンしたものである。

REMARKS

LEGEND FOR SIGNALS

1 ——— CONTROL INTERLOCK,  
INDICATION & ALARM

----- INDICATION & ALARM

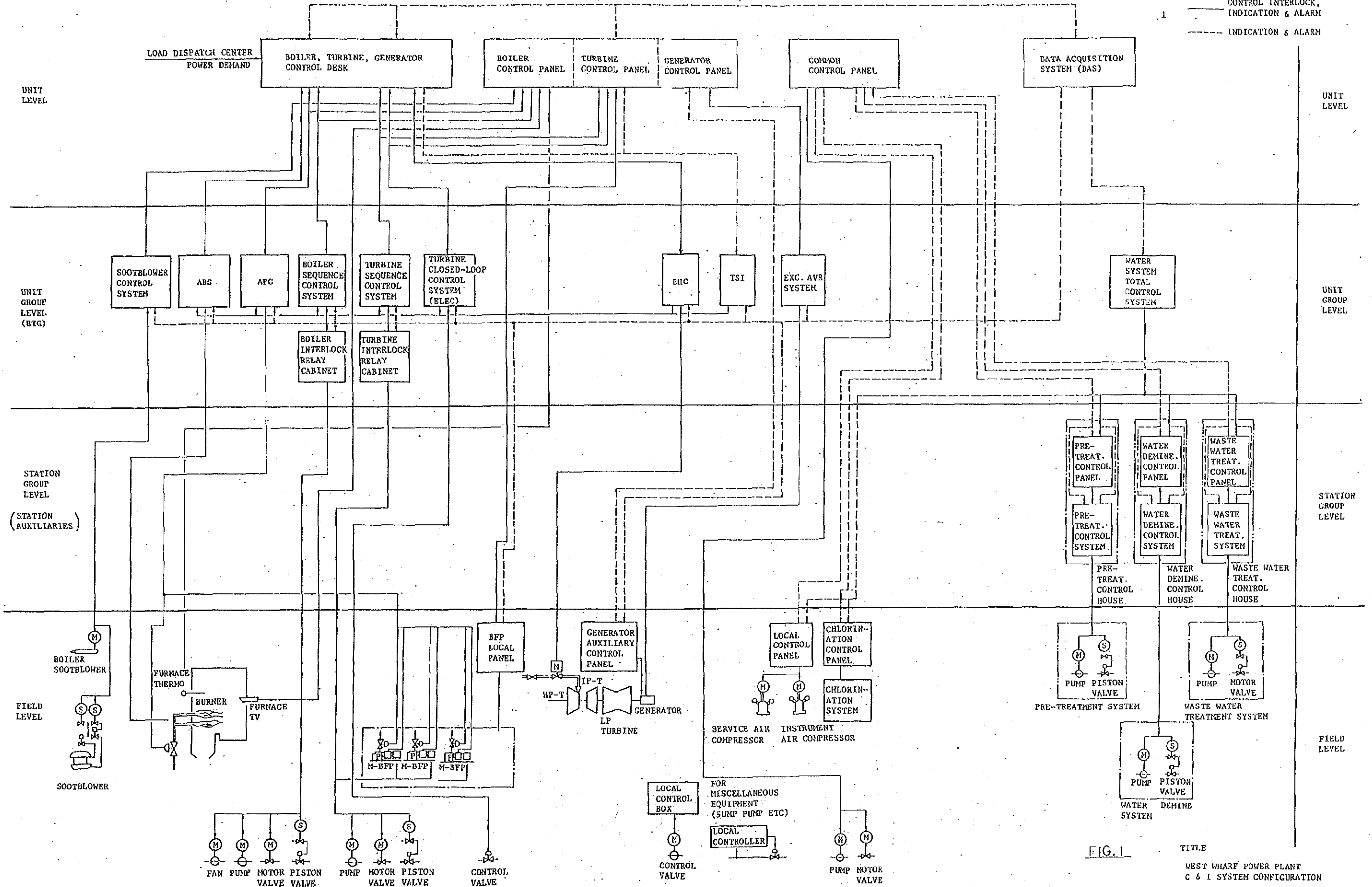


FIG. 1

TITLE  
WEST WHARF POWER PLANT  
C & I SYSTEM CONFIGURATION

258



1-55

Table 1 Classification and Breakdown of Control Equipment for Unit I

|   | Boiler           |                  |                | Turbine                   |                 |                | Common and Aux. Equipment       |                                 |                                 |
|---|------------------|------------------|----------------|---------------------------|-----------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|   | ABS              | ABS              | Local          | EHC                       | TSI             | Local          | Water pretreatment              | Water treatment                 | Salt electrolyzer               |
| Detector/ arithmetic sections                                 | *Electronic type | *Electronic type | Pneumatic type | *Electronic type          | Electronic type | Pneumatic type | Relay logic or *electronic type | Relay logic or *electronic type | Relay logic or *electronic type |
| Actuator  | Pneumatic type   | Pneumatic type   | Pneumatic type | Electrical hydraulic type | -               | Pneumatic type | Pneumatic type                  | Pneumatic type                  | Pneumatic type                  |
| Location of control terminals (in central control room/local) | Central/Local    | Central/Local    | Local          | Central/Local             | Central (IND.)  | Local          | Local                           | Local                           | Local                           |
| Location of installation                                      | Control room     | Control room     | Local          | Control room              | Control room    | Local          | Local                           | Local                           | Local                           |
| Remarks   |                  |                  |                |                           |                 |                |                                 |                                 |                                 |

\*The electronics type control equipment shall have a self-troubleshooting function both in arithmetic and logic circuits.





## PIC-3 タービンバイパスシステム

### 1. タービンバイパス系統 必要性の見直し

先きに、中間レポートの項(4-3-5)にタービンバイパス系統の採用を提示したが、JICAは、KESCの送電線系統に占める新設のウエストワープ火力ユニットの役割の見直し、及びタービンバイパス系統設備の長所、短所、弁トラブル コストパフォーマンスなどを検討した結果、タービンバイパス系統の不採用を決めた。

### 2. タービンバイパス系統の優劣

#### (1) 利 点

タービンバイパス系統が設備されていることにより、下記の運転が可能である。

##### (a) ボイラ単独運転

全負荷(100%, ECR)運転中にタービントリップし、急激な負荷遮断をした後ボイラのみ単独運転が出来る。

##### (b) ボイラ, タービン, 発電機の所内負荷運転が出来ること。

(注) 所内負荷運転中では、ボイラの発生蒸気量はMCRの30%相当、タービン発電機は5%相当(MW)の運転となる。残り25%(30%~5%)相当の蒸気量は、タービンバイパス系統を通してタービン復水器に流れる。

#### (2) 欠 点

##### (a) 設備費の増加

タービンバイパス系統の設備費は、タービンバイパス系統容量とタービン通気条件により異なるが、コストは一般的に云って、おおよそ1~1.3億円(151~9×10<sup>6</sup>Rs)のコスト増となる。

##### (b) システム故障と誤操作の可能性

タービンバイパス系統は高温・高圧蒸気が流れるため、次のような弁故障が発生しやすい。

i) バルブシートからの蒸気洩れ(タービンバイパス止弁, 注水弁, 調整弁)

ii) バルブグラントからの蒸気洩れ(タービンバイパス止弁, 注水弁, 調整弁)

### iii) 制御装置の故障

この系統の故障発生により、故障修理の間は、ユニットを停止せざるを得ない。

## 3. メリット、デメリットの比較

先きに述べたように、タービンバイパス系統を採用する事の利点はあるものの、次下の記す利用制約を考える必要がある。

### (1) ユニット起動時間短縮の制限

タービンバイパス系統のあるユニットでは、タービンのホット起動やベリーホット起動では、起動時間の短縮が出来る。しかし、冷機起動や暖機起動にはタービンバイパス系統は使用出来ない。

その理由は、ボイラ点火からタービン起動の間、プラントの昇温率は、ボイラドラムの熱応力により制限されるからである。即ち、ユニットの冷機起動や暖機起動の場合、タービンバイパス系統の使用はボイラの起動時間短縮に効果がない。

さらに、冷機/暖機起動状態では、タービンの第1段落出口に於ける蒸気温度と第1段落金属内外面の温度差から生ずる金属の熱応力ひずみをひき起こす事になる。

こうした理由から、タービンバイパス系統は冷機/暖機の起動状態に於いては、有効ではない。

### (2) 所内負荷運転又はボイラ運転の制限送電系統の電気事故では、タービンバイパス系統がある事によりボイラ単独運転又は所内単独運転に移行する事が出来る。

この場合ボイラの発生蒸気は、所内負荷相当又はボイラ無負荷運転相当の量に絞りこまれる。

### (3) 所内単独運転時間の制限

所内単独が継続出来る時間制限は、主としてタービン製造者側の設計思想によるものの、多くの場合10~30分間位である。そのあとはボイラ単独運転に移行する事が望ましく、所内単独運転を長時間継続するとタービン排気室温度が上昇し、これを抑えるため注水を行ってコントロールする必要があり、それによって、排気室の侵蝕を受けやすい事による。

### 3. 結 論

タービンバイパス系統採用の優劣比較は上記の通りであるが、送電系統事故でタービンバイパスにより、所内単独又はボイラ単独の運転となったとしても、この状態は先ほど述べたように約30分間であって、それ以降は事故復旧が間合わないようならユニット停止とすべきである。

送電系統事故で故障箇所を発見し、これの復旧対策等をわずか30分から1時間内で行う事は先ずむづかしい。こうした場合、タービンバイパス系統のもつ機能を十分に活用するのは、ほとんど期待出来ない。

上記問題点をふまえ、JICAはウエストワーフ火力プラントにタービンバイパス系統を採用しないこととした。



## PIC-4 コンピュータの適用

1. 火力プラントの容量が大きくなり、使用蒸気条件が高圧高温になるに従って、その監視項目は増え、かつ高度な運転と制御装置が必要となって来ている。

このため、プラントが安全に、十分な運転が出来るよう、コンピュータが採用され、ユニット起動停止や通常運転中などに於ける誤操作防止等のために運転支援を行う。

2. JICAは、ウエストワーフ火力ユニット#1(#2)監視目的用のコンピュータについて、下記に示す機能を持つものとして計画した。

### 2.1 機能

(1) データ収集・処理

(2) プラント性能管理

- a. 計算法能
- b. 毎日、毎月用報告

(3) 監視

- a. 監視と警報
- b. 故障記録

(4) マニーマシンの通話

- a. ログイン
- b. 印字
- c. 画面表示
- d. トレンド記録
- e. プラントグラフ表示
- f. ハードコピー

(5) 運転ガイド

- a. プラント起動予定時間計算
- b. タービン起動シーケンス監視

(6) 監視レベル

1) 機能分類

a. 監視機能

定常モニタリング

特別モニタリング

事故解析

b. 運転ガイド

プラント起動予定時間計算

TSM(タービン起動シーケンス監視)

2) マニーマシン通話の分類

a. ログイング警報、オペレータ用タイプライタ

データログイング

警報記録

故障記録

事故記録

トリップシーケンス記録

運転操作記録

b. CRT表示(カラー)

状態表示

警報表示

TSMメッセージ

グラフ表示

c. トレンド記録

d. ハードコピー(カラー)

3) 監視範囲の分類

a. 設備

プラント主要設備

ユニット補助設備

b. 運転状態

ユニット起動, 停止

ユニット通常運転

### 3. コンピューターの各機能

#### 3. 1 データロギング

データロギング機能は、プラント運転管理に必要なデータを自動的に又はオペレータの要求により、タイプライタに打出すものである。

- (1) グループ データロギング
- (2) 毎日、毎月 定時ロギング
- (3) 要求ロギング

#### 3. 2 状態、警報印字

警報機能の目的は、シーケンスチェック後のエラー、アナログ入力値変動エラー、プロセス変動値に対する制御値などの警報であり、これらは警報用CRT画面に表示されると共に、制御盤上の警報表示窓及び警報印字プリンターへも表示される。

#### 3. 3 プラント性能計算

この機能は、プラント性能を管理するのに必要な一定時間毎のプラント性能効率、主要設備の性能を計算し、その結果をCRT画面表示したり、ログ用紙上に印字することである。

- (1) ボイラ効率
- (2) タービン効率
- (3) 発電端/送電端に於けるプラント効率
- (4) 復水器性能
- (5) 給水加熱器熱的温度差
- (6) 所内動力

#### 3. 4 CRT表示

コンピュータからグラフや文字を使ったいろいろなメッセージを表示したりするのである。

357



- (1) 状態・警報表示
- (2) グラフ表示
- (3) オペレータとの通信

### 3.5 トレンド記録

これは、オペレータの要求により、プロセス状態のアナログをコンピュータで計算した結果を連続ペン記録計に記録することである。

オペレータ操作盤から要求すれば、プロセスのいろいろな測定項目を2台のペン記録計に記録する事が出来る。

### 3.6 事象の呼出し

これは、数秒間隔で、予め選択したアナログ入力を事故発生の前・後数分間連続して記録するもので、自動信号又はオペレータ要求によりこのデータを警報プリンター用紙に出力するもの。

### 3.7 トリップシーケンス記録

事故発生時、プロセスの変動と発生後の警報をそれぞれのリレー接点変化として数ミリ秒の短いインターバルでとらえて表示するもの。

トリップシーケンスを引き出すため、MFT、MTSそして86Gリレーの接点動作状況を印字する。

### 3.8 TSM (タービン起動, シーケンス監視)

この機能は、タービン起動からタービン弁切換までを運転ガイド支援し監視するもの。

現在のプラント状態からタービンの熱応力が少く、かつ最適な起動順序で行うタービン起動時間を計算する。

### 3.9 タイプライタ

- (1) コンピュータ エンジニア用 : プログラムのデバック用。これはプログラムエラーを修正するもの。
- (2) ロギング用 : いろいろなデータのテーブル、各警報の印字、オペレータ要求によるデータの印字など市広く使われる。

### 3.10 ハードコピー

これは、CRTに表示された文字や図を複写するイメージで、コピー用紙にオペレータ卓から要求するとプリントされるもの。

### 3.11 オペレータコンソール

予め記憶されたデータの変更、いろいろなコンピュータの持つ機能の選択、計算法、査定点などの選別をコンピュータへ要求する機能である。

### 3.12 フロッピーデスク

PTR (紙テープ穴あけ機), PTR (紙テープ読取り機) に取って替わる装置であって、コンピュータ・エンジニアによりプログラムのロード、ダンプやプログラムの機械語変換及びプログラムデータを保存するもの。

### 3.13 システム範囲

- (1) One (1) set of computer
  - a. Duplex central processing unit (CPU)
  - b. Duplex bulk memory unit
  - c. System modules
  - d. Peripheral devices
  - e. Accessories

(2) One (1) set of system peripheral devices

- a. Operator's console
- b. Trend recorder
- c. Digital display (color CRT)
- d. Printer (typewriter)
- e. Printer (I/O typewriter)
- f. Floppy disk
- g. Hard copy
- h. Operator desk & chairs
- i. Printer desk
- j. Engineer desk & chairs

(3) One (1) set software

### 3.14 発信器

プラントの運転監視支援するために、ボイラ、タービン、発電機、そして補機設備に関する十分な入力データが必要となり、コンピューターはその要求に見合った十分な機能が必要であり、又、信頼性の高い数値が入力されることが要求される。入力/出力データ校正に下記型式の発信器が用いられる。

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| Analog input unit   |             |
| Thermocouple        | One (1) set |
| RTD (unit)          | One (1) set |
| mA (unit)           | One (1) set |
| Digital input unit  | One (1) set |
| Pulse input unit    | One (1) set |
| Analog output unit  | One (1) set |
| Digital output unit | One (1) set |

#### 4. Specifications for Computer System

##### (1) Central Processing Unit (CPU)

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Logic circuit element | LSI, MSI, SSI, etc.                          |
| Arithmetic operation  | Binary parallel, fixed point, floating point |
| Register              | 16 general registers (Min)<br>more over      |

##### (2) Main Memory Unit

|                |                 |
|----------------|-----------------|
| Capacity       | 2 MB            |
| Memory element | IC 32 bit       |
| Error check    | included        |
| Cycle time     | 0.5 sec/2 Bytes |

##### (3) Fixed Head Disk or IC Bulk

|          |       |
|----------|-------|
| Capacity | 40 MB |
|----------|-------|

|                                  |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| Access time                      | Average 10 msec.             |
| Memory protection                | included                     |
| (4) CRT                          |                              |
| Number of characters             | 4,000                        |
| Kind of character                | 512 kinds                    |
| Kind of colours                  | 7                            |
| Display tube size                | 20 inch diagonal             |
| (5) Floppy Disk                  |                              |
| Storage capacity                 | 256 KB                       |
| Number of connectable<br>Devices | 2 devices/Controller         |
| (6) Trend Recorder               |                              |
| Number of pens                   | 4 Pens                       |
| Input signal                     | 4 - 20 mA                    |
| (7) Hard Copy                    |                              |
| Copy size                        | 215.9 x 279.4 mm (A4 size)   |
| Copy speed                       | 18 sec.                      |
| (8) Operator's Console           |                              |
| Type                             | Key Board Function Selective |
| (9) Logging Printer              |                              |
| Printing speed                   | 240 cps                      |
| Line length                      | 136 characters/line          |
| (10) Engineer's Printer          |                              |
| Printing speed                   | 240 cps                      |

Line length

136 characters/line

(11) Process I/O Device

Analog input

thermocouple

1 set

RTD

1 set

mA

1 set

Digital input

1 set

Pulse input

1 set

Analog output

1 set

Digital output

1 set

(12) Printer Desk

Size

(W) (D) (H)  
800 mm x 700 mm x 700 mm  
With sound proof cover  
(tentative size)

(13) Operator Desk

Size

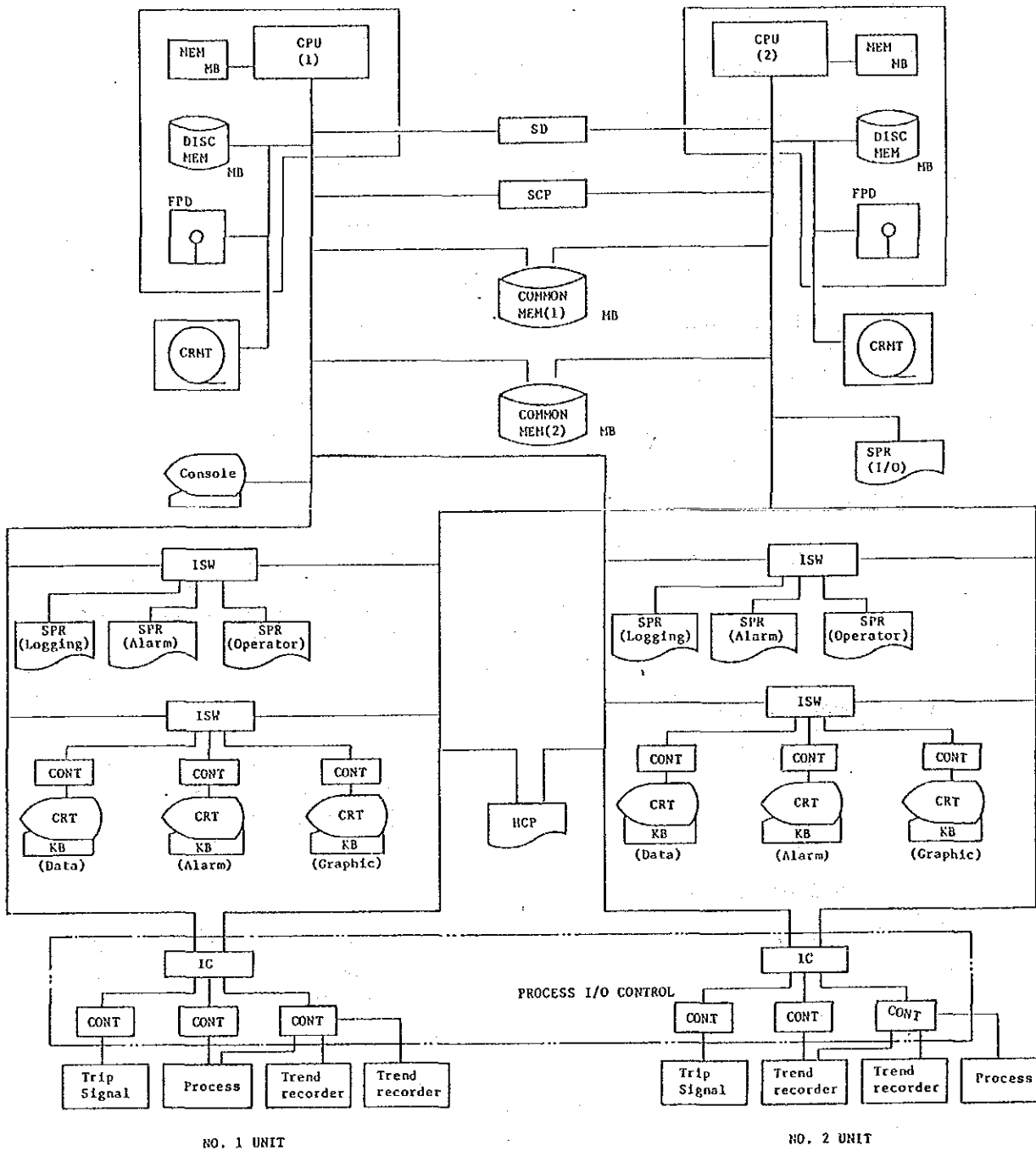
(W) (D) (H)  
2,100 mm x 900 mm x 750 mm  
(tentative size)

(14) Engineer Desk

Size

(W) (D) (H)  
1,250 mm x 1,000 mm x 750 mm  
(tentative size)

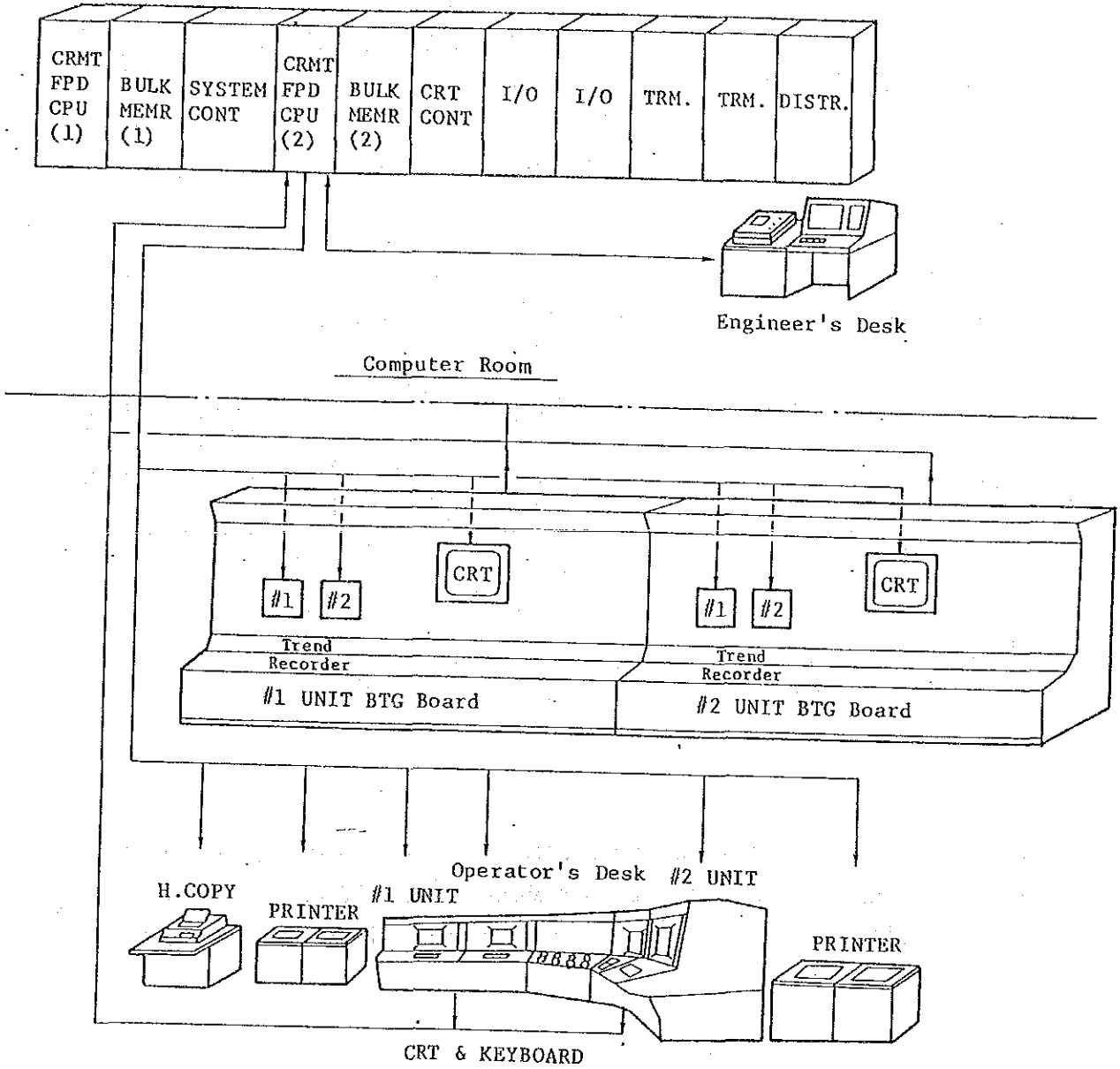
ユニット計算機のシステム構成一図



CPU: Central Processing Unit  
 MEM: Memory  
 FPD: Floppy Diskdrive Unit  
 SCP: System Control Panel  
 SP : System Panel  
 CONT: Controller  
 CRMT: Cartridge Magnetic Tape Unit

ISW: Interface Switching Unit  
 SPR: Serial Printer Unit  
 CRT: Cathode Ray Tube Unit  
 KB : Key Board  
 IC : Interface Controller  
 HCP: Hard Copy Unit

System Configuration



No. 1 & 2 UNIT CENTRAL CONTROL ROOM

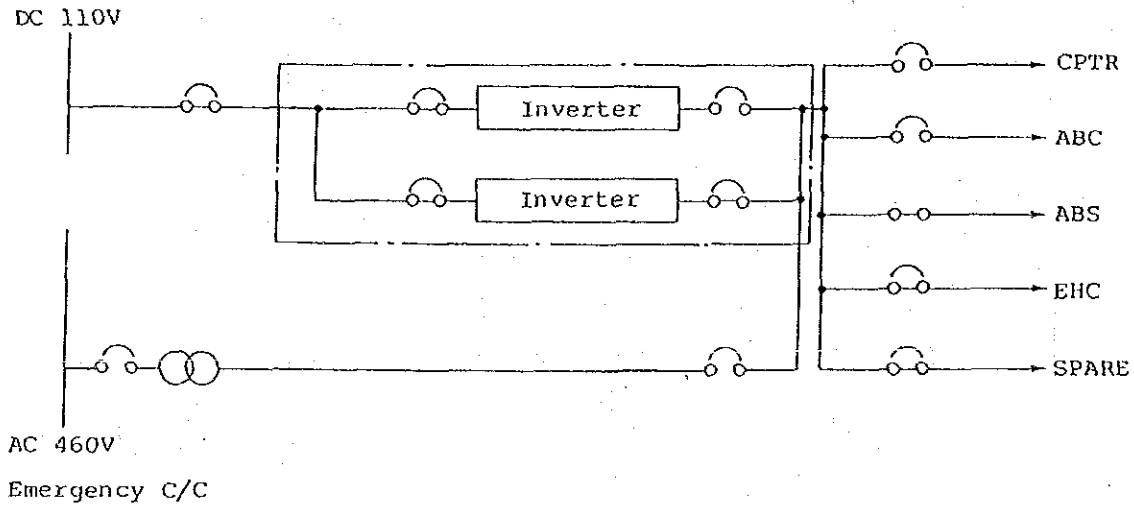
5/5



## 6. 電源装置

コンピュータへの電源供給は、CVCV (定電圧, 定周波数出力装置) が必要であり、この電源は高品質・信頼のあるものが要求される。

### CVCVの構成



7. ウェストワープ火力プラント#1(#2)向コンピュータを決めるに当たって、JICAとして、東京電力(TEPCO)の火力発電所の内 350MW~600MWに使われているオペレータとの対話用に使われ、グラフ表示のあるコンピュータの機能性能を考慮して採用した。

## PIC-5 ボイラ制御

1. ボイラの制御装置は2つの方式があり、1つは従来からの空気式であり、他の1つは電子式である。空気式は信頼性があり、多くのプラントに広く使われて来た。

一方、火力プラントの容量が大きくなるにつれ、蒸気条件も高温高圧となり、その結果、ボイラ制御の条件もより厳しくなってきた。

こうした事から、電気制御方式が使われ始め、初期にはワイヤードロジックで構成したアナログ制御が使われた。

最近になってプラント運転モードが多様化して、このためマイクロプロセッサ採用による自動化と、コンピュータシステム導入がなされ、近年大半の火力プラントにマイクロプロセッサ方式の制御装置が採用されている。

この方式の優れている点は、コンピュータへの結合やタービン制御(EHC)との協調が容易だからであり、装置の設計や修正が巾広く柔軟に対処出来る。

以上により、JICAはウエストワーフ火力#1(#2)ユニットのボイラ制御に対しては、マイクロプロセッサ方式の採用をすることとした。

## 2. ボイラ制御の機能

ウエストワーフ火力#1(#2)ユニット向ボイラ自動制御システムは、下記より構成される。

- (1) プラント マスター コントロール
- (2) ボイラ燃焼コントロール
- (3) 給水コントロール
- (4) 蒸気温度コントロール
- (5) 故障検出機能

### 2.1 プラント マスター コントロール

これはプラント協調コントロールの機能であり、ボイラ及びタービンの制御系に発電電力MWの要求信号を送る。

## 2. 2 ボイラ燃焼コントロール

これは、上記プラント マスター コントロール信号によってボイラ燃料流量・燃焼空気流量を調整する。

## 2. 3 給水コントロール

ドラム水位のみ(1要素方式)又はドラム水位、給水流量、蒸気流量(3要素方式)を制御してボイラドラムの水位を調整するもの。

## 2. 4 蒸気温度コントロール

注水によるか又は他要素の制御をして、ボイラ出口主蒸気温度と再熱蒸気温度を調整するもの。

## 2. 5 故障検出機能

キャビネットに収納した制御装置内部のどんな故障に対しても、自己診断機能によりチェックして故障検出するもの。

## PIC-6 バーナ制御装置

### 1. はじめに

バーナコントロール装置として3つの方式が考えられる。

リレーを使ったロジック方式、ソリッドステートを使ったロジック式と最近のマイクロプロセッサを使った方式のいずれも電気式の3つである。

リソットステート方式が最近まで多く使われているが、ウエストワーフ火力#1(#2)ユニットのボイラ バーナ コントロール用自動バーナ制御装置(ABS)の方式として、他の制御装置とインターフェースがとり易い、マイクロプロセッサ方式の採用した。

上記ABS方式に加えて、JICAはバーナコントロール装置~FCB(ファーストカット バック回路)の採用を推奨した。バーナコントロール装置が自動バーナ制御とすれば、制御回路が複雑となり、従来のリレーを使ったワイヤードロジック方式を採用した場合、数多くの部品が必要となり、その結果、内部配線も複雑になってしまう。ソリッドステート方式はこれらの問題を解決したもので、機能の向上、メンテナンスの向上が計られる。

さらに、バーナコントロールにマイクロプロセッサ方式を採用すれば、制御のプログラム変更に対して電気配線を変える必要もなく、バーナ制御装置の修正変更や改良が出来る。

信頼性の面からこれら3方式を比較すれば、リレー方式やソリッドステート方式はマイクロプロセッサ方式より複雑であって、マイクロプロセッサ方式より信頼性が低い。保守面では、マイクロプロセッサ方式はモジュールに故障があるとランプで表示する自己診断機能があり、これにより保守がやり易い。

マイクロプロセッサ方式は、付属の保守用ツールの取扱い方法の研修を必要とする。経済性から云えば、マイクロプロセッサ方式のコストはソリッドステート方式と同等かやや安価であり、日本で大半の火力プラントに数多く導入されて使われている。

さらには、プラントコンピュータ導入に伴ない、技術レベルのマッチングがとり易いのがマイクロプロセッサ方式である。

## 2. 自動バーナ装置の機能

ウエストワーフ火力ユニット#1(#2)向バーナ制御装置の機能は次のとおり。

- (1) ボイラ安全インタロック
- (2) バーナ管理
- (3) 個別バーナ制御
- (4) 故障検出機能

### 2.1 ボイラ安全インタロック

- インタロックには2種類あり、1つはマスター燃料トリップ(MFT)で、他の1つは火炉パージインタロックの回路である。  
MFT回路はボイラ燃焼状態が不安定となった場合、動作させねばならない。
- 火炉パージインタロック回路は、バーナを最初に点火する時、危険状態になるのを防止する回路である。
- 制御回路については、NFPA(National Fire Protection Association)または同等の規程規準を採用する。

### 2.2 バーナ管理

- これは3つの機能があり、第1はFCB(ファースト カット バック)で、第2はバーナ本数制御であり、残り1つは、火炉と風箱間のドラフト制御である。どれか送電系統事故により、火力の1ユニットが急激に負荷遮断した場合、FCBが動作する。FCBが動作すればバーナは強制的に消火され、燃料流量はボイラ最低負荷相当の供給量まで急速に絞られるよう調整される。
- バーナは助燃バーナ(天然ガス燃焼)と主燃バーナ(炉油燃焼)が使われる。
- バーナは、バーナ本数をコントロールし、ボイラ負荷に追従させ、自動的に点火・消火させるが、いつでも手動操作が優先的になる。
- ドラフト制御としてバーナ燃焼の点火・消火の際、レジスター空気ダンパーのコントロールが取付けてある。

### 2.3 個別バーナ制御機能

- 2種類の機能があり、1つはバーナ火炎の検出、他の1つはバーナ点火・消火とパージコントロールである。

- 何れのバーナも中央操作室の操作盤と現場操作パネルから、自動で又は手動で操作がされる。

#### 2.4 火炎検出

- 火炎検出は自動バーナ制御装置に使われる。何れのバーナにも火炎検出器が採用されている他、さらにバーナ火炎の検査も出来るよう設計されている。
- 全ての主バーナと点火バーナへは火炎検出のため、赤外線方式の検出器と付属装置が用意されている。

#### 2.5 故障検出機能

- これは制御盤内の故障箇所をチェックするものである。
- 使用中の各々モジュール専用、又は代表したランプで事故診断機能により上記の状態が表示されるよう設計する。



## PIC-7 タービンガバナシステム

### 1. はじめに

火力プラントのタービン制御向けに2種のタービンガバナ制御が普通採用されている。その1つは、従来からの機械-油圧ガバナ制御(MHC)であり、他の1つは電気-油圧ガバナ制御(EHC)である。後者のEHCは、さらに高圧油式(HP-EHC)と低圧油式(LP-EHC)に分けられる。

最近になって、プラント運転方法の多様化、コンピュータシステム導入による自動化、大容量プラントの要求、制御性改善の背景のもと、コンピュータシステムの支援やボイラ制御装置の使用と協調した運転と制御をするガバナ制御装置が多くなって来た。

さらに、こうした背景に適合するべく、最近ほとんどの火力プラントにマイクロプロセッサをベースにしたEHCが採用されて来ている。

JICAとしては、EHCシステムの採用、特にLP-EHCを下記検証の結果、ウエストワーフ火力#1(#2)ユニットのガバナ装置へ採用するよう推奨する。

### 2. EHCの特徴

基本的にEHCシステムはMHCシステムと同様の機能であり、例えば回転速度検出回路、加減弁開度回路、メカニカル機構を電子化した回路である。

#### 2.1 LP-EHC

LP-EHCは産業用タービンや自動化の要求の多い、中容量タービンを主眼に置いたControl Systemである。

制御油はMHCと同じ潤滑油と制御油を共用にしており、14kg/cm<sup>2</sup>制御潤滑油装置をそのまま使用出来る。したがって、制御油の管理はMHCを使用する場合と変わりなく、メンテナンスが容易である。

制御応答性についてはMHCとほぼ変わらないが、調達範囲、調達精度は優れている。



## 2.2 HP-EHC

HP-EHCはタービンの応答性改善のため制御油圧の高圧化を計っており、タービンの過速度防止を主眼に置いた制御システムであり、大容量火力や原子力タービンに多く適用されている。

制御油圧は  $112\text{kg/cm}^2$  で、制御油と潤滑油が完全に独立した別系統より供給される。したがって、制御油には特殊な油を使用するため、特別なメンテナンス技術が必要とされる。

## 2.3 LP-EHCを選択した理由

LP-EHCシステムは装置の点検保守が容易であり、ウエストワーフ火力#1(#2)ユニットのタービンガバナには適したものである。

## 3. LP-EHCシステムの機能

ウエストワーフ火力ユニット#1(#2)のLP-EHCの機能を以下に示す。

### コントロールの説明

EHCコントロール ブロック ダイアグラム参照

---

|            |  |
|------------|--|
| 速度コントロール   | 速度の上昇・下降、保持は、ターニングからオーバースピードまで広範囲にわたり自動的に制御される。速度はコントロールパネルで、目標速度にセットして上げ・下げ出来る。定格速度と実際のタービン速度の偏差の量に応じて、設定された速度調定率によって、タービン出力を制御する機能(タービンのガバナとして最も基本的な機能)        |
| ガバナ コントロール | MW設定操作では、定格速度と現在速度の差がロード設定値に加算され、そしてガバナフリー運転が行なわれる。調整弁は、速度が定格値以上になった時閉じ始め、定格速度の105%に達した時、無負荷位置まで閉じる。インターセプトバルブは定格速度の105%に達した時閉動作し、速度が107%に達すると全閉する。(100%ロードに於いて) |

---

|                         |  |
|-------------------------|--|
| 揃速コントロール                | タービンの速度をターニング速度から定格速度まで自動的に昇速させる機能。系統周波数と発電機周波数はPTから入力される。そしてロード設定器は、発電機周波数が系統周波数 0.02～0.1Hz以上・以下で追従するようにコントロールされる。                      |
| 負荷設定                    | MW設定器はコントロールパネルで、上昇/下降PBを手動操作して上げ・下げする。そして、ロード要求信号が出力される。  |
| ガバナ自動追従<br>(ガバナFLR)     | もし負荷制御モードであれば、発電機の遮断器が閉じられた後、ロード調整はガバナFLRにセットされる。ロード設定器は、負荷10%以上で調達弁流量指令に自動追従する。そして、負荷遮断時は、GOV機能によって急激に弁が閉止する。                           |
| 負荷制限設定                  | ロード設定器によるロード調整とは別に、タービンの負荷制限は、コントロールパネルの上げ/下げ用PBでセットとすることが出来る。速度調整装置による規定速度運転中は、ロード設定器により負荷調整が可能であるロードリミッターによって、ロード調整中は速度調整効果はない。        |
| 負荷制限自動追従<br>(L.L F.L.R) | ロード設定器によって、ロード調整中にコントロール弁開指令から十分余裕をもつレベルまで、設定負荷のリミットは自動追従する。これは、開方向にCV開指令が急変するのを防止する。  |
| ロード変化率制限                | CV開指令にL.L F.L.R使用中、大変速い変化率での上げ入力があった場合、変化率制限回路はFLRの変化率を制限する。これは、タービンロータ熱疲労を防止することであり、CV開指令が閉指令に変わった場合、変化率の制限はない。                         |
| 負荷制御                    | タービン発電機の出力をフィードバックして主蒸気条件の変動の影響を受けずに、タービン発電機の出力値を要求値に制御する機能。制御信号はロード設定器、あるいはロードリミッター、スピード制御システムからのエラー信号、圧力制御システムからの圧力制御信号からの設定信号から生成される。 |

|                         |  |
|-------------------------|--|
| 初圧調整                    | この機能は、タービン入口蒸気圧力(MSV前)が設定圧力以下に下がった時、タービン入口から湿り蒸気の流入を防止するため、蒸気調整弁を閉指令にコントロールする。もし、入口蒸気圧力が設定圧力に値し、圧力の10%以下に下がった場合、調整弁は100%位置から閉じ始める。もし、設定圧力の20%以下に下がると、調整弁は無負荷開度まで閉じる。 |
| CV-MSV弁切替え<br>(FA/PA切替) | 全周噴射(FA)はタービン スタート マップ時に熱応力を最少にするため、MSVの調整弁を全開して運転する。発電機MWが弁切替操作許可の規定値に達すると、高い熱高率を得るためFAから部分噴射(P.A)に切替える。  |
| CVウォーミング                | 主塞上弁(MSV)のバイパスは、起動前、調整弁を予熱するため全閉から全開される。そしてこれは、起動時の熱応力の急変を防止する。  |
| MW～<br>ロードアンバランス        | CVとIVは負荷遮断後、タービン発電機がオーバースピードや急激な加速する事を防止するため閉める。発電機電流はロードに比例した入力であり、RH蒸気圧力はタービン出力に見合った入力である。もし発電機電流が規定の40%、又は10ms以下で急激に低下、或いは出力と負荷のアンバランスが40%以上となれば、出力負荷アンバランス機能が働く。 |
| インタセプト弁(IV)<br>流量制御     | MW要求信号に、インタセプト弁調定率とタービン加減弁調定比率を掛算した結果の信号が、インタセプト弁流量制御信号となる。タービン回転速度が105%まで上昇し、タービン加減弁が無負荷位置となった時は、上記制御信号がインタセプト弁を閉方向に働く。そして回転速度107%までなれば、インタセプト弁は全閉になる。(100%負荷で)     |
| タービン保護                  | この機能は、タービンのトラブルを検出するもので、タービンを安全停止にするもの。もし、タービン又はEHC故障ではタービンをトリップさせるため、マスタートリップソレノイド(MTS)が非常、停止油圧を低下させるべく、励磁される。そして、MSV、RSVとCVs、IVsも又全閉する。                            |
| 保護装置テスト                 | オイルトリップテストとバックアップ オーバースピードテストの2通りの安全テストがある。オイルトリップテストとは、オイルトリップソレノイドを励磁させて、機械的ロックアウト   |

弁を作動する。これにより、機械的トリップ弁の動作は確認できる。バックアップ オーバースピード テストとは、低いオーバースピード検出によって、検出回路は通常運転中にチェックする。オイルトリップとバックアップ オーバースピード テストが同時に行われるのを防ぐためにインタロックがある。これらのテストは、回路機能チェックのみでトリップの原因にはならない。

---

弁テスト

LP-BV, MSVとCVテスト用で、各弁に対して正常の操作信号とは別に、弁を或る開度まで開くような弁操作信号が与えられて、各弁の正常な開閉のチェックが出来る。

---

FCB

FCB指令が入力されると、ただちに負荷設定又は負荷制限設定は瞬時に所内負荷まで下げられ、そして負荷設定は発電機の周波数を50Hzに保持するよう制御する。

---

タービン過速度テスト

この機能はタービン非常ガバナの作動と回転数設定が上って、実際回転数が増加する作動点をチェックするもので、コントロールパネル上の過速度テスト用押ボタンを押した時だけタービン回転数は上昇する。このテストでは、発電機の遮断器が開になる以前だけ出来る。ロードセット又はロード制御セットはコントロールパネルで、指令ロード設定を上げ・下げされる。インテグレータは、出力上げ・下げを負荷上げ、又は負荷下げレートに備えた指定レートで指令レベルが出力される。

---

負荷自動調整  
(ALR)

負荷設定、負荷上下限設定は、コントロール上の目標負荷に対して上げ下げする。負荷の上げ下げは予め定められた変化率によるレートで、調節器から指令信号が出される。

---

ガバナ, L.L  
自動切替

負荷コントロールでは、ガバナ制御からL.L(負荷追従)制御へ自動的に切替わり、この場合FLRバイアスはゼロへ減少し、ガバナ及びL.Lの出力信号は同じとなる。

---

低圧タービン  
バイパス制御

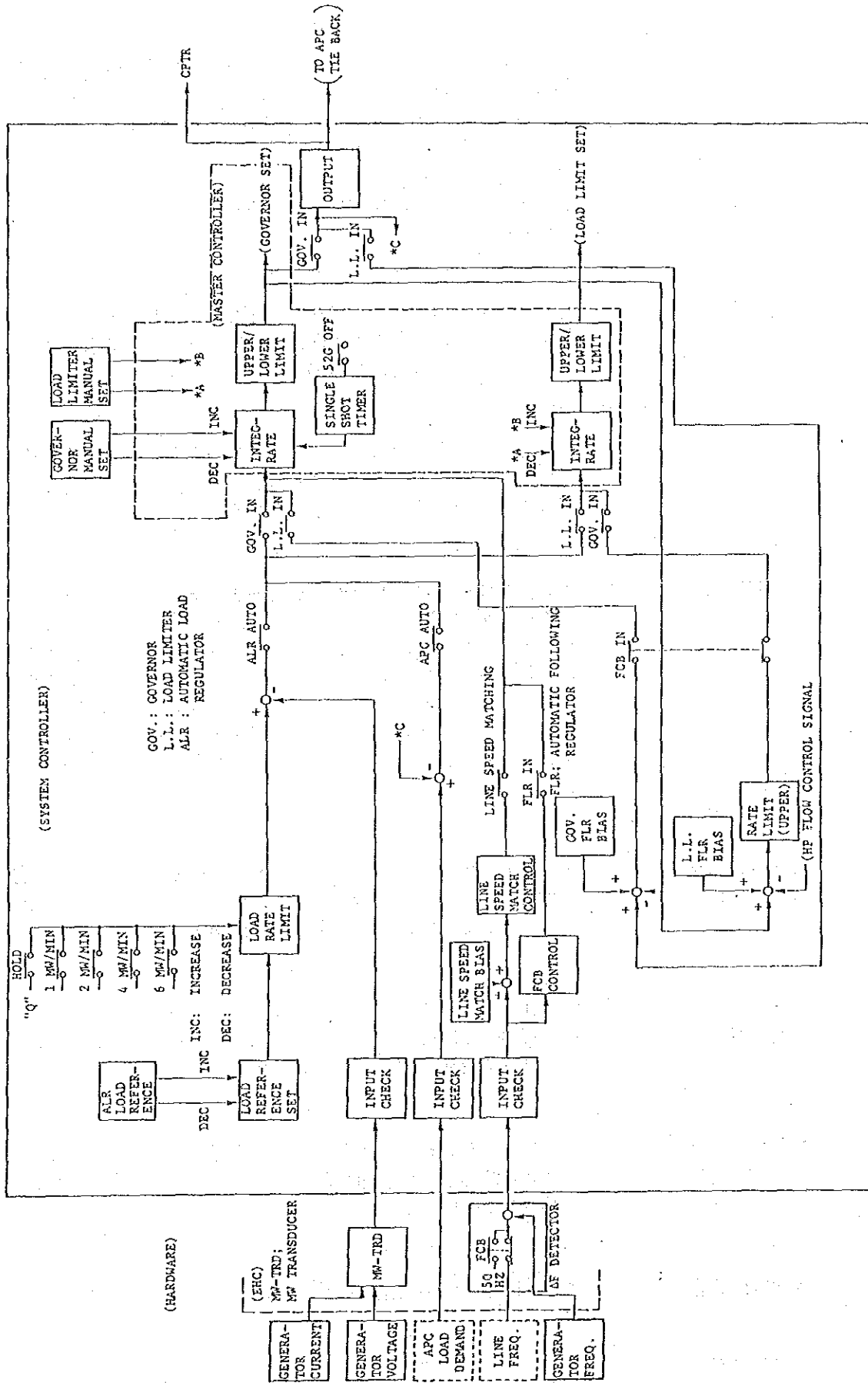
主として、タービン起動時に高温再熱蒸気圧力をタービンバイパス弁が制御する。圧力設定値は、タービン第1段落蒸気圧力を函数としている。

---

故障検出機能

この機能は、制御装置内の故障箇所をチェック検出するものである。

EHC CONTROL BLOCK DIAGRAM







## EP-1 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> 濃度の検討

1. JICAスタディチームは、ウエストワーフ火力発電所の更新による環境への影響を調査した。

いずれの国でも、工業の発達に伴い、環境保全は社会の主要な課題となってきた。長期の工業発展計画に基づく、指定工業地域に対する環境保全を成し遂げる事は必須のことであり、排出ガス中の高濃度のSO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>は環境保全に有害なので、開発計画時には慎重な検討が必要である。

発電所から排出するSO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>の影響調査では、地上最大濃度について、短時間値と長時間値について検討した。

この検討では、環境対策上の制限値として、世銀の推奨値と日本の基準を考慮した。その基準は以下の通り。

### 環境保全基準

下記の表は、各国の環境保全に関する機関によって提示された大気汚染に係る環境基準値を示している。

但し、世銀と日本の基準の制限値は着地濃度を基にしている。

Table 1 Air Pollution Limits

|   | World Bank recommendation |                   | Japanese Standards |                      | Pakistan Standards                        |   |
|---|---------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|---|---|
|   | Yearly                    | Short time        | Daily average      | Short time (maximum) | Up to 1990                                | After 1990                              |
| SO <sub>x</sub><br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | 100<br>(0.038ppm)         | 500<br>(0.188ppm) | 114<br>(0.04ppm)   | 285<br>(0.1 ppm)     | 500 $\text{mg}/\text{m}^3$<br>(188 ppm)   | 400 $\text{mg}/\text{m}^3$<br>(150 ppm) |
| Air born duct<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )   | 100<br>(0.1 mg)           | 260<br>(0.26 mg)  | 100<br>(0.10 mg)   | 200<br>(0.2 mg)      | 600 $\text{mg}/\text{m}^3$                | 300 $\text{mg}/\text{m}^3$              |
| NO <sub>x</sub><br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | 80<br>(0.04ppm)           | 300<br>(0.16ppm)  | 80<br>(0.04ppm)    | 114<br>(0.06ppm)     | 1,000 $\text{mg}/\text{m}^3$<br>(526 ppm) | 400 $\text{mg}/\text{m}^3$<br>(210 ppm) |



ここで : ppm =  $10^{-6} V/V$

SO<sub>x</sub>とNO<sub>x</sub>の  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  の表示されている値は、次の式で ppm に変換することができる :

$$\text{ppm} = \mu\text{g}/\text{m}^3 \times \frac{24.04}{\text{Mol 重量}} \times \frac{1}{1,000}$$

故に、

$$\text{NO}_2 \text{ ppm} = \text{NO}_2 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times 0.000526$$

$$\text{SO}_2 \text{ ppm} = \text{SO}_2 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times 0.000376$$

先の表から、世銀と日本の基準は規定値では大差ないことがわかる。

一方、表に示されているように、パキスタンの基準は、それ等の数値が煙突出口での数値であるのか、着地レベルの値なのか明確でない。(後に、この数値は煙突出口での数値である事が明らかにされた。)

以上により、スタディチームは、世銀の推奨値を基準値とし、これを満足するように、ウエストワーフ プロジェクトの環境への影響を調査した。

## 2. 調査の目的

この調査では、ウエストワーフ火力発電所の更新による環境への影響について、ウエストワーフ火力発電所周辺地域の大气汚染の影響を確認するために、SO<sub>x</sub>とNO<sub>x</sub>による大气汚染の状態をコンピューターによって模擬解析した。

その模擬解析は、煙突の高さ、燃料油の条件等、いくつかのパラメータを使って世銀の推奨値や日本の基準に合うように種々のケースについて実施した。

## 3. 気象データの収集

### (1) 概 略

ウエストワーフ火力発電所プロジェクトの環境への影響調査を実施するにあたり、下記の入力データを集めた。

気象データ

- (i) 風速と風向
- (ii) 降水量と湿度
- (iii) 気温

これらの必要データは、JICAスタディチームが現地調査期間にKESCから入手したピンカジム火力発電所プロジェクト5号機の入札書の技術仕様書と、KESC資料、“電源開発と料金の研究”から引用した。

## (2) 気象データ

プロジェクトの地域は、夏場は長く（5月～10月）、高温多湿で、これと比較して冬期は短く（11月～12月）、そして穏やかであるのが特徴である。

夏期は高湿で南西よりのモンスーンにより雲が頻繁に現れるのが特徴である。冬期は風向きは北東に変わり、湿度と気温は穏やかになる。

### i) 風

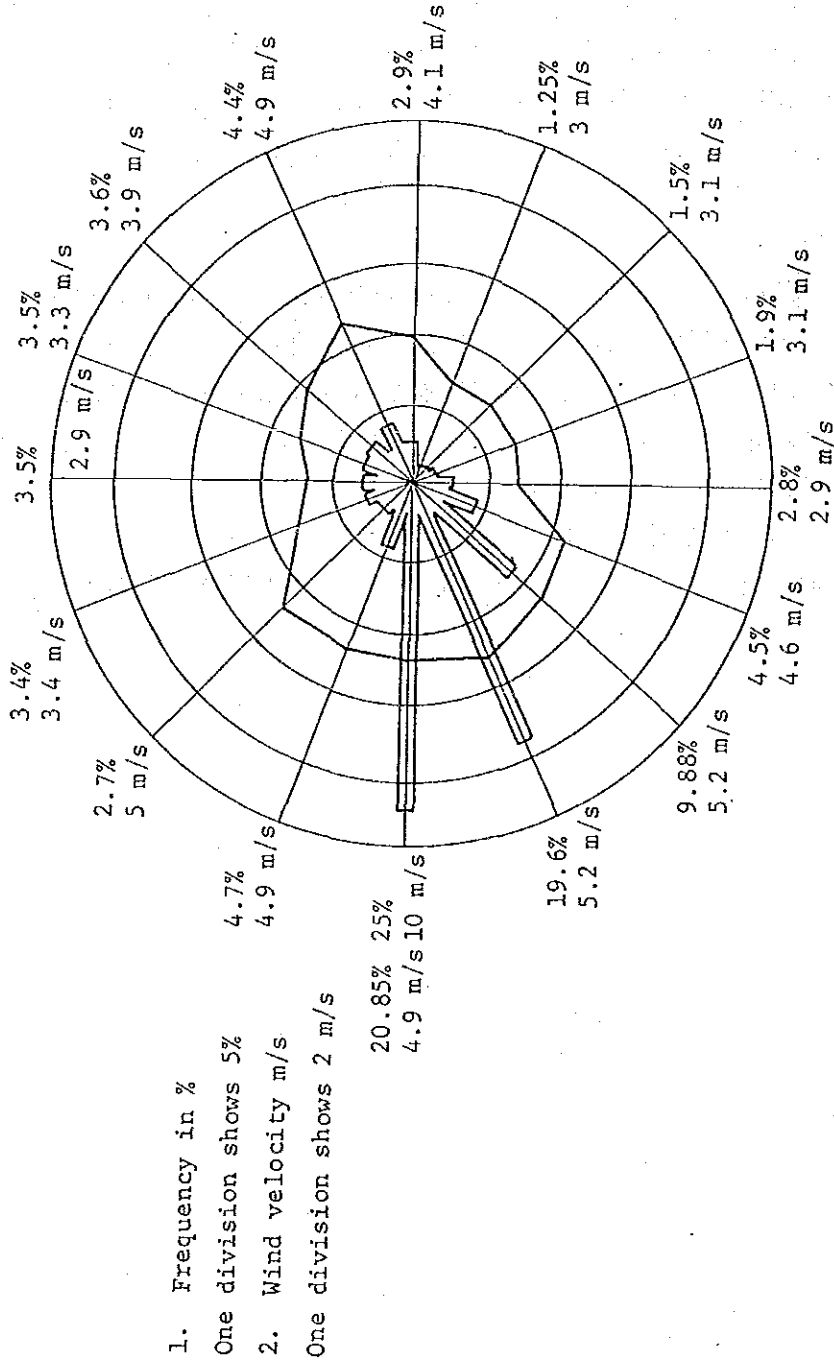
上記の通り、この地域の風は、5月から10月の夏期のモンスーンシーズン中に、主に南西や西風が最も強く吹く。過去10年間の資料、すなわち、1975年から84年間のデータを調査し、夏期と冬期の代表的な風を図-1に示した。

これ等の風向から、ウエストワープ発電所からの排煙の影響は発電所の東側と北東の側に発生するのは明白である。

アフリカの東海岸又はベンガル湾で発生した旋風や大雷雨は、通常カラチ海岸の南を数100kmはなれて通過するので、この地域では暴風雨の襲来は殆んどない。

Fig. 1. Wind Rose of Karachi-Airport

Note: Figure shows average wind velocity in m/s



1. Frequency in %

One division shows 5%

2. Wind velocity m/s

One division shows 2 m/s

28/5

## ii) 降雨量と湿度

1975年から84年までの10年間の降雨量と湿度の月平均記録を表-1に示す。

霧の発生は、北東の季節風が吹き始める10月から1月が多く、4月から9月までの期間は発生しない。

一年を通じて霧の発生は平均10回である。一般に視界は良く、霞は少い。

表-1によれば、相対湿度の最高値は5月から8月に発生するモンスーンの影響で75%~85%に達する。また、最低値は12月から1月までの60%~70%である。この地方は、アラビア海の影響で全般的に湿度が高く、年間を通じて相対湿度の変化が少く、その変化量は約30%のオーダーである。

## iii) 気温

対象地域の1975年から84年の期間中における月平均温度、月最低温度の10年間平均を表-2に示す。

これによると、年間の最高温度変化は28度から43度、また、最低温度の変化は6度から27度である。

年間の最高温度の月は5月、6月で、最低の月は1月である。

表-1

(Average figures for 1975 - 1984)

| Month | Total cloud amount<br>(in octas) |         |         | Average Precipitation<br>(in mm) | Average Relative<br>humidity |
|-------|----------------------------------|---------|---------|----------------------------------|------------------------------|
|       | 0000hrs                          | 0800hrs | 1700hrs |                                  |                              |
| Jan   | 0.5                              | 0.9     | 0.3     | 12.1                             | 62%                          |
| Feb   | 0.4                              | 1.1     | 0.5     | 20.6                             | 69%                          |
| Mar   | 1.1                              | 2.4     | 2.0     | 13.1                             | 72%                          |
| Apr   | 0.6                              | 1.2     | 0.4     | 1.1                              | 75%                          |
| May   | 1.3                              | 2.6     | 1.0     | -                                | 75%                          |
| June  | 4.5                              | 5.1     | 3.9     | 9.8                              | 76%                          |
| July  | 6.5                              | 7.2     | 6.7     | 74.6                             | 80%                          |
| Aug   | 7.6                              | 7.6     | 7.5     | 100.1                            | 85%                          |
| Sept  | 4.5                              | 4.2     | 3.9     | 20.0                             | 80%                          |
| Oct   | 0.5                              | 0.2     | 0.1     | 3.1                              | 75%                          |
| Nov   | 0.1                              | 0.4     | 0.7     | 2.0                              | 62%                          |
| Dec   | 1.0                              | 1.5     | 1.8     | 8.7                              | 65%                          |

383

表-2

Ambient Temperature

(Average Temperatures for the period 1975 - 1987).

| Month | Temperature °C |      |      |
|-------|----------------|------|------|
|       | Max.           | Min. | Mean |
| Jan.  | 28.7           | 6.1  | 18.2 |
| Feb.  | 32.3           | 7.9  | 20.3 |
| Mar.  | 35.4           | 11.5 | 24.1 |
| Apr.  | 40.1           | 18.2 | 28.4 |
| May   | 41.2           | 21.9 | 30.6 |
| June  | 42.7           | 26.2 | 31.7 |
| Aug.  | 35.5           | 24.2 | 28.7 |
| Sept. | 37.5           | 23.0 | 29.1 |
| Oct.  | 38.8           | 15.9 | 27.2 |
| Nov.  | 36.2           | 11.1 | 23.3 |
| Dec.  | 30.8           | 8.3  | 19.6 |

7/88

#### 4. Fuel Oil

(1)

#### Furnace Oil Analysis

|                            |                                    |         | <u>% by weight</u> |     |
|----------------------------|------------------------------------|---------|--------------------|-----|
| Conradson carbon           | (C)                                | % wt    | 20                 | Max |
| Hydrogen                   | (H <sub>2</sub> )                  | % wt    | 11.3               | Max |
| Sulphur                    | (S)                                | % wt    | 3.5                | Max |
| Oxygen + Nitrogen          | (O <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> ) | % wt    | 2.5                | Max |
| Ash                        |                                    | % wt    | 0.1                | Max |
| Sediments                  |                                    | % wt    | 0.25               | Max |
| Kinetic viscosity at 50°C  |                                    | cSt     | 400                | Max |
| Specific gravity at 15/4°C |                                    |         | 0.99               | Max |
| Water volume               |                                    | % wt    | 1.00               | Max |
| Flash point                |                                    | °C      | 66                 | Max |
| Pour point                 |                                    | °C      | 35                 | Max |
| Vanadium                   |                                    | ppm     | 150                | Max |
| Sodium                     |                                    | ppm     | 50                 | Max |
| Heating value              |                                    | Kcal/kg | 10,000             | Min |

385

(2)

Test Report

Test Report No.: HDIP/F/85/63

Date: May 5th, 1985

Sample: Furnace Oil

Date of Sample:

Sample Recd. on: April 13th 1985

Origin: Karachi Electric Supply Corporation Ltd.

Korangi Thermal Power Station

| Test method   | Test title                                    | Test result |
|---------------|---|-------------|
| ASTM D - 445  | Kinematic viscosity @ 50°C cSt                | 137.37      |
| ASTM D - 92   | Flash point COC °C                            | 166         |
| ASTM D - 95   | Water by Dean & Start Vol.%                   | 0.2         |
| ASTM D - 1298 | Specific gravity @ 60/60°F                    | 0.9444      |
| ASTM D - 96   | B.S. & W. Vol.%                               | 0.4         |
| ASTM D - 482  | Total ash wt.%                                | 0.06        |
| ASTM D - 1548 | Vanadium PPM                                  | 30          |
| ASTM D - 240  | Calorific value Gross B tu/lb                 | 18,350      |
|               | Net B tu/lb                                   | 17,515      |
| IP - 63       | Sulphur content by<br>Quartz tube method wt.% | 2.32        |

908



5. 検討条件

ウエストワーフ火力発電所を更新した場合に、ウエストワーフ地区を含みカラチ市及びその周辺地区の環境に与える影響を模擬解析するために、下記の計算条件をコンピューターの入力データとして使用した。

(1) プラント状況 (表3)

Table 3

| Input Data            |                              |
|-----------------------|------------------------------|
| P (MW)                | 200 MW x 2 Unit              |
| G (%)                 | 37%                          |
| A                     | 1.11                         |
| HO (M)                | Ho = 100 m = 140 m (2 cases) |
| DO (M)                | 3.15 m (Top)                 |
| TG (°C)               | 145°C                        |
| VG (m/s)              | 30.86 m/s (ECR)              |
| R (G/m <sup>3</sup> ) | 1.3 kg/Nm <sup>3</sup>       |
| CP (Cal/g/°C)         | 0.24 cal/g°C                 |
| EQ. FLAG.             | Experimental EQ.             |
| SB                    | OIL                          |
| F (kg/h)              | Case-1                       |
| QH (Cal/s)            | 10,000 Kcal/kg               |
| S (%)                 | 3.5% wt                      |
| H (%)                 | 11.3% wt                     |
| W (%)                 | 1.0% wt                      |
| C (%)                 | -                            |
| N (%)                 | -                            |
| O (%)                 | -                            |

(Analysis)

7

(2) 気象条件

大気中のSO<sub>x</sub>とNO<sub>x</sub>による環境への影響をシミュレーション解析し、SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>濃度の平均値等を計算したが、その計算には気象条件入力データを必要とした。

気象条件の入力データは、前述の資料より作成した。

(3) 燃料性状

発電所で使用する燃料（重油）の性状は前項4の通り。

6. 調査結果

(1) SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>の地上濃度

表3の入力データを使用し、SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>の地上濃度の年間の平均値を求めたシミュレーション解析は、前述の気象条件データを基に16方向の風向きについて解析を実施した。

(2) シミュレーション解析結果

i) SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>の地上最大濃度の解析結果を表-4に示す。

228

Table 4

## Maximum yearly average ground level concentrations

|   | Stack height<br>m | SOx concentration<br>ppm | NOx concentration<br>ppm |
|---|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| West Wharf<br>No. 1 and No. 2<br>in operation | 140               | 0.010                    | 0.010                    |
|   | 100               | 0.016                    | 0.016                    |

## Maximum daily average ground level concentration

|   | Stack height<br>m | SOx concentration<br>ppm | NOx concentration<br>ppm |
|---|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| West Wharf<br>No. 1 and No. 2<br>in operation | 140               | 0.030                    | 0.030                    |
|   | 100               | 0.050                    | 0.050                    |

## Maximum 1 hour ground level concentration

|   | Stack height<br>m | SOx concentration<br>ppm | Distance<br>m |
|---|-------------------|--------------------------|---------------|
| West Wharf<br>No. 1 and No. 2<br>in operation | 140               | 0.138                    | 10,950        |
|   | 100               | 0.222                    | 850           |

SOx and NOx concentration maps plotted by computer on a map of Karachi City are attached hereinafter showing the following study results.

ii) SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>の地上濃度(平均値)の変化をカラチ市の地図上にコンピュータでプロットしたものを4種類以下に添付する。

1. 図-2 年間平均地上SO<sub>x</sub>濃度  
煙突の高さ : 140 m
2. 図-3 年間平均地上NO<sub>x</sub>濃度  
煙突の高さ : 140 m
3. 図-4 日平均地上SO<sub>x</sub>濃度  
煙突の高さ : 140 m
4. 図-5 日平均地上NO<sub>x</sub>濃度  
煙突の高さ : 140 m

(3) 煙突高さの検討

シミュレーション解析結果が示すように、発電所の排煙による大気中のSO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>濃度は、燃料の性状と煙突の高さに影響される。

大気中SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>濃度について、世銀及び日本国の環境基準値を満足するために、煙突高さを80mより、20m毎に高くして、いくつかのケースでシミュレーション解析を行った。

その結果により、ウエストワフ1, 2号機用煙突の高さを140mに決定した。

この高さの煙突を採用することにより、基準値を満足する結果となった。