

タービンの保護継電方式

Turbine Protective Relay System

平 賀 昭 二* 井 沢 尊 生**
Shoji Hiraga Takao Izawa

内 容 梗 概

最近の高温高压の大容量タービンの中央制御は信頼性ある保護装置を完備してはじめて可能となった。本文は日立のタービン保護方式を重故障と軽故障に分類して説明し、特に最近開発された電子管式タービン監視計器について詳述した。

1. 緒 言

新鋭火力発電所の著しい特長として中央制御方式が一般に採用され発電所の重要機器の運転制御はすべて中央制御室に集中総括されるようになった。中央制御方式は信頼性高い保護装置を完備して初めて可能となるもので、タービン監視計器を初め多くの保護装置がこの目的のために開発されている。以下に日立のタービン保護方式について、特にタービン監視計器を主として述べる。

2. タービン重故障の保護装置

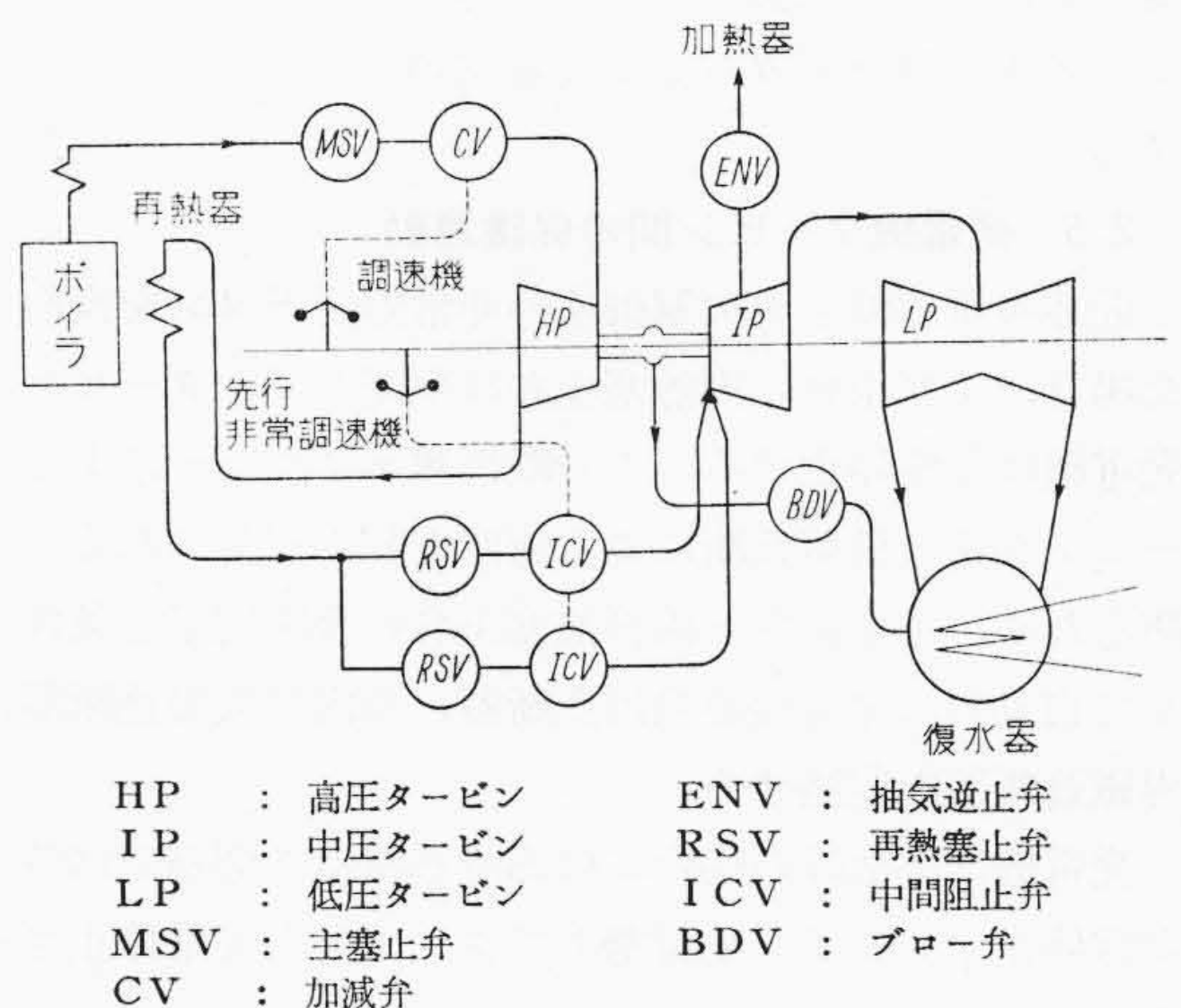
第1図は串型復流式再熱タービンの蒸気系統図である。タービンの保護は事故発生とともに即時タービンを非常停止する重故障の保護と、中央制御盤に警報表示を行い運転員の処置に任せる軽故障の保護とに分類される。最近の大容量火力機の非常停止は関連電力系統に重大な影響を与えるので重故障の保護には慎重な考慮が必要で次の方式としている。

2.1 過 速 度

タービンは回転部と静止部のごく狭い間隙を保持して巨大な運動エネルギーを持って高速運転しているので過速度は重大な結果をひき起すおそれがある。タービン保護の第一の目標は過速度防止におかれている。タービン速度が $110 \pm 1\%$ に上昇すると非常調速機が動作し油圧機構により主塞止弁遮断装置と加減弁遮断装置を動かす。主塞止弁遮断装置は主塞止弁を全閉してタービン蒸気入力を絶ち、また各抽気逆止弁を全閉し各抽気管から蒸気が逆流してタービンを加速するのを防ぐ。加減弁遮断装置は加減弁を全閉するほか各2組の再熱塞止弁と中間阻止弁を全閉して再熱蒸気による加速を防ぎ同時にブロー弁を全開して高圧中圧タービン間のラビリンスをバイパスして中圧タービンを加速しようとする蒸気を復水器にのがしてやる。

* 日立製作所国分工場

** 日立製作所多賀工場



第1図 再熱タービン蒸気系統図

2.2 真 空 低 下

復水器真空が異常に低下するとタービン低压部を過熱する。したがってタービン運転中復水器真空が規定値の80%程度に低下すると第一段の警報を行い、さらに70%以下に低下すると第二段として油圧切替装置により主塞止弁、加減弁遮断装置を動作させる。

タービン起動時低真空で運転している場合も真空が異常低下すると平常運転時と同様遮断装置は動作する。

2.3 油 圧 低 下

油系統は潤滑油と調速油にわかれる。潤滑油圧低下は潤滑油給油管の末端で検出し油圧が規定値の75%程度に低下すると警報し、さらに低下して40%以下となれば圧力継電器動作し非常停止ソレノイドを付勢して油圧切替装置により遮断装置を動作させる。

調速油圧が規定値の30%以下に異常低下すると主塞止弁と加減弁遮断装置はみずからの操作油圧低下により動作してタービンを停止させる。

2.4 スラスト摩耗

タービン軸端のスラストメタルが摩耗するとタービンロータの軸方向移動量が増加し翼車と噴口の接触事故を

起す危険がある。スラスト保護としてはタービン監視計器の一つである軸位置指示計により直接軸方向移動量を測定して警報遮断せしめることも可能であるが、最近のタービンはスラスト軸受部が全密閉型で構造上軸位置計検出器の取り付けが不可能であるので VT-W 型温度継電器によりスラストを保護している。VT-W 型温度継電器はスラストメタルに検出バルブを埋込み、スラスト摩耗量をメタルの異常温度上昇により検出動作して非常停止ソレノイドを付勢しタービンを非常停止する。

2.5 発電機タービン間の保護連動

前述の重故障と中央制御室の非常停止ボタンを操作した場合、主塞止弁と再熱塞止弁は全閉して、タービン、発電機は非常停止する。この際再熱エネルギーによるタービン加速と負荷遮断による速度上昇が同時に起るのを防ぐため、主塞止弁と両再熱塞止弁の全閉完了を条件として自動的に発電機並列用遮断器、所内補機用遮断器、界磁遮断器を開路する。

発電機内部故障の場合には即時遮断器を開路し同時に非常停止ソレノイドを付勢してタービンを非常停止させる。

2.6 ボイラタービン間の保護連動

発電機並列運転中タービンまたは発電機事故のためタービンを非常停止してボイラの負荷が急激に減少するとボイラ過熱器と再熱器は過熱されて危険であるので、ボイラ燃焼系統は誘引通風機を残して全停止するよう連動されている。

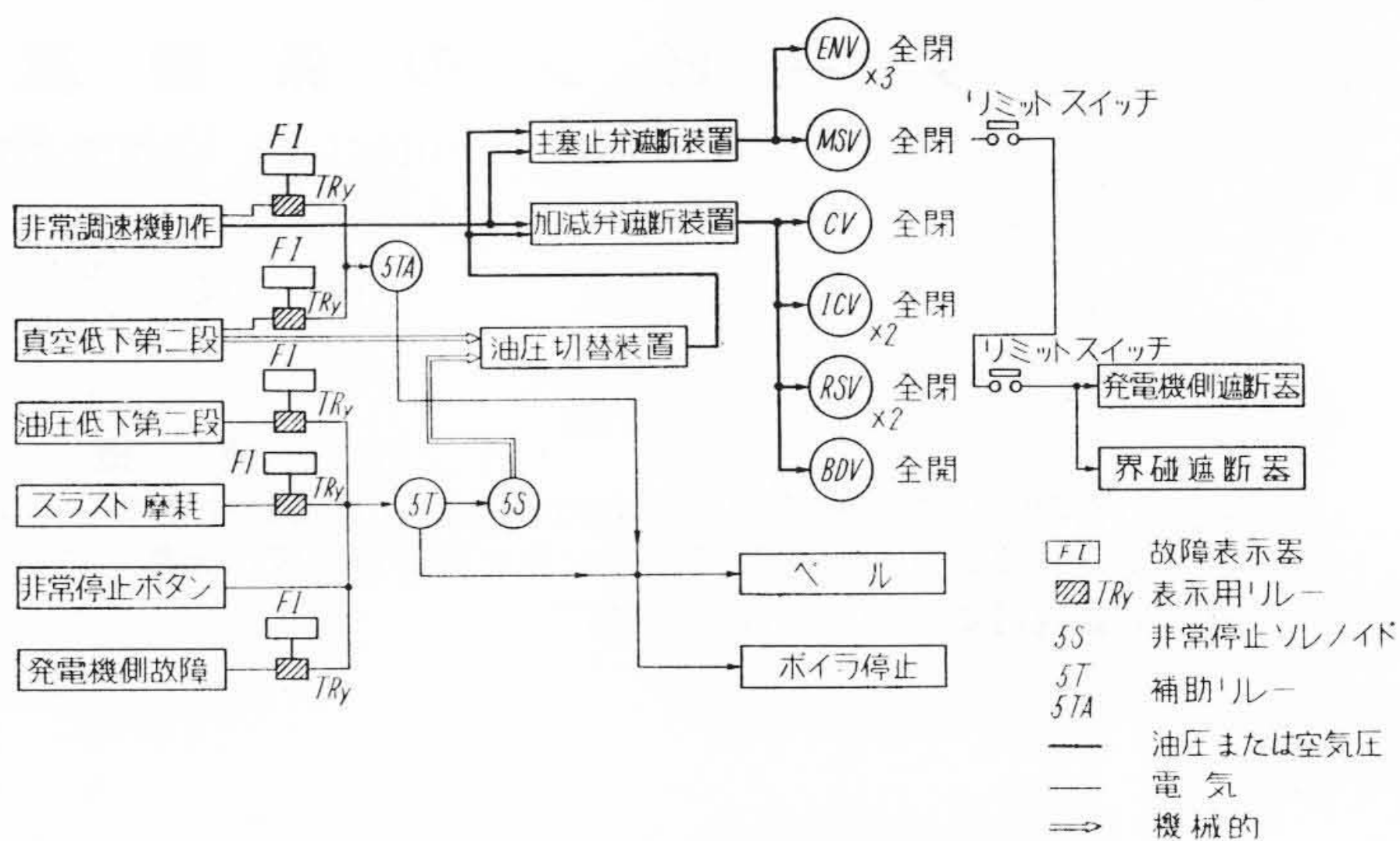
以上のタービン自動遮断の系統を図示すると第 2 図のようになる。

3. タービン軽故障の保護装置

軽故障は即時タービン非常停止とはせず事故発生と同時に中央制御盤の故障表示器に表示しブザー警報を行い運転員の処置に任せるもので、第 3 図にタービンの警報配置図を示している。タービン軽故障のうちタービン内部の機械的状態に関するものは特に重要で連続指示記録をも行わせておりタービン監視計器として別個に取り扱われている。

3.1 タービン監視計器

タービン監視計器はタービン内部の刻々変化している機械的量を直接測定していかにタービンを運転すべきかという指針を与えるもので、タービンの中央制御、急速起動などは監視計器の開発をまつて初めて可能となつた



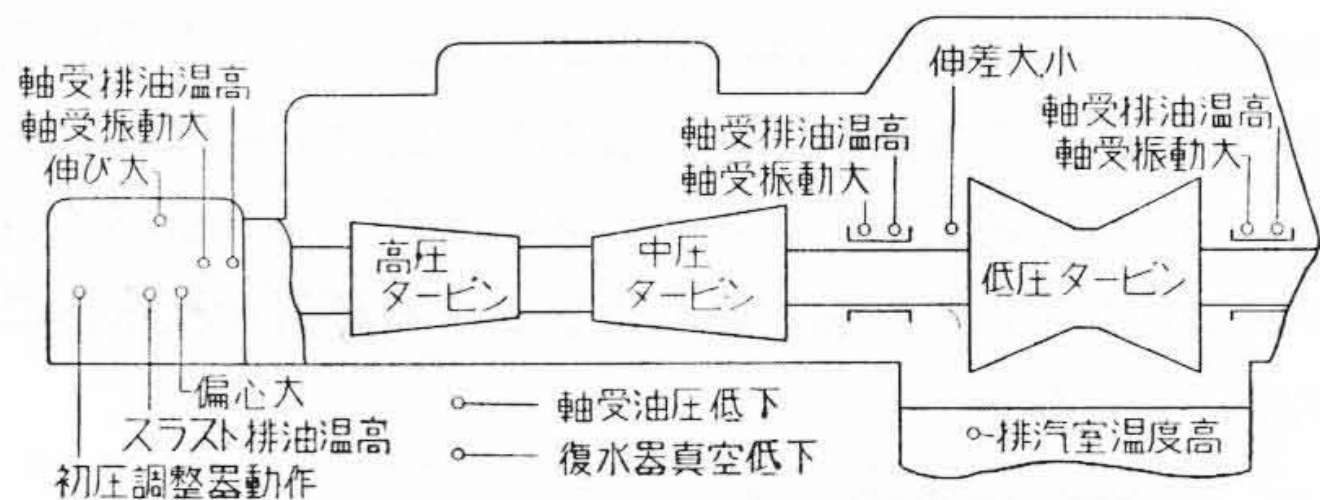
第 2 図 タービン自動遮断系統図

のである。第 1 表に日立製作所のタービン監視計器の要目を示した。監視計器は従来運転員の感に頼っていたタービンの運転状態を数値的に把握して安全運転できるのはもちろん、記録を集積解析することによつて事故の原因を判断し、タービンの老化に対する適確な指示を与え、さらには事故を未然に防止するなど重要な役割を果たしている。

3.1.1 伸び計、伸差計

タービンの起動停止時や負荷を変化する場合のようにタービン熱入力の変化があるとタービン各部分に熱膨脹による伸びの変化が起る。タービン内部の各部の伸びが一様であることが望ましいが実際には各部分の熱容量の差により伸びの不均一と熱応力によるひずみが生ずる。伸び計はタービン車室の伸びを記録するもので、通常車室は低圧部で固定し前側（高圧側）に伸びるので前側軸受部において車室の伸びを検出する。伸差計はロータと車室の伸差を記録する。伸差は回転部と静止部の間隙を示す重要な量で伸差過小は翼車と噴口の接近を表わすので、タービンの負荷を変化する場合には必ず伸差計を注意し伸差一定範囲内で運転処置をとらねばならない。

伸び測定には可動鉄片をはさんで 2 個の検出コイルを基礎に固定して用い、車室の伸びはスピンドルを介して可動鉄片に伝達されコイルのインダクタンス量を変化させる。伸差測定には 2 個の相対した検出コイル



第 3 図 タービン警報配置図

第1表 タービン監視計器

品名	目盛	検出器型名	測定量
偏心計	0~0.4mm	LLR-4	タービン前側軸端における軸の半径方向偏心量
伸び計	0~15 mm	LLR-3	前側軸受部におけるタービン車室の軸方向伸び量
伸差計	0~15 mm	LLR-2	低圧タービン部における軸と車室の軸方向伸差量
振動計	0~0.15mm (片振幅)		各軸受における振動振幅量
タービン軸位置計	-1~+2mm	LLR-1	タービン前側軸端におけるタービン軸の軸方向変位量
回転数およびカム軸位置計	0~4,200rpm 0~100%	FAT	発電機並列前は回転数並列後は加減弁開度

を車室に固定して用い、ロータに取り付けた特殊リングが磁極として検出コイル間を回転し伸差による空隙の変化をインダクタンス量変化として検出する。伸び計には1個の上限警報接点、伸差計には各1個の上下限警報接点を備え、警報点は可調整で実際のタービンに即して整定する。

3.1.2 偏心計、振動計

タービン運転後休止中にはタービン軸は温度差によりごくわずかに半径方向に弯曲しようとする傾向があり、このわずかな偏心をそのまま高速回転すれば大きな不平衡力を生ずるのでタービン起動時十分ターニング運転を行う必要があるのは周知である。また高速運転中にも不測の温度差により偏心を生ずることがある。日立製作所製の偏心計は、タービン前側軸端の偏心量を測定し、ターニング低速運転時と定格高速運転時とはターニングギヤに関連して自動的に切替え測定する。振動計はタービンを支持する3個の各軸受における振動振幅を測定し同時に6点にまで切替え測定できる。偏心計と振動計とは相まってタービンの安全運転の指針を与えるもので、タービン回転部の摩擦、軸受の摩耗やゆるみ、発電機界磁回路の事故の際は偏心と振動は異常に増大した値となる。偏心計はまたターニング運転の時間を決定するのに特に重要な役割を果たしている。

偏心測定には車室に取り付けた検出コイルの両磁極をタービン軸と相對して用い、偏心回転により磁極と軸の間隙に最大最小が表われこれをインダクタンス量変化として検出する。振動測定には軸受に取り付けた1組の永久磁石とコイルを用い、永久磁石が振動して相對する固定コイルに振動の速度に比例する電圧を誘起するのでこれを積分して振動振幅に比例する電圧を得ている。偏心計、振動計は各1個の上限

警報接点を備え警報点は可調整で実際のタービンに即して整定される。

監視計器のうち伸差計と偏心計は前述のようにタービンの起動停止に重要な役割をもっているのでタービン起動盤に配置するのが便利であり、振動計、伸び計などは中央盤に配置する。

第4図は北海道電力株式会

社江別発電所 25,000kW タービンに追加設置したタービン監視計器盤で偏心、振動、伸び、タービン軸位置の各監視計器を収納している。第5図は日本国有鉄道公社川崎発電所 60,000kW タービンの中央制御盤で偏心、振動、伸び、伸差、カム軸位置の各計器を備えている。これら日立タービン監視計器はすべて電子管平衡計器で確度高く検出部は高温にたえ堅牢であるなど多くの長所をもっている。

3.2 その他の軽故障

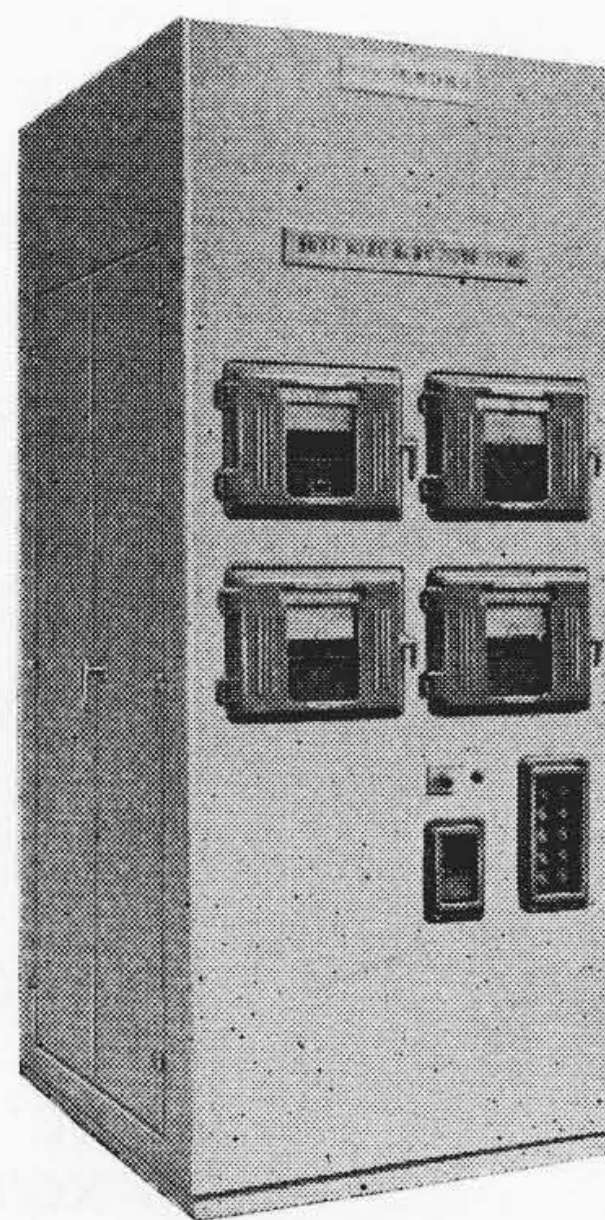
第3図の警報配置図のうち潤滑油圧低下と復水器真空低下の警報については前述した。

3.2.1 排気室温度上昇

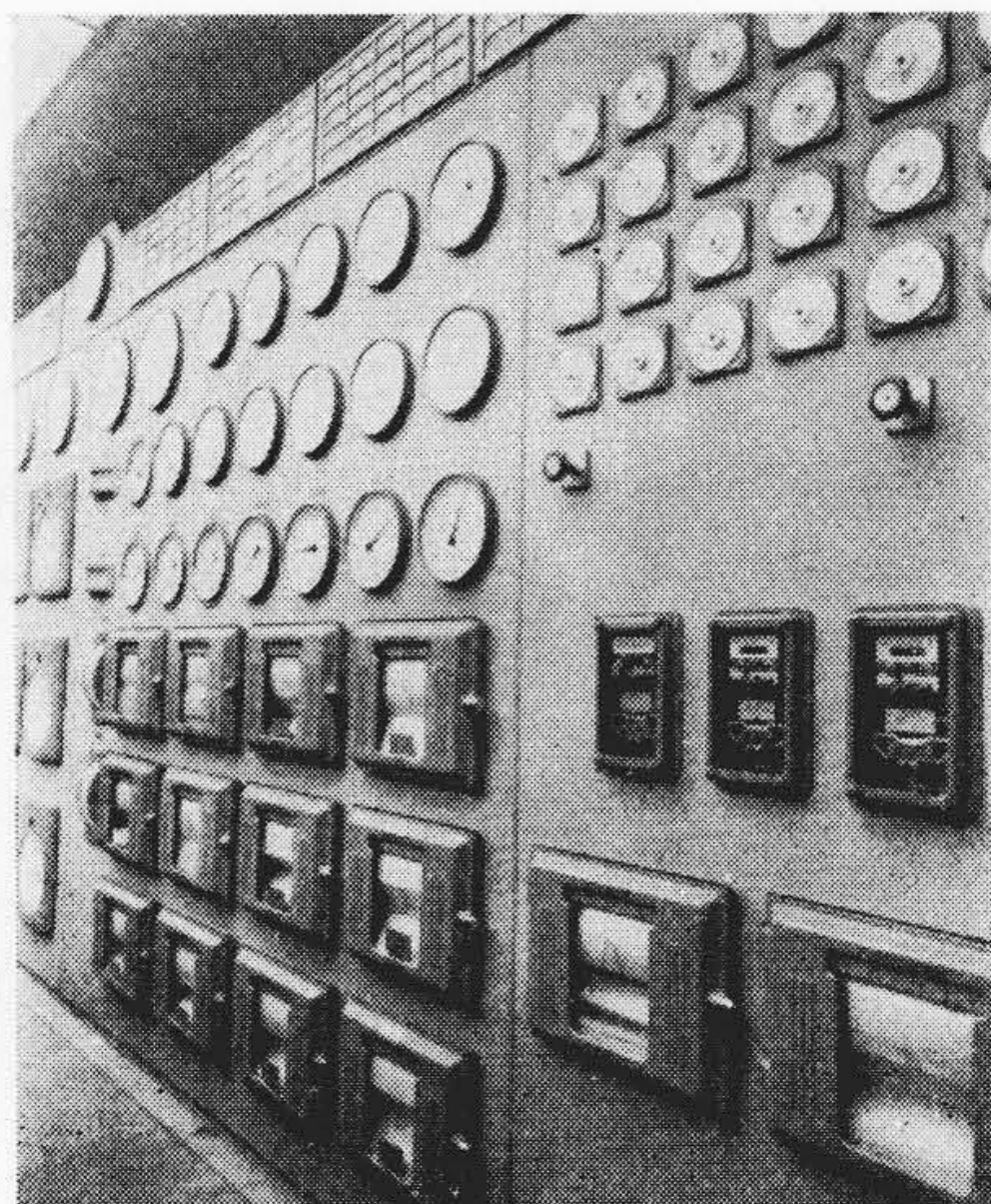
タービン起動時または事故による電動機運転のときは排気室温度が異常に上昇するおそれがある。これを防止するため低圧車室の水噴射装置により自動的に冷却しているが、水噴射装置の後備保護と事故による過熱保護のため排気室にVT-W型温度継電器を設け警報させる。

3.2.2 初圧調整器動作

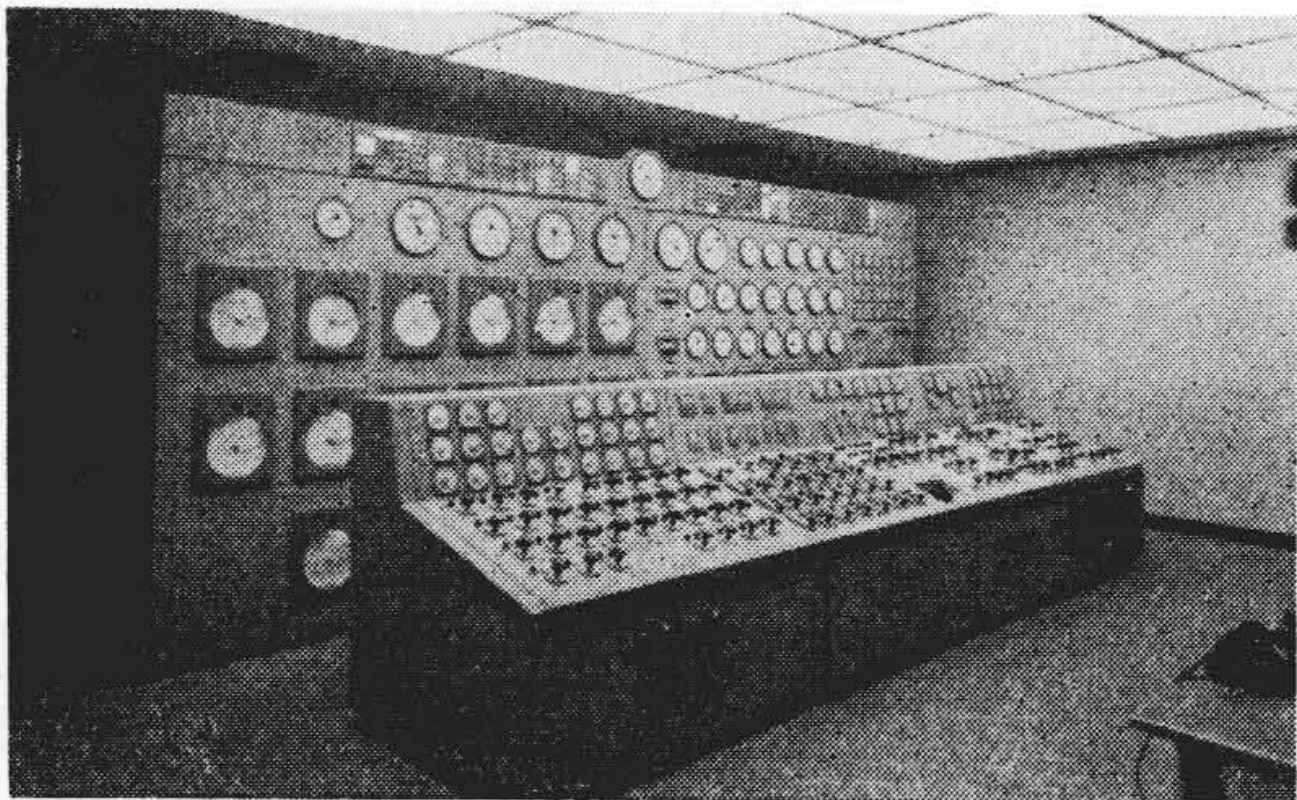
初圧調整器は主蒸気圧力が異常低下したとき加減弁



第4図 タービン監視計器盤



第5図 タービン計器盤



第 6 図 日本国有鉄道公社川崎発電所納中央制御盤

開度を減じて蒸気流量を減少させボイラの蒸発量と均衡させる装置であつて、その動作中なることを警報する。

3.2.3 各軸受排油高温

タービンを支持する 3 個の軸受の各排油、スラスト前後の排油温度が上昇すると警報する。継電器としては軸受温度記録計の内蔵警報接点を使用するかあるいは温度継電器を使用する。

3.2.4 警報方式

上記タービン軽故障はタービン補機に対する警報と一括して中央制御盤の故障表示器に表示される。火力発電所用としては照明式故障表示器が主に採用され、その方式は次のとおりである。

- (1) 故障が起ると照明式表示器点滅、ブザー警報
- (2) 復帰用ボタンスイッチを引くとブザー止み表示器は連続点灯
- (3) 故障消滅で表示器消灯

第 6 図は集合照明式表示器を備えた日本国有鉄道公社川崎発電所中央制御盤の全景である。

4. 結 言

タービンの大容量化、中央制御の発達に伴いタービン保護装置の責務はますます重要となつた。電子管式タービン監視計器の開発は中央制御、急速起動を可能ならしめタービンの安全かつ合理的運転に多くの貢献をしている。今後の問題としてクロスコンパウンド型再熱タービンや単機 200,000 kW をこえるいわゆる系統火力の出現せんとする現在、確実に簡単なタービン保護方式の確立にいつそう努力せねばならない。

参 考 文 献

- (1) 加藤：日立評論 39, 1099 (昭 32—10)
- (2) 井沢, 西垣, 岩谷：日立評論 39, 767 (昭 32—7)

日立継電器型式の説明

日立継電器の型式名は次の基準できめている。

(1) 型の説明

第 1 字	第 2 字	第 3 字および 4 字	添 字
構造を示す	機 能 を 示 す	補足説明	
A 可動鉄心型	A 補助動作器	F 配電線用	11 (C 型の型名) 30 秒定格 21 (C 型の型名) 連続定格
C 接触器型	B 表示器	G 接 地	
D 可動線輪型	C 限時復帰	N 内部磁石	
F 浮子型	D 差 動	O 電 流	
G 集合型	E 自由引外	P 力 率	
I 誘導円板型	G 接 地	T 変圧器用	
K 誘導環型	H 方 向	V 電圧抑制	
M 電動機型	M 時 間		
V 蒸気圧型または電子管型	O 電 流		
	P 相逆または極性		
	R 逆 電 力		
	S 同期化または同期はずれ		1, 3, 18 (IM の添字) 最大整定限時×10 秒 なることを示す
	T 温 度		
	V 電 圧		
	W 電 力		
	X リアクタンス		
	Y 比 率 動 作		
	Z インピーダンス		

(2) 式の説明

1 字または 2 字 組合せ使用する	添 字
A 過電圧および過電流式	C 型継電器にて 4 組の切換接点を有する
C 常 時 開 路 式	式 名 T4
D ダッシュポット付	C 型継電器にて T ₂₃₋₂₁
E 電 磁 復 帰 式	
H 手 動 復 帰 式	
L 小 勢 力 式	埋込取付または引出回転構造にて
L ₁₁ 特別小勢力式	
O 常 時 閉 路 式	
Q 高 速 度 動 作 式	A 外形 170 幅 320 高さ 引出回転型およびこれに準ずるもの
T 多 接 触 式	B 外形 170 幅 240 高さ 引出回転型およびこれに準ずるもの
U 低電圧および低電流式	C 外形 140 幅 210 高さの埋込型
W 二 重 動 作 式	R 外形 170 幅 190 高さの丸胴型
X 接 地 電 圧 方 式	S 外形 170 幅 320 高さの埋込型

(3) 型式の例

IGF 配電線用誘導円板型接地継電器
 IGF-B₂ 配電線用誘導円板型接地継電器引出回転構造
 IGF-R 配電線用誘導円板型接地継電器丸胴埋込構造
 KRV-QW 誘導環型高速度逆電力継電器 (電圧抑制付二重動作式)
 KH-QW-B₂ 誘導環型高速度方向継電器 (二重動作式) 引出回転構造
 KOV-QC-B₂ 誘導環型高速度過電流継電器 (電圧抑制付) 引出回転構造
 AZ-QC 可動鉄心型インピーダンス継電器
 CG-XQT₂₂ 接触器型高速度接地継電器 (2a 接点付)