

油 圧 式 調 速 装 置 (第 1 報)

糸 野 幸 三*

Oil-Operated Speed Governor (Report 1)

By Kōzō Kumeno
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

It has become a trend of the time in general thermal power plants that the steam turbine employs high pressure, high temperature steam and drives high speed type generator which develops large output for its small size.

This inevitably has given rise to many difficult problems as regards the speed controlling.

Among other things, the writer investigated the method to satisfy the condition on which the small-sized, large output turbine rotor rotating at high speed can be brought in stabilized running at the minimized rate of momentary maximum acceleration ratio. And the writer's answer for the above is to replace the conventional lever type speed governor with a new type that might be called the pressurized oil-controlled speed governor and make the time constant of each controlling element small.

In verifying the stability of controlling circuit, the writer did not attempt to work out a whole pole diagram as it did not seem practical because it requires troublesome multi-prime number calculation. Instead, he conducted experiments and calculations on some of the vibration numbers falling around the vibration number of oscillation which gives the attenuation when the phase of output and the declination coincide, thus to see how the theoretical analysis on the method of frequency response can agree with the value derived from the experiment.

〔I〕 緒 言

最近の火力発電所内蒸気タービンは高圧高温の蒸気を使用し、小型で大出力高速回転機を採用するのが趨勢となつている。そのため速度制御に関する種々の苛酷な要求は増加する一方となつた。例えば、タービンロータの慣性モーメントが小さい割に大出力なものを安定に調速することは容易でなく、而も或る程度永久速度変動率を小さくし、同時に瞬間最大速度上昇率を出来得る限り小さくすることを満足するためには、最早従来のレバー型調速機構を以てしては限度に来ている。今回完成した日

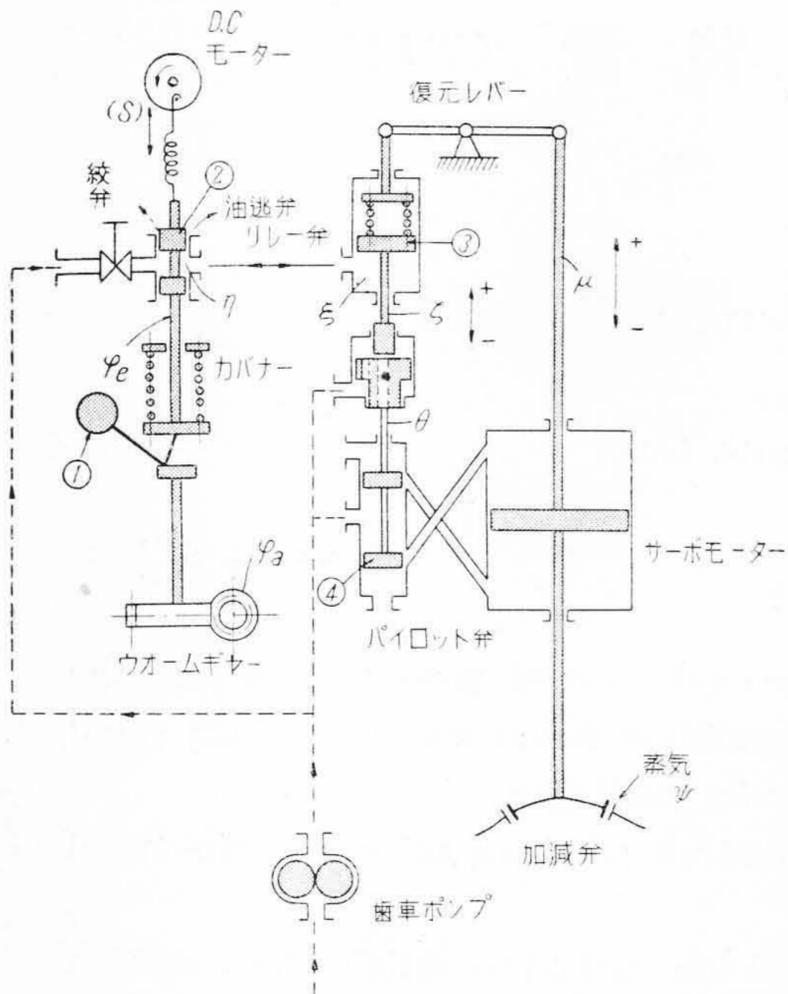
* 日立製作所日立工場

立式油圧調速装置は油流体伝達方式を採用し、極度に制御装置の感度を挙げ、各制御要素の時定数を小さくし、安定にして鋭敏な制御をねらつたものである。以下本装置の制御要素の時定数、安定度に関する基礎実験と周波レスポンス法による理論解析とを報告する。

〔II〕 周 波 特 性

(1) 計算並びに実験法

第1図(次頁参照)に調速装置の機構図を示す。タービンロータの回転偏差は単一遠心錘①によつて検出され、調速機心棒上部にある油逃弁②により調整油圧が変化しリレー弁③にその変化量を伝達する。パイロット弁④は



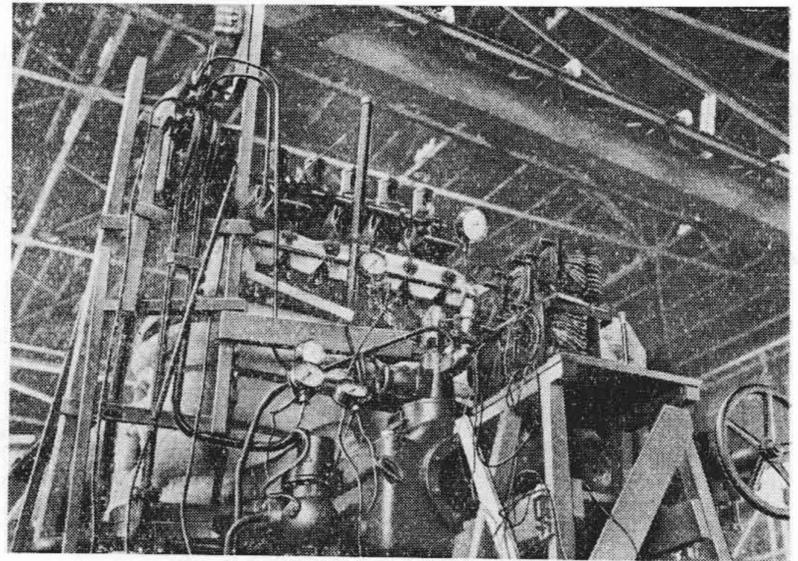
第1図 油圧调速装置機構図
Fig. 1. Oil-Operated Speed Controlling Mechanism

リレー弁③に追従して作動しサーボモーターへの油の切換えを行つてタービンへの流入蒸気量を加減し、回転偏差を打ち消そうとする。かくして制御回路は一つの閉回路を形成するわけであるが、その回路の安定度を判別するために全極線図を画くことは可成り面倒な複素数計算を必要とし実用的でない。そこで、偏差と出力の位相の合致する(位相差 180°)時の振幅比(Attenuation)を与える発振数(ω)を中心として、その前後の数箇の振動数に就いて計算した。一方実験は閉回路(Closed Loop)で施行したため、ニコルズ線図より逆に伝達函数を求め前の計算値とこの実測値とをニコルズ線図上にプロットして比較検討し、同時に出力/入力= M を求めてみた。

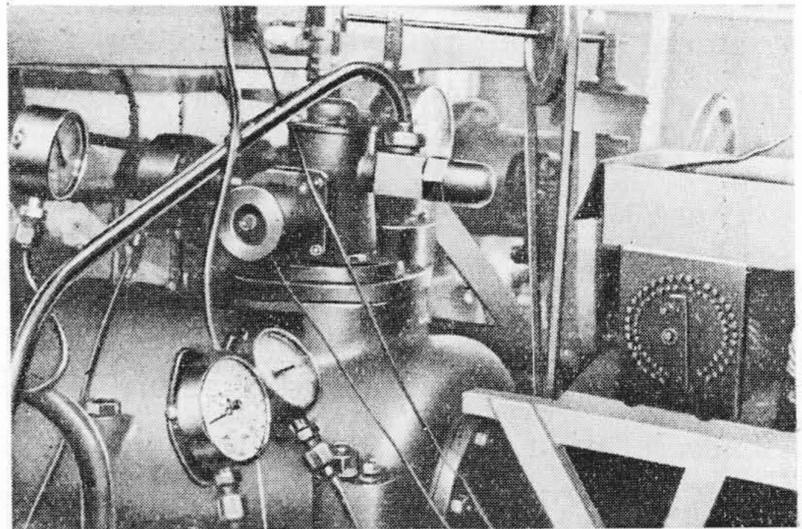
第2図に実験装置の全体を、第3図に入力発生装置を示す。正弦波の一定振幅を与え、制御回路の推定自己振動数又は目標とする振動数近くの5箇に就いてそれぞれ定常状態になるのを待つて行つた。入力振幅は偏差が測定出来る範囲内で小さい方がよい。尚以上の他にインディシヤル・レスポンスによる全負荷変動試験を行い制御系のむだ時間(τ)を測定した。第4図は操作部に於けるオシロ測定装置である。むだ時間の模様は第5図に示す通りである。

(2) 実験結果と計算値との比較

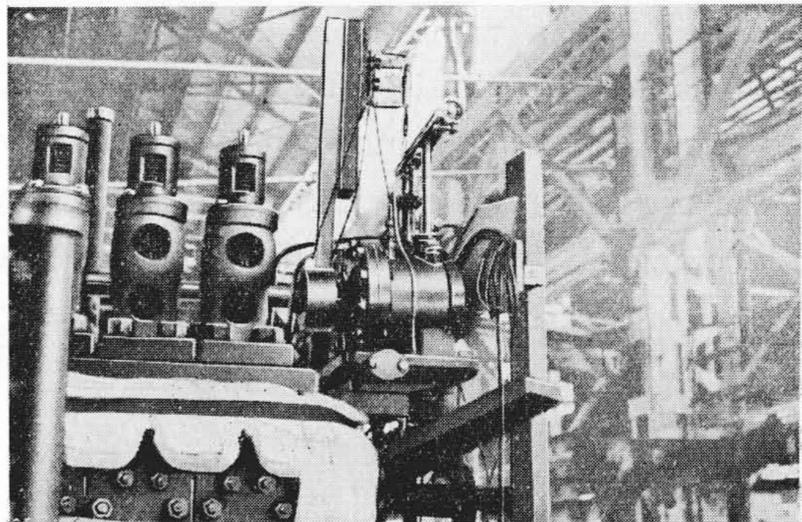
今一例として、発振振動数に近い $\omega=7.3\text{rad/sec}$ の場合



第2図 全体実験装置
Fig. 2. Testing Equipment

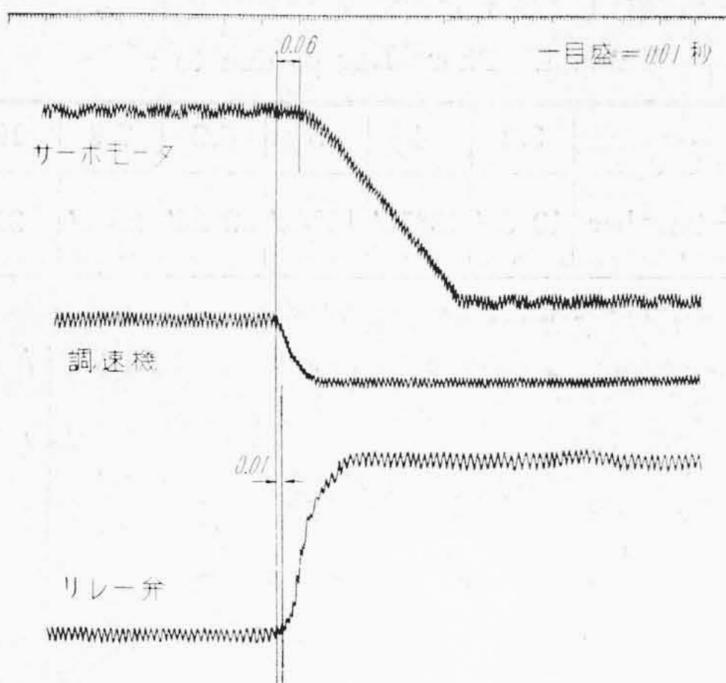


第3図 入力発生装置
Fig. 3. Input Equipment

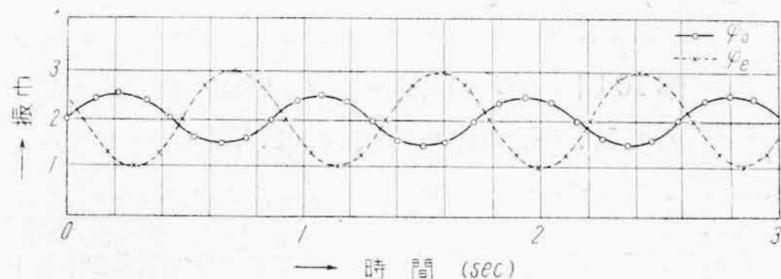


第4図 操作部オシログラム測定装置
Fig. 4. Oscillograph Used for Servomotor

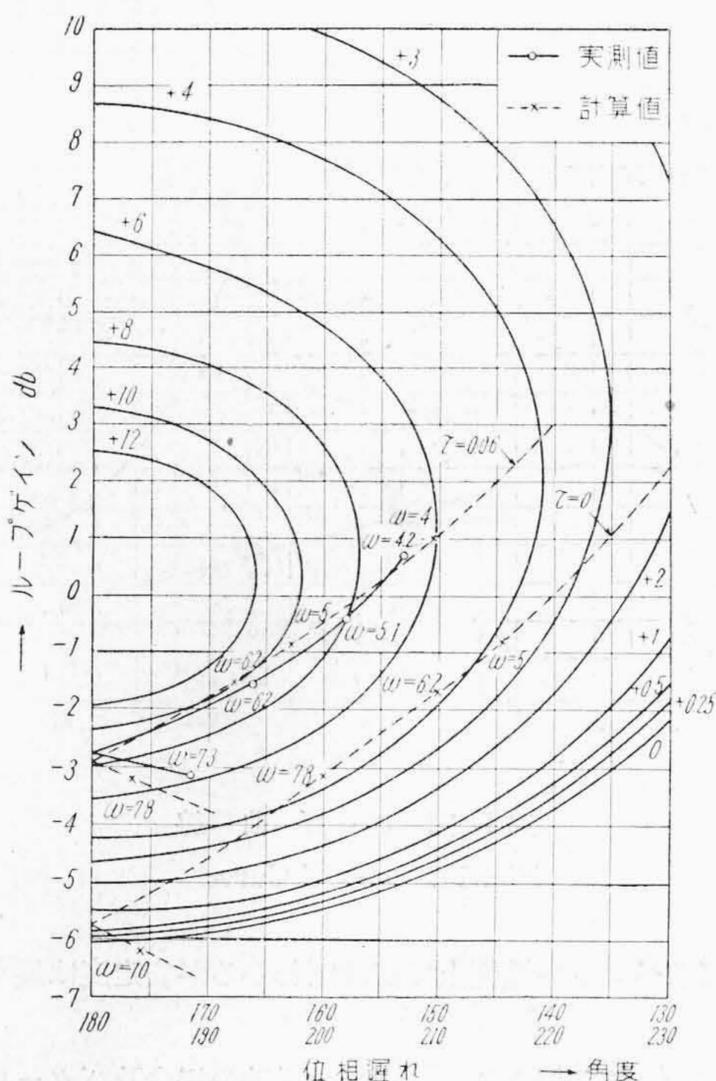
合について示すと第6図の如くなる。同図に示すように、 ϕ_0 (入力)と ϕ_e (偏差)を測定してあるので、振動数 ω と位相遅れ ϕ 及び振幅比 ϕ_e/ϕ_0 を求めニコルズ線図上にプロットして逆に伝達函数を求めると第7図のようになる。図中破線は下記[III]に於て理論による数値計算した値を示したものである。第8図にブロック線図を示し、 ϕ_0, ϕ_e を実測してある。



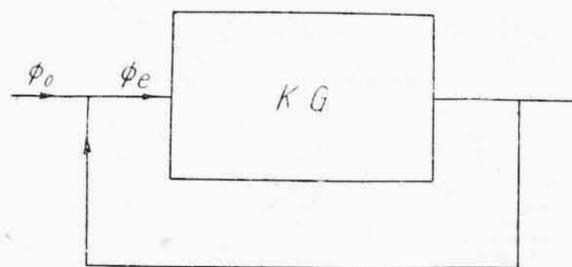
第5図 インディシャル・レスポンス
Fig. 5. Indicial Response



第6図 周波レスポンス ($\omega=7.3$ rad/sec の場合)
Fig. 6. Frequency Response



第7図 利得 ~ 位相曲線
Fig. 7. Gain—Phase Curve



第8図 KG ブロック線図
Fig. 8. KG Block Diagram

〔III〕 ブロック線図と数値計算

第1図に於ける各制御量の符号を下記の如くする。

- ϕ_e = 回転偏差 (誤差)
- δ = 速度変動率
- η = 調速機油圧
- ξ = リレー油圧
- ζ = リレー行程
- θ = パイロット行程
- μ = サーボモータ行程
- ψ = 供給蒸気量
- ϕ_a = 被制御の回転偏差(出力)
- Teg = 調速機の時定数 sec
- Tsr = リレーの時定数 sec
- Tsp = パイロット弁の時定数 sec
- Tss = サーボモータの時定数 sec
- Tes = 蒸気室の時定数 sec
- Ta = 回転体の時定数 sec

(但し、上記左側の各量は一般的表示にして、いずれも全変化量に対する比率を示し無次元である) とすれば7箇の連立微分方程式を得、これをブロック線図で表わせば次の如くなる。

(1) ブロック線図

KG は利得を示す。

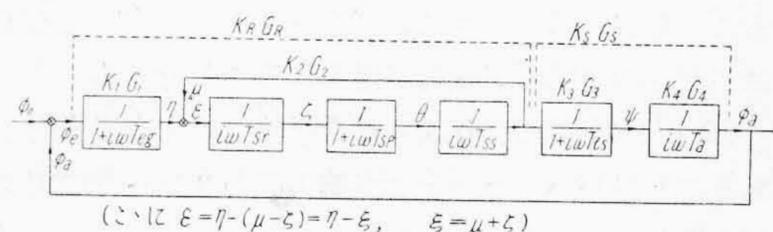
(第9図に本装置のブロック線図を示す。KR GR 及び KS GS はそれぞれ制御系と被制御系の利得である。

(2) 数値計算

周波レスポンス法により、上記のブロック線図を解くのであるが、制御系と被制御系とに二分し利得 (Gain Constant $KG(i\omega)$) を用いてナイキスト線図の逆ベクトルを画き、更にニコルズ線図上にプロットしてみる。

(2.1) 制御系

$$-\phi_e/\mu = K_R G_R^{-1} = (1 + i\omega Teg) \{1 - \omega^2 Tss (Tsr + Tsp) + i\omega Tss (1 - \omega^2 Tsr Tsp)\} \delta \dots (1)$$



第9図 制御要素のブロック線図
Fig. 9. Block Diagram of Controlling Elements

$$\begin{aligned}
 \text{ここに } K_1G_1^{-1} &= 1 + i\omega Teg \\
 K_2G_2^{-1} &= \{1 - \omega^2 Tss(Tsr + Tsp) \\
 &\quad + i\omega Tss(1 - \omega^2 TsrTsp)\}
 \end{aligned}$$

とおけば(1)式は

$$K_R G_R^{-1} = K_1 G_1^{-1} \cdot K_2 G_2^{-1} \cdot \delta \dots\dots\dots (2)$$

となる。計算により各係数 Teg, Tsr, Tsp, Tss 及び δ をきめ、各 ω に就いて順次計算すれば(2)式の位相角 ϕ_R 及び振幅比 $|K_R G_R^{-1}|$ は求まる。

(2.2) 被制御系

$$\mu/\phi_a = K_S G_S^{-1} = (1 + i\omega Tes) i\omega Ta \dots\dots\dots (3)$$

ここに $K_3G_3^{-1} = 1 + i\omega Tes$

$$K_4G_4^{-1} = i\omega Ta$$

とおけば(3)式は

$$K_S G_S^{-1} = K_3 G_3^{-1} \cdot K_4 G_4^{-1} \dots\dots\dots (4)$$

となる。タービンの各時定数 Tes 及び Ta は計算により求め前記と同様にして(4)式の ϕ_S 及び $|K_S G_S^{-1}|$ を求める。

(2.3) むだ時間 (τ) の影響

第5図の突発全変化に対するオシログラム記録より制御系のむだ時間(τ)は 0.06 sec となる。この τ による位相遅れを ϕ_τ とすると、振動数 ω との関係は

$$\phi_\tau = \tan^{-1} \omega \tau \dots\dots\dots (5)$$

となる。各 ω について ϕ_τ を計算すると第1表の如くなる。

(2.4) 閉回路の KG^{-1}

$$\begin{aligned}
 \phi_e/\phi_a = KG^{-1} &= K_R G_R^{-1} \cdot K_S G_S^{-1} \\
 &= K_1 G_1^{-1} \cdot K_2 G_2^{-1} \cdot K_3 G_3^{-1} \cdot K_4 G_4^{-1} \cdot \delta \dots (6)
 \end{aligned}$$

前述の(2.1), (2.2) 及び(2.3)より(6)式を解いて閉回路の振幅比及び位相遅れを求めこれをナイキストの逆ベクトル線図にまとめると第10図のようになる。この逆ベクトル曲線 $KG_{\tau=0}^{-1}$ 及び $KG_{\tau=0.06}^{-1}$ をニコルズ線図に写像したものが第7図中の破線である。

[IV] 検 討

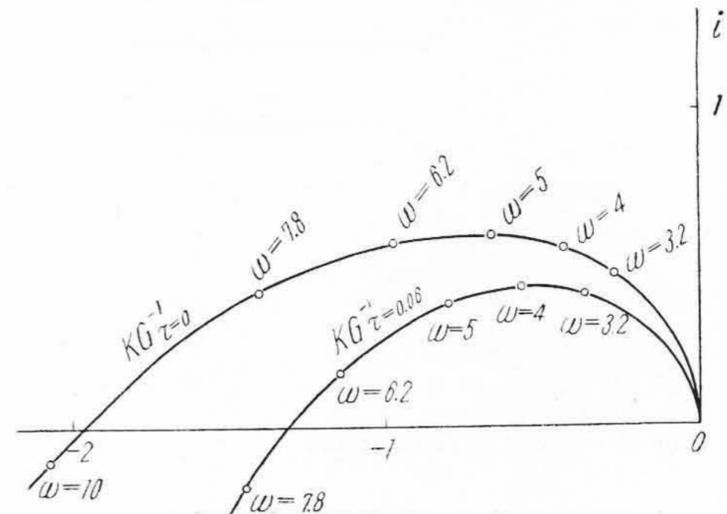
(1) 第7図に於て、むだ時間 $\tau=0.06$ sec の時の計算による KG^{-1} 曲線が実側値と非常によく一致している。これはむだ時間のための位相遅れ $\phi_\tau = \tan^{-1} \omega \tau$ だけ $KG_{\tau=0}^{-1}$ 曲線を左方に平行移動したことを示している。計算の過程に於ける各時定数の値が可成り正確に合っていることを認め得ると共に、周波レスポンス法による実験法が割合に簡単で正確度が得られることを知る。

(2) 本実験によりタービン単独では安定限界附近にあることがわかった。そこで第1図のリレー弁に正ラップを僅かに与えたところ乱調を起した。これはこの種装置のパイロット弁の時定数 Tsp による影響が極めて大きいことを示す。数値計算によつても Tsp を適当に小さく

第1表 τ による位相遅れ ϕ_τ

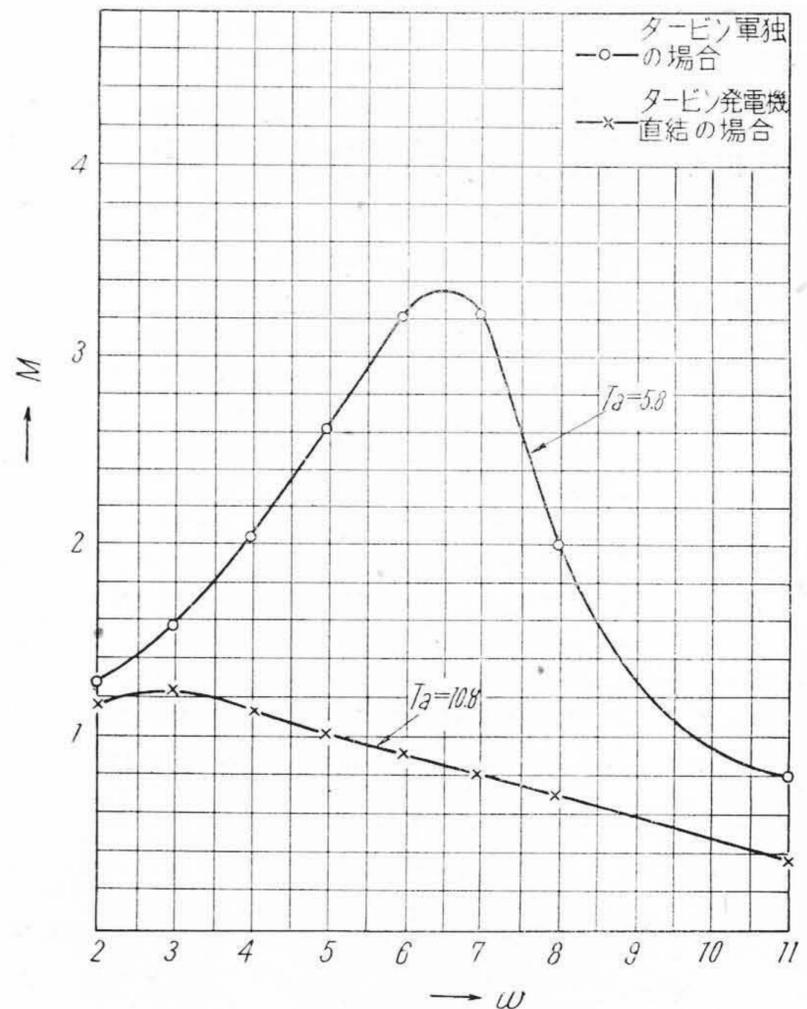
Table 1. Phase Lag ϕ_τ due to τ

ω	3.2	4	5	6.2	7.8	10
$\phi_\tau = \tan^{-1} \omega \tau$	10°52'	13°10'	16°40'	20°24'	25°5'	31°



第10図 KG の逆ベクトル軌跡

Fig. 10. Inverse Vector of KG



第11図 $\omega \sim M$ 曲線

Fig. 11. $\omega \sim M$ Curve

れば逆ベクトル線図上で画けばわかるが安定度は良くなる。

(3) 第7図より、タービン単独の場合及びタービン発電機を直結した場合の $\phi_a/\phi_e = \text{出力/入力} = M$ を求め $\omega \sim M$ 曲線を描くと第11図の如くなる。これから見ても

タービン単独では適当ではないが、発電機を結ぐと $M=1.25$ となり良好と云える。

(4) 第7図よりゲインマージン (Gain Margin) 及びフェーズマージン (Phase Margin) を求めると第2表の如くである。

(5) 制御回路に於ける乱調現象の原因が一応数値的に掴み得たことは計画上大きな利得であろう。

〔V〕 結 言

制御回路の安定度を判別し、制御の良さを定量的に解析してみたが上述の如く実測値とよく一致していることがわかり、この種装置の設計上極めて有益と考える。第1報はその基礎的試験を述べたが、第2報に於て実際発電所内の運転状況を報告したいと思つている。尚本装置の改良型を目下工場に於て鋭意試験中にして、タービン発電機直結無負荷試験に於て優秀な制御成績を収めつつある現状で、将来この基礎的試験結果を基にしてより優れた制御装置の設計製作に資せんとするものである。

第 2 表 利得及び位相マージン

Table 2. Gain and Phase Margin

	Gain Margin	Phase Margin
タービン発電機の場合	8.1 db	50°

参 考 文 献

- (1) Gordon S. Brown, Donald P. Campbell:— Principles of Servomechanisms P. 146, 176, 189
- (2) Leroy A. MacColl: Fundamental Theory of Servomechanisms P. 58, 72
- (3) 高橋安人: 昭 26 年 10 月 日本機械学会誌 P. 426~432
- (4) 高橋安人: 自動制御
- (5) 寒川 武: 自動制御の理論と実際 (上巻)
- (6) W. Oppelt: Grundgesetze der Regelung 高橋安人訳 P. 98~105
- (7) W. Oppelt: Stetige Regelvorgänge 高橋安人訳 P. 103~111



実用新案 第 396993 号

堀 田 正 雄

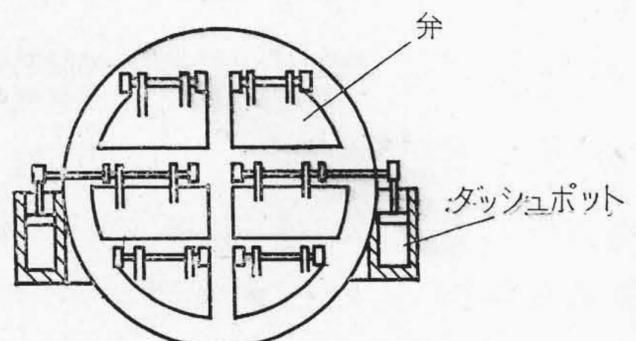
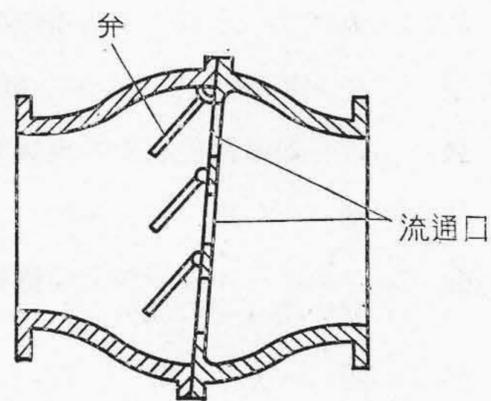
ポ ン プ の 逆 止 弁 装 置

この装置はポンプの揚水が急激に止められた時又は停電等のために不意に動力が消失した場合に、吐出管内の水が逆流して逆止弁が急激に閉鎖されるために生ずる水槌作用を軽減するためのものである。

装置の構造は図に示す通りである。すなわち流通口を適宜の数に仕切り、各流通口にそれぞれ別箇に開閉する弁をとりつけ、そのうちの任意の弁にダッシュポットを連結する。

ポンプに逆流が生じた時には、ダッシュポットを連結しない弁は急閉するが、ダッシュポットを連結した弁は徐々に閉鎖するから、すべての弁が同時に急閉する場合にくらべて水槌作用を著しく緩和することができる。

(宮 田)



日立製作所社員社外寄稿一覧表 (昭和28年5月受付分)

投 稿 先	題 名	執筆者所属	執 筆 者
計測懇談会	伸線用ダイスの精度測定法(その一)	日立電線工場	{ 久本方 柿崎公男
電力社	沼沢沼揚水発電所用ポンプ製作苦心の跡	亀有工場	本多孝一
日本産業車輛協会	建設省標準 20t デイゼル機関車に就いて	本社	新庄文人
電気学会	送電線の接地事故の際発電機側に誘起する異常電圧	日立研究所	{ 牧元 笈川俊雄
日本金属学会	抜型用鋼の研究(その一)(抜型用6% Cr-Mn-W鋼に於けるC及びMnの影響に就いて)	冶金研究所	{ 小柴定雄 九重常男
日本金属学会	抜型用鋼の研究(その二)(抜型用6% Cr-Mn-W鋼に於けるC及びMnの影響に就いて)	冶金研究所	{ 小柴定雄 九重常雄
日本鉄鋼協会	ガスタービン用耐熱鋼の研究(その一)(Ni-Cr系耐熱鋼の時効に及ぼすC, Si, Mn及びNiの影響に就いて)	冶金研究所	{ 小柴定雄 九重常雄
日本鉄鋼協会	ガスタービン用耐熱鋼の研究(その二)(Ni-Cr系耐熱鋼の時効に及ぼすCr, W, Mo及びW+Moの影響に就いて)	冶金研究所	{ 小柴定雄 九重常雄
電波新聞社	電波新聞創刊三週年祝辞	本社	村上長穂
技報堂	日立送風機及び圧縮機	川崎工場	伊藤茂
小峯工業	油圧式倣い削り装置に就いて	川崎工場	{ 寺田勇夫 森久雄
大阪府立産業能率研究所	当工場のカラーダイナミックスに就いて	亀戸工場	寺下信
神奈川県労働部	T.W.I.への反省	戸塚工場	市川暉
日刊工業新聞	鋳山機械の自動制御装置	本店	中野二郎
日本化学会	エナメル線及び膜の導体への接着性(第12報) — 低温感温性 —	日立電線工場	{ 間瀬喜好 萩野幸夫
電力社	カプラン水車の中落差領域に対する進展に就いて	日立工場	{ 深栖俊一 桜井信安
日本科学技術連盟	在庫量決定に就いての一考察	中央研究所	島田正二
電子顕微鏡学会	電子顕微鏡色収差の実験的研究及び厚い試料の観察	中央研究所	片桐信二郎
オーム社	冷房装置	本社	{ 山岸茂考 高橋秀考
プラスチック協会	フェノール樹脂製品の機械的性能及び構造強度に就いて(その二)	多賀工場	松井千里
照明学会	螢光放電管	中央研究所	{ 中村純之助 江本正之
家庭電気文化会	本年度日立扇風機の特長	本社	鈴木信一
家庭電気文化会	扇風機の選び方、扱い方、故障の処置及びしまい方	本社	鈴木信一
日本鉄鋼協会	鉄鋳石粉固結体の熱間通気度とその還元性に及ぼす精度気孔率及び通気度の影響に就いて	安来工場	中村信夫
日本電気協会	最近の水力発電所の動向	本本	吉山博吉
大蔵出版	我が工場の原価引下げ方策	亀戸工場	高橋常雄
建設機械化協会	ケーブルクレンのスピードアップ	亀有工場	赤木進
建設機械化協会	シヨベルの性能に就いて	亀有工場	阿部哲義