

小水力発電の研究

並行運転に於ける誘導発電機の異状発生について。

溝 口 研 悟

**Study on the Generation of Electric Power by the Small
Water Power; The Accidents of an Induction Generator
in Parallel Running**

By Kengo MIZOGUCHI.

Abstract: When a three phase induction generator system is working under the excitation from the distribution line without automatic speed controlling apparatus, if electric source in the distribution line is stopped, the power generation in the induction generator will be stopped instantaneously and electrical load will reduce to zero. Therefore the water turbine which drives the generator will run away exceedingly in high speed. Accordingly it is feared that the mechanical destruction of the generator system due to abnormal high speed revolution may happen, and electrically the damage of the generator and the other electrical apparatus in distribution circuit may arise by the abnormal high voltage induced in the generator under the self excitation of the power factor improving condensers.

The author carried out the experiment on the mechanical and electrical accidents which may occur at a 20kW. small water power plant if the source of distribution line is suddenly disconnected.

The author drew the following conclusions: the mechanical strength of the rotating machine and it's foundation must be installed to hold the twice as much as the speed of rating. Then the mechanical accidents will never occur.

In order to obtain comparatively lower speed, the water turbine with small rating speed and the induction generator with many poles must be selected.

And electrically the induced electro motive force of the generator does not build up by self excitation of the power factor-improving condenser, when more than 1/3 of the rated load of the generator is still connected to the generator and the electrical accidents will not occur.

1. 緒 言

自動速度制御装置を有しない小型誘導発電機による小水力発電方式に於て、配電線より勵磁電流の供給を受けて、配電線電源と並行運転をなす場合、配電線電源の停電と云ふ急變によつて、発電装置並に配電線路には如何なる機械的並に電氣的

異状が発生するかについては大きな危惧を持たれたまゝ不明であつた。停電に逢へば発電機の負ふている全負荷がその途端に零になるのだからその原動機は非常な速さで回轉する。発電機回路には力率改善の爲に蓄電器が接続されねばならぬので

その蓄電器の自動作用によつて高速度回轉に於ては異常高電壓が生起する。即ち停電による原動機の逸走の爲め、機械的には高速度回轉による發電裝置の破壊のことが案じられ、又電氣的には異常高電壓の發生による發電機並に負荷回路中の電氣機器等の焼損の恐れがある。發電機の全負荷より無負荷への突發的變換によつて、水車原動機は約2倍の速さに逸走するのであるが、實驗室で行ひ得る電氣原動機では、此の最惡の異常高速度狀態が得がたい。幸に休止中の自家用小水力發電所があつたので之を利用して誘導發電機による發電方式に更め、水車原動機による運轉の下に危険を冒して此の實驗を敢行したものである。以下機械的異狀發生と電氣的異狀發生とに分けて考察して見る。

2. 機械的異狀發生

此の場合機械的異狀は原動機の異常高速度回轉によつて起るのである。異狀發生の結果は回轉機(水車及發電機)の破損及それ等の基礎の破壊となつて現はれ、保守者の人命に迄及ぶと云ふ由々しき災害を招來する恐れがある。

自動速度制御裝置を有しない場合故、配電電源の停電によつて發電機が定格運轉狀態より急に無負荷となれば水車は定格速度の約2倍の高速度に

逸走する。此の際保守者は出来る丈早く水辨を閉めて水車の速度を低下せしめるのであるが、如何に早く處置したとしても其間1~2分は要する。此の間に水車並に發電機の異常高速度回轉による機械的破壊の不安はないか。

先づ水車について見れば、製作の際に逸走速度が考慮されてある故、1~2分の短時間であれば2倍の高速度も許容されると判斷する。

据付の基礎ボルトの埋込は逸走速度を考慮して十分に深く埋込んでおくことである。

軸受の過熱のことは短時間であることと、水を取扱つている点とから考慮を拂ふ必要はない。

次に發電機について見れば、回轉子の構造が籠型であれば頑丈であるから相當の遠心力に耐ふるものと考へられる。遠心力Fは

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

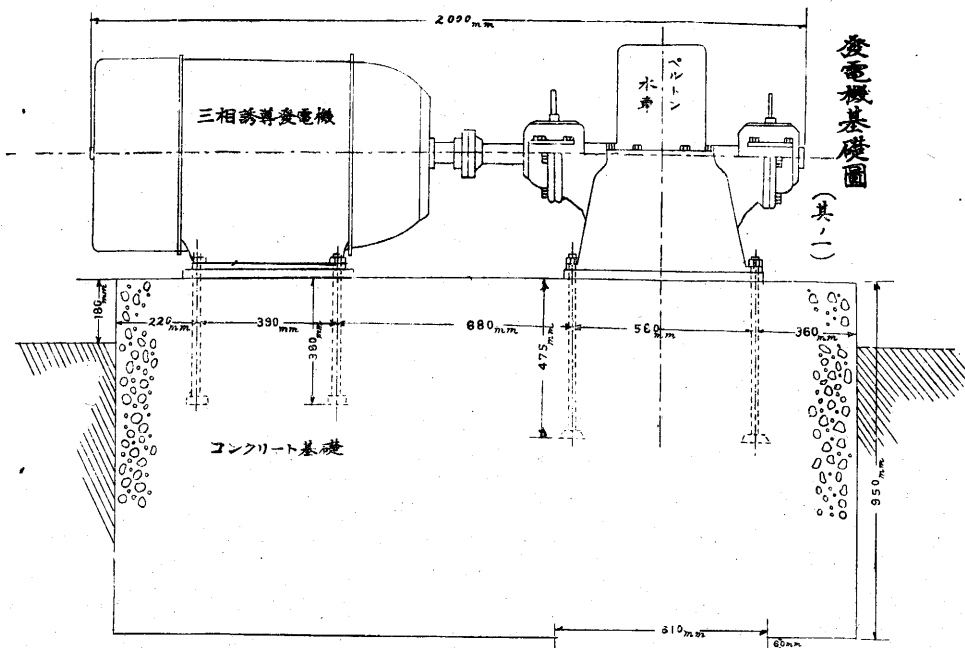
で表はされるのだから速度vが2倍になれば遠心力は4倍になる故、回轉子の構造が丈夫でなければ短時間ではあるが増大した遠心力の爲に回轉子はばらされる恐れがある。幸に回轉子の構造が籠型であつた点から相當の強度が信頼出來ると考へる。

發電機の据付の基礎ボルトに對する注意は水車

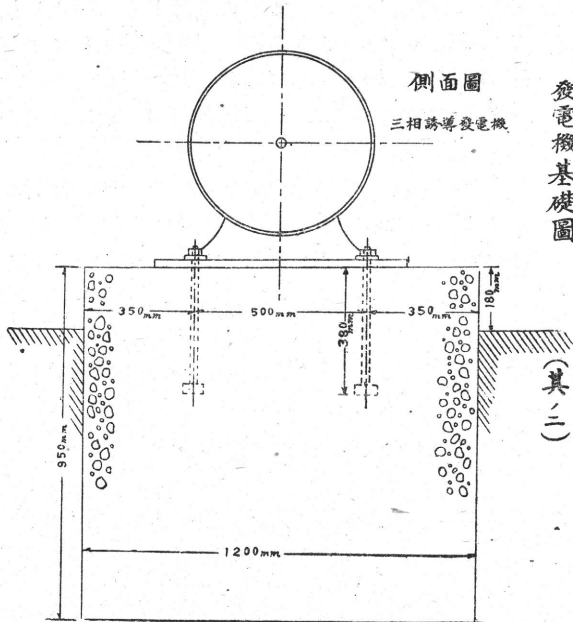
と全様に拂はれねばならない。

實驗に供した水車及發電機の定格及基礎の狀況は次の通りである
水車

34HP
ベルトン型
單射、水壓
150 lb/□"
(落差 100
m.) 回轉數
1000 r. p. m
(従つて逸
走速度は約
2000r.p.m.)



第 1 圖



第 1 圖 (其ノ二)



第 2 圖

3. 電氣的異狀發生 (高電壓の誘起)

突発的停電時に於ける電氣的異狀の發生即ち異常高電壓の誘起は停電と全時に發電機につながつて残る配電區域の廣さ即ち負荷の大きさと大きな關係があると思はれる。

(1) 發電機側に負荷を有しないで配電電源より發電機を切り離した場合。

誘導發電機には力率改善用の蓄電器を發電機に並列に接続してある故、發電機が全負荷で運轉している場合、發電機に近い遮斷器を開けば途端に發電は止み發電機は無負荷となる爲め水車の逸走を來し、蓄電器の残留電荷及回轉子の鉄心の残留

發電機 22.4kW. 三相誘導發電機、
水車との結合方式 直結、
8 極 750r. p. m.
電 壓 200ボルト
勵磁電流 27.5Amp.
周波數 50c/s.
全負荷電流 83.2Amp.
回轉子 二重籠型
基礎ボルト 太さ 3/4吋

埋込みの深さ { 水車 47.5cm
發電機 38.0cm

本 數 { 水車 4 本
發電機 4 本

ボルト間隔 { 軸 方 向
水車58cm 發電機39cm
軸に直角な方向
水車50cm 發電機50cm

以上の推定に半は信を置き半は結果を案じつゝ現場實驗を進めたのであるが、2年間に無慮500回の無警告停電に遭遇して何等の異狀を認めない。

尙發電機の定格速度を低く選べば原動機の定格速度も低められ、従つてその逸走速度も低くなる。發電機の定格速度を下げることは極數を増すことによつて遂げ得られる。故に新しく設計する場合には發電機を速度を成るべく低く立案し、従つてそれに直結する速度の水車を選べば、定格速度の2倍を最大とする逸走速度も低くなりて、異常高速度回轉による機械的災害は起らないことになる。

磁氣等によりて、無負荷發電をなして逸走速度に應じた高電壓が発生する。此の高電壓は定格電壓の2倍位迄昇り得るようである。此の場合の發電は發電機に並列につながつている蓄電器による自勵發電であつて、遮斷器の開路によつて自勵發電への移行には(電壓は一旦零に降下して再び上昇する)或る容量以上の蓄電器を必要とする。22.4kWの發電機で18 μ F/kW(μ F/kWとは發電機の單位定格出力kW當りの蓄電器容量を意味する)即ち400 μ F(Δ 接続三相の和)では發電は生起し電壓は上昇するが200 μ F即ち9 μ F/kWでは生

起し得ず発電不能に陥る。蓄電器の容量を増せば自動発電への移行は一層容易となる。

(2) 発電機側に配電区域即ち負荷を残して配電電源より切離した場合

発電機が全出力で並行運轉をしている時発電機の定格出力の $\frac{1}{2}$ 負荷の配電区域を有して配電電源より切離されれば自動発電に移行し得て原動機は速度上昇により電圧も亦定格値より上昇する。併し此の場合の電圧は無負荷切離の時の誘起電圧より低い。此の場合蓄電器の容量は $45 \mu\text{F}/\text{kW}$ ($1000 \mu\text{F}$) 以上を必要とする。

繰返し行つた実験より案ずるに、此の定格出力の $\frac{1}{2}$ 負荷が自動発電へ移行し得る残存負荷の最大限度と考へられる。尙之れには $45 \mu\text{F}/\text{kW}$ 以上の自動用蓄電器が接続されていなければならない。即ち $\frac{1}{2}$ 以上の残存負荷を有しては自動用蓄電器の容量が $45 \mu\text{F}/\text{kW}$ 以上接続されてあつても自動発電には移行出来ないようである。

力率改善用として必要な蓄電器の容量 C は次式によつて計算する

$$C = \frac{1000W}{\omega E^2} \left[\frac{\sqrt{1 - \text{Cos}^2\theta_0} - \sqrt{1 - \text{Cos}^2\theta_1}}{\text{Cos}\theta_0} \right] \times 10^6 \mu\text{F}$$

但し W ; 誘導発電機の出力 kW .

E ; 誘導発電機の端子電圧 Volt .

$\text{Cos}\theta_0$; 改善前の力率

$\text{Cos}\theta_1$; 改善後の力率

ω ; $2\pi f$

此の式によつて全負荷に於て力率を90%に改善するに必要な蓄電器の容量を計算すれば $32.2 \mu\text{F}/\text{kW}$ となる。実験値は $36 \mu\text{F}/\text{kW}$ 位である。即ち此の発電装置では全負荷時に $36 \mu\text{F}/\text{kW}$ 程度の容量で90%位に力率を改善することができる。

之を自動発電移行に必要な蓄電器容量と比較すれば力率改善用蓄電器容量位では、全出力で運轉している時 $\frac{1}{2}$ 負荷を存したまゝで配電電源より切離された場合、自動発電への移行は絶対に難しい。

實際の配電線路に於ては停電時にも相当量(小型発電機の全出力より遙かに大きな)の負荷が発電機につながっているから、自動発電への移行は起り得ない。従つて停電と同時に発電機は全負荷より無負荷となり、水車原動機は逸走するとも自動発電は生起し得ず、異常高電圧の発生は起り得ないのである。

尙次のような事實のあることを記しておきたい
定格出力の $\frac{1}{2}$ の出力にて運轉している時、それに

等しい残存負荷を有して配電電源より切離されるれば一瞬電圧の變動は起るが高電圧の発生を見ずして負荷を負ふたまゝで自動発電に移行し得る。此の場合 $\frac{1}{2}$ 負荷に對する所要蓄電器の容量は前述のように最少限 $45 \mu\text{F}/\text{kW}$ 位である。

出力が定格の $\frac{1}{2}$ より小であれば自動への移行は一層容易になる。但し配電電源より切離後の残存負荷 P_2 が切離前の発電機の出力 P_1 と等しくあらねばならない。即ち

$$P_1 \leq \frac{1}{2} P_n$$

且つ

$$P_1 = P_2$$

但し P_n は発電機の定格出力である。

若し

$$P_1 \leq \frac{1}{2} P_n$$

であつて

$$P_1 > P_2$$

であれば一層容易に自動発電へ移行し軽負荷になつた丈水車原動機は速度が上昇し、電圧も亦定格値より昇る。

若し又

$$P_1 \leq \frac{1}{2} P_n$$

であつて

$$P_1 < P_2$$

であれば自動発電に移行し得ない、従つて異常高電圧も生起しない。

4. 結 言

最も簡易であるべき誘導発電機の配電電源との並行運轉方式も、自動速度制御装置を有しない場合は、無警告停電時の異状発生について大きな危惧を有たれ、顧みられなかつたので何等頼るべき文献もなく半不安のうちに此の実験を試みたものである。自動発電への移行状態を見んが爲めに、異常高電圧の発生によつて蓄電器を若干焼損したこの考察的實驗的立證が何等かの参考となり今後小型誘導発電機による小水力の開発に資する處あれば幸と考へ茲に發表する次第である。

終りに本實驗を遂行するに當つて御援助を受けた 内山要太氏、九州配電會社、福岡縣京都郡白川村農業協同組合、安川電機製作所、實驗助手小林元明君等に厚く謝意を表する。尙又此の研究は文部省科學研究費の補助を受けて行つたものである。