

# 豎軸型 水車發電機 軸振動에 關한 研究 (II)

(A Study for the Shaft Vibration of the Vertical Type Hydro Electric Power Generator No. II)

李 承 院\*

(Lee Sung Won)

## 2. 豎軸型 水車發電機의 一般의 振動原因判別法

앞의 基本理論을 基礎로하여 水車發電機에서 異常振動이 發生하였을 경우 一般의 振動判別法을 述하기로 한다 實際로 부딪치는 振動問題를 取扱하여 보면 單純한 原因에 依한 것 뿐만 아니라 여러가지 原因이 重疊되어 複雜한 非線型的인 現豫이 나타날 경우가 많다. 原動機側 및 被動機側의 回轉子及 固定子의 各各에 振動을 發生하는 多數의 要因이 있고 또 各各의 振動原因들의 相互間의 影響力이 作用하여 複雜한 振動現象을 가지고 있어서 그 原因을 判別하기가 容易한 일이 아니다. 이러한 振動原因中 主되는 몇가지 原因을 찾아내기 爲하여는 振動特性에 關한 充分한 理解와 適切한 測定裝置를 選擇할 必要가 있다.

機械的 및 電氣的 振動을 그 性質上 다음의 세 가지로 나눌 수 있다.

즉 強制振動, 自動振動 및 自由振動으로서, 發生하는 振動이 이들中 어느 部分에 屬하는 가를 判定할 必要가 있다. 이들中 強制振動은 外力의 振動數와 같은 振動數를 갖는데 앞에서 설명한 大部分의 振動이 이에 屬하여 機械的 不平衡力 및 電磁氣의 原因에 依한 原因等이 그 代表的인 것이 된다. 따라서 回轉數를 變化시키면 振動周波數도 이에 比例하여 變하고 振幅도 回轉數에 따라 變化하는 것이 特徵이다. 이들 原因에 依한 振動周波數가 機械的 固有振動數와 一致할 경우에는 共振現象이 發生하여 共振周波數의 振幅이 增大하게 된다.

強制振動中에는 上記와 같은 單純한 振動外에도 外力의 振動數의 整數倍等의 振動數를 갖는 振動도 發生할 수 있다는 事實을 考慮하여야 한다. 偏心回轉時의 發電機의 空腔內의 電磁氣的 吸引力의 差에 依하여 發生하는 振動이 그 한가지 例가 된다.

自動振動은 振動系의 運動自體에 依하여 energy를 얻어서 振動이 增大하여갈 경우로서 例를 들면 速度가 增加하여 갈에 따라 磨擦力이 減小할 경우나 油膜에 의한 磨擦力이 固有速度 以上의 되면 回轉數와는 獨立된 固有振動을 發生케 하는 경우 等이다.

自由振動은 振子運動의 경우로서 振動系의 固有振動數로서 振動하고 普通 粘性磨擦에 依하여 減衰하나 外力의 周期的 作用으로 過渡的 振動이 連續적으로 發生할 경우가 있다. 이러한 振動現象은 매우 複雜한 形態로서 나타난다.

水力發電機의 振動原因의 判別에 있어서는 우선 그 原因이 水車側에 있는가 發電機側에 있는 가를 알기 爲하여 發電機를 無負荷 및 無勵磁로 하여 回轉시켜서 振動이 負荷時와 同一하게 나타나면 電氣의 原因은 없다고 볼 수 있다. 만일 振動의 變化가 있다면 電氣的인 原因도 重疊하여 存在하는 것으로 振動解析을 하지 않으면 안된다.

다음 水車側에서도 機械的 不平衡인지 水力學的 入力의 不平衡인지를 알려면 回轉數의 變化에 따른 振幅變化를 보면가 더 자세히 究明하려면 水車의 無負荷回轉中 斷水를 하다가 勵磁機를 電動機로 하여 回轉數를 回轉시켜보면 알 수 있다. 이러한 方法으로 물의 入力을 除去한 후에도 振動의 變化가 없으면 振動은 完全히 機械的 不平衡에서 오는 遠心力의 影響이나 thrust bearing에서의 軸受의 調整이 不完全하다고 볼 수 있다.

### (1) 電氣的 原因判別

發電機를 無負荷 및 無勵磁로 運轉하여 軸振動이 減少 또는 消滅하지 않는다면 그 原因은 完全히 機械的인 것이지만 變化가 있다면 반드시 電氣的인 原因이 包含되었다고 斷定할 수 있다. 다음 電氣的 原因이라고 判定되면 그 原因이되는 要素를 찾아 내려면 그 振動曲線을 記錄하여 앞의 理論을 上臺로 하여 다음과 같이 그 原因을 究明할 수가 있다.

\*서울 工大 教授

Prof., College of Eng.  
Seoul National University

(a) 軸振動周波數가 回轉數의 2倍,  $\frac{1}{P}$ 倍 및  $\frac{(2P\pm 1)}{P}$ 倍가 될 경우

이 경우는 앞의 電氣의 原因中 偏心回轉의 경우로 負荷를 增加시키면 振幅도 약간 增加하고 周波數도 조금의 變化하는 現象을 나타낸다. 無負荷時에도 振動現象은 存在하나 勵磁機의 電源을 除去하여 起電力을 零으로 하던 振動은 消滅된다. 이런 現象의 軸振動은 偏心回轉이 그 原因이라 斷定할 수 있다.

(b) 振動周波數가 電源周波數와 關係가 있을 경우

軸의 振動數가 比較의 큰 值로서 60~120~等 電源周波數와 關聯될 경우에는 그 原因은 3相負荷의 不平衡이나 空隙磁束의 不均으로 인한 高調波磁束에 의하여 發生하는 것이라 判定할 수 있다.

이들中 不平衡負荷時에는 振動周波數는 120~(電源周波數의 2倍)이 되고 그 振幅은 負荷量에 比例하게 된다. 다음 其他의 高振動周波數를 갖는 振動은 空隙磁束分佈에 高調波가 包含되어 發生하는 것으로 이 高調波들의 次數의 和나 差가 1이되는 磁束間의 相互作用에 의하여 發生하는 振動力만이 存在하지만 一般적으로 이들 높은 周波數의 振動力은 軸振動에 큰 影響을 미치지 않는다.

## (2) 機械의 原因判別

發電機를 無勵磁로 回轉하였을 때 振動의 變化가 없다면 이것은 機械의 原因에 의하여 振動한다고 말할 수 있다.

(a) 靜的 不平衡일 경우

回轉子가 不平衡일 때는 振動數는 水車의 回轉速度와 同一한 周波數로서 그 振幅은 回轉數에 比例한다. 이 경우 靜的 不平衡인가를 밝히려면 thrust bearing의 上下에서 同時에 振動을 測定하여 이 두가지 曲線間에 位相差가 없으면 靜的 不平衡力만 存在하는 것이다.

(b) 動的 不平衡일 경우

動的 不平衡인 경우에도 水車의 回轉速度에 比例하여 振幅이 變化한다. 이 경우에도 水車의 各部와 thrust bearing 上下點에서의 振動을 記錄하여 그 曲線의 位相差가 存在하면 動的 不平衡에 의한 振動이라 斷定할 수 있다. 이 周波數도 回轉周波數와 같은 周波數가 된다.

(c) Thrust bearing 部の 不良의 경우

Thrust bearing에서의 thrust collar面과 軸中心이 完全히 垂直을 이루지 못하고 있을 경우에는 回轉數와 同一한 振動數의 軸振動이 發生하고 이 振動의 振幅은 回轉數에는 無關한 一定 振幅이 된다. 따라서 機械의 振動數와 回轉數와 一致하고 그 振幅도 항상 一定하다면

이것은 thrust bearing 側의 不良이라 斷定할 수 있다.

## (3) 水力學的 不平衡에 의한 振動

(a) Draft whirl에 의한 振動

물의 入力에 따라 振動에 變化를 가져온다면 이것은 水力學的 入力의 不平衡에 基因한 振動이라 말할 수 있다.

Draft whirl에 의한 振動은 軸自體의 振動에는 어떤 影響을 미치지 않는 않지만 body의 振動原因은 된다. 이 경우의 振動數는  $\frac{n}{3.6}$ (但 水車의 回轉數)으로서 吸出管에 있는 空氣管의 空氣流入量을 變化시키면 그 振幅도 變化한다. 따라서 이러한 경우에는 draft whirl에 의한 振動이라 말할 수 있다.

(b) Runner blade 數와 同數의 高調波分이 發生할 경우

이 경우에는 guide vane을 通하여 流入되는 水力의 不平衡力이 runner blade 數와 關係되는 周波數로서 變化할 경우이다. 이 振動은 guide vane 數와 runner blade 數가 同一하거나 一枚의 差가 있을 때 더욱 크게 나타난다. 이 runner blade 數와 一致하는 高調周波振動은 guide vane의 角度變化時나 閉鎖時에는 減少내지는 除去될 것이다. 이러한 結果가 나타나면 이 高調波或分은 runner blade의 影響을 받는 成分이라 斷定할 수 있다.

## 3. 軸振動測定法 및 測定器具

振動과 그 原因判別法을 究明하였는데 各原因들은 振動周波數의 相異振幅의 相異로서 나타나게 되었다. 故로 實際로 이 振動을 測定하지 않고서는 그 原因을 究明할 수가 없게 된다. 그래서 本研究의 實驗의 部分은 그 大部分이 이 測定對象의 選定測定方法의 確立, 測定器具의 考案製作에 消費되었다.

### (1) 測定法

爲先 軸振動의 振幅과 그 周波數를 測定하기 爲해서 回轉軸 周圍 固定部의 任意의 一點에서 그 部分과 回轉軸 表面間의 距離를 測定하기로 하였다. 이 境遇 軸周圍의 圓形狀이 고르지 않으므로 因한 距離의 變動이 振動으로 誤認될 憂慮가 있으나 이는 靜止時의 測定으로 較正할 수 있는 것이다. 다음에 振動振幅의 變化現象을 叩input의 變化 및 摩擦力의 同期의 變化有無를 究明하기 爲해서 周邊加速度를 測定하였다. 그리고 또 여러가지 原因으로 因해서 나타날 것인 body의 振動을 測定하기로 했다. 上記 3種의 pick up에 依해서 電氣energy로 變換된 量은 너무나 적기 때문에 이를 增幅 記錄하므로써 나타난 波動을 分別 振動의 種類, 크기, 原因을 判別하기로 했다.

(2) 測定器

測定器具들은 華用發電所의 發電機를 對象으로 하여 考案製作하였는데 이를 軸振動 pick up, discriminator, 電源部, 加速度計, 加速度信號送倍機, 加速度信號受信機, body 振動 pick up, 增幅器, 記錄器 等の 順序로 그 原理 構造 作用法을 記述하면 다음과 같다.

A. 軸振動 pick up

(a) 概要

1. 被測定物과의 距離의 變化를 電氣 靜電容量의 變化로 pick up 하기로 했으며 이것으로는 10<sup>-4</sup>m/m 以上の 高感度를 얻을 수 있다. 이것은 다른 type 의 振動計와는 달리 pick up 自體에 어떤 假想靜點이나 運動部分이 必要치 않을 뿐 더러 測定이 振動自體에 何等의 負擔을 주지 않는 等 特色이 있다.

지금 그림 23 과 같은 2 枚의 平行電極으로 된 靜電器



그림 23. 靜電容量

電器를 生覺하고 그 面積을 空腔하고 그 面積을 S 空腔의 長이를 t, 電極間의 誘電率을 ε라 하면 그 靜電容量 C는

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi t} e.s.u$$

$$= \frac{\epsilon S}{4\pi t} \times \frac{1}{9} \times 10^{-6} \mu F$$

이다.

故로 ε, S를 一定히하면 空腔 t 만에 關係되어 靜電容量 C 가 變化하는데 그 變化하는 모양은 그림 24와 같으며 空腔의 微小變化에 對應하는 靜電容量 C 의 變化 卽 sensitivity 는

$$\frac{dC}{dt} = -\frac{\epsilon S}{4\pi t^2}$$

로 表示되어 이 sensitivity 는 ε 과 斷面積 S 에 關係되나 空腔 t 에 左右되는 바 크며 처음 空腔를 적게하면 相當한 感度를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림 24 의 좁은 範圍의 曲線의 比較의 直線部分을 生

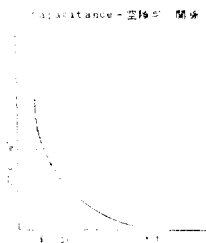


그림 24. Gap

覺하면

$$\frac{C}{t} = -\frac{C}{t} = \text{const}$$

가 되어 空腔과 capacitance 는 比例關係에 있으므로 이 部分을 擇하여 使用하였다. 또 L.C.R 로 構成되어 있는 共振回路에 交流電壓 E<sub>1</sub> 을 加하고 capacitance C 를 變化시키면 回路에 흐르는 電流와 capacitance C 兩端의 電壓은 그림 25 와 같이 變化하므로 이 曲線의 直線

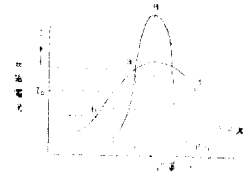


그림 25. 共振曲線

部分을 利用하도록 留意했다.

共振回路中的 抵抗을 적게 하면 曲線의 傾斜는 甚하여 저서 感度가 向上되는 勿論이다.

2. 實際 計器製作에 있어서는 小型化와 複雜을 避하기 爲하여 transistor 化했으며 電源部는 transistor 安定化 電源을 만들어 使用했다.

製作한 可變容量 振動計 (variable capacitance vibrometer)의 構成은 大略 그림 26 과 같다.

(b) 振 動 pick up

40 m/m×40 m/m 의 平板電極을 使用했으며 被測定物에 0.5 m/m~1 m/m 程度의 空腔을 두어 設置된다. 이 電極은 transistor 發振部의 oscillation tank 回路의 capacitor 로서 作動하게 되어 被測定物과 電極과의 空腔의 變動은 oscillation tank 回路의 capacitance 로 變化시키므로써 나타난다.

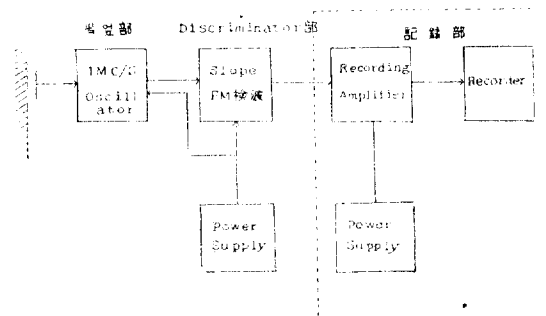


그림 26. V-C 型 振動計의 構成

即 어떤周波數를 中心으로 한 振動에 依하는 frequency modulation으로 나타나게 된다. 이 中心 周波數 (center frequency)의 變動은 測定에 誤差(error)로서 加算될 것이므로 oscillation 周波數 安定을 爲해서 信號 (signal)를 線으로 選出함에 있어 버퍼階階(Buffer stage)로서 1段 두는 것이 좋으므로 transistor의 emitter follower를 썼고 電源의 變動으로 인한 drift를 막기 爲하여 transistor 安定化 電源을 使用하였다. pick-up 部의 回路는 그림 27의 配線圖에서 보는 바와 같이 Hartely 回路를 使用하였으며 Osci. Tr.로는 WE 53270을 使用했는데  $\alpha$ -cutoff 周波數 15 MC/S 이상이면 無難히 發振을 한다.

그림 28의 pick up 部 寫眞에 보는 바와 같이 部分들의 組立은 70 m/m  $\times$  50 m/m의 베크라이트板에 하였는데 코일類를 더 小型化했으면 더 容積이 縮少되었을 것이다.

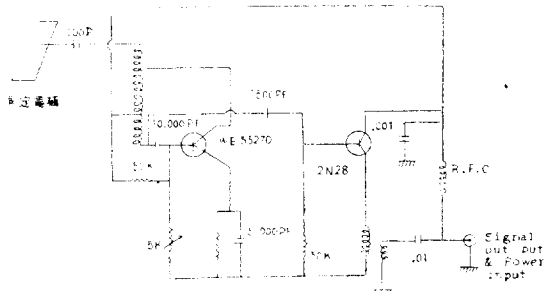


그림 27. V-C型振動 pick up 配線圖

(c) Discriminator 部

Pick up 部의 空腔의 變化로 因한 FM wave는 高周波數 變化를 檢波하여 信號出力을 얻는데 slope 檢波로부터 最近 많이 쓰이는 ratio FM 檢波에 이르기까지 여

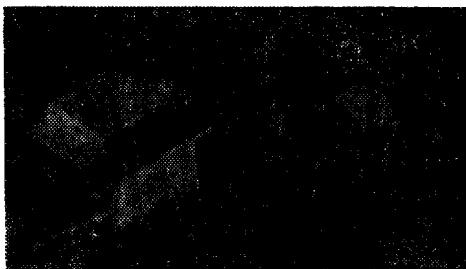


그림 28. V-C型 pick up 外觀

러가지 있으나 여기서는 測定時 中心周波數의 變化에 簡便하게 調整할 수 있는 slope 檢波를 擇하였다. 그림 29에서 보는 바와 같이 line으로 부터의 人力信號는 transistor로 1段增幅된 後 檢波되어 slope emitter follower를 通하여 recording 增幅器로 送出된다.

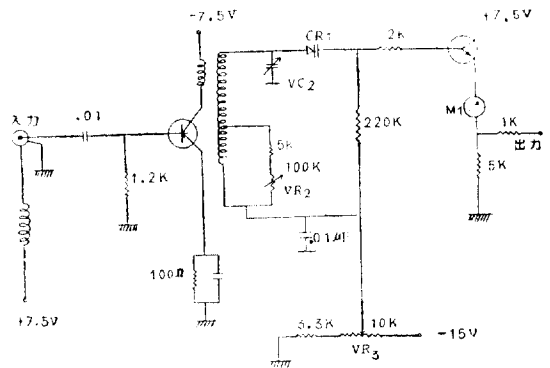


그림 29. Discriminator 回路

이 slope 檢波는 RLC의 共振曲線의 特性에 依하여 檢波하는 것으로 曲線의 直線部에 中心 周波數를 두도록 하여야 한다. 그림中 VC<sub>2</sub>의 50 pF의 可變콘덴서로서 中心周波數를 調整하고 VR<sub>2</sub>는 感度調整(Q 調整), VR<sub>3</sub>는 出力의 直流 level 制御 等이다.



그림 30. 組立한 discriminator 와 그 内部

(d) 電 源 部

軸振動 pick up 各部에 供給되는 電源도 共通으로 discriminator 部 箱子에 組立하였다. 그 系統은 그림 31과 같다.

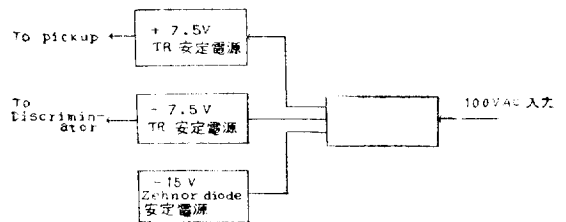


그림 31. 電 源 部

安定電源部の 配線圖는 그림 32와 같으며 controll transistor는 0.5 W 級의 것을 使用하였으며 負荷側과 直列로 넣어서 制御하였다. 特性은 相當히 良好하여 電源電壓의 變動 및 負荷의 變化에도 出力電壓은 別變動이 없었으며 120 cps ripple도 減少되어 數 milli

volt 以下로 減少시킬 수 있었다.

Pick up 部에 電源을 供給함에 있어서는 pick-up 으로부터 信號를 보내는 線을 그대로 使用했는데 pickup 와 discriminator 에는 1 mH 程度의 inductance와 5.000 pF 의 capacitor 로서 1 MCS 의 FM 信號와 pick up 에 供給되는 +7.5 V 直流 電源을 分離시켰다.

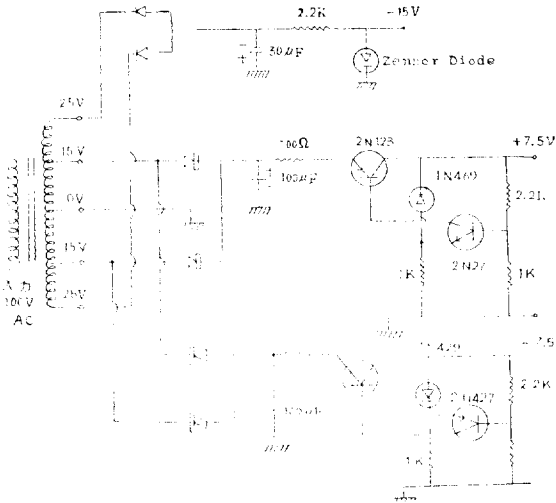


그림 32. 電源部 配線圖

그러므로 pick up과 測定 desk 間에는 單芯 shield wire 1 本으로 足하였다. 그림 33 은 電源結合回路를 要約한 것이다.

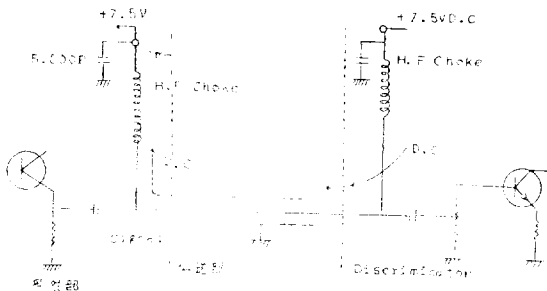


그림 33. 電源의 結合

(e) 特 性

測定電極으로서 40 m/m × 40 m/m 의 平板電極을 使用하여 空際의 크기에 對한 discriminator 出力의 特性은 그림 34 와 같다.

이것의 calibration 은 1/100 m/m 精度를 가진 micrometer 에 pick up 部를 固定시키고 可動測距 handle 에 100 m 直徑의 圓板을 附着하여 handle 을 回轉시켜 空際의 長이를 變化시키며 測定했다. 이모양을 그림 35

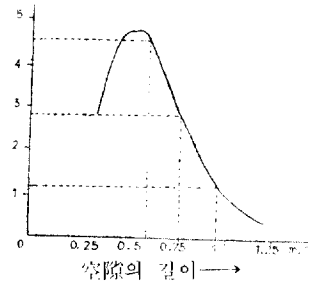


그림 34. 空際—出力特性

寫眞에 表示한다. 또 測定記錄을 別紙 data 記錄欄에 表示한다.

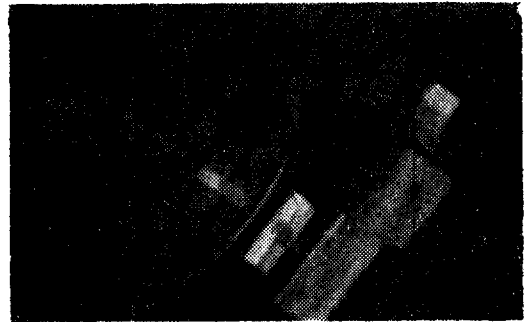


그림 35 V-C 型用 calibration

B. 回轉加速計

任意로 運休 運轉이 可能한 研究對象이라면 計器의 附着信號의 傳達 및 計測種類의 選擇이 容易하겠지만 이 環境週와 같이 計測을 爲한 運轉調整이 全然 不可能하다고 生覺될 때에는 좀 色다른 測定方法이 講究되어야 할 것이라 생각되었다.

直徑 60 cm 回轉速度 200 rpm 의 回轉軸上에 運轉中 計器의 附着이 于先 問題이었다. 適當한 band 로 附着을 考慮했지만 亦是 磁石 附着式이 가장 適當하다고 생각되었다.

等速圓運動에 있어서는 中心으로부터 r 의 距離에 있는 質點에는

$$F = m\omega^2 r$$

或은 
$$F = m \frac{V^2}{r}$$

$$= 4\pi^2 n^2 \gamma m$$

$\omega$ : 角速度

$m$ : 質 量

$F$ : 求心力

$V$ : 周邊速度

$n$ : 回轉數

의 원심력이 작용한다고 생각되므로 華川 第1號發電機의 轉速은 約 10g(g는 地球重力單位)의 원심력이 작용하게 된다. 그래서 回轉中 計器로 附着한 磁石이 軸表面에 附着되어 있으면 計器를 包含한 磁石의 總重量의 10倍以上의 磁力 吸引力이 必要한 것이다. 여러가지로 試驗한 結果 speaker의 磁石이 自重의 約 30倍程度까지 吸引力이 있음을 알게 되어 附着用으로는 이 磁石 두개를 結合하여 使用키로 하였다.

다음 軸에 附着한 計器로 부터 外部에 信號를 引出할이 問題이었다. 結局 無線으로 信號를 傳達한다는 것으로 歸納되었다. 加速度의 電氣信號變換으로서는 回轉加速度를 質量-스프링系統(mass-spring system)의 物理量으로 變化시킨 다음 質量의 一部分으로 發振回路 tank 코일 속의 鐵心(core)으로 되어 있는 ferrite core를 移動시키므로써 oscillation 周波數의 變化 pick-up이 된다.

이 高周波信號는 軸과 함께 回轉하는 選狀안테나를 通해 外部에 裝置된 受信部(receiver)에 受信後 後 discriminator를 通해 加速度部分의 信號로서 再生된다.

(a) 質量-스프링系統(mass-spring system)

그림 36과 振動系에 있어 振動系를 支持하고 있는 箱子에  $x=A \sin \omega t$ 의 上下振動을 주면 運動方程式은

$$m \frac{d^2(x+a)}{dt^2} + \gamma \frac{da}{dt} + Kx = 0 \quad (3.1)$$

여기서

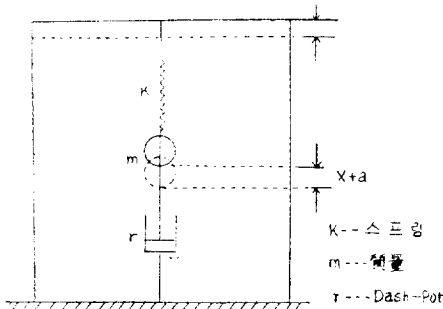


그림 36. 質量-스프링系統

$x$ : 箱子의 變位

$a$ : 質量과 箱子의 相對變位

$x+a$ : 質量의 空間에 對한 變位

$K$ : 스프링 常數

$\gamma$ : damping 係數

$n$ :  $A \sin \omega t$ 로 놓으면 (3.1)식은

$$\frac{d^2a}{dt^2} + \frac{\gamma}{m} \frac{da}{dt} + \frac{k}{m} a = A \omega^2 \sin \omega t$$

로 된다. 지금

$$n = \frac{\gamma}{2m}, \quad p = \frac{k}{m} \quad (3.2)$$

로 놓으면

$$\frac{d^2a}{dt^2} + 2n \frac{da}{dt} + p^2 a = A \omega^2 \sin \omega t$$

이 方程式을 풀어서 一般解를 얻으면

$$a = e^{-nt} (C_1 \cos pt + C_2 \sin pt) + M \sin \omega t + N \cos \omega t \quad (3.3)$$

$$\text{但 } p^2 = p^2 - n^2$$

$$M = A \omega^2 \frac{p^2 - \omega^2}{(p^2 - \omega^2)^2 + 4n^2 \omega^2}$$

$$N = -A \omega^2 \frac{2n\omega}{(p^2 - \omega^2)^2 + 4n^2 \omega^2}$$

(3.3)式的 右邊 第 一項은 時間에 따라 減衰하므로 定常狀態에서 이것을 無視하면

$$b = M \sin \omega t + N \cos \omega t = M^2 + N^2 \sin(\omega t - \alpha)$$

여기에서

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{N}{M} = \tan^{-1} \left( \frac{2n\omega}{p^2 - \omega^2} \right) \quad (3.4)$$

그러므로

$$a = \frac{A \omega^2}{(p^2 - \omega^2)^2 + 4n^2 \omega^2} \sin(\omega t - \alpha) = \frac{1}{\left(\frac{p^2}{\omega^2} - 1\right)^2 + 4\frac{n^2}{p^2}} A \sin(\omega t - \alpha) \quad (3.5)$$

로 되고 또

$$\frac{\omega}{n} = v \quad \frac{n}{p} = h \quad (3.6)$$

로 놓으면

$$a = \frac{1}{\left(\frac{1}{v^2} - 1\right)^2 + 4h^2} A \sin(\omega t - \alpha) = D \cdot A \sin(\omega t - \alpha) \quad (3.7)$$

(3.7)式的 振動은 箱子에 加해진 振動  $x = \sin \omega t$ 와 比較하면 係數  $D$ 와 位相  $\alpha$ 만 달라진 같은 周波數의 振動임을 알 수 있다.  $D$ 의 값은  $V$  및  $h$ 의 값에 따라 여러가지  $D$ 를 1로 하면 두 振動은  $\alpha$ 만 틀리는 똑같은 振動이 되므로 箱子에 加하여진 振動은 그 속의 質量-스프링의 振動을 測定하면 된다.

그림 37은 倍率係數  $D$ 와 周波數比  $V = \frac{\omega}{p}$ 의 關係를 그린 것이다.

即 箱子에 加하여지는 振動幅을 얻으려면 適當한 制動(damping)을 加하는 것이 좋으나 그 以上, 測定코저하는 振動周波數의 1/5 以下의 낮은 固有振動을 갖인 質量-스프링系統을 構成해야 한다.

또 (3.5)식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$a = \frac{1}{\sqrt{(1-V^2)^2 + 4h^2 V^2}} \cdot \frac{1}{p^2} A \omega^2 \sin(\omega t - \alpha)$$

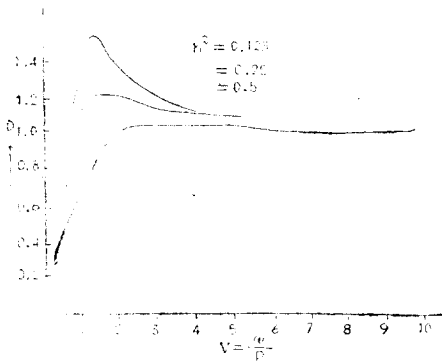


그림 37. 質量-스프링系統의 振幅特性

$$= D'' \frac{1}{p^2} A \omega^2 \sin(\omega t - \alpha) \quad (3.8)$$

이 식은 加速度에 比例한 變位를 表示하는데 質量-스프링系統의 固有振動이 被測定周波數에 比해 높으면 그 周波數比의 自乘에 反比例하는 振幅으로 振動함을 알 수 있다.

(b) 加速度 pick up

測定하려고 하는 周波數가 3 cps의 低周波 或은 그 以下의 낮은 周波數가 豫算되었으므로 質量-스프링系統은 낮은 固有振動을 갖게 設計되어야 한다. 質量-스프링系統의 質量은 transistor oscillator의 tank 回路의 osci, 코일의 鐵心(core)으로 되어 있으므로 pick up된 振動은 3.5 M.C/S. 中心周波數 oscillator의 周波數를 變調(modulate) 한다.

發振은 DC-44의 PNP transistor를 使用하였고 안테나 負荷의 變動에 依한 周波數의 變動을 防止키 爲해 電力增幅段을 追加하여 饋線部는 4.5 V의 乾電池로 動作하는 2N247 電力段(power stage)의 2 transistor의 送信機로 되었다. 그 配線圖는 그림 38에 表示하였고 組立 狀況은 그림 39의 寫眞에 나타냈다. pick up은 60 m/m × 40 m/m × 20 m/m의 鋼製箱子에 收容하였으며 軸附着用으로는 speaker用 磁石 2個를 8 m/m 두께

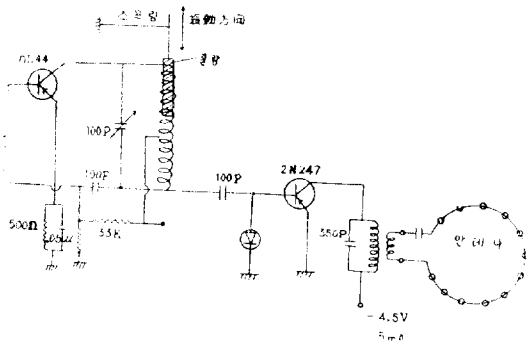


그림 38. Pick up 配線圖

의 phenol 樹脂板에 附着시키고 그위에 pick up部를 달았다. 2個의 磁石은 被測定物인 軸徑에 맞추어서 30 cm 曲率半徑이 되게 하였다. 안테나의 附着과 方式도 여러 가지 試驗結果 寫眞에 보는 바와 같이 軸과 一定間隔을 두고 一周한 環型 안테나가 가장 適合하였고 그 안테나 絶緣物로서 乒乓球를 適當한 間隔으로 配置하였다.



그림 39. 回轉加速 pick up(寫眞)

(c) Receiver

3.5 MC/S band의 receiver는 radiac meter에 使用했던 것을 좀 改修하여 그대로 使用했는데 2N247 3段 增幅의 A.G.C 制御가 달린 性能이 좋은 transistor 受信器이다.

受信안테나는 ferrite 鐵心に 코일을 감은 것으로서 半固定 trimmer condenser로서 受信周波數에 同調시킨다.

이 受信機의 出力은 다음으로 discriminator로 가서 周波數變化에 對應하는 出力電壓을 얻게 되는데 이 信號는 다시 transmitter 增幅器를 거친後 recording amp.로 가게 된다.

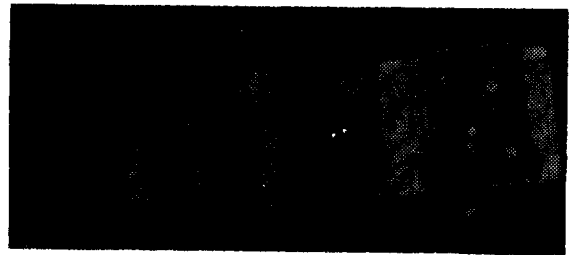


그림 40. 回轉加速計의 受信部(寫眞)

Discriminator와 transistor 增幅器는 受信機와 같은 箱子에 組立하여 一枚의 面板 一面에 附着하였고 다른 一面에는 電池와 안테나를 固定시켜 一體로 하였다.

그림 40에 그 寫眞을 표시하고 그림 41에 各 配線圖를 표시하였다.

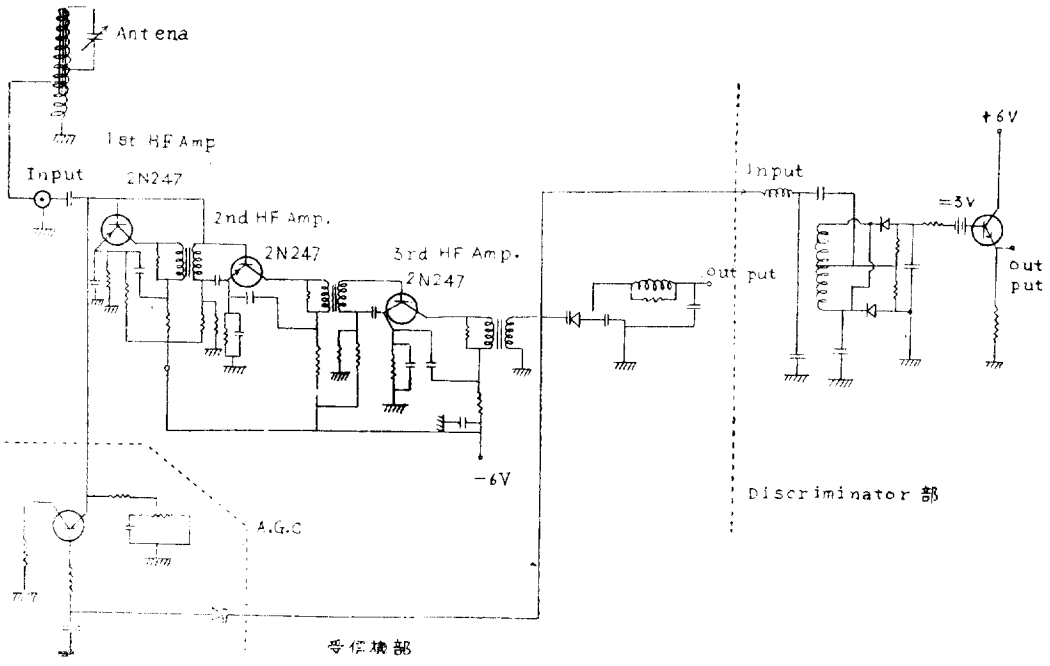


그림 41. 受信部 配線圖

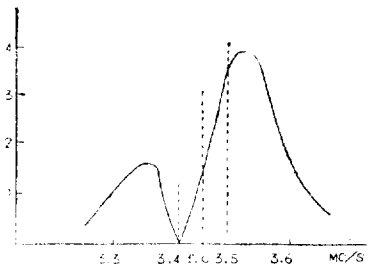


그림 42. Receiver 와 discriminator 特性

受信機를 包含한 discriminator의 特性을 測定한 結果 그림 42와 같은 結果를 얻었다.

中心周波數 3.45 MC/S band幅 150 KC 이어서 좁 幅 이 좁은 감이 있다.

軸에 附着한 計測器의 總重量은 230 g 이며 pick up部의 固有振動數는 15 cps 로 하였다. 被測定體의 振動周波數 成分이 大略 60 cps 近處와 3 cps 附近인고로 60 cps 近處의 振動은 振幅 그대로 信號를 얻을 것이지만 15 cps 以下의 振動은 15 cps 에 對한 周波數比의 自乘에 反比例 하여 出力信號 振幅이 작아지 減少하므로 15 cps 以下의 振動數에 對해서는 振幅補償이 必要하게 된다.

이 加速計 試驗記錄은 別添한 바와 같다.

C. 振動計

振動의 相對變位로 因하여 導體가 磁場의 磁束을 끊 어 起電力을 發生케 하였으며 그림 43에 그 原理를 表 한다.

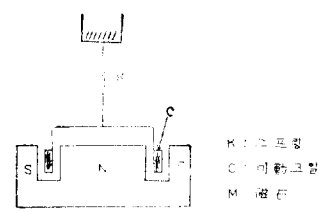


그림 43. 動電型 振動 pick up

振動에 따라 誘起되는 起電力  $e$  는

$$e = Bnl \frac{da}{dt} \times 10^8 \text{ V}$$

- $B$ : 磁石 空隙內의 磁束密度
- $l$ : 코일의 길이
- $a$ : 코일과 磁石의 相對變位
- $n$ : 코일의 卷回數

이 境遇에 起電力은 振動의 速度에 比例하게 되므로 그 振動幅을 알기 爲해서 그 出力을 한번 積分하였다. 試作한 pick up과 積分器는 그림 44의 寫眞과 같고 配線



圖는 그림 45 와 같다.

Pick up 은 radio speaker 의 磁石을 使用하여 만들었 으며 積分器는 眞空管式으로 組立했으며 振動實驗記錄 은 別添과 같다.



그림 44. 試作한 body 振動 pick up 과 積分器

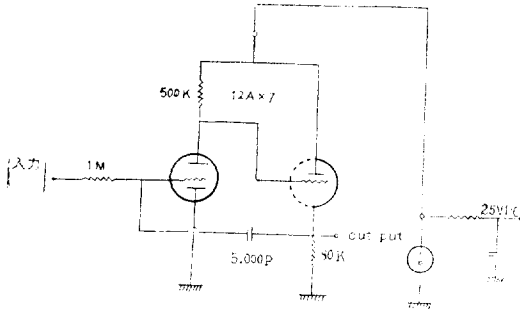


그림 45. 積分器 配線圖

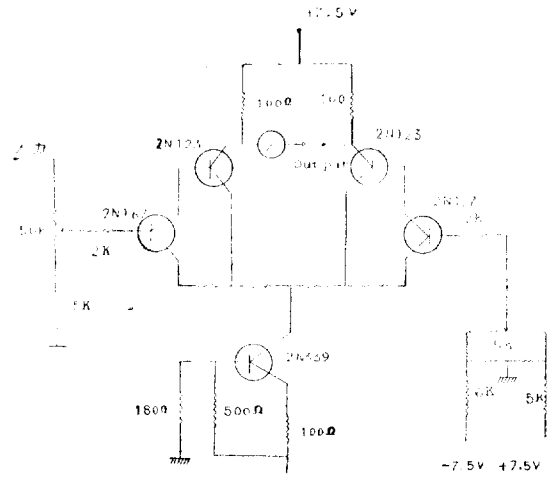


그림 46. 直流 amplifier (1 unit)

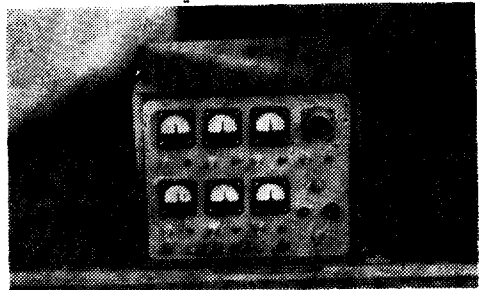


그림 47. Recording amplifier

**D. 記錄 部**

여러가지 振動 pick-up 으로 부터의 出力信號는 oscillograph 의 galva 를 驅動하기에 充分치 못하므로 pick-up 과 oscillograph 사이에 增幅器를 두어야 한다.

꼭있으로 부터의 信號는 不過數 10 마이크로암페어 이므로 galva 를 驅動시킬 數 10 milli-ampere 로 하려면 相當한 電流增幅이 必要하다. 또 낮은 周波數까지 充分히 記錄해야 하겠으므로 增幅器는 D-C 增幅器로 하고 모두 transistor 化하였다.

그림 46 의 配線圖로 보는 바와 같이 溫度에 依한 drift 를 防止하고 特性을 改善키 爲해서 平衡增幅回路를 擇하였고 한쪽 入力側에 sensitivity control 을 달고 다른 한쪽은 位置制御를 두어 動作點의 調節을 行하였다.

이 增幅器의 電源部는 交流 100 V 에 必要한 直流電源을 各各 transistor 制御安定電源을 使用하여 +7.5V, -7.5 V 各各 500 mA 程度를 供給하도록 하였다.

그림 47 의 寫眞에서 보는 바와 같이 增幅 unit 는 6 개 이고 時間信號로서 可變抵抗器로 振幅을 調整하여 60 cps 電源을 recorder 로 보내게 되어 結局 7 channel 을 使用

할 수 있도록 하였다.

直流增幅器는 入力値를 電壓으로 換算하여 50 KΩ 入力 impedance 에 ±0.5 V 를 주면 出力 20 Ω galva 에 ±20 MA 의 電流를 흘릴 수 있다.

記錄計로서는 Viscorder (그림 48 參照)라고 하는

Midwestern, Instruments 의 VT 621 型의 oscillograph를 使用했는데 이것은 8 channel 同時 記錄할 수 있으며 特別感光 recording paper 로 數10秒 後 그대로 現象이 된다.

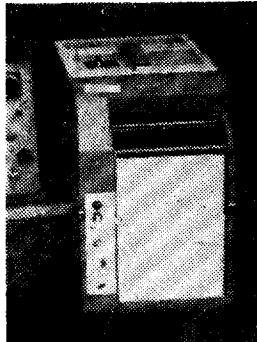


그림 48. Viscorder

Recording paper width 는 6 inch 이고 paper 速度는 0.02 부터 60 inch/sec 間에 18 段으로 變化시킬 수 있으며 Galva 의 周波數應答도 1,000 cps 까지 좋아져 振動測定에 適合하였다. 이 記錄計는 陸軍技術研究所 所有物을 借用 使用하였다. (繼續)

(1964 年 9 月 10 日 收受)