

# 原子爐 制御를 爲한 計測 裝置 (I)

金 東 勳\*

## 序 論

原子爐內에 連鎖反應의 計測 및 制御의 重要性은 再言할 必要가 없겠다. 오늘날 研究段階를 넘어 工業에 應用하여 動力用 原子爐가 나날이 建立되어 가는 이 때 原子爐의 計測과 制御系의 役割은 더욱 크다 할 것이고 適當한 計測과 制御手段이 없이는 原子爐라 할 수 없고 우리는 原子彈으로 만 그 이름을 알고 있을 것이다.

原子爐에서 計測과 制御의 重要性은 다음과 같은 事實로서도 알 수 있다. 總施設費 約 77,000 弗의 10 KW 熱出力의 Argonaut 原子爐에서, 約 20,000 弗을 計測 및 制御裝置에 投資하였고(Nucleonics March, 1957) 總施設費 約 61,000 弗의 小型 研究用 原子爐에서 그 中 約 30,000 弗을 計測 및 制御裝置에 投資되는 것으로 되어 있다(Breazcaze Swimming Pool-A Low Cost Research Reactor Nucleonics Vol 10, No. 11) 또한 33,000,000 弗의 Sodium-Cooled Power Reactor 에 있어서는 1,500,000 弗이 이에 投資되었다.

原子爐의 計測 및 制御裝置 무엇보다도 重要な 것은 安全하고 信賴性이 있어야한다는 것이다. 다음으로는 빨리 應答하여 要求하는 出力에 正確히 維持해야 한다는 것이다.

原子爐가 적고 크고 간에 그 反應機構는 同一하고 極히 빠른 速度이고 危險 可能性은 같으므로 基本的인 計測 및 制御系는 그 規模와 多重性에 差異는 있지만 갖추어야 할 것은 다 있어야 한다.

이 基本的인 計測 制御 裝置中에서 極히 初步的인 部分에 對하여 要約하여 記述하려고 한다.

### 1. 中性子\*\* 檢出器

原子爐의 出力은 原子爐內에서 核分裂을 일으키는 中性子의 數와 密接한 關係가 있다. 이 中性子數는 中性子密度로서 表示되고 이 中性子密度를 中性子 線束이라 부른다. 中性子 線束은  $n/cm^2/sec$  單位로서 表示한다.

中性子 線束은 原子爐의 出力에 比例하므로 中性子 線束을 測定하기 爲하여 原子爐內에 位置한 中性子 檢出

器에 의하여 信號를 얻게 된다. 原子爐를 制御하기 위해서는 우선 原子爐內에서 行하여지는 모양을 알아야 하므로 原子爐의 出力 即 中性子 線束에 比例하는 電氣的인 信號를 얻어야 한다. 이를 爲하여 생각되는 것은 溫度의 上昇과 冷却體의 流連의 積으로서 原子爐의 熱出力을 計算하면 될 것이다. 그러나 이 方法은 大體로 두가지 短點이 있다. 첫째로는 情報가 느리다는 것과 둘째로는 低出力에서 運轉하는 경우 溫度의 上昇이 거의 없다는 것이다. 原子爐의 出力은 一般的으로 爐心部의 中性子 線束과 比例한다고 볼 수 있으므로 出力을 알기 위해서는 中性子 線束을 間斷없이 測定하는 것이 必要하다. 放射線을 測定하는 檢出器의 種類는 많으나 原子爐의 計測 目的을 위한 檢出器의 種類는 그리 많지 않으며 原子爐內의 많은 制約된 條件때문에 問題가 많다.

#### 1) 測定範圍

原子爐의 計測을 爲한 中性子 檢出器는 普通 中性子 線束이  $1 n/cm^2/sec$  에서  $5 \times 10^{10} n/cm^2/sec$  程度까지 되는 位置에 두며 檢出器의 感度와 測定 範圍에 따라 다르다. 原子爐는 完全히 shut-off 되는 일이 거의 없다. 正常出力 1,000 KW 로 運轉하는 普通의 發電所에서 1 KW 出力으로 내린다면 그 發電所는 거의 停止되었다고 볼 수 있으며, 그 狀態에서 計測問題는 그리 重要的 것이 안된다. 그러나 같은 條件下에서의 原子爐에 있어서는 그렇게 簡單하지 않다. 原子爐에서는 1 KW 出力에서도 無數의 中性子が 있으며 萬若 이 中性子를 繼續해서 計測하지 않는다면 不知中에 增倍係數(multiplication factor)가 1 를 넘어서 瞬間적으로 爆發 또는 破壞될 可能性이 있다. 따라서 中性子 線束은 어느 때나 어느 出力에서나 恒時 檢出되지 않으면 안된다.

發電을 위한 原子爐에서는 中性子源이 放出하는 中性子 線束(source range)에서 正常出力때의 中性子 線束(power range)까지 全範圍를 網羅하여 거의 10-decade 의 計測을 하지 않으면 안된다. 現今까지 하나의 檢出器로서 이러한 넓은 範圍를 測定할 수 있는 것은 없으며 3- 또는 4-decade 을 測定할 수 있을 따름이다. 따라서 10-decade 範圍를 網羅하기 위해서는 서로 重疊이 되도록 하여 여러개의 檢出器를 여러 channel 의 計器에 連結하여 應用하지 않으면 안된다.

\*原子力研究所 電子工學研究室·正會員

\*\*여기서 中性子라 함은 特히 熱中性子를 말함

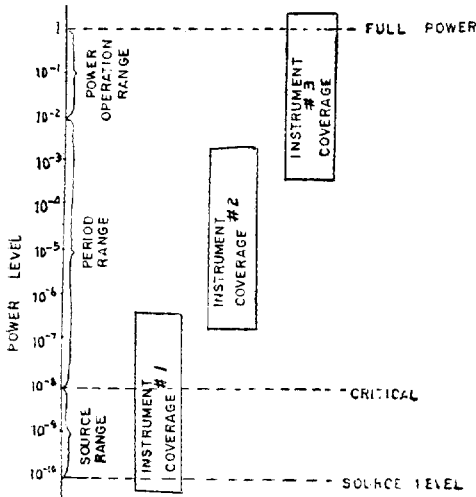


그림 1. 原子爐 計測을 爲한 重疊 配置 形式

그림 1은 이러한 檢出器의 overlapping-range system을 表示한 것이며 範圍를 3個로 나누는 것은 正確히 定義된 것은 아니며, 原子爐마다 다르다. Full power를 1로 잡아서  $10^{-2}$ 까지를 power range,  $10^{-2}$ — $10^{-8}$ 까지를 period range,  $10^{-8}$ 以下를 source range라 한다.

2) 中性子 檢出器의 種類

原子爐에서 使用되는 中性子檢出器의 種類는 그에 連結된 外部回路에 따라 大略 二個로 나눌 수 있다. 卽 pulse-counting 型과 current-integrating 型이다. 어떤 檢出器는 이 두 種類의 어느 回路에도 쓸 수 있는 것도 있다.

原子爐 計測器機에 所要되는 要件으로서는 中性子에 對해서는 感도가 좋아야 하며 감마線에 對해서는 感應이 없어야 하며, 應答時間이 빠르고 높은 溫度에서 쓸 수 있어야 하며 또한 그 構造物이 中性子の 吸收로 依해서 나오는 放射線을 最少限으로 되게끔 만들어져야 한다는 등이다. 一般적으로 많이 使用되는 檢出器로서는  $BF_3$  proportional counter,  $B^{10}$ -lined counter, fission counter, ionization chamber, compensated ionizations chamber 등이 있다.

$BF_3$  proportional counter( $BF_3$  比例計數管)

이 檢出器는 pulse counting 型에서 가장 感도가 좋은 中性子 檢出器이며 Boron이 中性子를 吸收했을 때 放出하는 알파粒子가 ion 化시키므로서 pulse를 내게 한다. 이 反應을 表示하면  $B^{10}(n,\alpha)Li^7$ 이 된다. 金屬圓筒과 그 中央에 가는 金屬線이 電極이 되어 있고 密閉된 金屬圓筒에는  $BF_3$  gas가 封入되어 Boron에서 放出하는  $\alpha$  粒子는 gas를 ion 化시키며 이로 인해서 생기는 電子는 電極을 向해 加速되는 途中 다른 分子를 ion 化

켜 나간다. 이 增殖된 모든 電子는 中心 電極에 모이고 負荷抵抗에 pulse로서 나타나게 된다. 이 pulse가 나타나는 率은 이 檢出器가 位置한 곳의 中性子 線束에 比例한다.

이 檢出器는 通常 pulse-height discriminator와 pulse counting 回路에 連結하여 使用한다. 短點은 감마線에 對해서도 感도가 있어 많은 制約을 받으며,  $10^2$  r/hr의 “감마” background 下에서 中性子線束  $10^4$  n/cm<sup>2</sup>/sec 程度까지 測定할 수 있으며 感도는 單位 中性子 線束當 0.1~2 cps이다.

$B^{10}$ -lined counter( $B^{10}$  被膜計數管)

이것은 Boron의 皮막을 입힌 圓筒型 電極을 사용하고 그 안에 알곤 또는 질소 gas를 封入한 것이다. 動作原理는  $BF_3$  計數管과 同一하며 낮은 電壓에서 動作된다는 利點이 있는 反面 感도가 낮다는 것이 缺點이다.

Fission Counter(核分裂 計數管)

核分裂할 때 ionize된 二個의 核分裂生成物을 利用하여 中性子를 檢出하는 方法이며, 圓筒形의 電極에 核分裂物質(普通  $U^{235}$ )의 被膜을 입혀 中性子が 이 被膜된  $U^{235}$ 에 吸收되어 核分裂을 일으키고 그 分裂에서 放出되는 二個의 生成物質은 封入된 알곤 질소 등의 gas 分子를 ion 化시켜 pulse를 내게 된다. 이 核分裂計數管의 利點은 감마線에 對하여 不感하므로 감마 background가 큰 原子爐에 特別 適合하다는 것이다. 감마線의 세기가  $10^5$  r/hr되는 background 下에서  $10$ — $10^5$  n/cm<sup>2</sup>/sec까지의 中性子 線束을 測定할 수 있다. 또한 感도는 單位 中性子 線束當 約 1 cps 程度가 된다.  $\alpha$  粒子에 의한 計數를 없애기 爲하여 pulse-height discriminator와 같이 使用한다.

Ionization chamber(電離函)

이것은 current-integrating 型의 一種으로서 period range와 power range에서의 中性子 線束 測定에 普遍的으로 많이 使用되는 檢出器이다. 이 檢出器는 出力의 指示器 또는 自動制御 裝置에 連結하여 使用된다. 넓은 面積의 電極에 被膜된  $B^{10}$ 이 中性子和 作用하여 放出하는 알파粒子에 의해서 ion 化시키는 것은  $BF_3$  proportional counter와 같지만 이 경우에는 pulse로서가 아니라 電流로서 나타난다.

檢出할 수 있는 範圍는 이 檢出器가 位置한 곳의 감마 background의 세기에 따라 制限된다. 通常 ionization chamber는 中性子에 依하여 생기는 電流 信號가 감마線에 의해서 생기는 信號보다 約 1000 倍 以上되는 경우에 使用 되어야 그 信號가 中性子 線束의 比例하는 出力을 나타낼 수 있게 된다. 따라서 이 檢出器는

감마線束보다 中性子線束이 越等하게 많아서 감마 background가 問題되지 않는 power range에서 特別히 有效하게 使用된다.

中性子線束은 出力에 比例한다는 것은 前述한 바와 같으나 감마線은 出力增加에 따라 比例하여 增加하지는 않는다. 따라서 이 檢出器를 使用할 수 있는 下限은 中性子線束에 依한 信號가 감마線에 依한 信號와 같게 되는 出力 準位가 될 것이다. 感度는 單位 中性子線束 當  $5 \times 10^{-14}$  amp 程度가 되며 極間容量은 50—200  $\mu$ mf 程度이며 leakage resistance는 最少  $10^{14}$  ohm 이다.

**Compensated ionization chamber(補償型 電離函)**

原子爐起動時 또는 停止直後와 같이 감마 background가 크고 比較的 中性子線束이 적은 경우에는 감마線에 依한 電離 電流를 除去하는 方法을 講求해야 될 것이다. 따라서 電離函은 감마에 依한 信號部分을 補償 하므로써 中性子線束의 測定 範圍를 增加시킬 수 있다.

두 個의 비슷한 容器를 使用하여 한쪽은 前述한 바와 같이 中性子와 감마線에 受感性이 있는 普通 電離函과 같고 또 다른 한쪽은 감마線에만 受感性이 있게 하여 이 二重 構造 容器를 電氣的으로 反對로 連結하여 出力 電流를 相殺하게 한다면 그 電流出力은 中性子만으로 因한 信號가 될 수 있도록 할 수 있다. 감마線束은 原子爐內의 位置에 따라 다르므로 같은 容積의 두 容器에서 감마線束으로 依해서 나오는 出力은 같지 않을 것이다. 따라서 이 檢出器를 設置後에 補償電壓을 調整하여 두 容器에서 나오는 감마線에 依한 信號가 같게끔 한다.

測定範圍는  $10^2 - 10^{10}$  n/cm<sup>2</sup>/sec 程度이며 感度는 單位 中性子線束當  $5 \times 10^{-14}$  amp 程度이다.

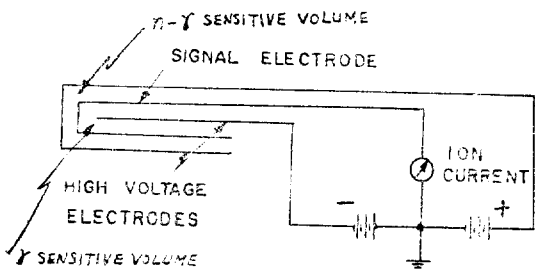


그림 2. 補償型 電離函

以上 中性子 檢出器에 對하며 略述하였거니와 어느 中性子 檢出器를 莫論하고 中性子를 測定함에 있어서 重要한 것은 檢出器에서 나오는 信號가 原子爐의 中性子線束이 比例해야 한다는 것이다. 하나의 檢出器로서 넓은 範圍를 다 網羅하지는 못하므로 線型的인 比例로서 繼續的으로 測定하기 위해서는 여러개의 檢出器를 重疊하여 使用하여야 한다.

原子力研究所에 設置되어 있는 TRIGA MARK II 原子爐에는 fission counter 1個, ionization chamber 1個, compensated ionization chamber 2個 合計 4個의 中性子檢出器가 設置되어 原子爐計測回路에 各기 連結되어 있다. 測定範圍는 source range 에서는 fission counter 로서, period range 에서는 compensated ionization chamber(CIC#1)으로서, 그리고 period range 에서는 compensated ionization chamber CIC #2 와 ionization chamber 로서 計測하고 있다.

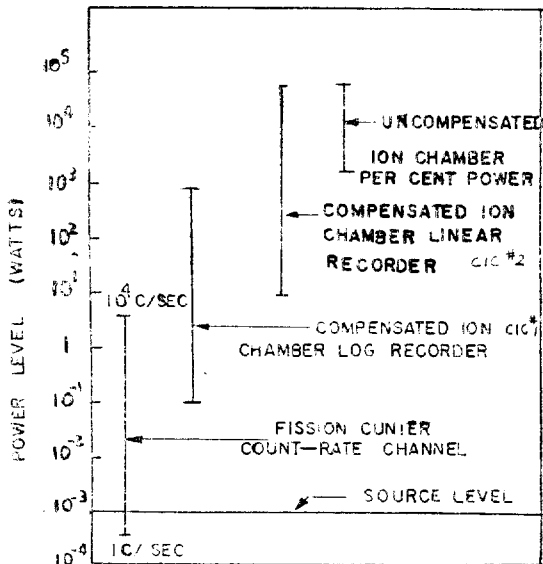


그림 3. TRIGA MARK II 各計測 channel의 計測 範圍

**2. 原子爐 計測 回路**

各 中性子 檢出器에서 얻은 電氣的인 出力信號는 이를 適切한 電子回路에 連結하여 原子爐를 制御하는 目的에 利用된다. 앞서 中性子 檢出器의 具備要件으로서 應答이 빨라야 한다고 記述한 바 있지만 이 應答時間 問題는 中性子 檢出器에는 그리 問題되지 않고 그에 連結된 計測 回路와 制御回路에 달려 있다. 原子爐內의 反應度價(reactivity)의 變化에 따라, 計測回路가 이 情報를 指示하고 制御裝置를 動作시켜야 한다.

**Pulse amplifier (linear amplifier)(比例 增幅器)**

Pulse-counting 型的 檢出器의 出力信號를 增幅하는데 使用한다. 檢出器에서 나오는 pulse信號는 計數하는데 適當하지 않으므로 適切한 方法으로 이 pulse形態를 變形시키는 役割도 해야 한다. 檢出器의 出力pulse는 rise time은 1  $\mu$ sec 以下로서 빠르나 decay time은 100  $\mu$ sec 以上이나 되어 그 동안 다른 中性子가 들어와서 pulse를 내어도 pile-up 되어 計數하기 困難하게 된다.

따라서 모든 pulse를 빨리 計數하기 위하여 이 pulse의 形態를 變形할 必要가 있다. 持續時間이 짧은 pulse을 얻기 위하여 한 個의 簡單한 RC 微分回로를 쓴다. 이 微分回로는 增幅器로서 20-30 倍로 增幅한 다음에 位置한다. 이 微分回로를 clipping 回路라고 부른다. 適當한 clipping 回路로서 增幅器의 resolving time이 0.2-0.5  $\mu$ sec 까지 되도록 할 수 있다.

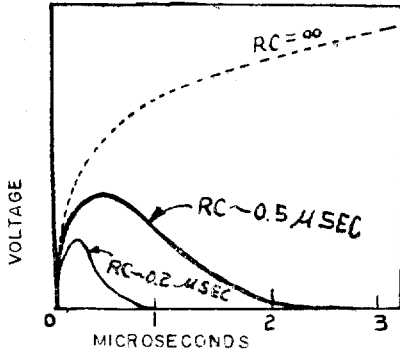
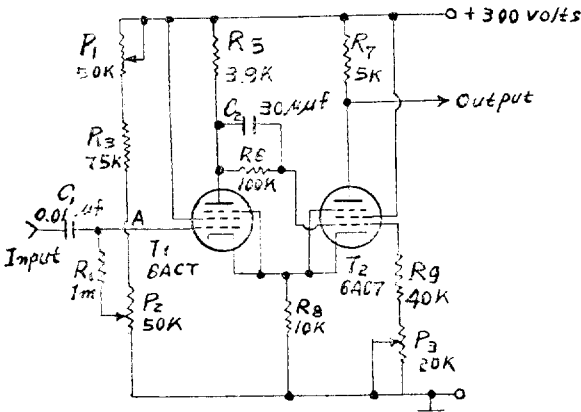


그림 4. Clipping 回路의 時定數에 따른 pulse의 크기와 持續時間의 變化

所要 增幅度는 勿論 入力信號의 크기와 要求하는 出力信號의 크기에 달려 있다. 入力 雜音電壓의 最高 10  $\mu$ V 라고 한다면 有用한 入力信號의 크기는 10  $\mu$ V以上 되어야 한다. 出力을 100 V로 하기 위하여 增幅度를  $10^6$ 으로 한다면 10 V 以下의 出力信號는 計測할 수 없고 discriminator 로서 制限해야 한다. pulse amplifier는 通常 preamplifier와 main amplifier 두 部分으로 나누어 使用된다. Preamplifier의 增幅度는 30 以下로 하며 出力段은 通常 cathode follower로 되어 있다. 出力 impedance를 적게 하여 pulse의 크기가 그대로 保存하여 긴 cable를 통하여 discriminator 및 計數裝置를 動作시켜야 하므로 一般의 波高選擇器 回路이며 Schmitt discriminator라고 부른다.



(a) Schmitt discriminator

安定性和 linearity를 좋게 하고 또한 rise time을 빠르게 하기 위하여 負饋還回로를 使用한다. 그림 5는 一般의 波高選擇器 回路로서 많이 利用되는 pulse amplifier의 一部로서 3段 負饋還回로를 表示한 것이다.

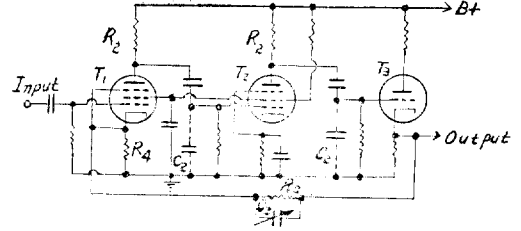
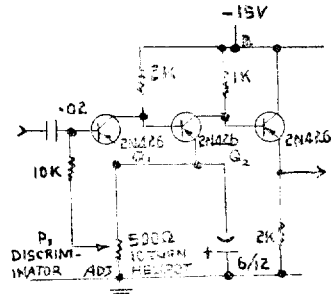


그림 5. 比例 增幅器에 使用되는 負饋還 回路

이 增幅器에서 增幅率을  $G'$ 라 한다면  $G' = \frac{G}{1 + \beta G}$  但  $G$ 는 饋還回로가 없을 때의 增幅率,  $\beta$ 는  $\frac{R_4}{R_3 + R_4}$ 이다. 眞空管特性의 變化 또는 電壓變動 等に 對하여 安定度의 改良度는  $S = \frac{dG/G}{dG'/G'} = 1 + \beta G$ 로서 安定度가 改善된다는 것을 알 수 있으며 linearity도  $1 + \beta G$  倍만큼 改善된다. Rise time도 overshoot 없는 最小 rise time이  $\frac{\sqrt{4\pi R_2 C_2}}{\sqrt{1 + \beta G}}$ 로서  $(1 + \beta G)^{-1/2}$  factor 만큼 줄어든다는 것을 알 수 있다.

**Discriminator(波高選擇器)**

Pulse-counting 型 中性子檢出器의 出力信號는 比例 增幅器를 거쳐 이 回路에 들어간다. 中性子 檢出器의 出力 pulse 中에는 감마線 또는 알파線으로 因한 것 또는 增幅器自體에서 나오는 雜音이 섞여 있으므로 中性子만의 的한 信號만을 計數하기 위해서는 어느 크기 以上 되는 pulse 만을 選擇하지 않으면 안된다. 그림 6-(a)는 基本的인 波高選擇器 回路이며 Schmitt discriminator라고 부른다.



(b) Transistor discriminator

그림 6.

假令 最初에  $T_1$ 의 制御格子 電壓  $E_{cc1}$ 이 cut-off 以下 라면  $T_1$ 는 cut-off  $T_2$ 는 conducting 에 있을 것이다.  $E_{cc1}$ 을 漸次로 增加시켜 cut-off 以上으로 되면  $T_1$ 는 conduct 하여  $E_{cc2}$ 는 瞬間的으로 cut-off 電壓以下로 되어  $T_2$ 는 cut-off 된다.  $E_{cc1}$ 이 cut-off 電壓以上으로 있는 동안은 이 狀態가 繼續된다.  $E_{cc1}$ 이 그 以下로 되면 狀態를 反對로 된다. 그림에서 假令 20 V 以上의 pulse 만을 通過 시키려면  $P_2$ 로서  $T_1$ 의 bias 를 cut-off 點보다 20 V 만 큼 낮게 하면 된다.

그림 6-(b)은 transistor 를 사용한 波高選擇器의 一種이며 出力의 emitter follower 는 다음 段 即 計數回 路를 動作시키기 위하여 出力 impedance 를 낮게 하기 위한 것이다. Common emitter 回路的  $P_1$ 의 10 回轉 可 變抵抗器는 波高選擇을 위하여 bias 를 變化시키는데 使用된다. 最初  $Q_1$ 는 cut-off,  $Q_2$ 는 conducting 하게끔 bias 되어 있으며 入力 負 pulse 가 이 bias 를 넘으면 이 狀態는 逆轉된다. 들어온 pulse 가 持續되는 동안 이 狀態는 繼續된다.

이 波高選擇器에서 나오는 pulse 는 다시 波型을 均 一化하기 위하여 univibrator 로서 pulse shapping 하여 計數率計 또는 計數回路에 들어간다.

**Counting-rate meter (計數率計)**

一般的인 計數率計는 積分回路和 VTVM 로서 되어 있다. 單位時間當의 pulse 數를 meter 에 나타내게 하는 計器로서 中性子의 密度를 繼續的으로 나타낸다는 利點이 있다. 그림 7은 基本的인 計數率 回路이다.

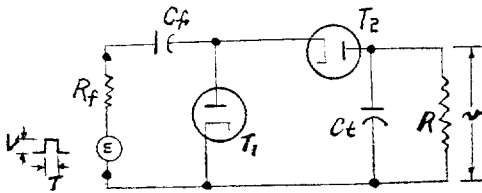


그림 7. 計數率 回路

Univibrator 에서 나오는 出力 pulse 가 들어가면  $C_f$  는  $T_1$  과  $R_f$ (univibrator 의 內部抵抗)를 거쳐 充電되며  $T > 5R_f C_f$  인 경우 거의 入力 pulse 크기  $V$  만큼 된다. 入力 pulse 가 끝나면  $C_f$  는  $T_2$  를 거쳐 放電되며 tank capacitor  $C_t$  에는  $C_f \ll C_t$   $v \ll V \frac{1}{r} - T > 5R_f C_f$  라고 한다면 pulse 當  $q = VC_f$  만큼 充電된다. 여기에서  $r$ 는 單位時間當의 pulse 數  $v$ 는  $C_t$ 의 電壓이다. 出力 電壓은 充電率과  $R$ 를 거친 放電率과의 平衡值가 된다. Pulse 當의 charge 가 一定하다면 이 平衡值는  $v = r q R = r C_f V R$  가 되어 出力 電壓은 單位時間當의 pulse 數  $r$ 에 比例하게 된다.

原子爐 計測에는 1 cps— $10^6$  cps 程度의 넓은 範圍로 變

化하는 것을 보아야 하므로 對數的으로 나타내는 것이 便利하다. 이를 爲하여는 積分回路다음에 對數回路를 使用하여 入力 pulse 의 數를 對數的으로 나타내게 한다.

**D.C amplifier**

直流增幅器는 current-integrating 型 檢出器에서 나오는 微少電流를 測定하는데 使用된다. 이것이 原子爐 計測回路로서 具備할 條件은 (1) 安定度가 높아야 하며 零點의 變移를 極力 防止해야 하며 (2) 應答을 빨리해야 하므로 入力回路的 時定數를 可能한 最少值로 해야 하며 (3)  $10^{-12}$ — $10^{-14}$  amp. 의 넓은 範圍의 電流를 測定할 수 있어야 한다는 것이다.

$10^{-8}$  amp. 以下の 微少電流를 電子回路로서 測定한다는 일은 그리 쉬운 일이 아니다. 그림 8에서 普通의 真空管을 쓰면 入力電流와 거의 같은 크기의 格子電流가 흐른다는 것을 想起한다면 알 것이다.

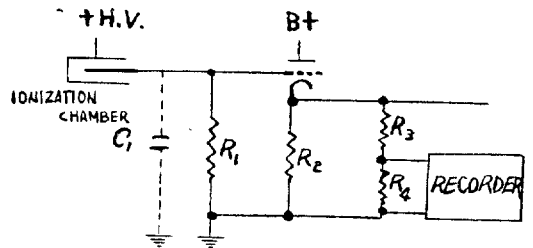


그림 8. 電離函과 直流增幅器에 의한 出力測定

微少電流를 測定하기 위하여는 特殊한 electrometer tube 를 使用한다. 이 特殊真空管의 格子電流는  $10^{-14}$  amp. 以下로서 電離函의 正常 測定範圍에서의 出力電流보다 적으므로 原子爐 計測에 適合하다.

入力回路的 時定數(RC)에 있어서는 微少電流를 增幅하기 위하여  $R$ 의 值를 增加시키면 時定數가 커지므로 應答이 늦어진다. 電離函과 連結하는 導線의 길이는 一般的으로 길어서 이 問題도 簡單하지 않다. 假令  $R = 10^{12}$  ohm,  $C = 500 \mu\text{mf}$  (電離函과 導線의 容量)라면 時定數는 500 sec 가 되어 應答의 速度가 原子爐 制御에서 무엇보다도 重要하다는 것을 생각하면 너무나 늦다. 一般的인 直流增幅器는 入力 impedance 가 크고 入力回路的 時定數가 크기 때문에 負饋還回路를 써서 어느 程度 應答을 빨리 하게끔 한다. 또한 이 負饋還回路로서 安定度도 높게 할 수 있지만 難點이 많다.

**Vibrating-capacitor electrometer (vibrating-reed electrometer, 振動 容量型 電位計)**

D.C amplifier 로서 解決 못하는 많은 難點을 vibrating-capacitor electrometer 로서 解決할 수 있다. 相當히 짧은 應答 時間으로서  $10^{-12}$  amp. 程度까지의 直流電流를

正確하게 測定할 수 있고 零點變移가 적어서 再補正이나 零點調整없이 長時間 動作시킬 수 있다는 利點이 있다. Capacitor의 容量을 周期的으로 變化시켜 發生하는 交流電流를 增幅하여 測定하는 것으로서 單一周波數(通常 60 cps)의 交流 이므로 普通의 A.C 增幅器로 增幅할 수

있다. 그림 9는 이 vibrating-capacitor electrometer의 原理를 表示한 것이다. 여기에서  $C_1$ 이 vibrating capacitor이며 上部板은 固定되고 下部板이 60 cps로 振動한다.

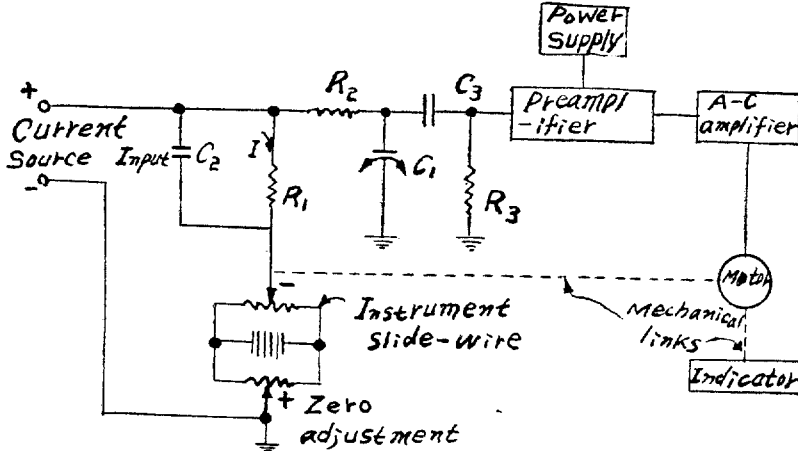


그림 9. Vibrating-capacitor electrometer의 略圖

$C_1$ 의 容量은  $C_1 = \frac{K}{D + A \sin \omega t}$ 로 變한다. 여기에서  $D$ 는 兩쪽 板사이의 平均距離,  $A$ 는 振動距離이다. 따라서  $C_1$ 의 電壓  $v$ 는

$$v = \frac{q}{C_1} = \frac{qD}{K} + \frac{qA}{K} \sin \omega t$$

여기에서 a.c 성분은 preamplifier와 A-C 增幅器로 增幅된다. 入力電流는  $R_1$ 을 거쳐 slide wire와 零點調整 抵抗을 거쳐서 흐르게 되며,  $R_1$ 은  $10^{10}$  ohm 程度이고 나머지 測定回路는 200 ohm 程度이므로 電壓降下는 入力抵抗  $R_1$ 에 거의 다 걸린다. 增幅器의 出力은 two-

phase balancing motor를 驅動시켜 表示器에 表示하게 하며 그와 同時에 平衡시키는 方向으로 slide wire를 움직인다. 表示器를 움직여서 balance 되면 slide wire의 接觸點과 接地사이의 電壓은  $R_1$ 에 걸리는 電壓과 크기는 같고 附號가 反對이므로  $R_1$ 과 接地사이의 電壓은 零이 되어  $C_1$ 에는 電荷가 없게 되어 motor를 驅動하는 信號는 없게 된다.

그림 10은 TRIGA MARK II의 計測回路에서 이의 같은 原理를 利用한 것으로서 vibrating capacitor 대신 electromagnetic vibrator(chopper)를 使用한 것이다.

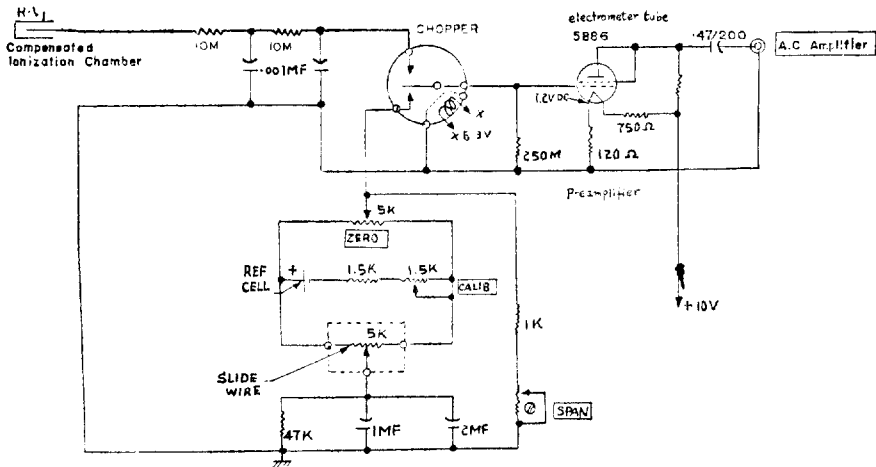


그림 10. Chopper를 利用한 微少電流의 增幅器

**Logarithmic amplifier-period meter(對數 增幅器 一周期計)**

原子爐는 m watt range 에서 mega watt range 까지의出力에서 運轉되며 이 出力에 比例하는 中性子 線束을 range switching 하지 않고 測定함에 있어서는 單一 눈 목으로서 4:8-decade를 網羅할 수 있는 對數的인 눈 목으로 된 channel 이 制御系統에 적어도 하나는 必要로 한다. 이 對數的인 反應回路를 必要한 더 큰 原因은 原子爐의 動特性때문이다. 原子爐의 出力이 上昇하거나 下降하는 率이 即 週期가 對數的으로 되어 있고 따라서 出力의 上昇率을 安全한 範圍로 制限시키기 爲해서는 原子爐 週期和 比例하는 制御信號를 얻어야 한다는 것이다. 우선 出力을 對數的으로 나타내기 爲하여 thermionic diode의 特性을 利用한다. 이런 diode는 約  $10^{-4}$ — $10^{-12}$  amp의 電流範圍에서는 兩端電壓이 大略 이에 흐르는 電流의 對數值과 比例한다는 것이다.

그림 11은 對數增幅器의 略圖를 나타낸 것이다. 여기에서 diode의 兩端電壓은

$$V = K \ln i$$

여기에서는  $K$ 는 常數이며  $i$ 는 檢出器 出力電流이다.

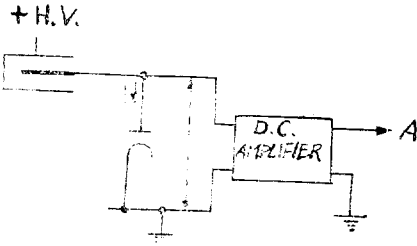


그림 11. 對數 增幅器 回路

그러나 電壓의 變化는 10 倍의 電流變化에 對해서 不

過 0.2 V 程度밖에 안되므로 電壓變化를 增幅해야 한다. 中性子の 10 倍 變化에 對해서 20V가 되기를 願한다면 增幅率을 100으로 해야 한다. 檢出器의 出力電流를 diode에 흐르게 하기 爲하여 增幅器의 入力抵抗을 크게 할 必要가 있다. 增幅器의 出力은 直接 記錄計에 連結된다. 中性子 線束을 對數的으로 나타내게 한다고 하여 이런 種類의 計測裝置를  $\log n$  channel 또는  $\log n$  回路라고도 부른다.

이 對數 增幅器의 短點은 中性子 線束을 正確히 計測할 수 없다는 것이다. 이는 주로 diode의 變移때문이며 이것은 balanced diode와 differential amplifier(差動增幅器)를 使用하므로써 어느 程度 改良할 수 있다. 그러나 對數增幅器를 쓰는 主要目的이 原子爐始動時나 또는 停止時의 原子爐週期를 測定하기 爲한 것이므로 變移問題는 큰 問題가 되지 않는다.

그림 12는 TRIGA MARK I의  $\log n$  channel에 있는 對數回路의 一部이다. 여기에 使用된 diode는 silicon diode이며  $D_1 \sim D_4$ 의 溫度效果를 補償하기 爲하여  $D_5 \sim D_7$ 과  $R_4, R_5$ 로서 形成되는 溫度補償回路를 썼다.

原子爐週期를 測定하기 爲해서는 對數增幅器의 出力을 RC 微分回路에 供給한다. 對數增幅器의 出力電壓은  $V = K \ln I$ 이고 原子爐出力 即 檢出器의 出力電流는 對數函數的으로 다음과 같이 變化한다.

$$I = I_0 e^{\frac{t}{T}}$$

여기에서  $I_0$ 는  $t=0$  일때의 電流,  $I$ 는  $t=t$  일 때의 電流,  $T$ 는 原子爐週期이다. 여기에서의 週期라는 것은 特別히 stable period를 말한다. 따라서  $V = V_0 + K \frac{t}{T}$  ( $V_0 = K \ln I_0$ )가 된다. RC 微分回路를 通하여 meter에 흐르는 電流  $i_m$ 는

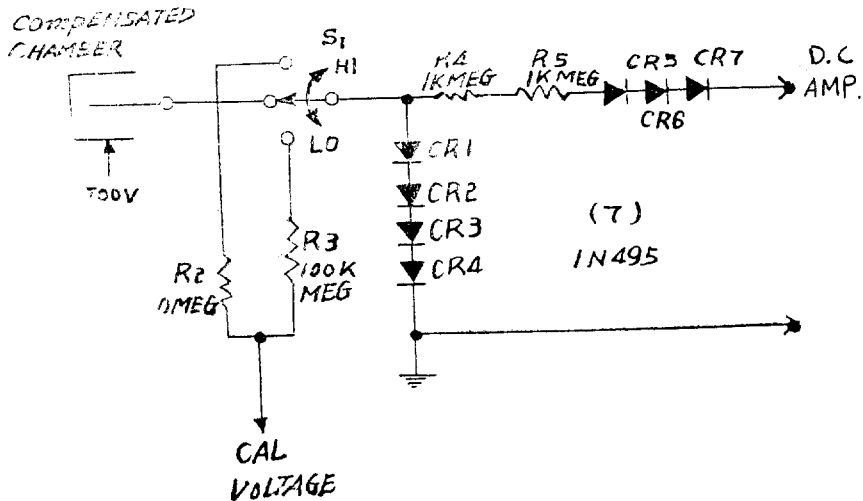


그림 12. 對數 增幅器의 入力回路

$$I_M = \frac{CK}{T} = B \frac{1}{T} \quad B = CK$$

가 된다. 여기에서  $C$ 는 용량이다. 식에서 보는 바와 같이  $RC$  미분회로와 직렬로 연결된 meter에 흐르는 전류는 원자爐週기와 반비례하게 된다. Period meter는 microammeter이다. 秒 눈목으로 補正하여 使用하며  $R$ 의 依한 電壓降下 또는 그 部分을 測定하는 것은 그에 흐르는 電流  $I_M$ 을 測定하는 것과 같으므로 記錄計 또는 安全裝置를 驅動시키는 信號로서 利用할 수 있다.

그림 13은 period meter의 한 例로서 TRIGA MARK II의 計測回路의 一部分을 表示한 것이다.

對數增幅器의 出力信號는  $C_1$ 과  $R_5$ 로서 微分하여  $V_1$ 의 differential amplifier로 들어간다. meter는  $V_1$ 의 cathode 回路의 抵抗回路에 連結되어 있다.  $R_2$ 는 meter span을 調節하고  $R_3$ 는 負饋還하는 것으로서 回路動作을 安定시키는 役割을 한다. 卽

$$I_M = \frac{e_1 - e_2}{R_3 \left(1 + \frac{1}{\mu}\right) + \frac{1}{g_m} \left(2 + \frac{R_3}{R_1}\right)}$$

로 되어  $R_3 \gg \frac{2}{g_m}$ 로 하던  $I_M$ 는 眞空管特性에 無關係가 되어 安定度를 높인다.

以上 原子爐計測系의 各成分을 略述하였다.

各系統別로 簡單한 block diagram으로 表示하면 그림 14와 같다. 이 外에 核燃料의 溫度測定, 冷却水의 溫度, 放射能測定 및 純度測定等을 爲한 計測裝置가 있다. (繼續)

(1964年 11月 16日 接受)

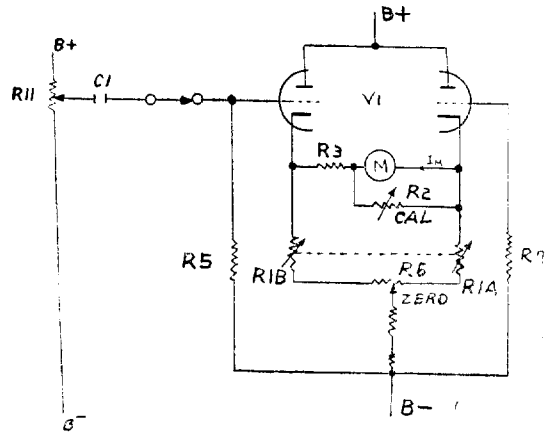


그림 13. 週期計 回路

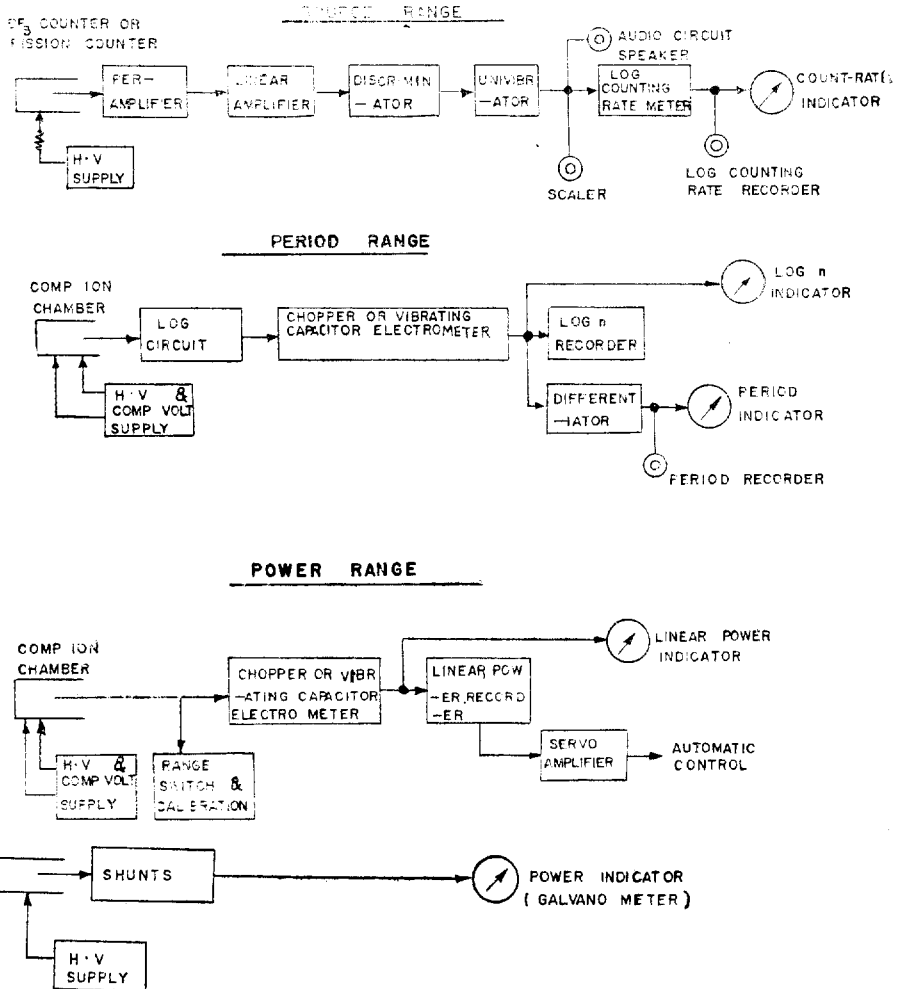


그림 14.