

自勵磁交流發電機의 試作

朴 旻 鎬

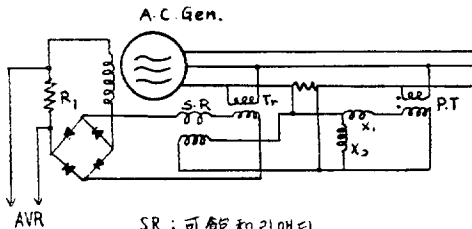
[1] 結 言

Germanum, Silicon 과 같은 整流體의 발달에 따라 電流容量이 큰 乾式整流器가 등장하고 또한 磁氣增幅器의 設計技術이 급속도로 진전되었기 때문에, 負荷印加時의 瞬時電壓降下가 적고, 電壓回復速度가 빠른 특징을 가지고 있고 勵磁機를 필요로 하지않은 自勵磁交流發電機가 Storm 氏의 基本回路에서 부터 여러가지 개량을 보게 되었고 이것에 관한 많은 文獻이 보고되어 있다. 그 대부분은 交流 3 相에서 勵磁回路를 만들어 사용하였다.

本文에서는 單相交流發電機의 사용시 혹은 3 相에서의 使用機器의 절약을 도모하는 의미에서 종전의 3 相대신 單相交流回路에서 變流器, 變壓器 및 可飽和 리액타를 통하여 整流器로 勵磁回路에 直流를 공급하였다. 이러한 自勵磁發電機의 試作에서 定常狀態인 경우에 한하여 검토하고 아울러 AVR 장치를 부가하여 이것의 영향을 조사하고자 한다.

[2] 自勵磁交流發電機의 動作原理

交流發電機의 無勵磁에서는 殘留磁氣에 의한 誘起端子電壓은 약 8V 정도이고 이것에 의하여 그림 (1)의 勵磁回路에 電流가 흐르고(電壓確立時 까지 S.R을 短絡함) 마치 直流機의 自己勵磁과 비슷한 과정으로 電壓을 확립한다. 그후 S.R의 短絡를 開放하면 S.R의 信號卷線에 P.T, C.T에 의하여 電流가 흐르고 이 電流에 의하여 리액타가 點孤하여 勵磁回路에 적당한 勵



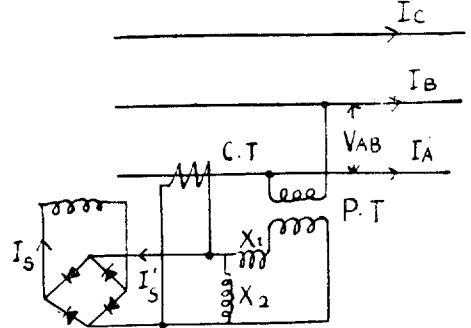
SR : 可飽和 리액타
Tr : 變壓器
X1, X2 : 純 리액타

그림 (1) 自勵磁交流發電機回路

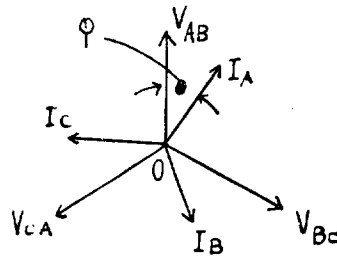
磁電流가 흘러서 端子電壓을 일정이 유지하려고 한다.

端子電壓이 변동하면 이때는 R_1 에 AVR에서의 制御電流를 作用시키고 勵磁電流를 더 정밀이 가감한다. 이 AVR은 檢出回路와 Switching 回路로 구성되어 있다.

(3.1)信號回路-負荷의 力率을 ϕ 端子電壓電流를 그림 (2a)와 같이 표시하면 벡터線圖는 그림(2b)와 같다.



(a) 信號回路



(b) 3 相回路의 벡터線圖

그림(2)信號回路 및 벡터線圖

이 그림에서 I_A 는 V_{AB} 보다 位相이 ϕ 만큼 떨어진다.

따라서 負荷의 力率관계를 信號回路에 개제하기 위하여 그림(2a)와 같은 C.T, P.T의 結線方法을 사용하였다.

다음 이 두 電源에서 얻은 合成

電流는 負荷의 電流, 力率에 관계없이 일정한 電壓을 유지하는 勵磁電流를 발생시키는 것이어야 한다. 그림

(3)은 그림(2a)를

다시 그린 것이고

이 回路의 交流側

에서 본 整流器卷線의 等價인피탄

스를 R_s , P.T 2

次側의 電壓 γV_i

에서 R_s 에 공급

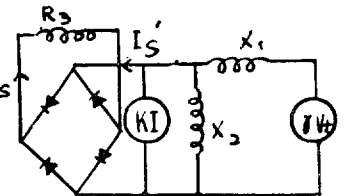


그림 (3) 信號回路

하는 電流을 $I_s'(v)$, C·T의 電源 kI 에서 공급하는 電流을 $I_s'(d)$ 이라고 하면 I_s' 는

$$I_s' = I_s'(v) + I_s'(d) \dots \dots \dots (1)$$

이고, 回路에서

$$I_s'(v) = \frac{X_2}{X_1 + X_2} \cdot \frac{\gamma V_t}{R_s + jX} \dots \dots \dots (2)$$

$$I_s'(d) = \frac{jX}{R_s + jX} \cdot kI \dots \dots \dots (3)$$

를 얻는다. 여기서

$$X = \frac{X_1 X_2}{X_1 + X_2} \quad \gamma: \text{變壓比}, k: \text{變流比}, V_t: \text{端子電壓}$$

따라서 (1)式은

$$I_s' = \frac{X_2}{X_1 + X_2} \cdot \frac{\gamma V_t}{R_s + jX} + \frac{jX}{R_s + jX} \cdot kI$$

$$= \frac{\gamma}{R_s + jX} \cdot \frac{X_2}{X_1 + X_2} (V_t + j \frac{k}{\gamma} X_1 I) \dots (4)$$

식(4)의 팔호내의 벡터線圖는 그림 (4)와 같이 그릴수 있다.

그림 (5)는

이 發電機의 벡터線圖이고, x_d 는 同期 리액트런스이고 回路 抵抗을 무시한 경우이다. 양쪽의 그림을 대조하여보면 식(4)에서 $k/r \cdot X_1 = x_d$ 의 값으로 정하면 相似가되고 信號回路의 直流電流 I_s 는 一定電壓을 알리는 信號電流이고, 이것에 의하여 可飽和 리액타의 點孤電流가 비례적으로 변화한다고 하면 勵磁回路에서는

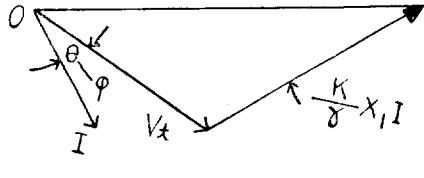


그림 (4) 식 (4)의 벡터線圖

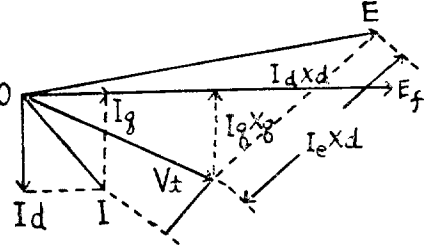


그림 (5) 突極型發電機의 벡터線圖

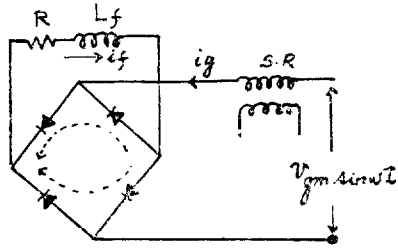
의 直流電流 I_s 는 一定電壓을 알리는 信號電流이고, 이것에 의하여 可飽和 리액타의 點孤電流가 비례적으로 변화한다고 하면 勵磁回路에서는

$$E = |V_t + jx_d I|$$

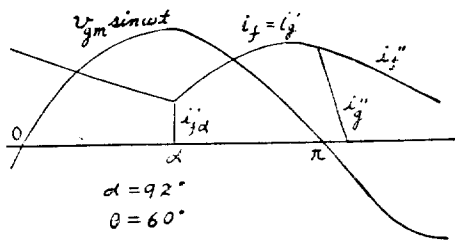
에 해당하는 電流를 얻을수 있다. 이렇게 되면 負荷電流의 크기, 力率에 관계없이 端子電壓은 항상 일정하게 유지된다. 그러나 실제 發電機에서 요구되는 勵磁電壓은 E_f 이므로(그림 5) 약간의 오차가 있고, 또한 可飽和 리액타는 非線型이고 실제문제에서는 여러가지 점을 고려하여야 한다.

(3·2) 一定端子電壓을 유지하는 最適條件- 最適 조건을 구하기 위하여 먼저 勵磁電流와 可飽和 리액타의 點孤角의 관계를 알아내자. 可飽和 리액타의 동작은 리

액타의 整流負荷의 성질에 따라 틀린다. 發電機의 勵磁 卷線이 리액타의 負荷로 사용되기 때문에 그림(6a)와 같이 勵磁卷線의 인덕트넌스가 대단히 큰 경우이고, 整流體부릿지내에서 勵磁電流가 연속으로 흐르게된다. 瞬時勵磁電流 i_f 는 부릿지의 4개의 整流體에 의하여



(a) 勵磁回路



(b) 回路의 電流, 電壓波形

그림 (6) 勵磁回路의 電流, 電壓

放流側路가 되고, 리액타電流 i_g 보다 크다. 지금 이 回路의 電流, 電壓의 관계를 解折하기 위하여 그 波形을 그림 (6b)와 같이 표시한다. 리액타가 적당한 信號入力에 의하여 $\omega t = \alpha$ 에서 點孤하면 i_f 가 흐르고 $\omega t = \pi$ 에서는 i_g 는 i_g'' 로 저의 영이되는데 i_f 는 貯蓄에너지(인덕트부要素)때문에 i_f'' 로 그림(a)에 표시한 點線방향으로 흐르게된다. 그러므로 瞬時勵磁電流는 Forcing 期間과 Relaxation 期間에 흐르는 電流의 합으로 되어 있다. 지금 리액타卷線의 抵抗, 인덕트넌스를 무시하면 回路에서

$$i_f' = \frac{V_{gm}}{R} \left[\left\{ \cos \theta \sin(\omega t - \theta) \right\} - \left\{ \cos \theta \sin(\alpha - \theta) \right\} e^{-(\omega t - \alpha) \cot \theta} \right] + i_f'' e^{-(\omega t - \alpha) \cot \theta} \dots \dots \dots (5)$$

$$i_f'' = i_{f\alpha}'' \cdot e^{-\{\omega t - (\alpha + \pi)\} \cot \theta} \dots \dots \dots (6)$$

이 되고 여기서

V_{gm} : 리액타의 最大電壓, α : 點孤角

$$\frac{R}{\omega L_f} = \cot \theta$$

$$i_{f(\alpha + \pi)}'' = i_{f\alpha}''$$

$$i'_{\alpha} = \frac{V_{gm}}{R} \left\{ \cos\theta \sin\theta \cdot e^{-\alpha \cos\theta} - \frac{\cos\theta \sin(\alpha - \theta) \cdot e^{-\pi \cot\theta}}{1 - e^{-\pi \cot\theta}} \right\} \dots\dots(7)$$

위의 i'_f, i''_f 의 平均値는 그림 (6b)에서 구하면

$$I'_f = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} i'_f \cdot d(\omega t) = V_{gm} \cdot \frac{(1 + \cos\alpha)}{\pi R} - \omega L_f i'_{f,\alpha} \cdot \frac{(e^{x \cot\theta} - 1)}{\pi R} \dots(8)$$

$$I''_f = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha + \pi} i''_f \cdot d(\omega t) = \omega L_f \cdot i'_{f,\alpha} \cdot \frac{(e^{x \cot\theta} - 1)}{\pi R} \dots\dots(9)$$

그러므로 平均勵磁電流 I_f 는

$$I_f = I'_f + I''_f = \frac{V_{gm}}{\pi R} (1 + \cos\alpha) \dots\dots(10)$$

식(10)은 ωL_f 의 要素를 포함할 때의 電流와 點弧角의 關係를 표시한다. α 는 信號電流에 의하여 可飽和 리액타가 飽和되는 각이다.

信號回路에서 일은 電壓은 식 (4)에서 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$e_s = \rho | (V_i + jx_d I) | \dots\dots(11)$$

또 勵磁電流에 의한 電壓은 리액타의 端子電壓이 發電機의 電壓이므로 식(10)에서

$$E_f = \delta (V_i + V_i \cos\alpha) \dots\dots(12)$$

로 표시되고, 그림(7)의 (a), (b)는 식(11), (12)의 벡터線圖가 된다. 여기서 $\rho = \delta = 1$ 로 하였다. 이 두 그림은 동일한 端子電壓으로 되어 있으므로 O_1, O_2 점을 중첩시키면 그림(8)이 된다. 이 그림은 負荷力率이 $\cos\phi$ 인 경우이고 위의 설명한 理論에서 信號電流와 勵磁直電流를 連結하여주는 可飽和 리액타의 增幅係數가 일정하며는 그림에서 ωL_f 를 가지고 있는 경우의 一定端子電壓을 유지하는 勵磁電流를 구할 수 있다. 여기서 $O_2 C$ 는 $x_d I$ 이

고 ωL_f 는 보통 일정하므로 이 선은 負荷電流 혹은 電壓降下를 표시한다. 따라서 $O_2 D$ 座標상에 O_1 을 中心으

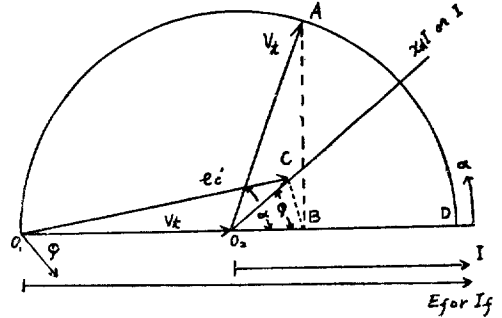


그림 (8) $\cos\phi$ 인 경우의 벡터線圖

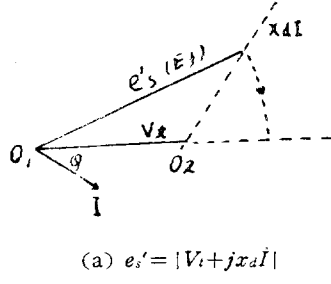
로 $O_1 C$ 를 半徑으로 하여 B 로 옮기면 $O_2 B$ 는 負荷電流의 尺度가 되고, 또한 $O_1 B$ 는 勵磁電壓(혹은 勵磁電流)이 된다. 왜냐하면 그림에서 $V_t + V_t \cos\alpha = |V_t + jx_d I|$ 이고 이 사이의 增幅係數를 일정히 하였기 때문이다. 다시 말하면 그림에서 이러한 勵磁電流를 가지도록 하면 負荷의 변동에 관계없이 一定端子電壓을 유지하게 된다. 이 그림이 실제 回路에서 성립되는 조건, 즉 O_2 점이 無負荷端子電壓을 誘起하는 勵磁電流의 값이므로 可飽和 리액타에 의한 이 電流의 最大値 $O_1 D$ 는 發電機無負荷勵磁電流의 2배로 조정하여야 한다는 것이 最適條件이다.

[3] 實驗에 사용한 自勵磁交流發電機

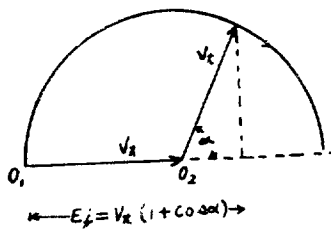
그림(1)에서 AVR 裝置를 제외한 回路結線을 사용하였다. 發電機의 容量은 7.5 kw, 220 v, 1800 rpm 이고 同期 리액트렌스는 11.2 Ω가 된다. 여기서 리액타는 直列型 可飽和 리액타이고 發電機의 勵磁回路를 插入하여 最大出力電流를 이 發電機의 無負荷勵磁電流의 2배인 1.3 amp로 하였다. 그리고 P.T의 電壓을 勵磁電流가 0.65 amp 되도록 조정하였다. 이때의 信號電流는 120 mA가 되었다. C.T와 X_1 을 $\frac{k}{T} \cdot X_1 = x_d$ 가 되도록 조정하고 $\cos\phi = 1$ 과 $\cos\phi = 0.8$ 인 경우에 대하여 負荷特性曲線을 그리고, 또 위의 설명한 最適條件의 圓線圖에 의한 방법과 비교검토했다. $\cos\phi = 1, 0.8$ 인 경우의 數值대입의 圓線圖는 그림(9)의 (a), (b)에 표시하고, 圓線圖와 實驗測定值를 비교한 曲線은 그림(10)의 (a), (b)와 같다.

이 그림에서 몇가지를 고찰하여보면

(1) 圓線圖에 의한 一定電壓을 유지하는 勵磁電流曲線은 I_{f2} 인데 實驗에서의 값은(AVR에 의하여) I_{f1} 이고, 負荷電流가 증가함에 따라 차이가 생긴다. 負荷電

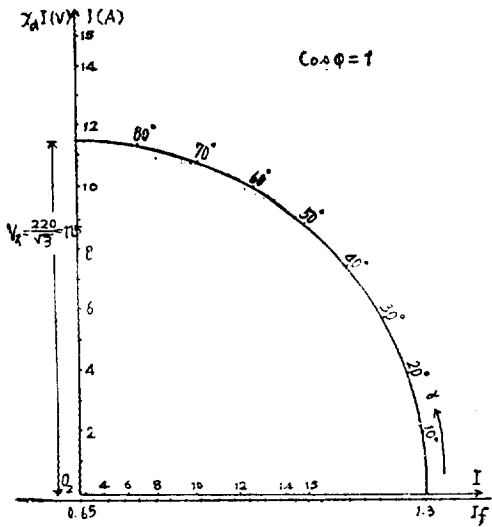


(a) $e_s = |V_i + jx_d I|$

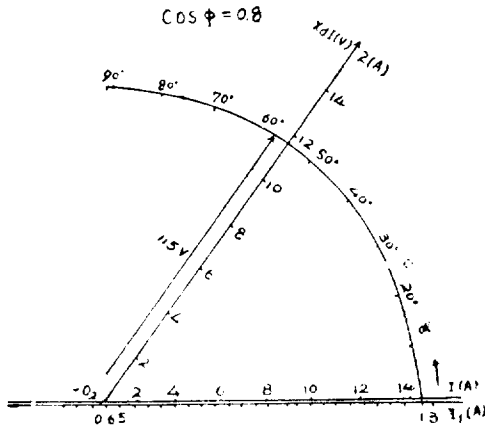


(b) $E = V_t + V_t \cos\alpha$

그림 7. e_s, E_f 의 벡터線圖



(a) 負荷力率 $\cos\phi=1$ 인 경우



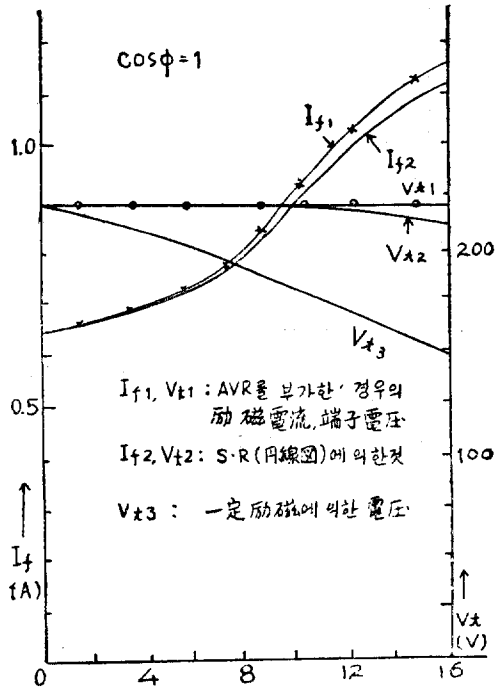
(b) 負荷力率 $\cos\phi=0.8$ 인 경우

그림(9) 一定電壓을 유지하기 위한 勵磁電流의 圓線圖

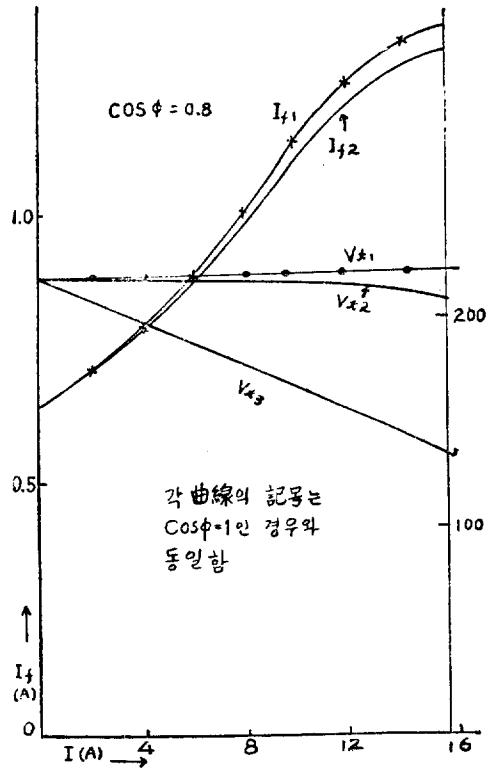
流 14(A)에서의 理論上不足量은 3%($\cos\phi=1$), 4.2% ($\cos\phi=0.8$) 정도가 된다, 이러한 것으로 미루어 보아 圓線圖에 의하여 算定한 定電壓을 유지하는 勵磁電流의 값은 실제와 거의 부합된다는 것을 알았다. 不足量의 차이는 發電機의 磁氣飽和를 고려하지 않은데서 생긴 것이라고 보는 것이 타당하다.

(2) 電壓 V_{12} 도 위의에서 말한 勵磁不足量만큼 電壓降下가 생기고 $V_{11}-V_{12}$ 는 負荷電流 14(A)에 있어 6V ($\cos\phi=1$), 8V ($\cos\phi=0.8$)의 정도이므로 自動電壓調整器의 補償電力은 대단히 적어도 된다.

(3) V_{13} 은 勵磁電流를 無負荷勵磁電流로 일정이 하여 負荷를 증가시킬때의 端子電壓이고 $V_{12}-V_{13}$ 을 可飽和리액타가 補償한 셈이 된다.



(a)



(b)

그림(10) 勵磁와 外部特性曲線

(4) 負荷力率이 낮으면 勵磁電流가 증가한다는 사실을 이 圓線圖에 의하여서도 알 수 있다. (그림 8 a, b 를 對照)

이상과 같은 것이 實驗의 결과에서의 고찰되고, 勵磁電流의 不足量은 C. T의 變流比 k 를 조종하므로 보충할 수도 있고, 또 약간의 過勵磁 즉 發電機의 外部特性을 複卷特性으로 쉽게 만들 수가 있다. 후에 설명하는 電壓調整을 위하여서는 이러한 특성이 요구된다.

[4] 自動電壓調整回路

먼저 설명한 바와 같이 理論적으로 거의 一定電壓을 유지하는 勵磁機構를 만든다 하더라도 飽和리액타의 非線型을 무시하여, 同期發電機의 磁氣飽和, 界磁抵抗, 電機子抵抗의 溫度에 따르는 변화, 이러한 要素때문에 그림 (10)에서 보는 바와 같이 완전히 端子電壓을 일정하게 유지하기는 곤란하다. 그러므로 여기에 電壓調整回路를 부가시키고 그 回路의 結線을 그림 (11)과 같이 한다. 즉 檢出回路과 2段 Transistor 으로 된 Switching 回路이다.

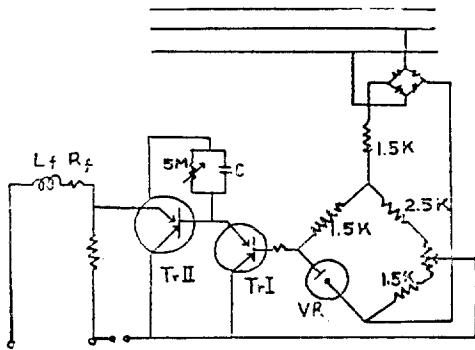


그림 (11) 自動電壓調整回路

端子電壓의 변화 ΔV_t 와 電力用 Transistor의 Corrector 電流의 변화 ΔI_c 의 관계를

$$\Delta I_c = -K_1 \Delta V_t$$

로 하고, 또 한편 勵磁回路의 挿入抵抗電壓을 Transistor에 의하여 조절하므로 다음관계가 성립된다.

$$\Delta I_f = K_2 \Delta I_c$$

따라서 위의 두식에 의하여

$$\Delta I_f = -K_1 K_2 V_t \quad (13)$$

이 되고, 이 식에 의하여 電壓偏差의 값을 檢出回路에서 검출하여 Switching 回路에 주면 항상 일정한 端子電壓을 얻는다. 이 回路를 사용한 實驗値는 그림 (10)의 V_{11} 에 표시되고 위에 설명한 모든要素를 補償하고 있다.

(4.1) 檢出回路—어떠한 量을 조절하는지는 반드시

一定量의 基準値와의 비교에 의존하는 것이다. 그러므로 發電機端子電壓에 있어 基準電壓이 drift, 혹은 instability가 일어나는 경우가 있다. 이러한 점을 고려하여 다른型보다 많은 이익을 가져오는 Glow 放電管으로 결정하였다. 檢出器는 그림 (11)에 표시한 바와 같이 端子電壓을 整流한 후 Glow tube와 抵抗으로 된 그림 (12)의 부릿지回路에서, 基準電壓은 Glow tube의 端子電壓이 된다. 이 電壓은 항상 一定電壓이 되어야

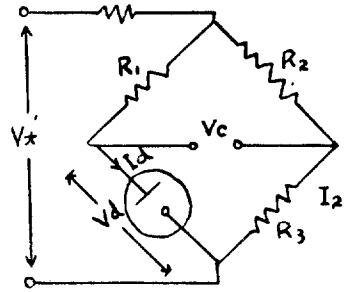


그림 (12) 檢出器의 부릿지回路

한다는 것이 절대적으로 요구된다. 지금 이 基準電壓 V_d 가 發電機端子電壓에 해당하는 V_t' 의 변동에 따라 얼마나 변화하는가를 조사하여 보자.

V_t 의 변동에 따르는 變動量을 $\Delta V_t'$, Glow tube 回路의 電流變動量을 ΔI_d 이라고 하면 그림에서 $\Delta I_d = \Delta V_t' / (R_1 + R_d)$, $\Delta V_d' = \Delta I_d R_d$ 가 되고 R_d 는 Glow tube의 内部抵抗이다.

따라서 다음식이 성립된다.

$$\frac{\Delta V_d}{V_d} = \frac{\Delta V_t' \times R_d}{(R_1 + R_d) V_d} = \frac{R_d}{R_1 + R_d} \cdot \frac{\Delta V_t'}{V_t'} \cdot \frac{V_t'}{V_d} \dots \dots \dots (14)$$

이것이 Glow tube의 端子電壓의 變化率을 표시하는 식이고, 設計에서 $R_1=1500\Omega$, $R_d=100\Omega$, $V_t'=160V$, $V_d=120V$ 이고 V_t' 가 10%의 변동이 되었을때의 V_d 의 變動率은 불과 0.83% 밖에 안된다. 즉 發電機端子電壓의 변동에 거의 관계없이 Glow tube는 일정한 電壓을 유지하게 되고, 또한 Filament, Grid가 없는 이점을 가지고 있기 때문에 이 實驗에서 사용한 것은 10.5 V-CR 放電管이다.

다음 Bridge로 구성된 檢出回路의 抵抗値의 선택에 따라 銳敏한 檢出裝置가 된다. 그림 (12)에서 다음식이 성립된다.

$$V_t' = R_1 I_d + V_d = R_2 I_2 + R_3 I_2$$

$$V_c = R_2 I_2 - R_1 I_d$$

위의 식에서

$$V_c = -\frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot V_t' + V_d \dots \dots \dots (15)$$

혹은
$$V_i = \frac{V_i'}{-\frac{R_3}{R_2+R_3} V_i' + V_d}$$

$$= \frac{1}{1 - \frac{R_3}{R_2+R_3} \frac{V_d}{V_i'}} \dots \dots \dots (16)$$

식(15)를 微分하여 $dV_c/dV_i' = -R_3/R_2+R_3$ 를 얻는다
이것을 식(16)에 대입하면

$$\frac{dV_c}{V_c} = \frac{1}{1 - \frac{R_3}{R_2+R_3} \frac{V_d}{V_i'}} \cdot \frac{dV_i'}{V_i'} \dots \dots \dots (17)$$

이 되고 이 식에서 發電機電壓變動에 대하여 制御電壓의 변동이 크게 나타나려면, 이상적인 경우의 조건은 다음과 같다.

$$\frac{V_i'}{V_d} = \frac{R_2+R_3}{R_3} \dots \dots \dots (18)$$

식(18)를 기초로 하여 R_2, R_3 의 값을 결정할 수가 있고 회로에 사용한 값은 이것에 의한 것이다.

위의 식은 Bridge 電壓의 平衡狀態 즉 V_c 에 의한 회로電流가 없을 경우이다. 檢出回路의 電壓은 직접 發電機電壓과 Glow tube 電壓간의 차이에 비례된다. 그리고 이것이 Error signal 가 된다. 이 Signal의 電力 level signal 가 증가되면, 이 Signal의 特性이 억제되고 위에서 설명한 관계를 잃게 된다. 따라서 一段增幅

用 Transistor 와 電力用 transistor 로 電力 level 를 부담시키는 Switching 回路를 만들고, 여기서는 될수있는 한 電壓 signal 로 동작시킨다.

(4.2) Switching 回路-檢出回路에서 나오는 Signal 를 Transistor 5C3/VR-105 로 증폭한 후 2N 669 의 電力用 Transistor 로 그림 (13 a)와 같이 Switching 回路를 만들고 電流調整器로 동작시킨다. 그림(13 b)는 D.C 特性을 표시한 것이다. 즉 Corrector 回路의 抵抗을 20Ω. 電壓 $E_c=20$ volt 로 한 것이다, 最大電流는 $I_b=0$ 일때 약 0.92 A 가 되고 $I_b=4$ mA 에서 洩漏電流가 약 20 mA 가 된다. 실제동작에서는 c 線에 따라 Switching 으로서의 Cut-off 점 A 가 T_r, I 의 base 回路를 개방하면 I_c 의 電流는 B 점으로 증가하게 될 것이다. 즉 發電機端子電壓이 基準値와 같으면 V_c 는 영이 되고 勵磁卷線의 電流는 I_c 에 의하여 증가되고 電壓은 基準値보다 높아지고 또 다시 V_c 에 의하여 A 점에 돌아가고 勵磁電流는 감소되어 電壓은 基準値로 돌아간다. 이와 같이 Switching 作用으로 端子電壓을 일정 유지하게 되려면 發電機特性은 먼저 말한바와 같이 複卷特性이 되어야 한다.

[5] 結 論

이상과 같이 單相으로 勵磁回路에 電流를 공급하는 自勵磁系統을 가능한 한 理論을 기초로 하여 試作하고 設計의 기준을 세우려고 하였다. 즉 理論으로 취급한 점은 (1) 可飽和리액타의 信號回路의 構成, (2) 勵磁回路의 最適條件, (3) 檢出回路의 正確性和 銳敏性, 이러한 것이고 실제와 잘부합되었다.

그러나 全體系統에서 發電機, 可飽和리액타, 整流器 등의 非線型要素때문에 위의 理論은 억제되기 쉽다. 앞으로 이러한 要素와 有機的인 관계를 주는 방향을 고려하는 동시에 電壓確立過程, 可飽和리액타의 最適條件에 의한 出力制限등을 구명하고자 한다.

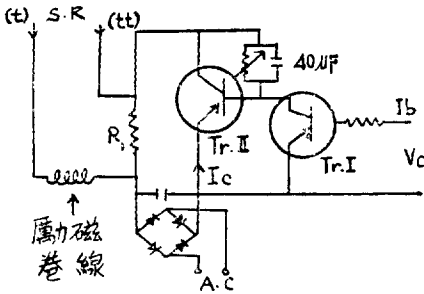
本研究은 1961 年度 國庫金研究費로서 서울大學校工科大學 電氣機器研究室에서 실시한 것이다.

끝으로 本研究實驗에 적극적으로 노력하여준 助敎 黃英文君에 감사할 바이다.

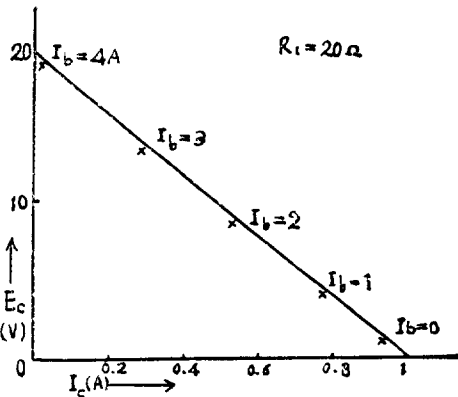
(西紀 1963年 1月31日接受)

[文 獻]

- (1) Finzi & Jackson: Trans., A.I.E.E., Vol 73, Part I, 1954. pp 270-78,
- (2) H.F. Storm: Magnetic Amplifier(Book), Wiley Co.
- (3) H.F. Storm: Trans., A.I.E.E., Vol 71, 1951. pp 1057.
- (4) 梅津: 日本電氣學會誌 81.3, 1961.
- (5) Jones: Electric Control Systems(Book)Wiley Co.



(a) switching 回路



(b) 이 回路의 D.C 特性
그림 (13) Switching 回路