

饋還型 中間 端子 全波型 磁氣增幅器의 特性

(Characteristics of the Feedback Type Center-Tapped Full Wave Magnetic Amplifier)

朴 昌 燁*
(Park Chang Yub)

ABSTRACT

This paper shows that higher amplification can be achieved by applying load current on the internal feedback winding of the magnetic amplifier under test.

Since the magnetic flux of the control winding and internal feedback winding saturate the core more fully, the permeability tends to zero and load current increases to the value more than that of ordinary magnetic amplifier without feedback.

1. 序 論

통신, 電子分野와 自動制御分野에서 增幅器는 대단히 중요한 위치에 놓여 있다. 增幅器는 眞空管增幅器, 回轉型增幅器와 지금 特性을 調査하려는 磁氣增幅器로 區分된다. 이들 增幅器의 特性은 各各 다음과 같다.

眞空管增幅器에서는 plate電壓과 filament電壓이 加해져서 grid에 入力信號(入力電壓)을 加하므로 그 信號에 依하여 增幅된다. 그러나 진동이나 충격의 영향을 받고 加熱(warming up)하는 時間이 必要하고 수명이 짧은 것이 결점이다. 回轉型增幅器도 回轉體를 가지므로 效率이 좋지 않다. 磁氣增幅器는 眞空管增幅器와는 달리 電流를 增幅하는 것이고 鐵心과 捲線으로 構成되어 있으므로 機械的인 진동에 對하여 堅固하고 filament가 없으므로 加熱하지 않고도 즉각 동작한다.

電力增幅度가 또한 높으므로 自動制御의 素子, 無接點繼電器, 電動機의 速度制御 그 밖의 광범위하게 利用될 수 있으나 國內에서도 아직 製作되지 못하고 있다. 그러므로 市中에서 求할 수 있는 材料로서 磁氣增幅器를 試作하고 internal feedback 捲線을 補充하여서 負

荷捲線의 inductance를 거의 0으로 하였다. 그러므로 負荷捲線의 電流도 鐵心の 磁化曲線과 같이 垂直으로 變化하고 電力增幅度가 훨씬 높아져서 比較的 性能이 좋은 磁氣增幅器로 되었다.

2. 動作原理

磁氣增幅器用 鐵心으로는 그림 1에 表示된 磁氣飽和 特性曲線을 갖는 것을 사용하는 것이 理想的이다.

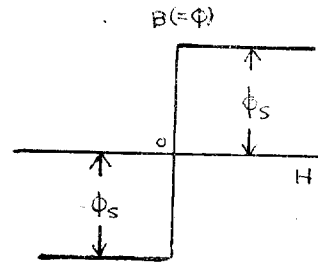


그림 1. 鐵心材料의 磁氣特性

그림 2에서와 같이 N_c, N_c' 捲線을 A, B 鐵心に 分割하여 同一 方向으로 감은 後 直列로 連結한다. N_c, N_c' 捲線은 誘導作用을 防止하기 위하여 反對極性으로 連結한다. 制御電流(直流) I_c 가 變하면 負

荷捲線에 交流가 加해 進 時 磁束密度 B 는 磁氣特性曲線을 따라서 變한다. I_c 가 0일 時 磁束密度는 0이고 이 點에서 電流變化에 따르는 磁束變化量은 極히 커지고 reactor의 逆起電力 $-\frac{dI}{dt} \frac{\Delta\phi}{dI}$ 가 커지며 回路的 inductance는 커진다. 正의 半波가 올 時 I_c 가 커지면 $\Delta\phi$ 는 적어지고 reactor의 inductance는 적어지며 B 鐵心은 $\phi_s + \phi_c$ 인 飽和磁束值 ϕ_s 에 達한다. Inductance가 0인 B 鐵心に 反하여 A 철심 的 磁束 $\phi = \phi_a - \phi_c < \phi_s$ 의 磁束值로서 不飽和狀態이므로 이 reactor 들은 inductance가 0인 變壓器와 같다. 이때 飽和磁束의 最大値는

$$(\Delta\phi)_{\max} = \frac{1}{\Delta f N_G} \left(E - E_c - \frac{N_c}{N_G} \frac{R_L}{R_c} \right)$$

인 磁束值가 그림 3(d)와 같이 $\alpha < \theta < \pi$ 인 期間에 發生한다. 여기서 $E = I_m \left[\frac{E_x}{\pi} \int_0^\pi e^{i\theta} d\theta \right]$ 이다.

다음 負荷의 半波에서 같은 現象이 A, B 鐵心に 발

* 延世 理工大 專任講師
Lecturer, College of Science & Eng.
Yonsei University

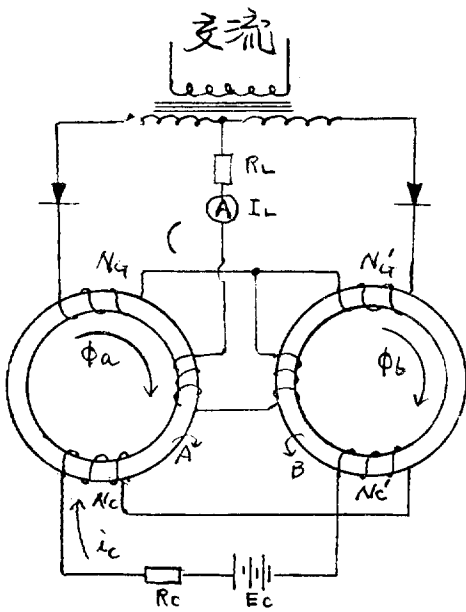


그림 2. 中間端子 全波 磁氣增幅器

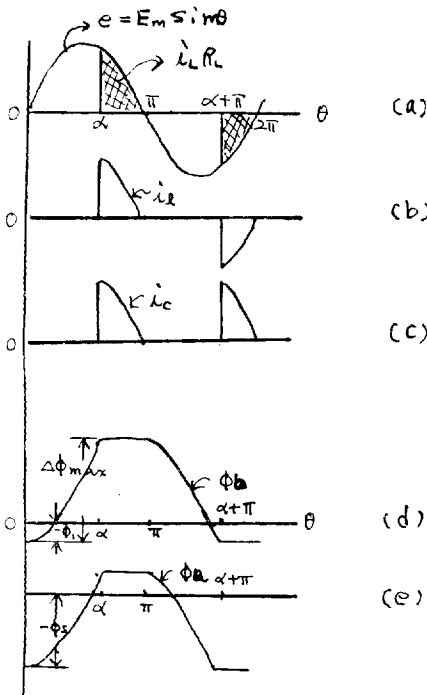


그림 3. 增幅器의 動作狀態

- (a) 전원전압 e , 負荷電壓 $i_L R_L$
- (b) 부하전류
- (c) 制御電流
- (d) B reactor 자속
- (e) A reactor의 자속

생한다. 그림 3(c)와 같이 制御電流를 變化시키면 그림 4와 같은 波形的 負荷電流를 얻을 수 있고 整流된 電流의 크기는 增幅度에 따른다. 이러한 磁氣增幅器의 負

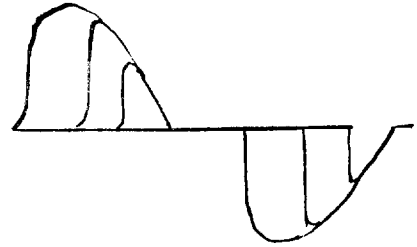


그림 4. 制御電流를 變化시킬 때의 負荷電流

荷特性은 一般的으로 그림 5(a)와 같이 되는데 이것을 그림 5(b)와 같이 良好한 特性曲線을 가지도록 改良하고자 한다. 制御捲線과 負荷捲線의 捲數는 변경하지 않고

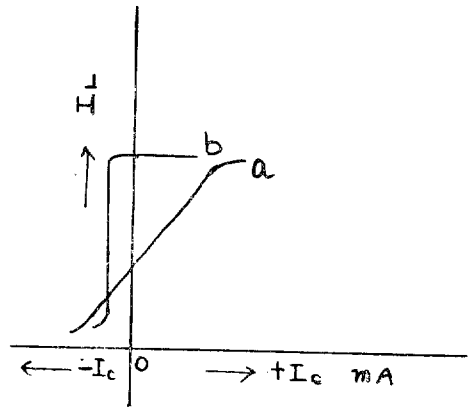


그림 5.

- (a) 보통 증폭기의 부하특성
- (b) 시험할 증폭기의 부하특성

制御側 鐵心에 internal feedback이 되도록 制御捲線과 같은 方向으로 감아서 負荷電流가 이에 흐르게 한다. 饋還捲線과 負荷捲線의 ampere-turn은 $N_c I_c + I_L N_L = I_L N_G$, $\Delta K = i_L \frac{2N_F}{N_G}$ 인 關係가 있다. 여기서 ΔK 는 饋還捲線을 나타내는 계수이다.

그림 6(A)에서 饋還이 없을 때 負荷電流는 CG로서 制御電流 AC가 필요하다. 饋還捲線이 있으면 귀환권선은 ΔK 즉 AB인 制御 ampere-turn이 되므로 制御捲線은 BC만 필요하다. 그림 6(B)로 饋還捲線이 있는 것으로 $OA = OB'$, $BC = B'C'$ 라 하면 C'點이 새로운 制御特性의 1點이 되고 點 B를 통하여 O점과 연결하는 直線이 된다. 이 直線이 饋還直線이다. $i_L = K$ (상수)일 때 $YF(=B)$ 귀환계수 = $\frac{2N_F}{N_G}$ 이고 制御特性 DMC의 交點 Q'는 平均 制御電流가 0인 경우의 負荷電流를 나

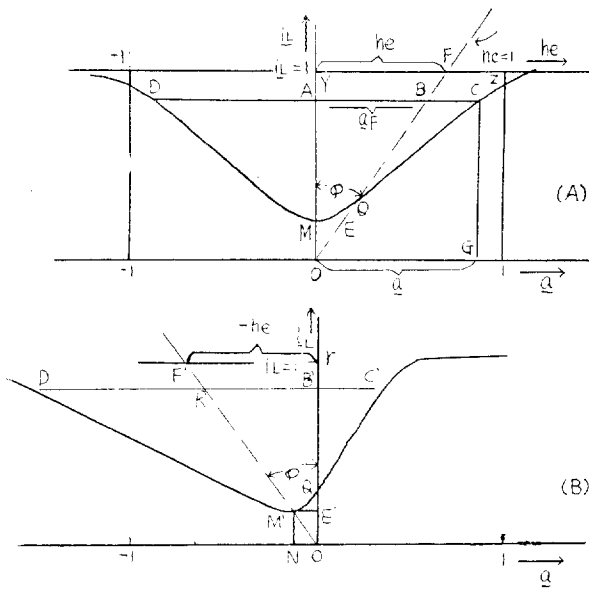


그림 6. 内部 饋還을 했을 때와 안했을 때의 특성곡線の 移轉

타내는 점이다. M' 는 最低點으로 交流 勵磁電流 OM 는 制御特性的 最低點 $M'E'$ 만큼 왼쪽으로 이동한 결과가 된다.

이와같이 制御捲線의 ampere-turn과 負荷捲線의 ampere-turn이 合해져서 正의 半波 때 B 鐵心을 飽和 시킨다. $N_F I_L$ 이 커짐에 따라 負荷捲線의 inductance는 거의 O 에 가까워 지므로 負荷捲線의 電流는 鐵心の 磁化曲線과 같이 이론상 無限大로 될 수 있다. 그러나 $I_L N_c = I_L N_c (1 - B)$ 에서 B 는 饋還係數로 $\frac{2N_F}{N_G}$ 인 값이고 $B > 1$ 이면 오히려 增幅度는 減少한다.

3. 設 計

電源周波數는 60 cps의 商用周波數를 利用하고 制御電流는 60 mA, 出力은 510 W, 負荷抵抗은 10 Ω로 가정하였다. 整流器는 逆抵抗이 큰 25 H 15를 택하였으며 鐵心材料도 軟鋼板이고 鐵心の 規格은 그림 7과 같다.

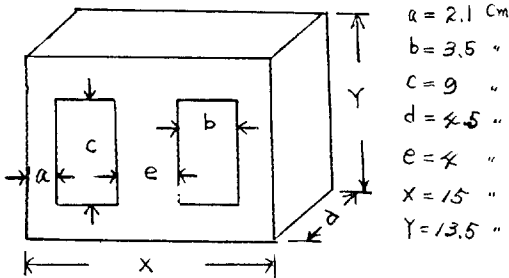


그림 7.

定格電流 $I_L'' = 5 A$, 最少 電流 I_L' 는 2 A로 하면 80 V라는 定格電壓을 얻게 된다. 負荷捲線의 回數 N_G 는 계산에서 단면적이 $2.1 \times 4.5 \text{ cm}^2$ 때 226 회가 되고 이 捲線의 直徑 d_G 는 1.74 mm이다. 抵抗은 0.32 Ω으로서 兩 負荷捲線의 全抵抗은 0.64 Ω이다.

制御捲線의 回數 N_c 는 300 회에서 18,820 회까지 許容할 수 있다는 것이 계산에서 알 수 있다. N_c 가 많으면 增幅度는 높아지나 時定數는 增加되므로 自動制御用으로나 要求條件에 따라 N_c 捲線은 적당히 선정할 수 있다. 여기서는 電力增幅度, 電流增幅度, 時定數를 고려하고 增幅度를 높이기 위하여 N_c 를 2,000 회로 선택했다. 制御捲線의 直徑 d_c 는 0.4 mm 이고 抵抗은 51 Ω이다.

끝으로 饋還捲線의 回數 N_F 는

$\frac{I_L}{I_c} = 2 \frac{N_c}{N_G} \frac{1}{1 \pm (N_G - 2N_F)/N_G}$ 의 關係에서나 $\Delta K = \frac{2N_F}{N_G}$ 의 關係에서 實驗으로 N_F 回數로 調整하여 特性을 구했다.

理論으로 볼 때 電流增幅度 $A (= \frac{I_L'' - I_L'}{\Delta I_c})$ 는 50 이고 時定數 I 는 $(= \frac{A_i N_c R_{Li}}{2f N_L R_{cT}})$ 0.769 sec 또는 48 cps 이다. 電力增幅度 A_P 는 $(= A^2 \frac{R_{LT}}{R_{cT}})$ 532 이고 性能係數 m 는 $(= \frac{A_P}{T})$ 690의 값을 各各 얻을 수 있다.

4. 實 驗

1) 實驗 結果

A. 饋還捲線을 使用치 않을 때

表 1.

a) V=70 V 10 Ω

I_C mA	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
I_L mA	800	1300	3200	3900	4300	4400	4500	4600	4500

b) V=80 V 10 Ω

I_C mA	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
I_L mA	1700	2200	3700	4500	4700	5000	5200	5300	5400

c) V=90 V 10 Ω

I_C mA	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
I_L mA	2500	3500	4000	4900	5300	5400	5500	5600	5700

B. 饋還捲線을 使用할 때

表 2.

a) V=70 V 10 Ω

I_C mA	-15	-10	0	10	20	30	40	50	60
I_L mA	1300	2200	4500	5900	6400	6600	6700	6800	6900

b) V=80 V 10 Ω

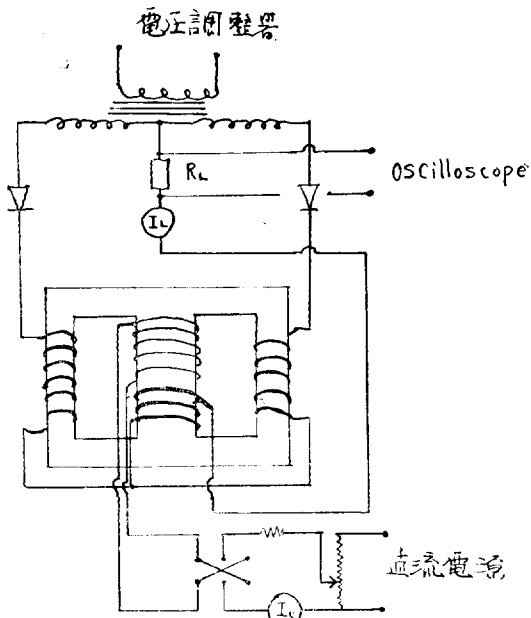


그림 8. 中間 端子 磁氣增幅器의 實驗回路

$I_C mA$	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
$I_L mA$	1500	3100	6000	6600	7400	7700	7900	8000	8100

c) $V=90V \ 10\Omega$

$I_C mA$	-25	-10	0	10	20	30	40	50	60
$I_L mA$	2200	6000	7500	8100	8400	8900	9000	9200	9300

위의 實驗結果를 나타내는 特性曲線은 그림 9 과 같다. 여기서 點線은 饋還捲線을 使用하지 않았을 때이고 實線은 饋還捲線을 使用했을 경우이다.

5. 考 察

饋還捲線을 使用하지 않았을 때 定格電壓, 定格負荷에서 電流增幅度 A_i 는 58 이고 電力增幅度 A_p 는 714 이다. 時定數 T 는 0.769 sec 이며 性能係數는 690 으로 되었으나 귀환권선을 사용한 增幅器에서 定格電壓을 供給하고 定格負荷를 連結했을 때 電流增幅度 A_i 는 85 이고 電力增幅度 $A_p=1,540$ 로 되었다. 또 時定數는 0.769 sec 이며 性能係數 m 는 2,000 이 되었는데 이것은 特性이 제

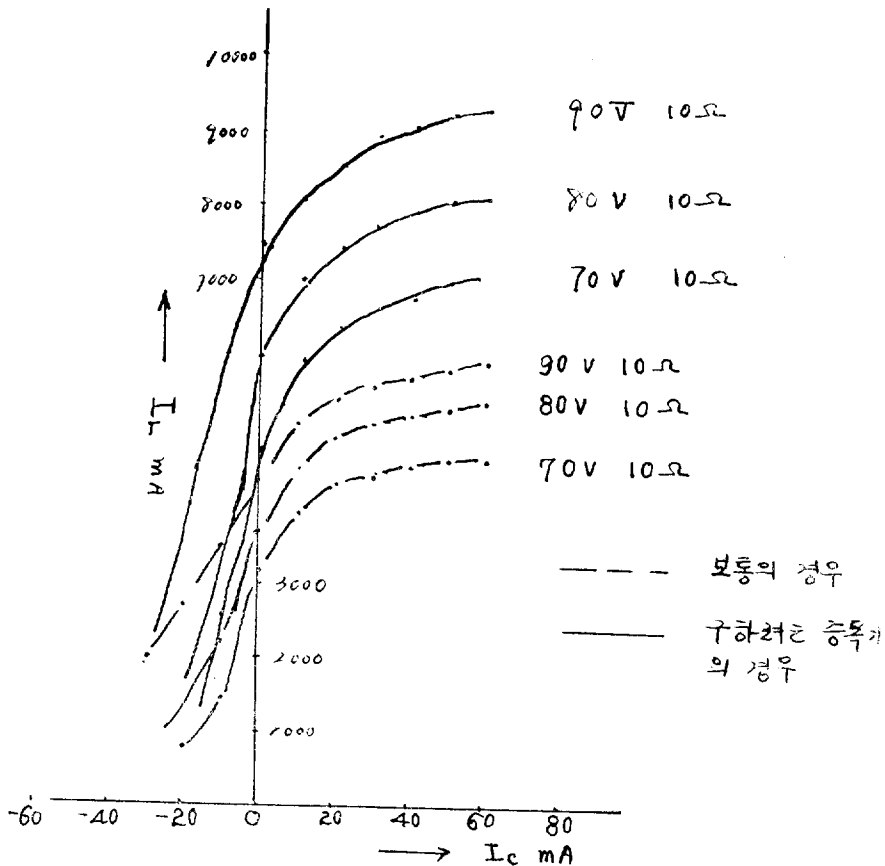


그림 9. 中間 端子 全波 磁氣增幅器의 負荷特性 曲線

일 좋은 경우로서 饋還捲線의 捲數 N_F 가 100회인 때 이다. 이 饋還捲線과 負荷捲線, 制御捲線의 ampere turn 은 등 ampere-turn 法則에서

$$I_c N_c + I_L N_f = I_L N_G \text{로 되고}$$

$$I_c N_c = I_L N_G (1-B) \quad B = \frac{2N_f}{N_G}$$

에서 $B > 1$ 이면 $I_c N_c$ 는 (-) 로 되어 오히려 負荷電流는 減少하게 된다.

負荷電流를 分析하면 다음과 같다.

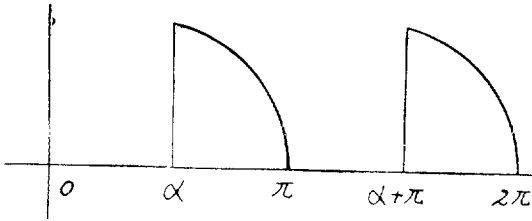


그림 10.

$\alpha < \theta < \pi$ 에서 電流는

$$i = I_m \sin \theta$$

이므로 Fourier 級數로 전개하면

$$f(\theta) = A_0 + A_1 \sin \theta + A_2 \sin 2\theta + \dots + A_n \sin n\theta + \dots + B_1 \cos \theta + B_2 \cos 2\theta + \dots + B_n \cos n\theta$$

$$A_0 = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_m \sin \theta \, d\theta = \frac{2}{\pi} I_m$$

$$A_n = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_m \sin \theta \sin n\theta \, d\theta \text{에서}$$

$n=1$ 일 때

$$A_1 = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_m \sin \theta \sin \theta \, d\theta = \frac{I_m}{2\pi} \sin 2\alpha$$

$n=2$ 일 때

$$A_2 = \frac{2}{6\pi} I_m (3 \sin \alpha + \sin 3\alpha)$$

$$B_n = \int_{\alpha}^{\pi} I_m \sin \theta \cos n\theta \, d\theta \text{에서}$$

$n=1$ 일 때

$$B_1 = \frac{2}{4\pi} I_m (-1 + \cos 2\alpha)$$

$n=2$ 일 때

$$B_2 = \frac{2}{6\pi} I_m (4 + \cos \alpha + \cos 3\alpha)$$

$$\begin{aligned} f(\theta) = i(\theta) &= \frac{I_m}{2\pi} \sin 2\alpha + \frac{I_m}{3} (3 \sin \alpha + \sin 3\alpha) \\ &+ \frac{I_m}{2\pi} (-1 + \cos 2\alpha) + \frac{I_m}{3} (4 + \cos \alpha + \cos 3\alpha) \\ &= \frac{17}{6\pi} I_m + \frac{I_m}{\pi} \left(\sin \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha + \frac{1}{3} \sin 3\alpha \dots \right) \\ &+ \frac{I_m}{\pi} \left(\cos \alpha + \frac{1}{2} \cos 2\alpha + \frac{1}{3} \cos 3\alpha \dots \right) \quad (1) \end{aligned}$$

式 (1)은 負荷가 저항일 경우 捲線에 흐르는 電流를 Fourier 급수로 전개한 式이다. 一般的인 impedance $R + jX$ 의 負荷가 連結될 때의 電壓 e 는 $f(\theta) = \sqrt{R^2 + X^2} e^{i\varphi}$ 이다. 여기서 $\varphi = \tan^{-1} \frac{X}{R}$ 이다. 이때 電流 i 는 $\frac{e}{\sqrt{R^2 + X^2}}$ 으로서 表示되고 基本波, 第二高調波, 第三高調波를 포함하고 있다. 基本波는 $\frac{di}{d\alpha} = 0$ 에서 45° 인 飽和角인 때 最大로 되고 第二高調波는 飽和角 22° 일 때 最大로 된다. 상세한 분석은 다음 기회로 미루나 α 가 적을수록 負荷電流는 커짐을 알 수 있다.

6. 結 論

이 磁氣增幅器와 鐵心으로서 漏洩磁束이 적은 環狀鐵心을 使用할 계획이었으나 環狀鐵心用 捲線機를 求得할 수 없어서 求得하기 쉬운 珪素鋼板을 使用하였다.

實驗結果를 綜合하면 表 3과 같다.

表 3.

	饋還捲線을 使用하지 않았을 때	饋還捲線을 使用했을 때
電流增幅度	58	85
電力增幅度	714	1,540
時定數	0.769 sec	0.769 sec
性能係數	690	2,000

여기서 時定數는 變하지 않으므로 結果의으로 增幅度가 增加된 것이다. 그러나 N_F 捲線의 捲數를 一定值 (100) 以上으로 增加시키면 鐵心の 過飽和로 말미암아 增幅度가 減少된다.

이 結果는 豫想한 것과 같고 計算된 定格電流와 實驗에 依한 定格電流와의 差는 N_c (制御捲線)를 약간 많게 한 때문이다.

이 磁氣增幅器를 利用해서 電動機의 速度 調整에 對한 實驗을 하고 있다.

끝으로 이 實驗에 아낌없는 助言을 주신 延世大學校 理工大學 電氣工學科의 韓萬春·吳相世·楊仁應 各 教授에게 深甚한 謝意를 表한다.

參 考 文 獻

1. William A. Geyger: Magnetic Amplifier Circuits, McGraw-Hill, 1957
2. Lafuze L. David; Magnetic Amplifier Analogous, John & Wiley Sons, 1962
3. 宮澤永次郎: 磁氣增幅의 設計と應用
4. 小林寬: 磁氣增幅의 設計法
5. 茂木晃: 磁氣增幅とその應用

(1964年 12月 8日 接受)