衝擊電流發生裝置의 實驗的研究

논 문
24~4~3

Experimental Study of Impulsive High Current Generating Apparatus

金 晏 均*
(An Kyun Kim)

Abstract

In this study, a design scheme of an impulsive high current generating device is presented. The device is proved to be effective in producing rather complex type of the permanent magnet.

Principally, the apparatus designed same to the ordinary potential transformer or current transformer, but, it has a certain differences that the primary winding of many turns is excited by d.c. source and the secondary winding of a few turns induce low voltage and high current at the instant when opening a switch in the primary circuit.

This paper does not include magnet production process. Rather, it deals with the analytical studies of the devices, the designing procedure of the experimental setup, and some results from the experimental data are presented as a preliminary study.

The experimental results are found to agree well with the theoritical analysis presented in this paper.

1. 序 論

從來 磁性材料의 磁化方法[1]에 있어서는, 電磁石의 磁極間의 磁性體를 密着하거나, 低抵抗 捲線으로 磁性體를 여러번 감은 후 蓄電池로 磁化시키거나, 또는 高保磁力 磁性材料의 磁化에는 磁性體에 감겨있는 低抵抗捲線에 直流의 大電流를 흘리거나, ignitron을 사용하여 衝突大電流를 흘리거나, 直流發電機로 大電流를 흘려 磁性體의 磁化 즉 永久磁石을 製造하던 것을 本研究에서는 特히 形態가 복잡한 磁性材料의 磁化를 低電壓 直流電源과 簡單한 本裝置로서 可能하게 하자는 것이다.

磁石의 製造 및 生產過程에 대하여는 次際에 論하기로 하고 本論文에서는 衝擊大電流 發生裝置에 대한 理論的考察, 實驗裝置의 製作, 實驗結果, 實驗値와 計算値에 대한 檢討, 結論 等의 順序로 論하겠다.

2. 理論的 考察

大體的 原理는 變壓器 혹은 變流器와 類似하나, 本裝置는 一次捲線回數를 二次捲線回數에 비하여 여러번감고 一次側에 直流電源을 加한 후 瞬間的으로 一次側開閉器를 開放하여 二次側에 低電壓 大電流를 發生시켰다.

使用裝置의 回路圖는 그림 1과 같고 鐵心은 磁氣飽和領域까지 磁化되지 아니하는 線型領域의 動作만을 假定한 範圍內에서 計算하였다.

그림 1의 C는 開閉器를 開放하는 瞬間의 消弧目的으로 사용되었으며 E는 鐵心內 磁束의 飽和現象이 일어나지 아니하도록 6[V] 蓄電池 2個를 直列로 連結하여 使用하였고 實驗裝置는 取扱上 小型의 것을 製作하였다.

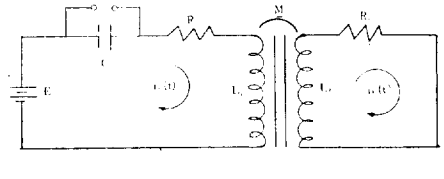

그림 1. 回 路 圖
Fig. 1. Schematic diagram of the circuit proposed

그림 1에서 開閉器 K를 開放時 回路方程式[2) 3)]은

$$\frac{1}{C}\int i_1(t)dt + R_1 i_1(t) + L_1\frac{di_1(t)}{dt} + M\frac{di_2(t)}{dt} = E \tag{1}$$

$$R_2 i_2(t) + L_2\frac{di_2(t)}{dt} + M\frac{di_1(t)}{dt} = 0 \tag{2}$$

*正會員・全北大工大講師
接受日字：1975年 4月30日

兩式을 Laplace 變換하면

$$I(s_1)\left\{\frac{1}{Cs}+R_1+L_1s\right\}+I_2(s)\ [Ms]$$
$$=\frac{E-vc(0)}{s}+L_1i_1(0)+Mi_2(0) \quad (3)$$

$$I_1(s)\ [Ms]+I_2(s)\ [R_2+L_2s]=L_2i_2(0)+Mi(0) \quad (4)$$

K를 開放時의 初期條件 $i_1(0)=\frac{E}{R_1}$, $i_2(0)=0$, $v_c(0)=0$을 (3) (4)式에 代入하고 漏泄磁束이 없는 理想的인 $L_1L_2-M^2=0$인 경우를 假定하고 $I_2(s)$를 구하면

$$I_2(s)=\frac{ME}{2\beta(R_1L_2+R_2L_1)R_1C}\left\{\frac{1}{s+(\alpha-\beta)}-\frac{1}{s+(\alpha+\beta)}\right\} \quad (5)$$

但

$$\alpha=\frac{R_1R_2C+L_2}{2(R_1L_2+R_2L_1)C} \quad (6)$$

$$\beta=\frac{\sqrt{(R_1R_2C+L_2)^2-4(R_1L_2+R_2L_1)R_2C}}{2(R_1L_2+R_2L_1)C} \quad (7)$$

그런데 (7)式의 分母根이 正, 零 혹은 負인가에 따라 (i) 過制動, (ii) 臨界制動, 혹은 (iii) 不足制動이 發生되는데 (iii)의 경우는 本題의 目的에 違背되므로 不適當하다.

(i), (ii) 경우의 二次瞬間電流를 각각 $i_2(t)$, $i_2(t)'$, 二次最大電流를 i_{2m}, i_2m', 二次最大電流가 되는 時間을 t_m, t_m'라 하면 (5)式에서

$$i_2(t)=\frac{ME}{\beta(R_1L_2+R_2L_1)R_1C}e^{-\alpha t}\ \sinh\beta t \quad (8)$$

$$i_2(t)'=\frac{ME}{(R_1L_2+R_2L_1)}\cdot t\cdot e^{-\alpha t} \quad (9)$$

$$i_{2m}=\frac{ME}{\beta(R_1L_2+R_2L_1)R_1C}e^{-\frac{\alpha}{2\beta}\log_e\left(\frac{1+\frac{\beta}{\alpha}}{1-\frac{\beta}{\alpha}}\right)}\sinh\left\{\frac{1}{2}\log_e\left(\frac{1+\frac{\beta}{\alpha}}{1-\frac{\beta}{\alpha}}\right)\right\} \quad (10)$$

$$i_{2m}'=\frac{2ME}{(R_1R_2C+L^2)R_1}\cdot e^{-1} \quad (11)$$

$$t_m=\frac{1}{\beta}\tanh\frac{\beta}{\alpha}=\frac{1}{2\beta}\log_e\left(\frac{1+\frac{\beta}{\alpha}}{1-\frac{\beta}{\alpha}}\right) \quad (12)$$

$$t_m'=\frac{1}{\alpha}$$

로 얻어진다.

3. 實驗裝置 및 測定結果

(8) (9)兩式의 最大値를 比較함에 있어 各式의 誘導條件이 相違하므로 서로 對照가 困難하나, (8)式의 조건은 $(R_1R_2C+L_2)^2>4(R_1L_2+R_2L_1)R_2C$라는 넓은 範圍를 가진데 비하여 (9)式은

$(R_1R_2C+L_2)^2=4(R_1L_2+R_2L_1)R_2C$라는 조건을 가지고 있으므로 後者의 좁은 範圍의 조건에 적합하도록 調整한다는 것은 힘들뿐만 아니라 (12), (13)式의 t_m, t_m'의 비교 역시 困難하므로 우선 後者에 대하여 設計한 후 兩者에 대한 現象을 硏究하여 보겠다.

(11)式에서 보는바와 같이 e^{-1}은 一定하므로 二次最大電流를 얻기 위하여는 R_1, R_2, C, L_2가 작어야하며 M, E가 커야한다. 그런데 設計上 특히 R_1을 작게해야 i_{2m}'의 큰 값을 얻을 수 있음으로 可及的 R_1을 작게하기 위하여 線徑이 큰 銅線을 사용하면 鐵心의 크기가 커지고 磁氣抵抗과 漏泄磁束이 커지므로 線徑만을 크게 할 수도 없어 本設計에서는 R_1을 1[Ω]未滿되는 범위내에서 N_1을 最大 500回로 하였고 中間에 몇개의 分岐點을 내어 놓았으며 二次는 一次에 비하여 극히 抵抗이 적은 銅線을 數回捲하였다.

鐵心의 透磁率 μ를 一定하다고 假定할 때 N_1을 크게하고 N_2를 적게하여도 M가 커지나 限定된 鐵心內에서 M를 크게하기 위하여 N_1을 여러번 감으면 鐵心의 磁氣的飽和現象이 일어나므로 이것 역시 不適當하여 當設計에서는 그림 2와 같은 型의 鐵心에 N_1을 最大 500回, N_2를 10回감았다.

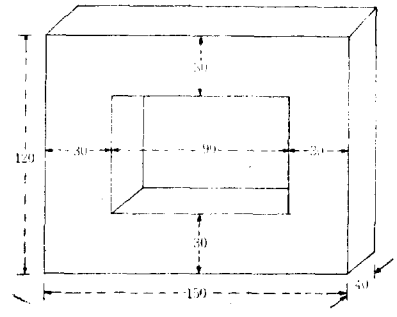

그림 2. 鐵心의 型(單位 : mm)
Fig. 2. The size of core (unit: mm)

本裝置에서는 T_{135}珪素鋼板[4]을 사용하였다. T_{135}特性은 表1과 같다.

두께[mm]	磁束密度[wb/m²]			
	B_{25}	B_{50}	B_{100}	B_{300}
0.35	1.39以上	1.49以上	1.59以上	1.82以上

表 1. T_{135}珪素鋼板의 特性
Table. 1 Characteristic of T_{135} silicon steel

鐵心의 斷面積을 S[m²], B_{25}일때의 磁束을 Φ_1이라 하고, 磁氣抵抗 $R=\frac{l}{\mu S}$과 起磁力 $F=NI$일때의 磁束

	B_{25}	B_{50}	B_{100}	B_{30t}
μ	7×10^{-4}	3.74×10^{-4}	2.07×10^{-4}	0.762×10^{-4}
R	0.5×10^{6}	0.94×10^{6}	1.78×10^{6}	4.61×10^{6}

表 2. 磁束密度 變化에 따른 μ및 R의 計算値

Fig. 2. The calculated value of permiability and reluctance in case of variable flux density.

N_1의 捲回數	100	150	200	250	300
N_1의 抵抗(Ω)	0.117	0.183	0.257	0.343	0.435
N_1의 捲回數	350	400	450	500	
N_1의 抵抗〔Ω〕	0.538	0.668	0.801	0.925	

表 4. N_1의 抵抗

Table. 4. Reistance of primary coil

을 Φ_2라 하면 鐵心의 磁氣飽和現象이 일어나지 아니하기 위하여는 $\Phi_1>\Phi_2$이어야 한다.

그런데 磁氣飽和가 되지 아니한 線型部分에서의 動作解析을 위하여 μ의 값이 제일 큰 B_{25}때의 Φ_1과 Φ_2를 比較하면

$$\Phi_1=B_{25}\times S=16.68\times10^{-4} \tag{14}$$

$$\Phi_2=\frac{F}{R}=\frac{\mu SNI}{l}=2\times10^{-6}\times NI$$

$$=2\times10^{-6}\ (N_1i_1\max\pm N_2i_2\max) \tag{15}$$

따라서 $\Phi_1>\Phi_2$되는 NI를 택하면 되고 本實驗에서는 B_{25}일 때의 μ로서 L_1, L_2, M를 計算하였다.

N_1〔turn〕	100	150	200	250	300	350	400	450	500
L_1〔mH〕	0.2	4.5	8	12.5	18	24.5	32	40.0	50

(a)

N_2〔turn〕	1	2	5	10	15	20
L_2〔mH〕	0.002	0.008	0.05	0.2	0.45	0.8

(b)

M〔mH〕 N_2 \ N_1	1	2	5	10	15	20
100	0.2	0.4	1.0	2.0	3.0	4.0
150	0.3	0.6	1.5	3.0	4.5	6.0
200	0.4	0.8	2.0	4.0	6.0	8.0
250	0.5	1.0	2.5	5.0	7.5	10.0
300	0.6	1.2	3.0	6.0	9.0	12.0
350	0.7	1.4	3.5	7.0	10.5	14.0
400	0.8	1.6	4.0	8.0	12.0	16.0
450	0.9	1.8	4.5	9.0	13.5	18.0
500	1.0	2.0	5.0	10.0	15.0	20.0

(c)

表 3. L_1, L_2, M의 計算値

Table 3. Calculated value for L_1, L_2 and M.

N_1, N_2를 최대로 감기 위하여 鐵心의 크기를 그림 2와 같이 하였고, C는 100 〔μF〕로서 開閉器의 開放時 消弧의 目的을 達成하였다.

N_1의 各捲 回數에 따른 抵抗은 表 4와 같으며 N_2는 2, 5, 10回 감었고, N_2의 各 回數에 따른 R_2는 극히 低抵抗인 關係로 精密測定은 不可能하였고 大略値는 $3\sim4\times10^{-3}$ 〔Ω〕로 推定하였다.

경우 (i) 또는 경우 (ii)의 最大電流를 統合하여 i_{2max}라 하고 N_1이 약간 變化하였을 때 i_{2max}變化가 顯著하지 않았으므로 N_1의 全 分岐線에 대한 N_2는 測定하지 아니하고 $N_1=100$, 250, 500에 대한 $N_2=10$, 5, 2로 변화시켜 測定하였다.

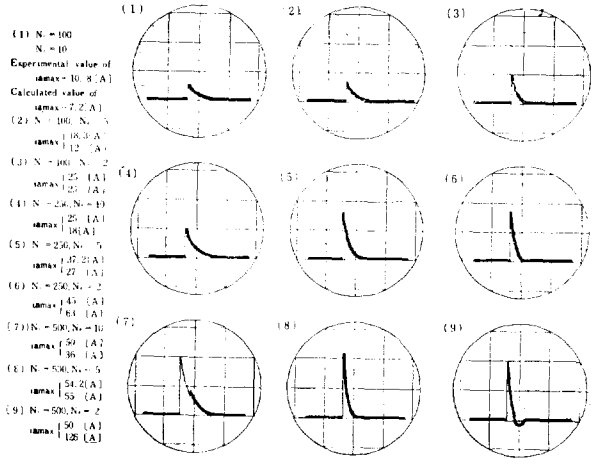

그림 3. $E=12.2$〔V〕, $R_1=12.2$〔Ω〕, $I_1=1$〔A〕일때의 i_2 過渡衝擊電流

Fig. 3. The measured and calculated value of the observed transient impulsive current, $i_2(t)$ in case $E_1=12.2$〔V〕, $R_1=12.2$〔Ω〕, $I_1=1$〔A〕

i_{2max}値는 cathode-ray oscillograph上에 나타난 像에 의하여 測定한 값이고 몇가지 경우에 대한 像과 測定및 計算結果는 그림 3과 같다.

計算値는 (11)式에 의한 大略的인 값이다. 그림 4는

N_1, N_2變化에 따른 I_1—i_{2max}測定結果이며 計算曲線은 測定曲線과 거이 同一하여 省略하였다.

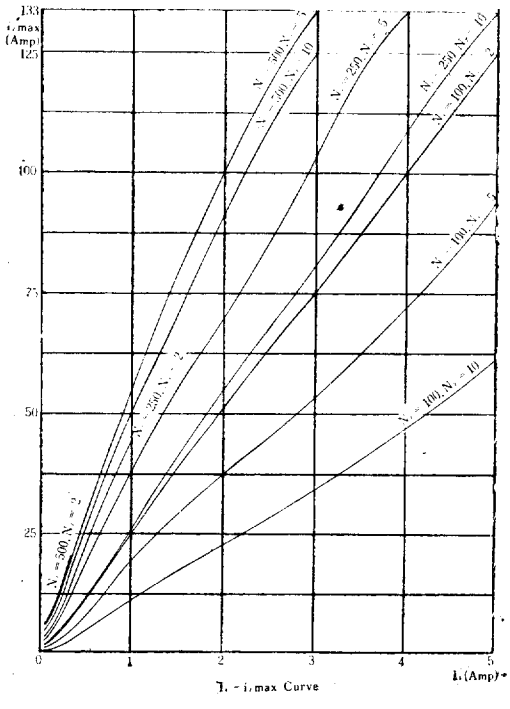

그림 4.　I_1—i_{2max}測定曲線

Fig. 4.　The characteristic curve of I_1 versus i_{2max} measured by cathode-ray oscillograph

4. 測定値와 實驗値의 檢討

本實驗에서 測定値와 計算値間의 誤差가 發生한 原因을 分析하여 보면 ㉠(5)式에서 漏泄磁束이 없는 $L_1L_2-M_2=0$라 假定하였다. ㉡ μ를 B_{25}, 일때로 하여 一定하다고 假定하고 L_1, L_2, M의 値를 定하였다. 이 경우의 較正은 磁束變化에 따라 表(1), (2), (3)의 數値를 代入하면 可하다. ㉢ $R_2=3\sim4\times10^{-3}$〔Ω〕로 推定하여 計算하였다. ㉣ 小容量인 蓄電池를 長時間 사용하여 E및 R_1의 變化가 있었다. ㉤ $i_2(t)$ 計算方法을 (11)式에 의하여 計算하였다. 이 경우의 較正은 ㉡條件의 변화値를 선정하여 (10)式에 代入하여 計算하면 可하다. ㉥ 測定上의 誤差 等으로 볼 수 있다.

5. 結　論

本實驗은 瞬間的 大電流로 正 或은 負만의 非振動인 큰 衝擊電流를 얻음으로써 磁性體를 磁化하는 것이 目的인 바 i_{2max}의 큰 값을 얻기 위하여는 i_{2max}/I_1倍率이 커야함을 알 수 있다.

以上의 各 分岐線에 대하여 測定한 結果 그 倍率關係를 要略 處示하면

$N_1=100$　　$N_2=10$, 5, 2 일때　11, 17, 25
$N_1=200$　　$N_2=10$, 5, 2 〃　24, 35, 43
$N_1=500$　　$N_2=10$, 5, 2 〃　48, 58, 70

이라는 結果를 얻었음으로 實驗目的에 어긋남이 없다.

따라서 從來의 磁化裝置와 比較할 때 直流電源과 簡單한 本裝置만 있으면 形態의 複雜한 磁性材料를 單一捲만으로도 可能케하여 作業上의 手苦面에서나 經濟的인 側面에서 볼때, 이 裝置는 實際的인 實用効用性을 가질 것 같다.

또한 i_{2max}의 큰 값을 얻기 위한 條件을 要略하면

① R_1, R_2를 적게 해야 한다.
② L_1, M를 크게, 卽 抵抗이 적은 導線으로 一次捲回數를 多數해야 한다.
③ 振動이 일어나지 않는 限 L_2를 작게 해야한다.
④ R을 작게 해야 한다.
⑤ C는 불꽃이 發生하지 않는 限 容量을 작게 하여 M/L_2를 크게 해야한다.
⑥ μ는 택한 鐵心에서 第一 큰 값을 갖인 部分을 택하고 이에 近似한 AT을 決定해야한다.

參 考 文 獻

① 日本電氣學會通信敎育會：電氣材料 I, p. 89—94, 電氣學會 1957
② 丁性桂·金俊鉉·過渡現象：p. 73—76, 文運堂, 1966
③ Sylvan Fich: Transient Analysis in Electrical Engineering, p. 162—195, Pentice-Hall, 1951
④ 日本電氣學會通信敎育會:電機設計槪論 p.24—27, 電氣學會 1957