

Thyristor를 併用한 電磁開閉器의 設計에 關한 研究

A Study on a Design of Magnetic Switch Using Thyristor

論 文
26~2~3

元 鍾 洙* · 黃 熙 隆 ** · 李 興 浩***

(Jong Soo Woen, Hee Yung Hwang, Heung Ho Lee)

Abstract

This Paper is devoted primarily to a study of magnetic switch which does not produce any harmful arc during the switching period using triacs.

The arc-eliminating method presented in this paper experimentally obtained the desired results. and also we executed numerical analysis by computer.

This method will be greatly helpful for protecting contacts of magnetic switch in case of frequent operation.

1. 序 論

近來에 들어와서 트랜지스터의 發明이후 特히 SCR, Triac과 같은 Thyristor의 發達은 電力制御系統의 改善에 많은 發展을 가져왔다.

本 研究는 Thyristor의 機能중 Switch의 機能을 電磁開閉器에 應用할려는데 있다.

電動機 나 其他 負荷를 開閉할 때 保安上 電磁開閉器를 많이 使用하고 있으나 開閉過程에서 發生하는 Arc 때문에 接點의 損傷을 招來하여 때에 따라서는 不完全接觸狀態를 일으키는 關係上 豫期치 않았던 事故를 誘發하는 수가 일어난다. 그러므로 開閉過程에서의 Arc 發生을 防止하고 安全運轉을 確保하려면 Thyristor를 使用한 靜止스위치의 利用을 들 수가 있다. 그러나 이 方式은 Impulse, 異常電壓, 電流耐量 等の 面에서 아직 不足하고 長時間 連續 使用에서 誤動作의 우려가 있다. 이런 點을 감안하여 本 研究에서는 電磁開閉器 接點과 並列로 Thyristor를 接續하여 開閉時에만 Thyristor를 使用하고 平常運轉時에는 電磁開閉器를 使用함으로써 開閉時에 發生하는 接點에서의 Arc로 因한 溶着 및 消耗變形을 避할 수 있는 開閉裝置의 設計를 위한 解析과 基礎的 實驗을 하였다.

2. 回路 設計

Triac을 併用한 回路設計는 다음과 같다.

(1) 電磁開閉器의 閉路時에는 먼저 트라이악을 通하여 電流를 흐르게 하고 주어진 時間內에 電磁開閉器가 閉路되도록 한다.

(2) 負荷를 遮斷할 때는 電磁開閉器가 開放되는 大部分의 期間동안 Triac 側으로 電流를 흐르게 하여 電磁開閉器의 接點에서 Arc가 거의 發生되지 않고 또한 負荷電流는 1 Cycle 이내에 遮斷되도록 그림 1과 같이 設計하였다.

回路에 대한 作動을 說明하면 다음과 같다.

(1) 閉路時

起動단추를 누르면 補助계전기 코일 RC₁이 勵磁되어 보조계전기 a接點 RC_{1a}가 閉路되고 먼저 게이트에 電流가 흘러 Triac이 導通된다. 다음 순간 電磁開閉器 코일 MC가 勵磁되어 電磁開閉器의 主接點 MS가 閉路된다. 따라서 電磁開閉器의 主接點 MS의 閉路로 因해서 Triac에는 電壓이 걸리지 않으므로 Triac을 通해서는 電流가 흐르지 않고 電磁開閉器의 接點을 通해서만 電流는 흐르게 된다.

(2) 平常運轉時

電磁開閉器 主接點 MS가 閉路된 狀態로 負荷電流가 主接點을 통해서만 흐르고 Triac은 電磁開閉器 接點의 短絡으로 電壓이 걸리지 않으므로 異常電壓이나 過

* 正會員 : 서울大 工大 工業教育科 副教授
** 正會員 : " " 助教授
*** 正會員 : " 大學院
接受日字 : 1977年 1月 11日

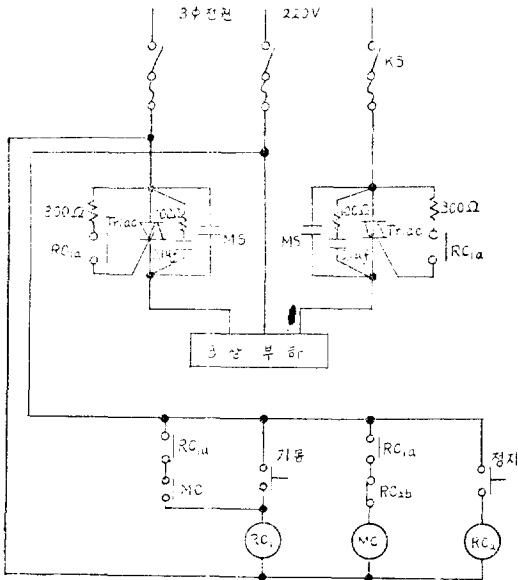


그림 1. Triac을 併用한 電磁開閉器의 設計⁽¹⁾⁽²⁾

Fig. 1. A Design of Magnetic Switch including Triacs

電流에 安全하다.

(3) 負荷 開放時

負荷를 遮斷하기 爲하여 停止단추를 누르면 보조계전기 코일 RC₂가 勵磁되고 보조계전기 b接點 RC_{2b}가 開路되며 電磁開閉器 코일 MC가 磁化를 상실하여 主接點 MS가 開放된다. 이 接點이 開放되면서 開放端子間에는 電壓이 上昇하며 Arc를 發生하게 되고(그림 ⑦) 이 端子와 並列로 接續된 Triac과 Triac의 gate 에는 電壓이 걸린다. 이 電壓이 Triac의 作動電壓(約 10Volt) 以上이 되는 순간부터 Triac은 導通이 되어 Triac 側으로 電流가 흐르는 關係로 開放되는 大部分의 期間동안에 Arc는 消滅된다. Triac의 Gate의 作動終了는 電磁開閉器의 磁化가 없어지고 이에 따라 RC₁의 磁化가 없어져서 接點 RC_{1a}가 開放되는 순간에 行해지며 Triac에는 電流가 零이 되는 순간까지 계속 負荷電流가 흐른다.⁽³⁾ (그림 ⑧)

3. 回路 解析

유도부하를 걸고 電源으로서 直流를 인가하였을 경우와 交流를 인가하였을 경우 회로 개방시에 나타나는 접점간의 단자전압 변화와 接點에 흐르는 電流 特性을 解析하였고 Triac을 使用한 경우에 대해서도 解析하였다.

(1) Triac을 接續하지 않았을 때

Triac을 接續하지 않았을 경우 電磁개폐기의 主接點에 흐르는 電流와 端子電壓의 變化狀態는 다음과 같다.

① 電源이 直流인 경우

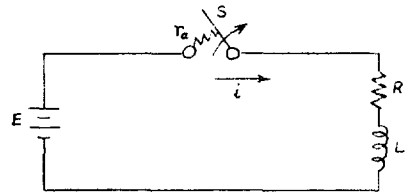


그림 2. 直流電源의 경우
Fig. 2. D.C. Source

接點 開放時에 開閉器를 통해 흐르는 電流와 端子間에 걸리는 電壓에 對해 풀이하면 다음과 같다.

이 때 開放時의 端子間에 걸리는 抵抗 r_a(t)는 實驗式 r_a(t) = $\frac{t}{\tau - t} R^{(4)}$ 을 使用하였다.

단, τ는 차단시간, R는 負荷抵抗, t는 時間變數이다 그림 2에서

$$Ri + r_a(t)i + L \frac{di}{dt} = E \quad (1)$$

$$Ri + \frac{t}{\tau - t} Ri + L \frac{di}{dt} = E \quad (2)$$

위의 式에서 $T = \frac{L}{R}$, $I = \frac{E}{R}$ 라고 하면

$$\frac{di}{dt} + \frac{\tau}{T(\tau - t)} i = \frac{I}{T} \quad (3)$$

(3)式을 풀면

開放時 開閉器에 흐르는 電流 i(t)는

$$i(t) = \frac{I}{\tau - T} \left[(\tau - t) - \tau \left(\frac{\tau - t}{\tau} \right)^{\frac{\tau}{T}} \right] \quad (4)$$

開放時 接點에 걸리는 端子電壓은

$$V(t) = \frac{E \cdot t}{\tau - T} \left[1 - \frac{\tau(\tau - t)^{\frac{\tau - T}{T}}}{\tau^{\frac{\tau}{T}}} \right] \quad (5)$$

② 電源이 交流인 경우

交流電源을 加하고 開閉器를 開放할 경우 개폐기 S를 通해서 흐르는 電流와 端子間에 걸리는 電壓에 對

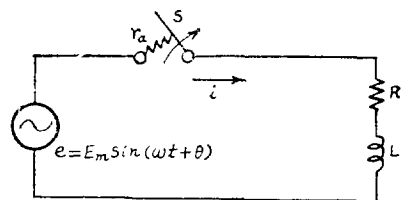


그림 3. 電源이 交流인 경우
Fig. 3. A.C. Source

해 풀이하면 다음과 같다.

$$Ri + r_a(t)i + L \frac{di}{dt} = E_m \sin(\omega t + \theta) \quad (6)$$

$$Ri + \frac{t}{\tau - t} Ri + L \frac{di}{dt} = E_m \sin(\omega t + \theta) \quad (6')$$

$T = \frac{L}{R}$ 이라 놓으면

$$\frac{di}{dt} + \frac{\tau}{T(\tau - t)} i = \frac{E_m}{L} \sin(\omega t + \theta) \quad (7)$$

(7)式을 풀면

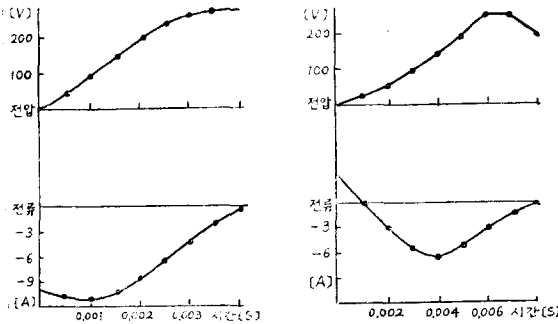
開放時 開閉기에 흐르는 電流 $i(t)$ 는

$$i(t) = (\tau - t)^{\frac{\tau}{T}} \left[\frac{E_m}{L} \int_0^t \sin(\omega t + \theta) (\tau - t)^{-\frac{\tau}{T}} dt \right] + \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \sin(\theta - \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}) \quad (8)$$

開放時 開閉기에 걸리는 端子電壓은

$$V(t) = i(t) \frac{t}{\tau - t} R \dots \quad (9)$$

(8)式的 $i(t)$ 와 (9)式의 $v(t)$ 를 그림 6의 負荷條件에 對해서 電子計等機를 利用하여(Hamming's modified prediction correction method를 使用함) 풀면 그림 4와 같다.



(a) 차단시간 $\tau = \frac{1}{240}$ [S] (b) 차단시간 $\tau = \frac{1}{100}$ [S]

그림 4. 電壓 電流 特性

Fig. 4. The Characteristics of Voltage and current

(2) Triac을 接續하였을 때

Triac을 主接點과 並列로 接續하고 負荷를 開放하는 경우에는 接點간의 電壓이 上昇하게 된다. 이 電壓

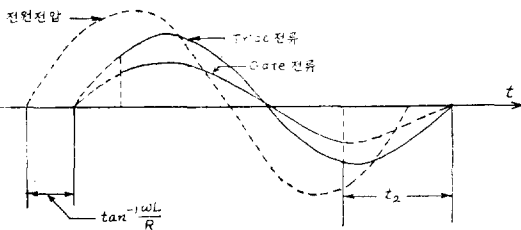


그림 5. Triac을 通過 흐르는 電流

Fig. 5. Triac Currents

이 作動電壓에 到達하는 순간부터 Triac은 도통을 개시한다. 따라서 主接點에는 전혀 電流가 흐르지 않는 關係로 Arc 發生을 야기치 않는다.

그리고 gate는 Triac을 도통케 한 다음 開放되어 있으므로 Triac에 흐르는 電流가 減少하여 維持電流以下로 되면 turn off 된다. 게이트 개방순간부터 Triac 電流가 켜지기까지의 期間은 그림 5에서 t_2 이고 이 때 흐르는 電流 $i(t)$ 는 電源電壓을 $e(t) = E_m \sin(\omega t + \theta)$ 라고 할 때

$$i(t) = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \sin(\omega t + \theta - \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}) \text{이다.}$$

4. 製 作

設計한 電磁開閉器의 性能을 實驗하기 爲하여 電磁開閉器(유니온전기주식회사 제작, TYPE S-18, 200V, 20A)에 Triac(MA37-6 400V, 25A)을 並列로 接續하였으며 보조계전기(금성제전기주식회사, A-3F 교류조작 接點구성 5a, 3b)等을 그림 1의 回路와 같이 組合하였다. (그림 6)

그리고 實驗에 使用한 誘導負荷의 定數는 다음과 같다.

〈負荷條件〉

純抵抗 $R = 16[\Omega]$

리액턴스 抵抗 $X = 16[\Omega]$

位相角 $\phi = \tan^{-1} \frac{X}{R} = 45^\circ$

電源電壓 $E = 200[V]$



그림 6. 實驗裝置

Fig. 6. Experimental Apparatus

5. 實 驗

그림 6의 實驗裝置를 使用하여서 開放時間을 測定하였다. 그리고 Triac 없이 負荷를 開閉할 때와 Triac을 併用하고 開閉할 때의 두 경우에 對해서 負荷電流, 開放端子電壓, Triac의 電流, gate에 흐르는 電流 特性 等을 Dual Beam Oscilloscope로 測定比較하였으

며 實驗結果는 다음과 같다.

(1) 開放時間 測定

電磁開閉器 接點의 開放時間 測定은 誘導負荷를 진 狀態에서 開放時 나타나는 端子電壓으로부터 測定하였다. 接點이 開放되기 前에는 接點間에 걸리는 電壓은 零이었으나 接點이 열리면서 接點間의 電壓도 上昇하고 불꽃이 發生한다. 完全히 開放된 後에는 電源電壓이 接點間에 걸리게 된다. (그림 7)

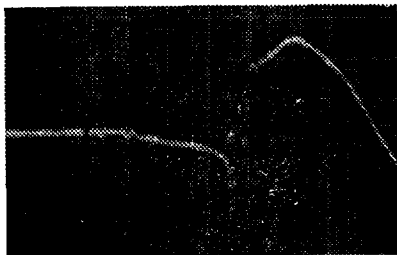


그림 7. 接點間의 電壓

Fig. 7. Voltage across the contactors of the magnetic switch

그림 7에서 ab간의 時間이 開放時間이 된다. 또한 b點 이후는 接點間에 電源電壓이 걸리고 있는 상태를 나타낸다.

따라서 開放時間 τ 는 1구간이 2[ms]이므로

$\tau = 4 \times 2[\text{ms}] = 8[\text{ms}] = 0.008[\text{s}]$ 가 되어 接點은 半 cycle의 時間도 안 되어 開放된다.

(2) 開閉器 端子電壓 및 負荷電流 測定

電磁開閉器 接點間에 걸리는 電壓과 電流를 Triac을 使用치 않은 경우와 使用하는 경우에 對해서 測定하였다.

1) Triac을 使用하지 않은 경우

電磁開閉器의 接點이 開放되면서 接點양단의 電壓은 上昇하고 Arc가 發生하며 그 순간 端子에 흐르는 電流는 減少하고 完全히 開放되고 나면 負荷電流는 흐르

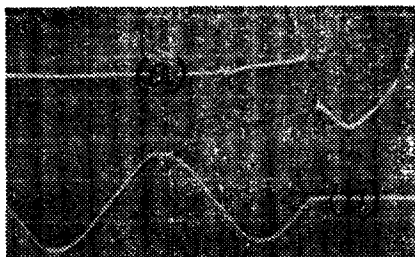


그림 8. (a) 接點의 端子電壓
(b) 端子에 흐르는 電流

Fig. 8. (a) Voltage across the contactors.
(b) Current through the contactors.

지 않게 된다. 그림 8은 이 때의 端子電壓과 端子에 흐르는 電流를 나타낸 것으로 (8)式的 $i(t)$ 와 (9)式的 $v(t)$ 를 電子計算機로 解析한 그림 4와 근사한 電壓 電流 波形을 나타내고 있다.

2) Triac를 併用하는 경우

電磁開閉器에 Triac을 並列로 接續하고 여러가지 特性을 測定한 結果는 다음과 같다.

① 電磁開閉器 接點間의 端子電壓과 負荷電流 特性

電磁開閉器와 Triac을 併用할 때 起動時의 開閉器 接點間의 端子電壓은 그림 9(a)와 같고 이 때의 負荷電流는 그림 9(b)와 같으며 Triac에 우선 電流가 흐른 다음 開閉器 接點이 닫혀지고 이 接點을 通해서 電流가 흐른다.

開閉器 차단時에는 開閉器 接點間의 端子電壓은 그림 10(a)와 같고 이 때의 負荷電流는 그림 10(b)와 같으며 接點이 開放되는 순간 接點을 通해서 흐르던 電流가 Triac 側으로 通해서 흐르고 接點이 完全히 開放된 後에 게이트 電流의 차단으로 Triac 電流가 0이 될때 turn off 된다.

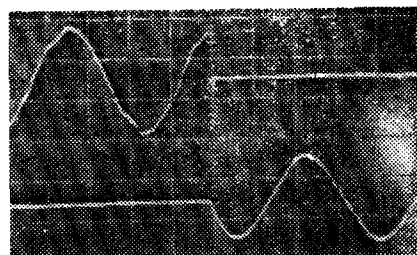


그림 9. 閉路時

(a) 接點間의 端子電壓
(b) 負荷電流

Fig. 9. Closing the contactors

(a) Voltage across the contactors
(b) Current through the contactors

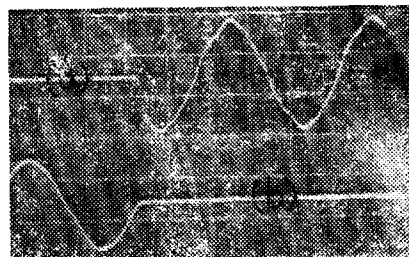


그림 10. 開放時

(a) 接點間의 端子電壓
(b) 負荷電流

Fig. 10. Opening the contactors

(a) Voltage across the contactors
(b) Current through the contactors

따라서 그림 7에서 나타났던 것과 같은 Arc는 발생하지 않는다.

② 開閉器 端子電壓과 Triac電流

起動時(閉路時)의 接點間의 端子電壓은 그림 11(a)와 같고 Triac에 흐르는 電流는 그림 11(b)와 같으며 이 그림에 나타난 것은 Triac에 微少抵抗을 直列로 연결하고 이 때의 接點間의 端子電壓과 Triac에 흐르는 電流를 測定한 것이다. 그림에서 개폐기 接點이 닫혀진 후에는 Triac에 흐르는 電流도 零으로 減少하였다

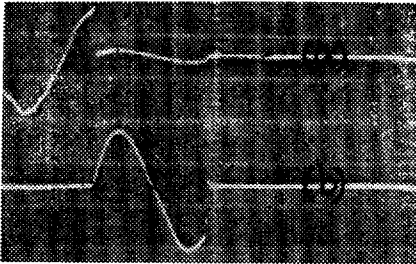


그림 11. 閉路時
(a) 接點間의 端子電壓
(b) Triac 電流

Fig. 11. Closing the switch
(a) Voltage across the contactors
(b) Current through triac

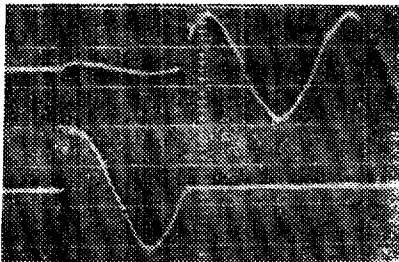


그림 12. 開放時
(a) 接點間의 端子電壓
(b) Triac 電流

Fig. 12. Opening the switch
(a) Voltage across the contactors
(b) Current through triac

開閉器 接點을 開放할 때 接點間의 端子電壓은 그림 12(a)와 같고 이 때 트라이액에 흐르는 電流는 그림 12(b)와 같으며 接點이 開放되는 過程에서 Triac에 導通電壓 以上이 걸리면 Triac이 導通이 되어 Triac을 通하여 負荷電流가 흐른다. 다음에 Gate회로가 開放되면 Triac電流는 零이 될 때까지 흐르고 接點 兩端子間은 開放狀態가 되어 電源電壓이 걸리게 된다.

③ 開閉器 接點의 端子電壓과 gate電流

開閉器 接點閉路時 gate 電流의 變化狀態와 開閉器

接點에 걸리는 端子電壓과 그 순간 gate에 흐르는 電流는 그림 13과 같으며 閉路되는 순간 gate에 電流가 흘러 Triac이 導通되고 接點이 完全히 닫혀진 後 Triac 電流도 흐르지 않게 된다.

開放時에는 接點이 열려 그림 14와 같이 端子電壓이 上昇하고 gate電流가 흘러 Triac이 도통되어 Triac으로 電流가 흐르는 도중 接點이 完全히 열리고 gate 電流의 中斷으로 Triac 電流도 흐르지 않게 된다.

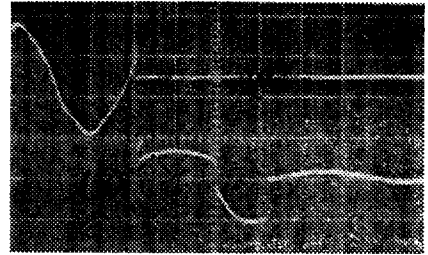


그림 13. 閉路時
(a) 接點間의 端子電壓
(b) gate 전류

Fig. 13. Closing the switch
(a) Voltage across the contactors
(b) Current through gate

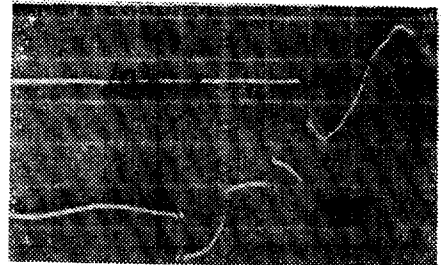


그림 14. 開放時
(a) 接點의 端子電壓
(b) gate 電流

Fig. 14. Opening the switch
(a) Voltage across the contactors
(b) Current through gate

④ Triac 電流와 gate 電流

電磁開閉器를 閉路할 때 개폐기의 接點과 並列로 연결된 Triac에서의 電流 變化狀態는 다음과 같다. 그림 15(a)는 그림 15(b)의 gate電流 變化에 따른 Triac 電流를 나타내고 있으며 게이트 電流에 의해 Triac이 도통된다. 接點이 完全히 닫혀지고 나면 Triac에 電壓이 걸리지 않으므로 Triac電流 및 gate電流는 零이 된다.

電磁開閉器 接點이 開放될 때는 Triac에 흐르는 電流는 그림 16(a)와 같고 gate에 흐르는 電流는 그림

16(b)와 같다. 接點이 開放되면서 Triac에 電壓이 걸리게 되던 gate電流가 흐르고 그 순간 Triac에도 電流가 흐르게 된다. 다음에 接點이 完全히 開放되면서 게이트 回路의 보조계전기 接點도 開放되므로 gate電流가 차단된다. Triac電流는 게이트電流가 끊어진 後 負荷電流가 零이 되는 期間까지 흐르고 中止하게 된다

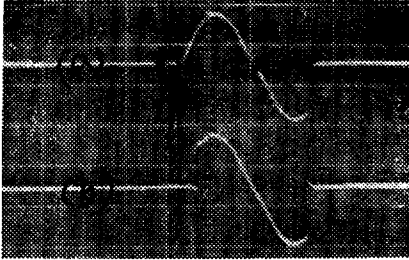


그림 15. 閉路時

- (a) Triac 전류
(b) Gate 전류

Fig. 15. Closing the switch

- (a) Triac current
(b) Gate current

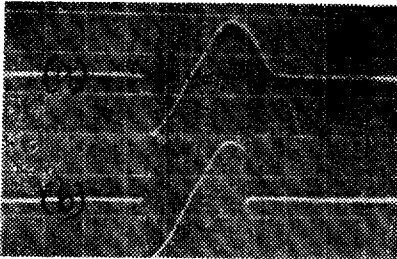


그림 16. 開放時

- (a) Triac 전류
(b) Gate 전류

Fig. 16. Opening the switch

- (a) Triac current
(b) Gate current

6. 結 論

本 研究는 電磁開閉器의 계측 도중 接點에서 發生하

는 Arc를 Triac을 組合함으로써 除去케 하는 電磁開閉器를 設計하였다.

電磁開閉器의 接點에 並列로 Triac을 連結하고 開閉時에는 電流가 電磁開閉器의 接點을 통해서 흐르는 代身에 Triac을 통해서 흐르게 함으로써 接點에서 發生하는 불꽃이 除去되게끔 設計, 製作한 것으로서 實驗한 結果는 다음과 같다.

(1) 이 電磁開閉器의 開放時間은 1cycle 이내로서 0.008秒 정도였으며 Triac을 使用하지 않을 때는 大部分의 開放期間동안 接點에서 Arc가 계속 發生하였다. (그림 7)

(2) Triac은 10[V]정도에서 도통이 되고 電磁開閉器가 開放되는 大部分의 期間동안 電流는 Triac을 거쳐 Bypass되었다. (그림 12)

(3) 電磁開閉器의 閉路期間中 Triac에 걸리는 電壓은 零이었다.

(4) 開放時 트라이악을 흐르는 電流는 開放기간중 1cycle간만 흐르고 개방이 完了되었다. (그림 16)

(5) Triac의 併用으로 인한 Arc 除去는 앞으로 使用빈도가 많은 전자계폐기의 接點 保護 및 수명 延長에 크게 이바지할 것으로 본다.

謝 意

本 研究에 있어 많은 技術 協助을 하여주신 東西 콘트롤 株式會社 代表 崔翺鉉 氏께 감사를 드린다.

參 考 文 獻

- (1) 元鍾洙著, 最新電氣設備(上), 敎文社 1974年, p. 200~p. 203
- (2) サイリスタ・エレクトロクロス 編集委員會編, サイリスタ 回路, 丸善株式會社 1974年 p. 3~p. 13
- (3) 金炳昱譯 General Electric Company 編 SCR manual, 라디오 기술사 1974年, p. 143~p. 151
- (4) 朴旻鎬著 電力電子工學