

補助接點에 의한 遮斷器의 arc抑制에 관한 研究

盧 彰 注*

A Study on the Arc Suppressing Method of Switch Gear
Using Auxiliary Contactor

C. J. Noh

Abstract

The Author researched and published its results on how effectively the arcs are suppressed when the contactors are opened at current zero point which indispensably exists in AC circuits. In order to increase the effectiveness of suppressing the arcs in larger current, the author suggests a new suppressing method using auxiliary contactor which contains resistance which is connected in parallel with main contactor.

The author's firm belief is that the arcs are suppressed remarkably, but there are several problems, especially how to determine the optimal resistance connected in series with auxiliary contactor.

1. 序 論

電氣工作物中 상당히 큰 비중을 차지하고 있는 것이 遮斷器이다. 이것에 關해서는 오래 전부터 研究開發이 되어 왔고 最近에는 Molton Antler氏 등은 耐熱性이 있고 接觸抵抗이 적은 接點材料의 開發에 노력하고 있으며³⁾ D. J. Mapps氏 등은 電流의 크기등이 arc電壓에 미치는 영향에 대한 實驗式을 提示하였고⁴⁾ 그의 電極의 構造에 關한 것 등^{5,6)} 多樣하게 研究되고 있다.

그러나 遮斷器에서 아아크 억제가 가장 重要하고 선중히 다루어지고 있거니와 이것으로 거의 遮斷器의 容量이 定해지고 있다. 壓縮空氣로서 아아크를 불거나 磁力으로 消弧하거나 아니

면 油入型을 이용하기도 한다. 最近에는 特殊 gas를 이용하거나 진공속에 遮斷하는 方法도 개발하고 있으나 이런 것들은 全部 大容量의 것이고 현재 사용되고 있는 小形遮斷器는 無條件 任意點에서 끊고 이때 發生하는 arc를 강제로 끄거나 arc에 견디는 材質을 개발하는 方法을 채택하고 있거나 電極의 모양을 개량하여 arc가 最少가 되도록 노력하고 있다.

주로 船舶등에 사용되는 低壓 遮斷器 類에 속하는 것으로서 電磁力 또는 기타의 方法으로 接點을 끊을 때 交流에서는 필연적으로 存在하는 電流零點 근방에서 接點을 끊어지게 하면 arc가 억제될 수 있음은 이미 研究¹⁾ 발표되었고 本論文中에서 연구하는 내용과 範圍는 遮斷器의 容量이 더 커질 경우에도 아아크가 확실히 억제되기

* 正會員, 韓國海洋大學

위해 抵抗이 挿入된 補助接點을 이용하여 並列로 된 두 接點회로를 만들어 두고 먼저 電流零點에서 主接點이 떨어지게 하고 다시 그 다음 週期の 零點에서 補助接點이 떨어지게 하는 原理이다.

또한 研究方法으로는 負荷電流는 熔接器의 大電流와 水抵抗에 흐르는 大電流를 電流零點을 檢出하는 電子回路를 利用하여 遮斷時期를 調節하여 아아크가 最少가 되는 點을 찾아 遮斷하기로 하였다.

研究 結果로서는 補助接點回路에 挿入된 저항의 크기가 큰 영향을 미치고 있음을 알았고 이것을 調整한 값으로 조절되면 700V 정도의 전압에 50A 정도는 아아크 없이 차단할 수 있음을 확인할 수 있었다.

2. 理 論^{2,7,8,11)}

arc의 發生 mechanism이 電流零點에 遮斷되기 위해서는 어떤 方法으로 電子回路를 構成하는가는 이미 研究¹⁾된 바가 있으므로 여기서는 오직 主接點과 補助接點과의 關係와 이 두 接點을 制御하는 電子回路에 對해서 論하기로 한다.

本 研究에 關聯된 主·補助接點 回路를 利用한 遮斷回路는 Fig.1과 같다.

一般的인 경우로서 負荷가 R_1 과 L_1 으로 構成

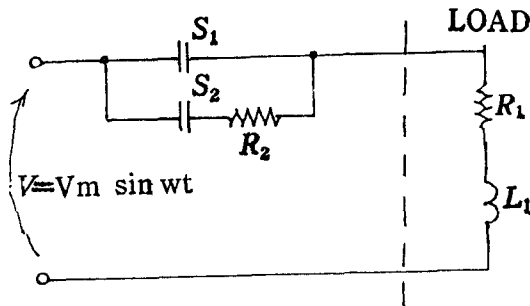


Fig 1. Brake circuit of main and auxiliary contactors.

되고 正弦波電壓이 印加되었을 경우 定常的인 負荷電流는

$$I_1 = \frac{V_m}{Z_1} \sin(\omega t - \alpha_1) \quad (1)$$

(여기서 $Z_1 = \sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}$, $\alpha_1 = \tan^{-1} \frac{\omega L_1}{R_1}$ 이다)

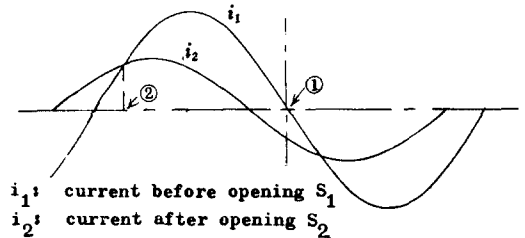
인 電流가 흐르고 있다. 이러던 중 任意瞬間 S_1 이 開放되면 S_1 에 흐르고 있던 電流는 急速히 減少되고 대신 電流가 흐르고 있지 않던 S_2 회로로 電流가 흐르게 되고 이때 電流式은

$$v = L_1 \frac{di}{dt} + (R_1 + R_2)i \text{의 微分解로서}$$

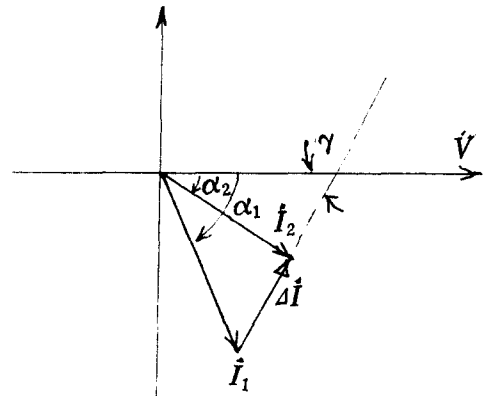
$$i_2 = V_m / Z_2 \sin(\omega t - \alpha) + A_r \exp\left(-\frac{R_1 + R_2}{L_1}(t - t_0)\right) \quad (2)$$

(단, $Z_2 = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (\omega L_1)^2}$, A_r ; 主接點 S_1 에서 S_2 로 電流轉流될때의 過渡初期值, t_0 ; 接點 S_1 이 끊어지는 時間)

式(2)로 表示되고 과도전류기간이 무척 짧고, 그림으로 나타내기 힘들므로 이는 無視하고 定常電流가 S_1 回路에서 S_2 回路로 轉流할때의 파형과 Phasor diagram을 나타낸 것이 Fig.2이다.



(a) Wave form of i_1, i_2



(b) Phasor diagram of I_1, I_2

Fig 2. Current shift according to opening S_1

그림에서 보면 짧은 時間內的 電류크기와 位相角이 변하고 있음을 보이고 있다. 轉流中 過渡電流의 最大值 A_r 를 位相值로 表示하면,

$$A_r = (\Delta I) \cdot \sin(\omega t_0 + r) \quad (3)$$

$$\Delta I = V_m \sqrt{\frac{1}{Z_1^2} + \frac{1}{Z_2^2} - \frac{2}{Z_1 Z_2} \cos(\alpha_1 - \alpha_2)} \quad (4)$$

$$r = \sin^{-1} \frac{\frac{1}{Z_1} \sin(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sqrt{\frac{1}{Z_1^2} + \frac{1}{Z_2^2} - \frac{2}{Z_1 Z_2} \cos(\alpha_1 - \alpha_2)}} \quad (5)$$

와 같이되고 정상전류 遮斷에 의한 아아크는 생각하지 않고 過渡電流에 의한 아아크만 考慮해 본다면 A_1 의 크기가 主接點이 떨어지는 瞬間 兩極面에 걸리는 전압의 크기($A_1 \cdot R_2$)와 깊이 관계하고 이 값이 主接點間의 絶緣破壞 電壓보다 크면 아아크가 發生하고 그렇지 못하면 아아크는 일어나지 않는다. 따라서 主接點의 開放時 과도전류에 의한 아아크를 억제하려면 가능한 A_1 를 적게 하는것이 중요하다.

A_1 를 관찰해보면 絶對値와 位相角에 따라 變함을 알수있고 絶對値를 줄이기 위해 R_2 를 적게하여 I_2 와 I_1 의 差가 적어지게 하거나 接點開放時刻(t_0)를 잘 선정하여 $\omega t_0 + r = n\pi$ 에서 끊어지도록 하면 된다. 그런데 前者의 方法은 R_2 를 적게하면 補助接點 사용 意義가 없어질뿐만 아니라 오히려 補助接點 開放時 아아크가 크게 일어나므로 무작정 R_2 를 적게할 수도 없다. 後者의 方法은 Fig. 2에서 ②點에서 끊는다는 뜻이고 이때는 A_1 는 零이되어 過渡電流에 의한 아아크는 없지만 주정상전류가 많이 흐르고 있으므로 主電流아아크가 크게 발생하게 되니 이點 역시 좋지 못하다.

主電流와 過渡電流에 의한 重疊아아크가 最少가 되는 點은 主電流零點 근방에서 主接點의 機械的 構成과 特性 그리고 主電流零點(絶緣物 상태)에 맞추어 적은 적은 범위내에서 적당한 R_2 를 찾아내어야 한다. 물론 이때 補助接點開放時 最小 아아크가 유지된 상태임을 상기하고 있어야 한다.

원래 아아크는 여러가지 조건에 영향을 받고, 이 해석방법이 해명되지 않은 상태에서 R_2 를 구하는 方法을 理論的으로 해석하는 方法은 너무나 무리한 것으로 예측되어 이에 대해서 필자는 시도하지 않았고 主電流차단에 의한 아아크량(Q_1)과 過渡電流 A_1 에 의한 아아크량(Q_2)의 합이 최소가 되도록 찾아내는 기술이 되겠다.

3. 實 驗

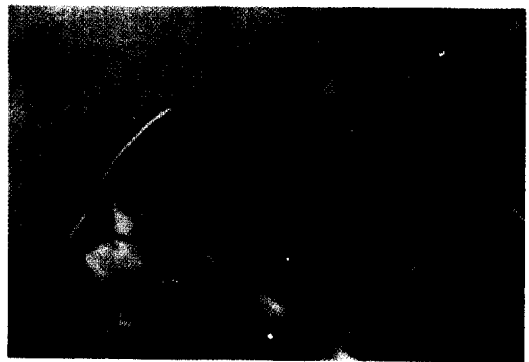
3.1. 實驗裝置概況

Fig. 1에 주어진 내용과 같은 遮斷回路가 이뤄지도록 두개의 電磁開閉器를 마련하고 소형의 것에 저항 R_2 를 挿入하였다.

接點開閉는 直流勵磁 Coil의 ON-OFF에 의하고 接點開閉時 發生하는 아아크를 檢出하기 위해 接點에 인접한 곳에 Photo-transistor를 設置하여 아아크가 發生하면 이때 發生한 arc에 의한 電壓이 증폭되어 Sweeping되고 있는 oscilloscope에 Vertical신호로 들어 가도록 하였다.



(a)



(b)

(a) General view
(b) Main contactors and arc detecting devices.

Fig 3. General view of experimental devices.

接點이 닫힐때는 아아크가 조금 발생하지만 그것은 문제될 것이 아니고 떨어질 때 심하게 일어나므로 이때만 연구할 필요가 생긴다.

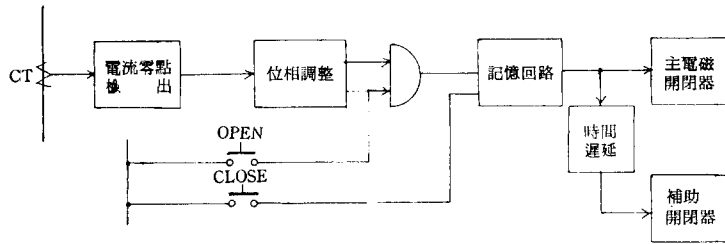


Fig. 4. Block diagram of electronic circuit of control devices.

Table 1. 實驗에 使用된 電磁開閉器 諸元

主電磁開閉器	交流 熔接器	
max rating	1차 입력	24KVA
500~550V	2차 전류	250A
30kw, 66A	전류조정범위 30~250A	
補助電磁開閉器	2차 무부하전압	80V
500V, 19A		

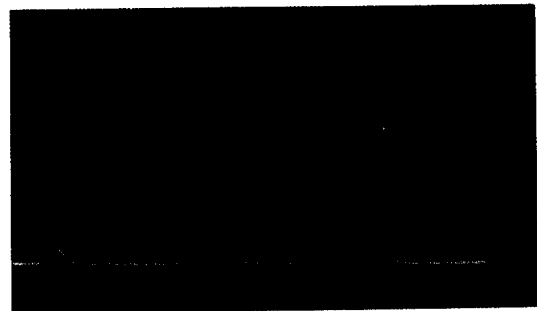
필자가 설계 제작한 電子回路(부록 參照)를 이용하여 투입신호를 넣으면 이때는 特別한 과정을 거치지 않고 主·補助 두 勵磁코일이 여자되어 接點이 閉하고 차단신호를 넣으면 전류零點을 찾아내는 同期신호를 基準으로 하여 任意時間調整回路出力과 차단신호가 AND가 될때 主Coil을 消磁시키면 主接點은 電流零點에서 接點이 閉하고 다음 1/2주기 후에는 補助接點이 떨어지도록 時間差를 만들어 내는 遲延回路를 만들어 두었다.

3.2. 實驗方法

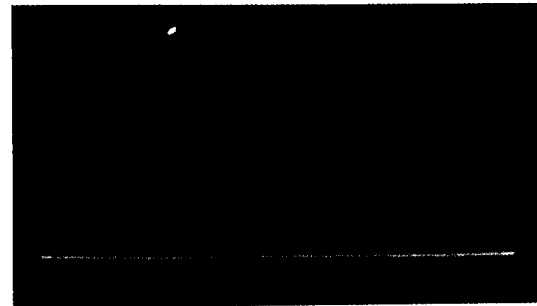
筆者가 保有하고 있는 實驗設備에 制限을 받기 때문에 低電壓, 大電流의 경우와 高電壓, 小電流 두가지로 나누어 實驗하였다.

前者인 경우에는 交流熔接器를 이용하여 二次側을 遮斷器로써 短絡 開放할때 大電流가 차단되므로 이때 發生하는 아아크가 어느정도 억제되는가를 觀測하였다. 遮斷電流는 150A程度에 電壓 70V전후, 力率은 0.4程度였다.

後者인 경우 3개의 220V의 變壓器 出力電壓을 直列로 接續하여 660V를 만들고 두 電極을 水槽에 담고 電流의 크기는 소금의 量으로 조절하여 20A정도의 電流를 遮斷하였다.



(a)



(b)

(a) Unadjusted condition
(b) Optimally adjusted condition

Fig. 5. Observed arcs with oscilloscope

사진을 oscilloscope에서 촬영한 것이다. Sweep를 천천히 시키면서 接點이 떨어질 때 photoresistor에서 檢出된 arc에 의한 電壓은 增幅되어 Vertical信號로 들어 가도록 하였기 때문에 接點이 떨어질 때 beam이 위로 치솟도록 되어 있다. 위 사진에서 관찰할 때 零點調整이 된 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하기 쉽도록 배치하였다.

4. 實驗結果 檢討

開閉器의 코일에 消磁信號가 들어간 후 電磁

的인 遲延時間과 機械的인 遲延時間이 지난 후 接點이 떨어질 때 까지의 시간(T_0)은 거의 일정하고 電源周波數 半周期($T/2$)의 數倍 以上이 되므로 任意時間에 遮斷信號를 넣더라도 반복되는 電流零點과 同期化되는 순간 接點이 떨어지게 할수 있을 뿐만 아니라 조정도 가능하도록 되어 있기 때문에 현저히 主·補 두 接點에서 發生하는 아아크를 조절할 수 있었다.

主·補 두 接點에서 가장 微小한 아아크가 發生하도록 最適 調節된 상태에서 補助接點과 直列로 들어가는 저항 R_2 를 크게 할수록 主接點에서 아아크가 크게 일어나고, 반면에 補助接點에는 아아크가 적어지는 이론적인 결과와 일치하고 있음을 알 수 있다.

R_2 를 크게 할수록 전류의 絕對值 變化가 커질 뿐만 아니라 位相角 shift가 커지므로 A_1 가 당연히 커지고, 이로 인한 主接點 兩極에 發生하는 전압이 높아지기 때문이다.

저항을 적게 할 때는 아아크 變化가 현저하게 나타나지 않으나 補助接點에 아아크가 커짐을 관찰할 수 있었다.

Fig. 6은 계속적으로 補助接點의 아아크가 最少로 유지하면서 R_2 를 변화시킬때 主接點의 아아크 변화를 나타낸 것이고 本實驗裝置에서는 5Ω 전후가 적당함을 알수 있으나 負荷回路條件에 따라 이 값도 달라져야 할 것이다. 이 값 결정법이 理論的으로 解析될수 있으면 좋겠으나 그렇지 못한점이 심히 불만스러우나 尙後 계속 연구하기로 한다.

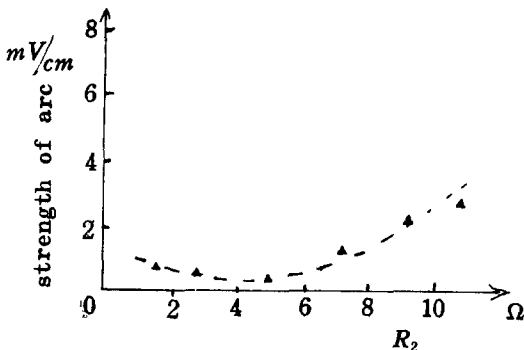


Fig. 6. Variation of arcs according to variation of resistance R_2 which is inserted on auxiliary contactors.

5. 結 論

이상과 같이 電流零點을 利用하여 차단하되 補助接點을 利用할 경우의 理論과 實驗을 거쳐 研究된 바를 要約하여 結論으로 집약하면 다음과 같이 된다.

(1) 電流零點을 이용하여 接點을 開放하면 아아크를 抑制시킬 수 있고 補助接點을 이용하면 遮斷容量을 훨씬 증가시킬 수 있고 그 효과도 크다.

(2) 補助接點회로에 포함된 저항의 값이 主接點開放時 아아크 發生에 큰 영향을 미치고 있고 저항값이 증가할수록 主接點 開放時 아아크가 많이 발생하므로 補助接點의 効果가 없어지고 저항을 감소시킬수록 主接點에서 arc는 적게 일어나고 그대신 補助接點에서 arc는 크게 일어난다. 本實驗에서는 5Ω 전후가 적당하였다.

(3) 主接點과 補助接點의 勵磁코일의 電氣的 時定數가 같도록 해야 한다. 差가 클 때는 이것을 調整하는 回路가 필요하고 조정법이 까다로우므로 간단하게 最適點을 찾아내는 方法이 개발되어야 한다.

(4) 實驗에 이용된 接點의 運動機構가 sliding形이고 機構上 精密하지 않아 운동중 裕隔이 있기 때문에 接點開閉時間이 경우에 따라 어긋나는 경우가 간혹 발생하는데 이를 없애려면 hinge形내지 精密한 形態로 改造한다면 例外的인 경우 없이 아아크를 抑制시킬 수 있다.

(5) 現在 實驗裝置가 충분치 못해 高壓까지는 할 수 없으나 船用的 440V 정도의 低壓遮斷器에 이를 適用한다면 거의 아아크가 없는 遮斷器를 만들수 있는 可能性이 었보였다.

본 실험은 單極으로 實驗하였으나 앞으로는 單極이 아닌 3極으로써 主接點은 實際 遮斷器가 되고 補助接點은 3개의 電磁開閉器로서 大電流를 遮斷해 보는 實際研究課題가 남아 있다.

參 考 文 獻

- 1) 盧彰注, 洪淳一, 鄭承煥: 電磁開閉器의 arc抑制方案에 관한 研究, 韓國船用機關學會誌, 第七卷, 第一號. 1983, pp. 40~48.

- 2) KISHIO ARITA: "Eutetic Silver-silver-silicon Internally Oxidized contacts", IEEE Trans on Component Hybrids and Manufacturing Technology, Vol, CHMT 4, No. 1, 1981.
- 3) MOLTON ANTLER: Connector Contact Materials; Effect of Gold Electrodeposits", IEEE Trans Components, Hybrids and Manufacturing Technology Vol, CHMT 4, No. 4, December, 1981.
- 4) D.J MAPPS and P.J WHITE: "Performance Characteristics of Snap action Switches with Silver-Cadmium-Oxide contacts", IEEE Trans on components Hybrids and manufacturing Technology, CHMT 4. No. 1, Mar. 1981.
- 5) JOHM L. HAYU: "Contact Design for Air Break AC motor Starters", IEEE Trans on Industry Application, Vol, 1A-17, No. 4, July/August, 1981.
- 6) R. HOL M: "Electric Contacts", 4th ed New York Springer, 1967.
- 7) S.B. Dewan and A. Straughen: "Power semiconductor circuits", p. 85.
- 8) SYED A. NASAR: "Electric machines and Electromechanics", p. 44.
- 9) C. J. NOH, I. R. Smith: "Chattering conditions in electromagnetic contactor", IEE proc, Vol. 127 p. B No. 5. Sep. 1980.
- 10) 朴淳烈, 盧彰注: "船用電磁開閉器의 chattering 防止를 위한 性能改善에 관한 研究", 釜山工專大 論文集, 第22輯, No. 1, 1981, 12.
- 11) 日本國 電氣學會: 遮斷器, 開閉器, 10th ed, 1982. 8 p. 87.

부록. 接點開放制御電子回路

