

SCR에 의한 直流回路遮斷器의 過負荷遮斷特性改善

朴 正 后*

A Study on DC Circuit Breaker using SCR

Chung Hoo PARK*

Abstract

A SCR static breaker was studied on the Resistive and inductive load, then on the overload break circuit using operational Amplifier.

In this paper, the principal circuit required for forced commutation was voltage commutation by the introduction of a parallel Capacitor.

The results obtained are follows;

1. In the condition that the time constant of R-C circuit is larger than the turn off time of SCR, the breaker has low transient phenomena and no recovery volage.
2. By using OP Amplifier on the load circuit, overcurrent trip point will be able to adjust to the wide range of over current.
3. In the over current circuit, the power loss was reduced remarkably.

緒 論

중래의 遮斷器는 負荷遮斷時 아크를 發生하고 이로인하여 高速遮斷이 어려웠으며 使用빈도에 따라 마모가 심하여 그 使用에 많은 限界點이 주어졌으나 半導體素子에 의한 方式은 이러한 缺點을 제거할 수가 있다. 特히 SCR에 의한 交流遮斷은 半週期마다 零點을 通過하므로 遮斷方法이 쉽지만 直流回路의 負荷遮斷은 強制轉流 및 特別한 方法에 의해서만 가능하게 된다.

본 研究에서는 直流回路에서 負荷로써 純抵抗負荷 및 誘導性負荷를 가졌을 경우 遮斷動作을 완전히 행할 수 있는 遮斷回路의 모색과 임의 過負荷에 대하여 自動적으로 負荷 SCR을 Turn off 시킬 수 있는 간단한 方法을 提案하였다. 特히 OP Amp를 利用한 過負荷檢出을 행함으로써 임의 過負荷에 對한 Trip 點 設定을 쉽게 행할 수 있고 檢出回路의 損失을 극소로 수 있게 하였다.

實驗裝置 및 方法

遮斷되는 SCR의 에너지를 轉流하는 方法은 여러 가지가 있으나 本 실험에서는 負荷變動에 대한 回路

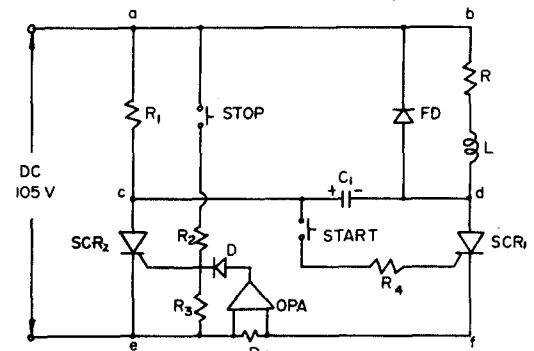


Fig. 1. DC Circuit Breaker using SCR
 R₁: 2KΩ FD: Free wheeling diode
 R₂: 2KΩ SCR₁ SCR₂: 21RC80
 R₃: 200Ω C₁: 3μF
 R₄: 100Ω
 R₅: 220V 100mV Shunt

*釜山水産大學, National Fisheries University of Busan.

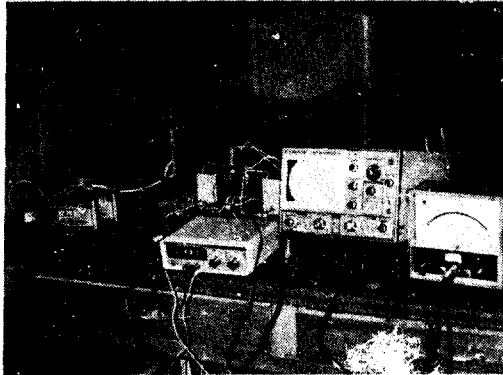


Fig. 2 Experimental Apparatus

設計가 용이하고 간편하며 遮斷이 확실한 콘덴서에 의한 轉流方法을 사용하였으며 遮斷器로써 완전히 構成한 回路는 Fig. 1과 같다. 또한 이의 實驗裝置圖는 Fig. 2와 같다.

主回路의 ON, OFF 方法

負荷回路의 遮斷過程은 다음과 같다.

Fig. 1에서 알수있듯이 直流電源이 供給된 상태에서 START를 動作시키면 SCR₁이 턴·온 되고 a-b-d-f-e로 통하여 負荷에 電源이 供給되며 이와 동시에 流轉콘덴서 C₁도 그림에서 表示한것과 같은 極性으로 a-c-d-f로 통하여 充電된다. 이때 充電電壓은 電源電壓과 같이되면 充電이 완료되고 c-d 사이는 OFF 상태와 같이된다. 만일 負荷가 純抵抗뿐이라면 FD의 다이오드는 필요없지만 誘導性負荷인 경우는 START 動作時 인덕탄스 L에 湧起電力이 發生하므로 이 인덕탄스 L에 축적되는 에너지를 방산하기 위해 Free wheeling Diode FD가 필요하게된다. 遮斷時間과 밀접한 관계를 가지고 있는 콘덴서 C₁에 充電되는 時定數는 R₁×C₁에 의해 결정되며 이 값을 줄이기위하여 R₁이나 C₁의 값을 감소시키는 方法을 생각할수 있으나 設計上으로 R₁의 값은 SCR₂의 保持電流以下가 되도록 取해야하며 또한 C₁의 값은 轉流가 완전히 이루어 질수있는 값을 가져야하며 다음과 같이된다.

$$\text{저항負荷時} : C \geq \frac{1.5T_{off} \cdot I}{E} (\mu F) \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{誘導負荷時} : C \geq \frac{T_{off} \cdot I}{E} (\mu F) \dots\dots\dots(2)$$

여기서 T_{off}: SCR의 Turn off 시간
I: 轉流時의 最大負荷電流

E: 直流電源電壓最小值

다음에 STOP을 動作시키면 R₂의 兩端電壓에 의해 SCR₂가 턴·온되며 이순간 C₁의 兩端사이의 電壓은 SCR₁에 逆電壓을 가하게되며 이電壓으로 SCR₁의 電流가 保持電流以下로 되면 SCR₁은 턴·오프하게되고 負荷를 흐르던 電流는 이후 b-d-c-e를 통하여 콘덴서 C₁을 充電하며 充電電壓이 점차증가하여 그림에 나타난 極性과逆方向으로 電源電壓과 同一한 값으로 되면 充電이 완료되고 負荷電流는 零이된다. 이때 a-c-e의 回路로 SCR₂에 供給되는 電流는 R₁의 抵抗值를 SCR₂의 保持電流以下가 되도록 設定하면 SCR₂는 遮斷되게되고 負荷遮斷을 완료하게 된다. 本實驗에서는 以上の 過程을 관찰 하기위하여 SCR₂의 Gate 回路에 順次的으로 gate 信號를 가하여 턴·온되게 하여 오실로스코프로 관찰하였다.

負荷에 따른 回路各部波形考察

a) 純抵抗負荷경우 各部波形

Fig. 1의 SCR₁과 SCR₂의 Gate 回路에 $\frac{1}{120}$ 초의 時間間격을 가진 Gate 信號를 각각 順次로 가하여 波

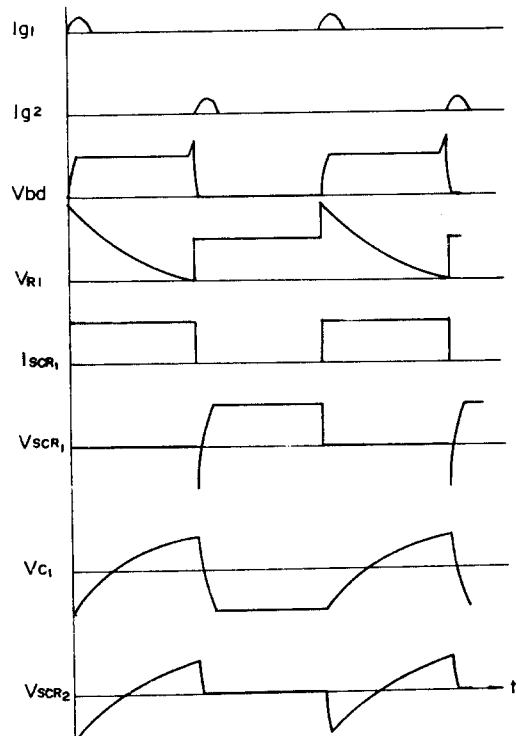


Fig. 3 Circuit Waveform of Resistive Load

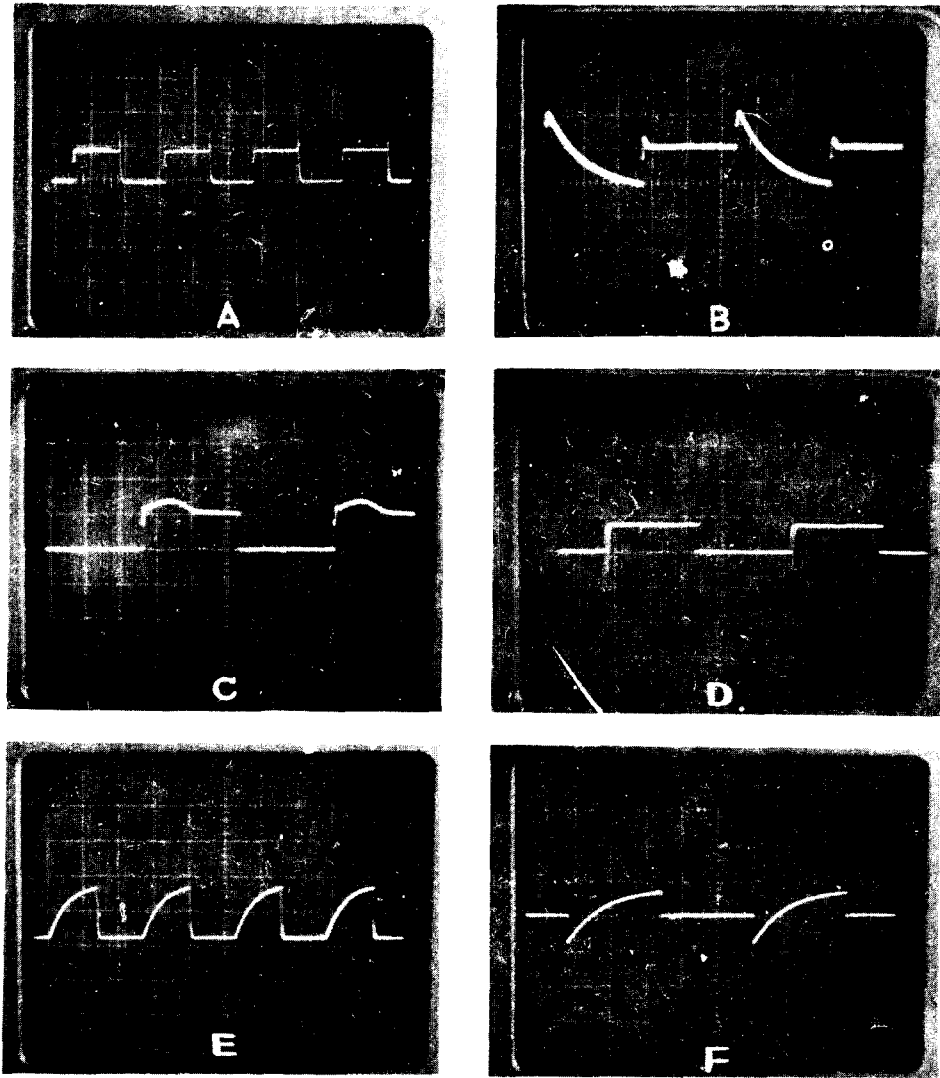


Fig. 4 Circuit Waveform of Resistive Load on Oscilloscope

a: V_{bd} b: V_{R1} c: I_{SCR1} d: V_{SCR1} e: V_{C1} f: V_{SCR2}

형을 관찰한 결과는 Fig. 3과 같으며 Fig. 4는 오실로스코프에서 취한 실제波形이다.

Fig. 3에서 I_{g1}, I_{g2} 는 $SCR_{1,2}$ 의 gate 電流로써 Fig. 2에서 언어진 파형이며 V_{bd} 는 負荷抵抗兩端電壓으로 STOP 信號때 SCR_2 의 순간적인 短絡상태가 되어 과도치를 나타내면서 사라짐을 알수있다.

V_{R1} 은 R_1 을 통해 a-c-d-f로 C_1 이 充電되는 과정을 명백히 알수있는 것으로 콘덴서 C_1 이 充電해감에 따라 전류가 줄어들어 端子電壓은 窄이된다. 그러나 STOP 信號에 의해 SCR_2 가 턴온되면 R_1 양단에는 바로

電源電壓이 가해진다. I_{SCR1} 은 SCR_1 에 흐르는 電流 波形으로써 실제 R_5 의 나타나는 電壓으로 測定된 것으로 V_{bd} 가 존재하는 동안 나타나며 처음시작시의 파형은 gate 入力波形이 첨가된것이다.

한편 V_{SCR1} 은 SCR_1 이 턴온인경우 窄이 되는값으로써 SCR 内部電壓降下가 없음을 나타내고 있으며 STOP 信號가 있을경우 SCR_1 양단은 콘덴서 C_1 양단 전압이 되며 b-d-c-e를 통해 그림에 표시한것과 反對方向으로 充電되며 充電이 완료되면 콘덴서 C_1 의 양단전압측 電源電壓을 나타내게 된다. V_{C1} 은 STA

RT 경우 R_1C_1 의 시정수로 충전되며 STOP의 경우 逆方向으로 충전이 되고있음을 잘나타내고 있다. V_{SCR_2} 는 c-e 사이의 電壓으로 START 동작 경우 SCR_2 는 OFF 상태로써 바로 C_1 電壓이 걸리게되며 STOP의 경우 SCR_2 는 턴오프되어 V_{SCR_2} 는 零이 됨을 알수있다. 以上이 純抵抗負荷인 경우이며 誘導性負荷時는 다음과 같이된다.

b) 誘導性負荷의 경우 回路各部波形

誘導性負荷인 경우는 負荷 ON, OFF의 경우 switching surge 問題를 수반하게 된다. 이 경우 各部電流를 SCR_1 의 ON, OFF 경우를 구별하여 求解하면 다음과 같다.

$t=0$ 에서 SCR_1 이 턴온한 경우 직렬회로 R, L 에 흐르는 전류 i_R 은

$$E = Ri_R + L \frac{di_R}{dt} \dots\dots\dots(3)$$

(3)식을 풀어서

$$i_R = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right) (A) \dots\dots\dots(4)$$

로된다. SCR_1 이 턴·오프 할경우는 R, L, FD 가 직렬로 구성되므로

$$0 = Ri_R + L \frac{di_R}{dt} \dots\dots\dots(5)$$

그러므로

$$i_R = I_0 e^{-\frac{R}{L}t} (A) \dots\dots\dots(6)$$

이 되고 I_0 는 $i_R(0)$ 값이된다. 한편 R_1 에 흐르는 전류는 SCR_1 이 턴온했을 경우 R_1, C_1 이 직렬로 구성되므로

$$E = R_1 i_{R1} + \frac{1}{C_1} \int_0^t i_{R1} dt - e_c(o) \dots\dots\dots(7)$$

이 되고 여기서 $e_c(o)$ 는 콘덴사의 초기전압으로써 E_{CO} 라 가정하면 (7)식에서

$$i_{R1} = i_C = \frac{E + E_{CO}}{R_1} e^{-\frac{1}{R_1 C_1} t} (A) \dots\dots\dots(8)$$

이되며 SCR_1 이 턴오프할 경우

$$i_{R1} = \frac{E}{R_1} (A) \dots\dots\dots(9)$$

로되고 콘덴사 C_1 에 흐르는 電流는 SCR_1 이 턴온할 경우는 (8)식과같고 이 경우 콘덴사 전압은

$$e_c(t) = \frac{1}{C_1} \int_0^t i_{R1} dt - E_{CO} \dots\dots\dots(10)$$

$$= (E + E_{CO}) \left(1 - e^{-\frac{1}{R_1 C_1} t} \right) - E_{CO} \dots\dots\dots(11)$$

이되며 SCR_1 이 턴·오프 할경우 $R_1 L, C_1$ 이 직렬로 구성되므로

$$E = Ri_c + L \frac{di_c}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t i_{C1} dt + E_{CO} \dots\dots\dots(12)$$

(12) 식을 Laplace 변환하면

$$I_c(s) = \frac{\frac{1}{L}(E - E_{CO}) + sI_{CO}}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC_1}} \dots\dots\dots(13)$$

(13)식을 역변환하면

$$i_c(t) = \frac{E - E_{CO}}{wL} e^{-\alpha t} \sin wt - I_{CO} \frac{w_0}{w} e^{-\alpha t} \sin(wt - \varphi) \dots\dots\dots(14)$$

여기서

I_{CO} : C_1 의 초기전류

$$w_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\alpha = \frac{R}{2L}$$

$$w^2 = w_0^2 - \alpha^2$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{w}{\alpha}$$

로 주어지는 값이다. 이 경우 C_1 에 나타나는 전압은

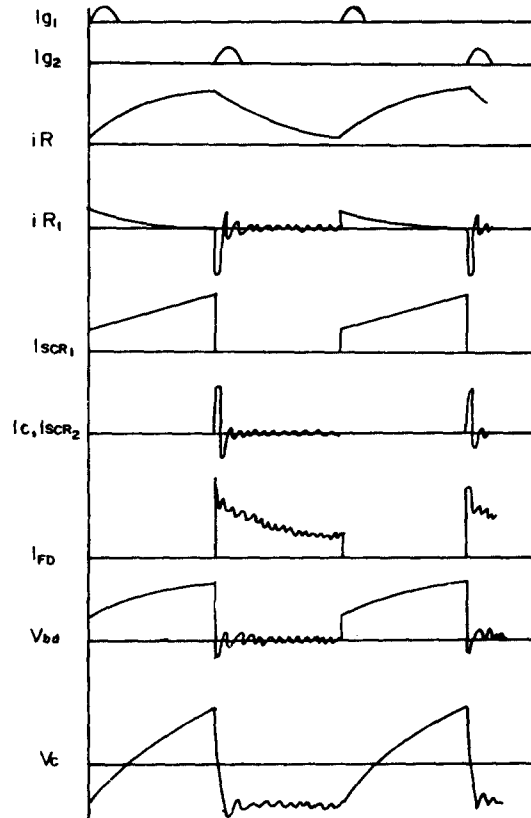


Fig. 5 Circuit Waveform of Inductive Load

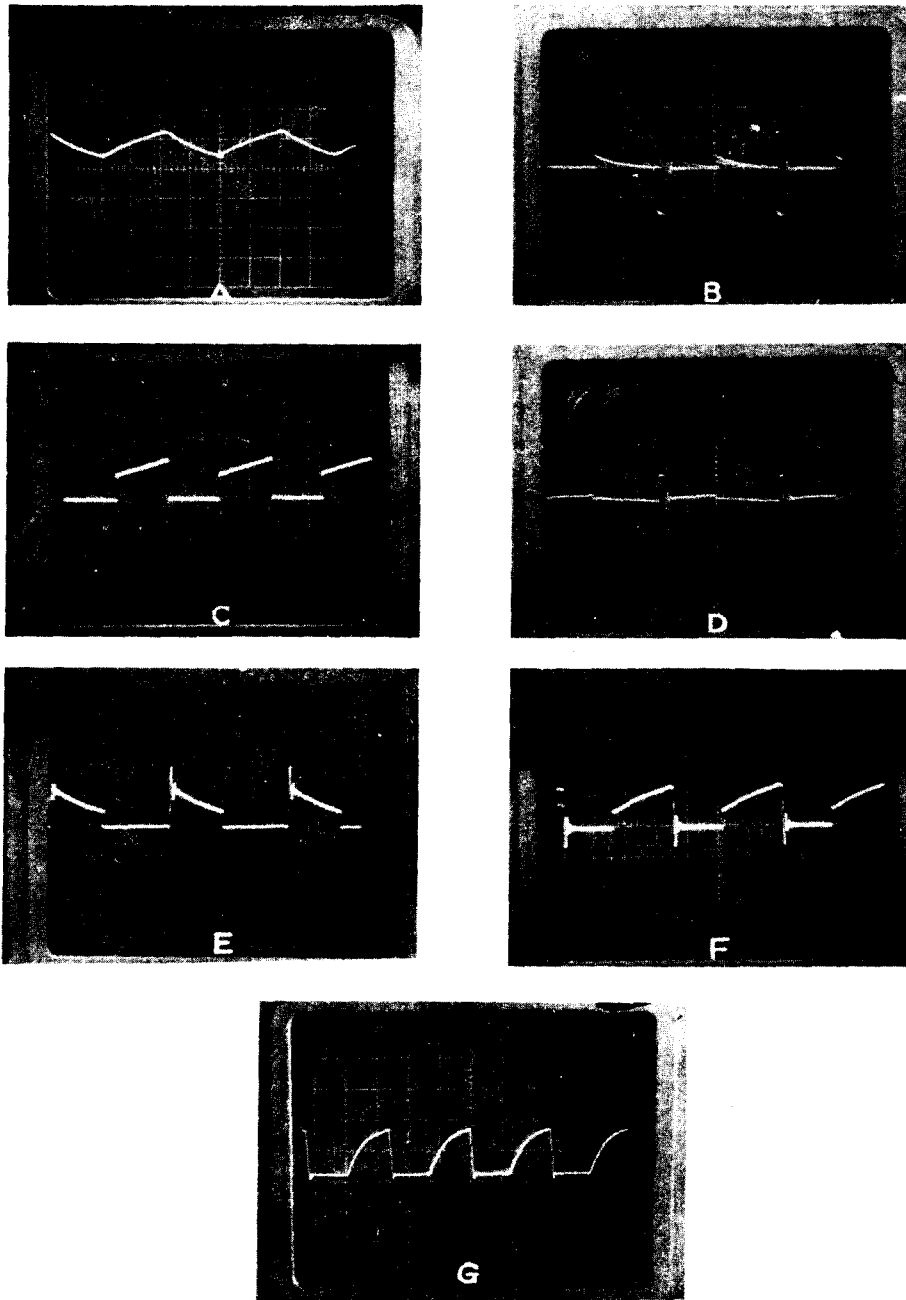


Fig. 6 Circuit Waveform of Inductive Load on Oscilloscope

a: I_R b: I_{R1} c: I_{SCR1} d: I_{SCR2} e: I_{FD} f: V_{bd} g: V_c

$$e_c(t) = E_{c0} + \frac{1}{C_1} \int_0^t i_c dt \dots\dots\dots(15)$$

$$e_c(t) = E + \left[\frac{I_{c0}}{\omega C} \sin \omega t - \frac{w_0}{\omega} (E - E_{c0}) \sin(\omega t - \phi) \right] e^{-\alpha t} (V) \dots\dots\dots(16)$$

(15)식에서 (14)식을 대입하면

결과적으로 SCR₁에 흐르는 電流는 SCR₁이 ON할 경우뿐이므로

$$i_{SCR_1} = i_{R_1} + i_R$$

$$= \frac{E + E_{co}}{R_1} e^{-\frac{1}{R_1 C_1} t} + \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L} t} \right)$$

(A)(17)

이되고 SCR₂에 흐르는 電流는 SCR₂가 ON 할 경우뿐이므로 SCR₁이 OFF할 경우와 같고

$$i_{SCR_2} = i_{R_1} + i_C$$

$$= \frac{E}{R_1} + \frac{E - E_{co}}{uc} e^{-at} \sin \omega t - I_{co} \times \frac{\omega_o}{w} e^{-at} \sin(\omega t - \varphi) \text{ (A)(18)}$$

으로된다. 그러므로 SCR₁은 콘덴사역전압 E에 대한 충분한 逆耐電壓을 갖고있어야 하며 SCR₂는 순간적인 과도분을 담당할 수있는 소용량이라도 가능하게 된다. 이상의 과형을 고찰하면 Fig. 5와 같고 실제과형은 Fig. 6과 같다.

2-2 過負荷自動遮斷의 方法

負荷나 電源을 過負荷 및 短絡에서 보호하기 위한 過負荷時 回路遮斷方法으로서는 過負荷電流를 檢出하여 SCR₂의 턴·온信號를 얻는 方法이 가장 바람직하다. 그러나 실제문제로 SCR의 턴·온 신호로서 필요한 電壓은 SCR의 턴·온 電壓 約 0.6V와 逆方向저지다이오드 D의 電壓 約 0.6V로 1.2~1.3(V) 이상의 電壓이 얻어져야한다. 이렇게 생각할때 信號를 檢出하기 위하여 필요한 電力은 負荷電流 20Ampere를 遮斷하기 위해서는 約 25Watt가 필요하게 되고 負荷電流가 增加하면 損失電力은 더욱 增加하게 된다. 또한 이過負荷電流의 값이 변경되면 回路定數變化를 초래하여 設計가 까다롭게 된다.

本論文에서는 이러한 過負荷回路의 檢出에 따르는 損失을 제거하고 임의 過負荷設定이 간단히 이루어질수있도록 OpAmp를 도입하였다.

Fig. 7은 SCR₂의 Gate 回路에 적용된 過負荷回路 遮斷部分을 나타내고 있다.

Fig. 7의 回路는 OpAmp의 非反轉增幅回路로써 R₆가 1KΩ, R₇이 100KΩ으로써 증폭도 G는

$$G = 1 + \frac{R_7}{R_6} \approx 100$$

으로된다. 이경우 R₃가 OpAmp의 出力抵抗으로 간주할수있으며 V_{R3}가 약 1.2~1.3V로 되면 SCR₂는 턴·온하여 過負荷를 遮斷할수 있게된다. R₁₀는 負荷電流檢出用的 抵抗이며 本實驗에서는 shunt 用저항

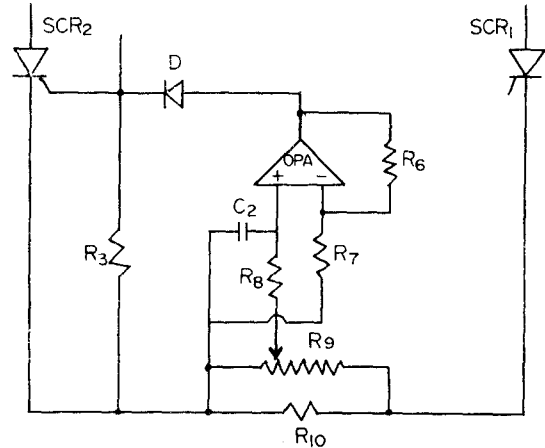


Fig. 7 Over Load Circuit Breaker

R₆: 1KΩ R₇: 100KΩ R₈: 1KΩ R₉: 10KΩVR
R₁₀: 220mA 10mV. OPA; μ₇₄₁. C₂: 0.01μF

으로써 20A, 100mV의 정격을 사용하였다.

本實驗에서 10Ampere의 負荷電流가 흐르고 있을 때 OPamp의 最大出力電壓은

$$V_o = 10 \times 5 \times 10^{-3} \times 10^2 = 5(V)$$

로써 可變抵抗 R₉의 調整에 의하여 임의 過負荷에 대한 Trip 點設定이 쉽게이루어 질수있으며 電力損失面으로는 10Ampere 負荷電流경우 OPamp를 사용되지 않았을 경우 약 12Watt의 電力損失을 초래하지만 OP Amp의 도입시 0.5Watt로써 OPamp 자체소요전력을 고려하더라도 1Watt를 넘지못하므로 電力損失을 10배이상 감소시킬 수 있음을 알수 있다.

要 約

以上的 콘덴사 轉流方式에 의한 本 SCR 直流遮斷器에 대한 理論과 實驗結果에서 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 提案된 直流回路遮斷器에서 R-C₁ 回路의 時定數가 SCR₁의 Turn-Off 時間 보다 크게되면 誘導性 負荷에서도 再點弧現象없이 高速遮斷이 可能하다.
2. 過負荷電流檢出에 OpAmp를 도입하여 直列抵抗檢出方式보다 10倍以上의 檢出回路損失을 줄일 수 있었다.
3. SCR₁의 許容電流범위내에서 임의 過負荷에 대한 Trip 點 設定이 가능하며 操作方法도 쉽게된다.
4. 마모부분이없고 機械的動作部分이 없으므로 수명이 長命구적이다.

參 考 文 獻

- S. B. Dewan A. Straughen(1975): Power Semiconductor Circuits A wiley & Sons wily interscience publication 141-149
- Aram Budak (1974): Passive and Active Network Analysis and Synthesis, Houghton Mifflin Company 189-202
- Tobey, Grame, Huelsman (1971): Operatinal Amplifiers Design and applications, International student Edition. 236-242
- Alexande Kusco (1969): Solid-State DC Motor Drive. M. I. T Press 43-57
- General Electric Co. 編(1967): Silicon Contrlled Rectifier Manual. 102
- 築地謙次・相川浩(昭和 40年 5月): SCRとその應用, 日刊工業 新聞社 53-55. 123-126.