

# Planer SCR에 의한 正弦波 發振器 (Sinusoidal Oscillator Using Planer SCR)

朴 炳 哲\*

(Bark, Byong Cheol)

## 要 約

SCR에서도 anode 전류가 微小(約數 10mA~數100mA以內)할때에는 게이트 電壓을 調整하으로써 anode-電流를 調節할수 있다.

이를 利用하여 cathode 回路에 適當值의 抵抗을 挿入하여 게이트 回路에 負性抵抗特性을 나타내게 할 수 있고 簡單한 正弦波 發振回路를 만들었다.

## Abstract

It is indicated that in SCR the anode current can be controlled by adjusting the gate voltage when the magnitude of anode current lies in the range of  $10^{-2}$  to  $10^{-3}$  Amperes. This fact is applied to make a simple sinusoidal oscillator circuit which has the negative resistance characteristics in its gate circuit by inserting a proper resistor into its cathode circuit.

## 1. 序 論

SCR은 gate에 電壓을 印加하으로써 anode 電流를 흐르게 하는데 使用되며, 一旦 anode 電流를 흐르게 한 後에는 anode 電流를 gate에 依해서 억제할 能力이 없다. 여기서 是 SCR의 이러한 switching의 目的과는 다른 目的에 活用코지 하는것으로써 gate에 微小電壓을 걸어 anode 電流가 역시 微小(數 100mA 以內)할 때에는 gate 電壓을 調整하으로써 anode 電流가 制御 될을 알게 되었다.<sup>1)</sup>

그림 1에서와같이 SCR의 cathode K點과 N點사이에 抵抗  $R_k$ 를 挿入하고 anode 電流電壓을 一定值로 하여 A-N間에 Potentiometer  $R_p$ (이때 이 Potentiometer의 抵抗值는 各回路에 挿入한 抵抗值와 比較하여 아주 적은 值이거나, 또는 Potentiometer 代身  $V_a$ 와  $V_g$ 를 別個의 電源을 使用한 수도 있다)를 挿入, 可變部에 gate電壓이 걸리도록 하였다. 이때 gate 回路의  $V_a-I_g$  특성곡선을 그림 2 및 그림 3과 같이 負性抵抗領域이 나타나는 特性曲線이 얻어진다.<sup>2),3),4)</sup>

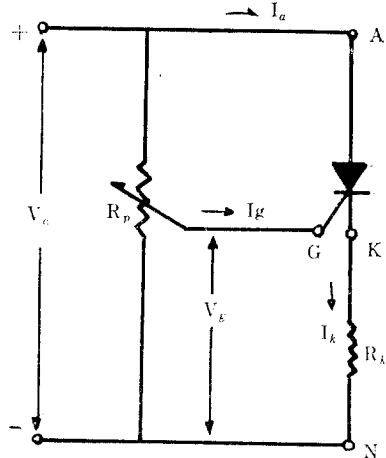


그림 1 本解析에 使用한 負性抵抗回路  
Fig. 1 Negative Resistance Circuit used in this Analysis.

\* 正會員, 成均館大學校 工理大學, 電子工學科  
Dept. of Electronics Engineering, Sung Kyun Kwan Univ.  
接受日字: 1974年 4月 30日

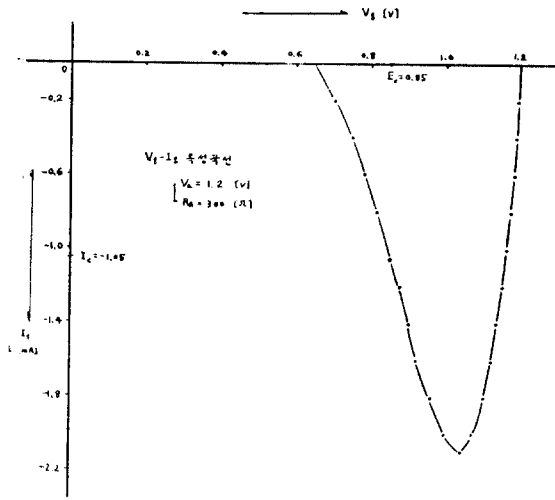


그림 2 SCR의 gate 특성곡선  
Fig. 2 Characteristic Curve of SCR.

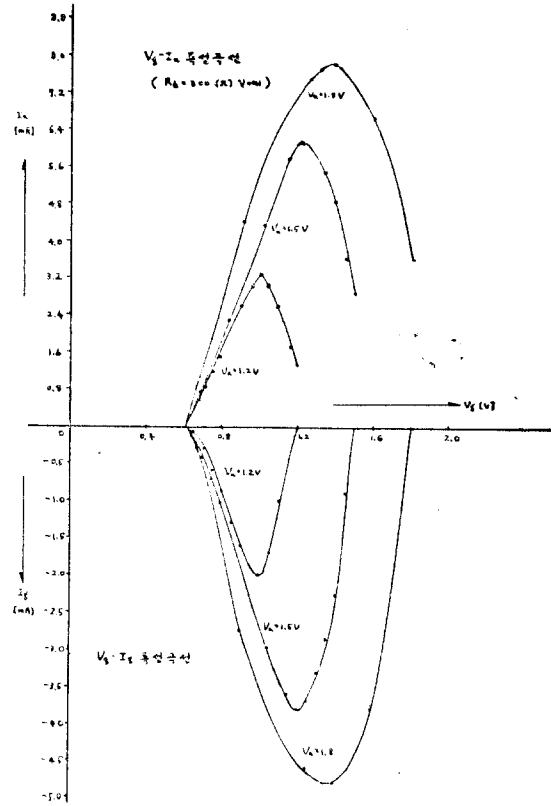


그림 4 SCR의  $V_g-I_a$  및  $V_g-I_g$  특성곡선  
Fig. 4  $V_g-I_a$  and  $V_g-I_g$  Characteristic Curves of SCR.

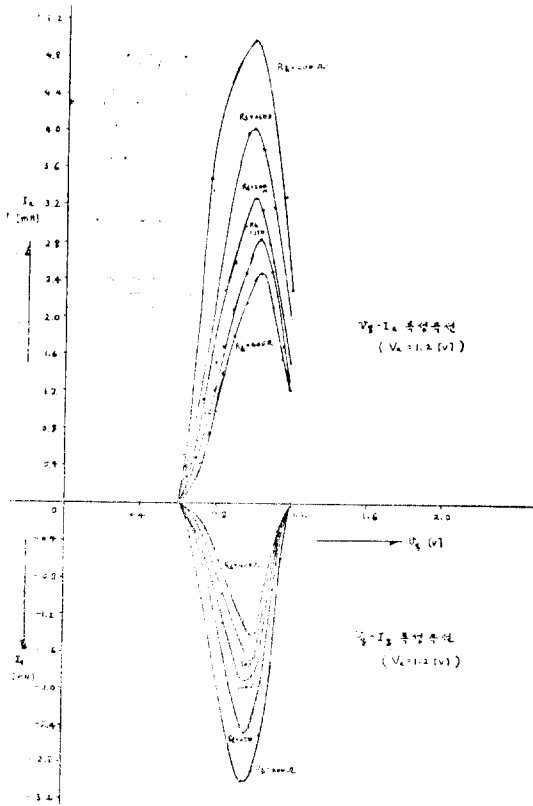


그림 3 SCR의  $V_g-I_a$  및  $V_g-I_g$  특성곡선  
Fig. 3  $V_g-I_a$  and  $V_g-I_g$  Characteristic Curves of SCR.

이때 A-N間的 anode 電壓  $V_a$ 를 높이면, 負性抵抗領域도 넓어지나, 그에 따르는 負性電流量도 增加하여 全般的인 曲線의 狀態는 大體로 類似한 曲線(그림3 및 그림4)이 되나, 그림4에서와 같이  $V_a$ 를 너무 높이면 負性抵抗領域의  $V-I$ 值가 不安定해진다.

또 K-N間에 挿入하는 抵抗  $R_a$ 의 크기에 따라 負性抵抗領域에서의 任意的 點에서의 gate 電壓은 安定值이 되기때로하고, 不安定한 值을 갖게 되므로  $R_a$ 의 값의 選擇을 充分히 考慮해야 한다. 따라서 gate 回路에 L-C 回路을 挿入하고그의 簡單한 發振回路을 구성한다. 이때 gate 電壓의 크기를 變化시키므로써 正弦波發振이 되고로하고, 非正弦波가 되기때로한다. 여기에 使用의 SCR은 CV12이다.

### 2. 負性抵抗特性的의 解析

위에서와 같이 커야트 回路에 負性抵抗回路가 구성될 수 있음을 알수 있으나 定量的인 動作狀態는 알수없다. 이를 定量的으로 取扱코져 다음과 같은 簡單한 近似式을 使用하여 表示해 보기로 한다. 近似式으로는 三次式을 使用히 보았다.<sup>5)</sup>

于先  $I_g = f_1(v_g)_{v_a = const}$   
 $= av_g^3 + bv_g^2 + cv_g + d$  [mA] (1)

로 表示하기로 하고, 各  $a, b, c,$  및  $d$ 의 값을 求하기로 하는데, 주어진 條件을 實驗曲線(그림 2)에서

$$\left. \begin{aligned} v_g = 0.65[V]에서 I_g = 0 \\ v_g = 1.2[V]에서 I_g = 0 \\ v_g = 1.05[V]에서 I_g = -2.1[mA](최소점) \end{aligned} \right\} (2)$$

이므로,

$$I_{g2} = f_2(v_g)_{v_a = const} = v_g^3 + b'v_g^2 + c'v_g + d'$$
 (3)

로하여  $b', c'$  및  $d'$ 의 값을 求하면

$$\left. \begin{aligned} b' = -2.6627272727 \\ c' = 2.28422727267 \\ d' = -0.63474545452 \end{aligned} \right\} (4)$$

가 되었고, 또 實驗曲線에서의  $I_g$ 의 값을 [mA]로 取했으므로, 따라서 (1)식의 단위는 [mA]로 한다.

$dI_g/dv_g = 0$ 인 點에서의 값을 (3)식 및 (4)식에 代入한 式에서 求하면, 그點에서의  $I_g$ 의 값은

$$I_g|_{v_g=1.05} = -0.01433863637$$
 (5)

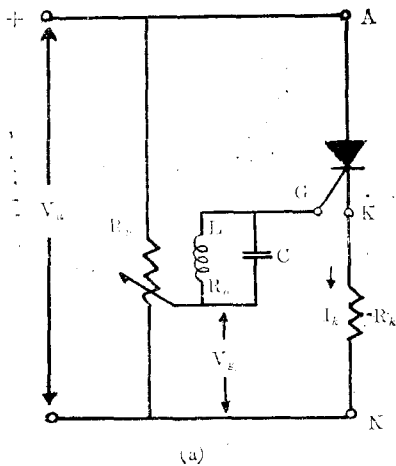
이 되었다. 實驗曲線에서의  $I_g|_{v_g=1.05}$ 의 값은 약 (-2, 1mA)이므로, (-2, 1)이 되도록 倍數를 곱하면(그倍數가 바로  $a$ 의 값이 된다).

$$\left. \begin{aligned} a = 146.4574413784 \\ b = -389.9762234481 \\ c = 334.5420818717 \\ d = -92.9631951926 \end{aligned} \right\} (6)$$

이 되나, 各小數點以下를 두자리에서 끊어 近似式으로 表示하면,

$$I_g = 146.5v_g^3 - 390v_g^2 + 334.5v_g - 93$$
 [mA] (7)

과 같이 된다.



위의 式을 다시 負性抵抗值  $\rho a$  負性抵抗領域의 中位值가 되는  $v_g$  및  $I_g$ 의 값으로 各各  $E_c$  및  $I_c$ 로 表示하면

$$I_g = \frac{(v_g - E_c)}{\rho} \left\{ -1 + \frac{(v_g - E_c)^2}{3K^2} \right\} + I_c$$
 [mA] (8)

$$\left. \begin{aligned} \rho : [k\Omega] \\ K : const \end{aligned} \right\}$$

이때  $K$ 의 값은 위의 各值가 定해지면 定해지는 定數이다.

### 3. 發振回路

#### a) 正弦波發振回路

그림 5-a는 gate 回路에 L-C tank 回路를 插入한 基本的인 發振回路이다. 이때  $R_k$ 의 값을 適當히 取하므로써  $I_g$ 는 그림 2에서와같이 安定한 負性電流領域에 있게되어 振動을 하게된다. 그림 5-b는 그 等價回路이다. 이때  $-\rho$ 는 gate 回路의 구성에서 볼때의 等價負性抵抗이다. 이 等價回路에서 各各의 loop에 흐르는 電流를  $i_1, i_2$ 라하면, 다음과 같은 式이 얻어진다.

$$L \frac{di_1}{dt} + R_0 i_1 + \frac{1}{C} \int_0^t (i_1 - i_2) dt + \frac{1}{C} q(0) = 0$$
 (9)

$$\frac{1}{C} \int_0^t (i_2 - i_1) dt - \rho i_2 - \frac{1}{C} q(0) = v_g$$
 (10)

위의 두式을 各各 Laplace 變換을 하여 그때의 各各의 값을  $I_1(s), I_2(s)$ 라 하고,  $I_2(s)$ 를 求하면,

$$I_2(s) = \frac{L\{q(0) + Cv_g\}s^2 + \{R_0q(0) + R_0Cv_g - Li(0)\}s + v_g}{-LC\rho s \left\{ s^2 + \left( \frac{R_0}{LC} - \frac{1}{C\rho} \right) s + \left( \frac{1}{LC} - \frac{R_0}{LC\rho} \right) \right\}}$$
 (11)

가 되며, 이 回路가 持續振動을 하기 爲한 條件은

$$\frac{R_0}{LC} - \frac{1}{C\rho} = 0$$
 (12)

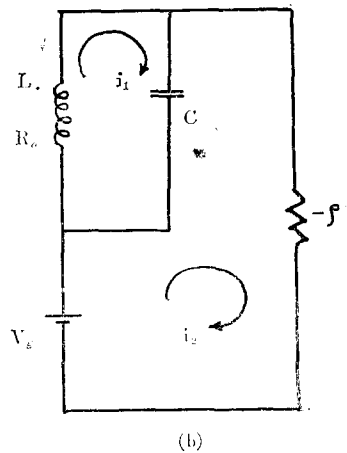


그림 5 SCR發振回路 및 等價回路  
 Fig. 5 SCR Oscillator and Equivalent circuit I of SCR Oscillator.

가 되므로, 그때의 發振周波數  $f_0$ 는

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} \left(1 - \frac{R_0}{\rho}\right) - \frac{1}{4C^2} \left(\frac{R_0}{L} - \frac{L}{\rho}\right)^2} \quad (13)$$

가 된다. 式에  $\frac{R_0}{L} = \frac{L}{\rho}$ 의 條件을 代入하면,

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} \left(1 - \frac{R_0}{\rho}\right)} \quad (14)$$

또  $R_0 \ll \rho$ 이므로,

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (14)'$$

로 表示된다.<sup>4),7)</sup>

b) 非正弦波發振回路

위에서는 gate電壓을 負性領域의 中位點에 두었기 때문에 波形이 좋았으나, gate에서 cathode쪽으로 恒常 DC電流가 흐르고 있기 때문에 效率面에서 좋은 것이라고 말할수 없다. 그래서 gate 電壓을 더 낮추어 gate 電流가 쏘이 되는 附近에 移動시키 보면, 발진 波形의 半 가 가까이 負性領域을 벗어나기 때문에 그 波形은 正弦波에서 많이 벗어나 非正弦波로 變한다.

이때의 等價回路에 흐르는 電流  $i$ 는  $t=0$ 일때  $i(0)=0, q(0)=0$ 이라 놓으면,

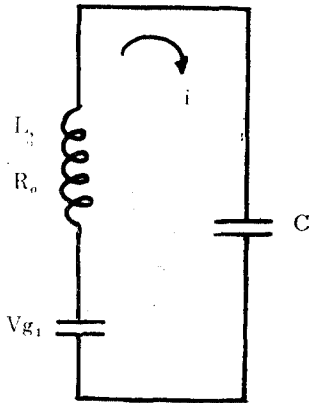


그림 6 等價回路 II

Fig. 7. Equivalent circuit II of SCR Oscillator

이 回路에서는  $\frac{1}{C} > \frac{R_0^2}{4L}$ 이므로, 역시 Laplace變接을 하여 求하면,

$$i = \frac{v_{g1}}{\omega L} e^{-\alpha t} \cdot \sin \omega t \quad (15)$$

$$\text{但} \begin{cases} \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R_0}{2L}\right)^2} \\ \alpha = \frac{R_0}{2L} \end{cases}$$

또 이때 Condenser C에는

$$q = \frac{-\alpha v_{g1}}{\omega L(\alpha^2 + \omega^2)} \left( \sin \omega t + \frac{\omega}{\alpha} \cos \omega t \right) \cdot e^{-\alpha t} + C v_{g1} \quad (16)$$

인 電荷가 있게 되므로

C의 兩端의 電壓은

$$v_c = \frac{q}{C} \quad (17)$$

이므로

$$\begin{aligned} v_c &= \frac{-\alpha v_{g1}}{\omega L(\alpha^2 + \omega^2)} \cdot \frac{1}{C} \cdot e^{-\alpha t} \left( \sin \omega t + \frac{\omega}{\alpha} \cos \omega t \right) + v_{g1} \\ &= A \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin(\omega t - \theta) + v_{g1} \end{aligned} \quad (18)$$

이는 off에서 on의 과도기에 나타나는 波形이고, 導通時의 동작상태는 等價回路 III(그림 6)에서,  $i_2$ 를 求하면 된다.

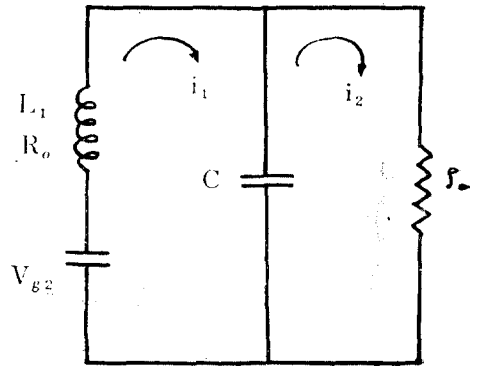


그림 7 等價回路 III

Fig. 8. Equivalent circuit III of SCR oscillator

$t=0$ 에서  $q=0, i_1(0)=0$ 이라 놓으면,

$$\begin{aligned} i_2 &= \frac{v_{g2}}{R_0 + \rho_0} + \frac{i}{LC\rho_0} \cdot \frac{v_{g2}}{(k_1 - k_2)} \\ &\quad \left\{ \frac{1}{k_1} \cdot e^{k_1 t} - \frac{1}{k_2} \cdot e^{k_2 t} \right\} \end{aligned} \quad (19)$$

단  $\{k_1, k_2\}$ 는 s에 對한 根  $\{\rho_0\}$ 는 gate 回路에서 보았을때의 等價抵抗이 되며, 이때의 波形은 그림 (9)와 같다.

4. 考 察

a) 負性抵抗特性

實驗典線과 近似式을 比較해 보면 各 다음과 같은 結果를 얻게 된다.

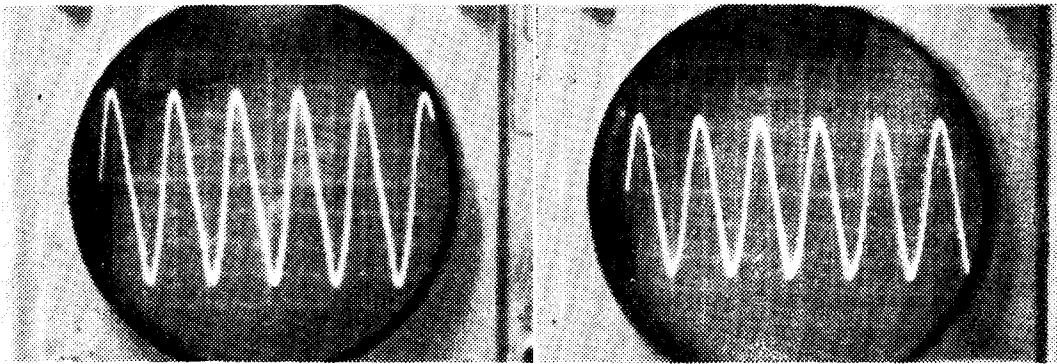
- i)  $v_g = 0.5[V]$ 에서의  $I_g$ 의 값은
  - { 實驗値는 0[mA]
  - { 近似式의 値는 -0.12[mA]
- ii)  $v_g = 1.05[V]$ 에서의  $I_g$ 의 값은
  - { 實驗値는 -2.1[mA]
  - { 近似式의 値는 -2.16[mA]
- iii)  $v_g = 1.2[V]$ 에서  $I_g$ 의 값은
  - { 實驗値는 0 [mA]
  - { 近似式의 値는 -0.48[mA]
- iv) 負性抵抗値  $\rho$  ( $E_c = 0.85V, I_c = -1.05mA$ ).
  - { 實驗値는 100[Ω]
  - { 近似式에서는 95.2[Ω]

와 같이 되어 이는 大體로 滿足할만한 값임을 알수 있

- 다.
- b) 發振回路
  - i) 正弦波回路
 

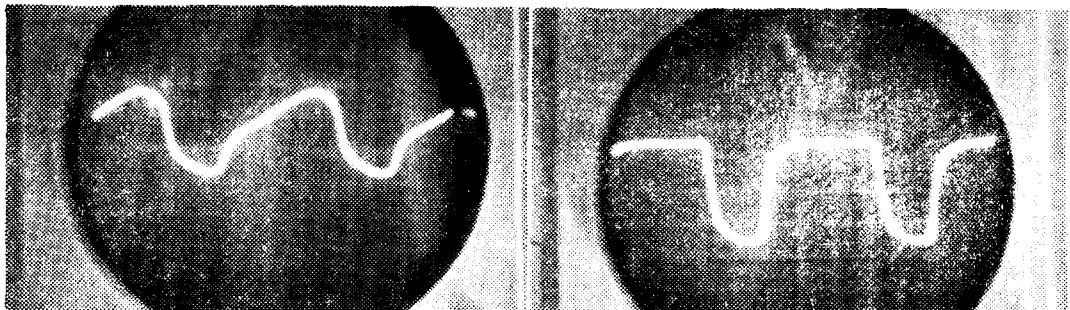
그림 6-a의 구성 요소인  $L, C$ 의 값을 각각  $L = 35 \times 10^{-3}[H], C = 2 \times 10^{-6}[F]$ 로 해서 計算해보면  $f_0 = 602 [Hz]$ 가 되고, 實測值는 的 650[Hz]가 되어, 위의 結果가 만족스러운 結果임을 알수 있다. 이때의 實測波形은 寫眞(그림 8)에서 보여주는 것과 같다.
  - ii) 非正弦波回路
 

이때의 波形은 그림 9와같이 歪波가 되나 大體로 半波만을 나타내는 波形이 된다.



(a) (b)

그림 8 { (a) SCR발진기의 出力波形( $R_s$ )  
 { (b) " " " (coil)  
 Fig. 8. { (a) Output( $R_s$ ) wave form of SCR oscillator  
 { (b) " " (coil) " " "



(a) (b)

그림 9 { (a) SCR발진기의 出力波形( $R_s$ )  
 { (b) " " " (coil)  
 Fig. 9 { (a) Output( $R_s$ ) wave form of SCR oscillator  
 { (b) " " (coil) " " "

5. 結 論

- i) Cathode 回路에 適當한 값의 抵抗을 挿入하므로

써 gate 回路에 負性抵抗回路를 구성할 수 있다.

- ii) 이 負性抵抗特性을 定量化하여 近似式을 求하였다.

iii) 이로 인하여 SCR을 이용한 簡單한 發振回路를 구성하였다.

#### 參 考 文 獻

1. T. Taniguchi, K. Set. and N. Ihara, Negative Resistance oscillator using GTO Thyristor" J.I.E.E.J. 90, 6, p. 1132
2. M. Takahara and T. Kasahara, An Analysis of Negative Resistance circuit using Junction Field-Effect Transistor, Tran. The IECE of Japan, Vol. 55-A, No. 6, p. 311('72)
3. S. Ostefjells, Negative Resistance circuit using two complimentary Field-Effect Transistors, Proceeding of the IEEE, 53, 4, p. 404 ('65)
4. B.C. Bark, Negative Resistance oscillator using Planer SCR. Sung-Kyung-Kwan Univ. Journal. '72(Vol. XVII), p. 55
5. 志村正道, 非線形回路理論, 日本昭基社版
6. 築地, 相川, SCR과 그 應用, 日本日刊工業新聞社版
7. Ohms社論, 無綫工學 Hand Book, 日本 Ohms社版
8. General Electric Co, SCR manual, 日本 Ohm社版