

# 電力系統의 中間調相設備로서의 靜止形 無効電力 補償 裝置

郭 熙 魯 \*    鄭 泰 豪 \*\*

■    차    례    ■

- |                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| 1. 序 言                    | 6. SVC의 動作特性           |
| 2. Thyristor의 基本原理        | 7. SVC에 依한 系統 安定度向上 效果 |
| 3. SVC의 特性                | 8. SVC에 依한 高調波 發生 및 對策 |
| 4. Thyristor에 依한 無効電力制御方法 | 9. SVC의 損失 特性          |
| 5. SVC의 制御方式과 靜特性         | 10. 結 論                |
|                           | 參考文獻                   |

## 1. 序 言

靜止形 無効電力 補償 裝置(Static Var Compensator : 이하 SVC라 함)란 同期 調相設備과 유사한 機能을 가지는 것으로서 다이리스터에 의해 規定된 리액터와 커패시터 뱅크로부터 연속적으로 可變의 進相이나 遁相 無効電力을 供給함으로써 주어진 母線에서 電壓을 許用된 범위내에 維持시켜 주는 裝置를 말한다. SVC는 比較의 最近에 開發된 品目으로서 이의 出現으로 高電壓 大電力 系統에서 진보된 다이리스터 技術의 適用을 可能하게 하였는데 初期에는 주로 Arc 爐등의 프리카 補償을 위한 裝置로 活用되어 왔으나 最近에는 電力系統의 電壓을 制御하는 手段으로 점차 脚光을 받아가는 趨勢이다. 前述한 2種類의 無効電力 補償問題를 좀 더 具體的으로 分析하면 다음과 같다.

### 1) 負荷電力의 補償

Arc 爐나 圧延機를 使用하는 工場에서 이러한 器械 連轉時 無効電力의 變化로 심한 電壓 變動을 若起

시키는 데 從來에는 주로 負荷가 放射狀으로 連結된 點을 감안 아래의 方法으로 電壓 變動問題를 解決하여 왔다.

- 同期 調相機의 設置
- 系統의 短絡容量 增大
- 機械的으로 開閉되는 靜電 蓄電器의 設置
- 固定 蓄電器의 設置
- 負荷와 母線사이에 버퍼 리액터 設置

그러나 SVC는 應答 時間이 0.5 사이클 정도로 매우 빠르며 各 相別로 無効電力을 獨立的으로 補償할 수 있기 때문에 특히 有效한 바 SVC의 適用上 長點을 열거하면 다음과 같다.

- Arc 爐나 圧延機等的의 使用時 發生되는 電壓 프리커의 高速度 減殺
- 電壓 및 電流의 不平衡 解消
- 여하한 無効電力 負荷에 대하여도 力率 改善이 可能

### 2) 送電 系統의 電壓 制御

電力 系統에서 負荷나 發電力이 갑작스런 變化를 일으키면 어느 特定 母線에서 電壓 變動이 심하여 電壓의 制御가 필요하게 되는 데 過去에는 주로 아래의 方法에 의해 電壓 變動을 制御하여 왔다.

\* 正會員: 崇田大 工大 電氣工學科 助教授  
 \*\* 正會員: 韓國電力公社 送變電部 技術課 勤務

- 同期 調相機의 設置
- 機械的으로 關閉되는 分路 리액터나 커패시터 뱅크 設置
- 直列 커패시터의 設置
- 主 變壓器 變更
- 發電機 電壓 變動 범위 調整 및 Stabilizer 整定值 調整

그러나 最近에는 適正하게 設計된 SVC 를 使用함으로써 아래와 같은 效果를 얻을 수 있게 되었다.

- 送電線의 定態安定 極限電力의 增大
- 系統 事故, 發電力이나 負荷의 喪失, 送電線 關閉等의 攪亂時 過渡安定度の 向上
- 負荷 變動이나 線路 關閉等으로 若起되는 電壓 變動率의 改善

이상으로 SVC 의 活用 分野를 간단히 살펴보았다. 앞으로 本 技術 解説을 통하여 言及하고자 하는 것은 SVC 를 送電 系統의 電壓 制御용으로 使用하는 問題에 관한 사항이다.

## 2. Thyristor 의 基本 原理

Thyristor 은 그림 1 과 같이 P-N-P-N 接合을 시킨 Silicon 으로서 위의 P 층을 Anode, 밑층의 N 을 Cathode, 이 Cathode 에 인접한 P 층을 Gate 라 한다. Anode 와 Cathode 사이에 順方向의 電壓이 加해지면 順方向 破壞電壓 ( $V_{BO}$ ) 이하에서는 微少한 漏泄電流만 흐르게 되며  $V_{BO}$  이상의 印加電壓에 대하여는 thyristor 는 신속히 通電狀態에 到達한다. 만일 Gate 에 外部에서 電流를 加해 주면  $V_{BO}$  가 낮은 값으로 低下되며  $V_{BO}$  값은 Gate 에 흘리는 電流에 따라 變化한다. 그러므로 必要한 時點에 Gate 에 充分한 電流를 供給하면 願하는 時間에 thyristor 를 通電狀態로 만들 수 있다. Gate 電流와  $V_{BO}$  의 關

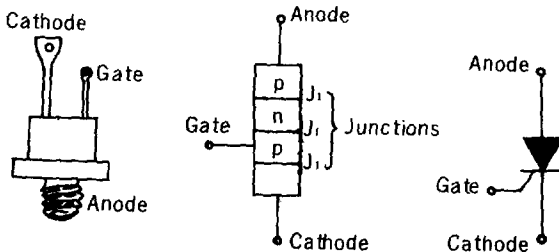


그림 1. 다이리스터의 構造, 外觀 및 記號

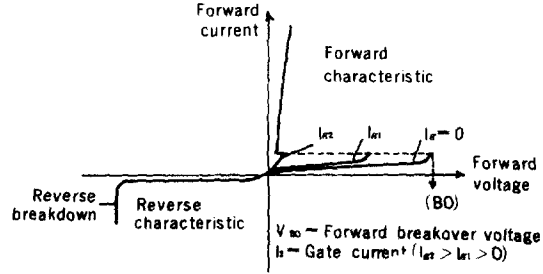


그림 2. 다이리스터의 Anode - Cathode 特性

係를 圖示하면 그림 2 와 같다. 일단 thyristor 가 通電되면 Gate 는 制御機能을 喪失하게 되어 電流를 遮斷시키지 못하며, Gate 電流가 除去되고 順方向 電流가 充分히 낮은 水準(수십 mA 以下)이 되어야 thyristor 電流가 遮斷된다. Gate 의 信號 電流는 thyristor 의 迅速한 應答을 위하여 急 峻度의 波頭를 가지는 펄스이어야 하며 信號 持續 時間은 thyristor 가 通電하기에 充分한 時間이어야 한다.

표 1. SVC 와 RC 의 特性比較

방식	SVC	동기 조상기
구성		
특성		
손실	0.8 ~ 1.0 % (정격부하시)	1.5 ~ 2.0 % (정격부하시)
상별제어	가 능	불 가
응답속도	10 ~ 20 ms	100 ~ 200 ms
단락용량 변화	불 변	증 가
부지면적	약 3,500 m <sup>2</sup> (± 250 MVA)	약 3,000 m <sup>2</sup> (± 250 MVA)

### 3. SVC의 特性

#### 1) 中間 調相 設備의 役割

中間 調相 設備란 長距離 送電系統의 中間에 電壓 無效電力 特性을 가지는 調相 設備를 設置하여 中間 地點의 電壓을 維持시켜 相差角의 增加에 수반하는 同期化力의 減少를 防止하여 定態 및 過渡 安定度를 增加시키거나 送電線路의 無效電力을 補償하여 送電 損失減少를 目的으로 使用되는 設備를 말한다.

#### 2) 中間 調相 設備의 種類

中間 調相 設備로서는 (i) Thyristor 制御 無效電力 補償裝置(SVC), (ii) 同期 調相機(R.C), (iii) 飽和 리액터 등이 있으나 그 중 SVC와 RC의 特性을 比較하면 表1과 같다.

### 4. Thyristor에 의한 無效電力 制御方法

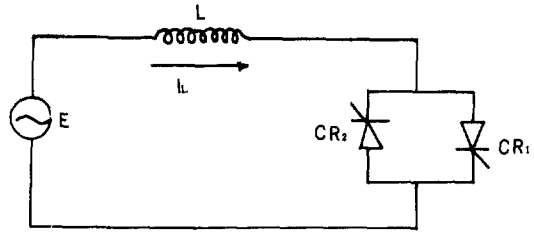
#### 1) 無效電力 制御 方式

Thyristor에 依한 無效電力 制御로서는 커패시

터를 다이리스터로 開閉하여 進相 無效電力을 制御하는 方式(Thyristor Switched Capacitor :TSC)과 리액터를 다이리스터로 位相 제어하여 遲相 無效電力을 제어하는 方式(Thyristor Controlled Reactor :TCR)이 있으며 이들을 組合하여 SVC로서 適用할 수 있는 데 이를 要約하면 表2와 같다.

#### 2) TCR 方式

單相 回路에 있어서 리액터 電流 制御 方法을 그림 3에 表示하였다.



交流 電源에 接續된 리액터 L에 흐르는 電流  $I_L$ 은 다이리스터  $CR_1$  및  $CR_2$ 의 逆並列 回路에 의하여 制御된다. 다이리스터  $CR_1$  및  $CR_2$ 의 Gate에 點 號 信號를 주며 通電을 開始하는 데 그 때 흐르는 電

표 2. SVC 이 方式比較

	TSC 방식	TCR 방식	TSC, TCR 병용제어방식
회로구성			
특징	Thyristor의 ON-OFF 제어로 capacitor를 개폐하여 용량을 단계적으로 조정한다. (1) 손실이 적다 (2) 고조파가 발생한다.	Capacitor를 고정으로 투입하고 reactor 전류를 Thyristor 위상제어를 통하여 무효전력을 연속적으로 조정한다. (1) 연속제어 가능 (2) 응답속도가 빠르다.	Capacitor는 Thyristor로 개폐하여 단계적 조정하고 Reactor는 위상 제어로 미세한 조정을 하여 전체는 연속제어 가능하다 (1) 연속제어 가능 (2) 손실이 적다.

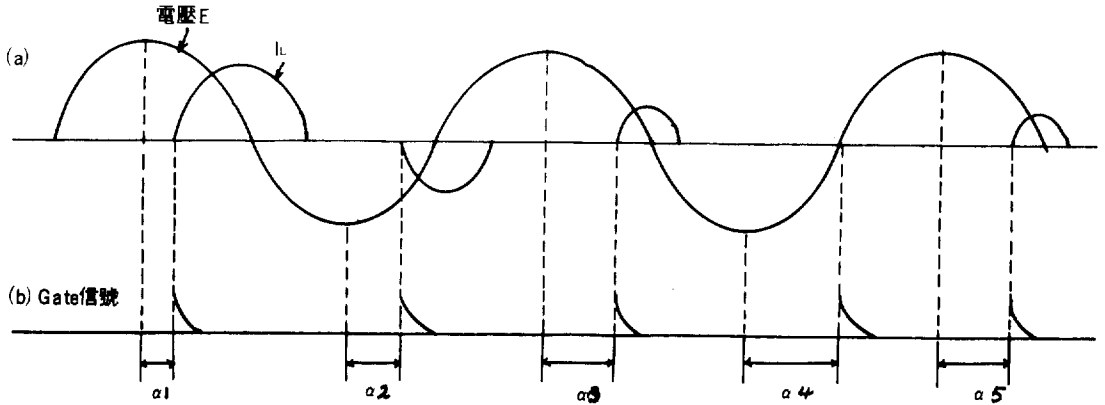


그림 4. 리액터 電流 波形

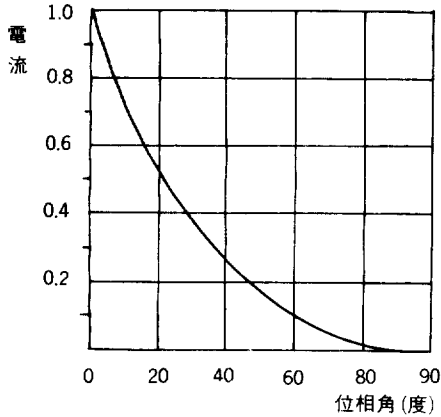


그림 5.  $\alpha$  와 基本波 電流의 關係

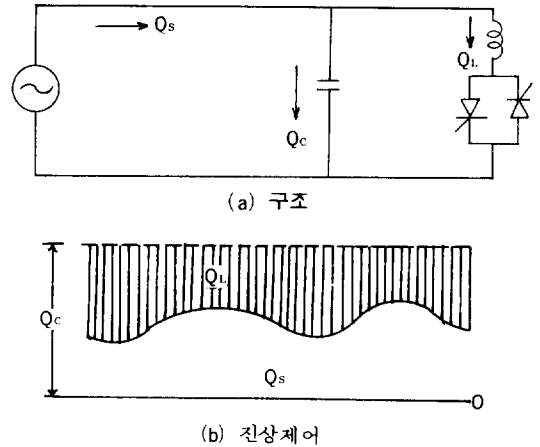
流의 크기와 모양은 그림 4와 같이 점호信號를 주는 位相角  $\alpha$ 에 의하여 決定된다.

리액터 電流를 다이리스터로 制御時 點弧角  $\alpha$ 와 제어된 基本波 成分의 크기와의 關係를 圖示하면 그림 5와 같다.

이와 같이 點弧角  $\alpha$ 에 依하여 리액터 電流를 制御할 수 있는데 遲相 電力만을 變化시킬 수 있는 것이 아니라 그림 6과 같이 L과 C를 組合시키면 進相-遲相 電力을 連續的으로 制御시킬 수 있다.

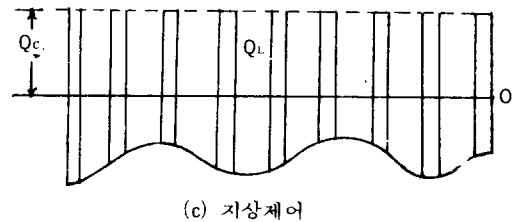
### 3) 다이리스터에 依한 커패시터 開閉 方法

그림 7에 있어서와 같이 다이리스터가 off되어 있는 동안의 커패시터 端子電壓은 電源電壓의 피크值



진상 제어의 경우

Capacitor에 의한 고정 進상분  $Q_c$ 보다 작은 進상전력  $Q_l$ 을 발생시키고 합성 무효전력이 進상이 되도록 제어한다.



지상 제어의 경우

Capacitor에 의한 고정 進상분  $Q_c$ 보다 큰 進상전력 을 발생하여 합성 무효전력이 進상이 되도록 제어한다.

그림 6. SVC의 動作

가 印加된 狀態로 維持된다(電壓과 電流는 90°의 位相差를 가지며 回路 電流가 0에서 다이리스터는 off 됨).

이 狀態에서의 다이리스터 電壓을 圖示하면 그림 7-2의 (b)와 같다. 커패시터가 on 狀態로 될 境遇 突入電流를 防止하기 위하여 다이리스터 電壓이 0이 되는  $T_2$ 에서 커패시터가 on 되어야 한다. 이를 위하여  $T_1$ 의 位相에서 投入 指令을 주어  $T_2$ 의 位相에서 Gate 信號가 發生되도록 하면 突入電流가 흐르지 않고 커패시터에 正常電流가 흐르기 시작한다. 또한 커패시터를 off 시킬 境遇에는 다이리스터의 Gate 信

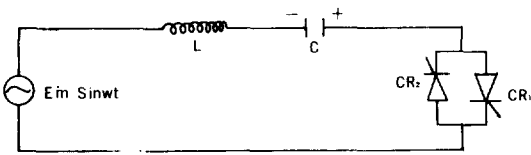


그림 7-1. 單相等價 回路

號를 0으로 한 後 다이오드의 電流가 0으로 되는 時點  $T_4$ 에서 커패시터 電流는 遮斷된다.

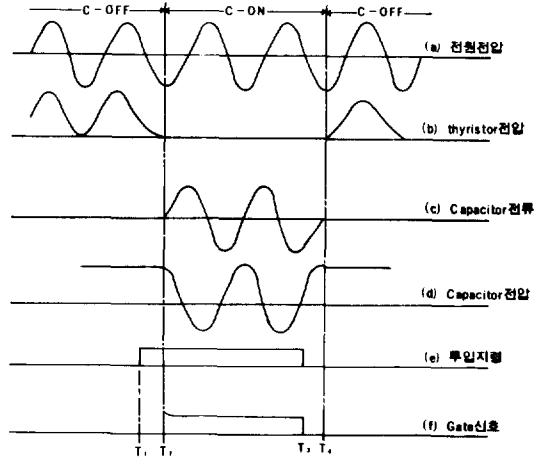


그림 7-2. 動作 說明圖

表 3. 各 方式의 無效電力 制御 方法

방식	T S C 방식	T C R 방식	T S C - T C R 병용 방식
제어범위	0 ~ + 200 MVAR	- 200 ~ + 200 MVAR	- 200 ~ + 200 MVAR
구성	<p>모선 C<sub>1</sub> C<sub>2</sub> C<sub>3</sub> C<sub>4</sub> 50MVA 50" 50" 50"</p>	<p>모선 400MVA 200MVA</p>	<p>모선 200MVA 100MVA 100MVA</p>
제어방법	<p>MVAR 200 100 시간 요구량 Capacitor 투입용량</p>	<p>MVAR 200 0 -200 -400 시간 요구량 고정 Capacitor Reactor 제어량</p>	<p>MVAR 200 100 0 -100 -200 시간 요구량 Capacitor 제어량 Reactor 제어량</p>

4) 各方式에 있어서의 無効電力制御 方法

各方式에 있어서의 無効電力 制御方法을 要約하면 表 3과 같은 데 어느 方式에서나 要求되는 無効電力의 制御를 連續的이며 線形으로 行할 수 있다.

5. SVC의 制御 方法과 靜特性

SVC의 制御方式은 同期 調相機와 거의 同一한 機能을 가지는 데 製作會社에 따라 다소의 差異가 있으며 對象이 電壓이나 無効電力이나에 따라서도 差異가 있다. 여기서는 日本의 Mitsubishi 社의 制御回路를 中心으로 説明하기로 한다. 그림 8에 電壓制御回路의 블럭 圖를 表示하였다. P. T. 로 系統 電壓을 測定하여 電壓 檢出回路에 入力하고 電壓 檢出

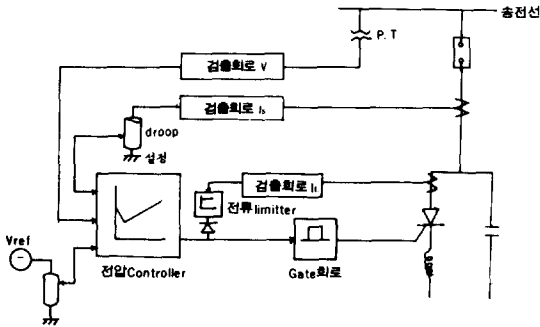


그림 8. 電壓制御回路의 block 圖

回路에서 系統 電壓을 檢出한다. 檢出된 系統 電壓과 基準 信號( $V_{ref}$ )와의 差를 計算한 後 電壓 편차 信號를 ( $\Delta V$ ) 電壓 制御回路에 入力하게 되는데 이 制御回路에서는 制御 Gain의 設定과 制御 特性의 改善을 위하여 位相 補償等을 行한다. 電壓 制御回路의 出力을 Gate 회로에 入力시키고 電壓 偏差를 補償하도록 Gate 位相이 選擇된 뒤 그 Gate 位相에서 다이리스터의 Gate 에 點火 信號를 준다. 上記의 電壓 制御回路에 依하여 系統 電壓이 上昇한 境遇에는 SVC 측으로 遲相 無効電力을 흘리고 反對로 電壓이 低下된 境遇에는 SVC에서 電源측으로 進相 無効電力을 供給하도록 다이리스터가 制御된다. 또한 SVC의 無効電力 信號에 比例한 droop 信號를 制御回路에 追加하는 境遇도 있다. 保護 loop 로서 다이리스터의 過負荷를 防止하기 위한 回路가 設置되고 있

다. 다이리스터의 電流를 電流 檢出回路에 依하여 常時 監視하고 만일 다이리스터가 過負荷로 된 境遇에는 電流制限을 設定하여 그 制限值 以上으로 電流가 增加하지 않도록 한다. 無効電力을 制御하는 境遇에는 中央 變電所로부터 보내온 無効電力 設定 信號에 맞도록 SVC의 無効電力을 制御한다. 또한 電壓制御 方式에 系統의 有效電力을 檢出하여 이의 偏差 信號를 電壓 制御回路에 入力시키는 方法도 있는 데 이들 制御回路를 使用할 境遇의 SVC의 應答時間은 約 20 msec. 程度이다. 그림 9에 SVC의 靜特性을 나타내고 있다. 電壓이  $V_1$  以上の 領域에서는 다이

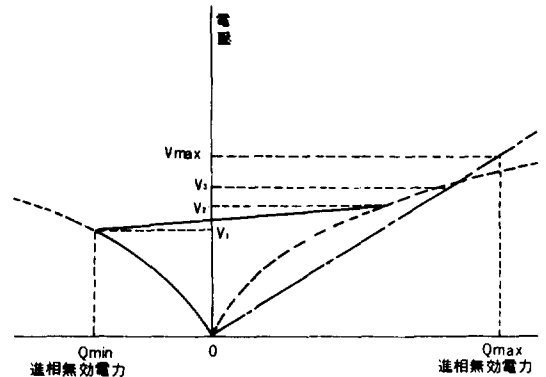


그림 9. SVC의 靜特性

리스터가 off 되도록 하고  $V_1$ 과  $V_2$  사이에서 無効電力을 制御하도록 한다. 만일 電壓이  $V_2$  以上이 되면 다이리스터는 완전 通電狀態가 되도록 하고  $V_3$  以上の 電壓에서는 電流 上限值를 超過하므로 電流制限 回路가 動作하여 다이리스터 電流를 制限한다. 電壓이 繼續 上昇하여  $V_{max}$  以上이 될 때에는 保護를 위하여 SVC를 系統에서 分離시킨다. 이 境遇 電壓 制御回路의 droop 은 通常 3~5%로 設定한다.

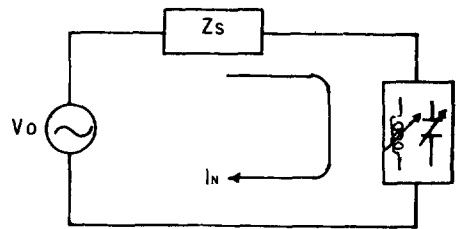


그림 10. 系統 Model

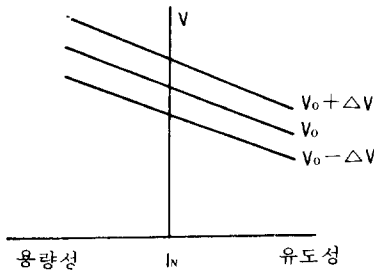


그림 11. 系統의 V-I 特性

### 6. SVC의 동작 특성

#### 1) 定常動作 특성

電力系統을 그림 10 과 같은 等價回路로 表示하는 境遇 系統 임피던스가 리액턴스 분 만으로 構成된 것으로 看做할 수 있으므로 系統의 SVC 無效電流에 대한 V-I 特性은 그림 11 과 같다. 그림 11 에 나타난 V-I 特性을 數式化하면 式 (1)과 같다.

$$V = V_0 - I_N Z_s \tag{1}$$

또 SVC의 特性은 式 (2)로 表示된다.

$$V - V_0 = K \cdot I_N \tag{2}$$

여기서 K는 V-I 特性의 slope 다. 電壓이 變할 때 SVC에 依한 補償後의 電壓 變動은 (1)式과 (2)式을 利用하여 그림 12와 같이 圖解的으로 求할 수 있다. 그림 12에서 系統 電壓이 V\_0에서 ΔV\_1만큼 低下하여 V\_R로 된 境遇, SVC는 進相 電流를 흘려 系統 特性 ②와 SVC의 特性 ①과의 交點이 새로운 動作點이 되고 그 結果 電壓 變動은 ΔV\_1에서 ΔV\_2로 補償된다.

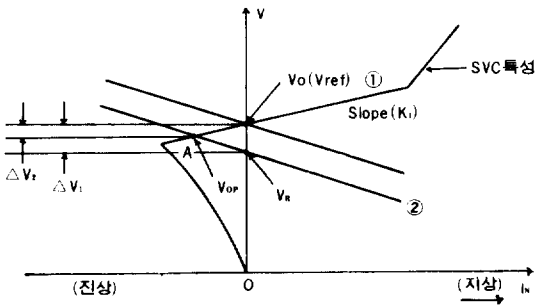


그림 12. SVC에 依한 電壓變動 補償

#### 2) SVC의 動特性

SVC의 step 應答를 檢討하기 위하여 電壓基準을 微小 變化시킬 때의 블럭圖를 그림 13에 나타내었다. 이에 依한 SVC의 step 應答는 式 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\Delta V_s}{V_0} &= L^{-1} \left[ \frac{K_1 K_2}{1 + K_1 K_2} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{T_1}{1 + K_1 K_2} s} \right] \\ &= \frac{K_1 K_2}{1 + K_1 K_2} \left( 1 - e^{-\frac{1 + K_1 K_2}{\tau_1} t} \right) \end{aligned} \tag{3}$$

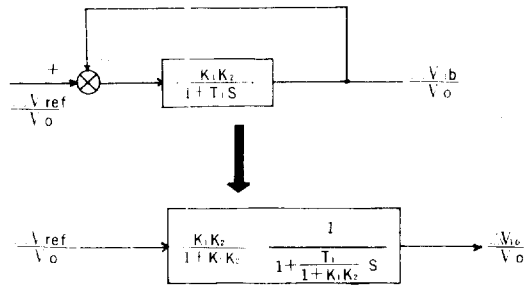


그림 13. SVC 제어 block 圖 (微小變化時)

#### 3) 各 定數의 意味

##### (a) K<sub>1</sub> (SVC의 Gain)

K<sub>1</sub>은 그림 12의 slope (K<sub>1</sub>)에 해당된다. 예를 들면 電壓 偏差  $\frac{\Delta \epsilon}{V_0} = 0.02 \text{ PU}$ 일 때 SVC가 1.0 PU의 無效電力을 出力하는 境遇 SVC 特性의 slope는 50이 된다.

##### (b) T<sub>1</sub> (SVC의 時定數)

T<sub>1</sub>은 (3)式에 나타난 것과 같이 SVC 制御系의 應答를 決定하는 定數로서 系統 條件 및 要求되는 應答性에 依하여 決定된다.

##### (c) K<sub>2</sub> (系統 Gain)

K<sub>2</sub>는 SVC의 出力 ΔI<sub>N</sub>과 補償電壓 ΔV의 Gain으로서

$$K_2 = \frac{\Delta V}{\Delta I_N} \text{로 表示된다.}$$

##### (d) off-set $\left( \frac{1}{1 + K_1 K_2} \right)$

系統과 SVC의 特性은 各各 (1)式과 (2)式으로 表示할 수 있음은 前述한 바와 같다. 이 式들을 上記의

定數로써 表示하면 (4), (5)式과 같다.

$$V = 1.0 - \frac{I_N}{K_1} \quad (4)$$

$$V = V_R + K_2 I_N \quad (5)$$

(4), (5)式에 依하여 새로운 動作點 電壓  $V_{OP}$  를 구하면 (6)式이 되는데

$$V_{OP} = 1 - \frac{1}{1 + K_1 K_2} (1 - V_R) \quad (6)$$

(6)式에서  $1 - V_R = \Delta V_1$ ,  $1 - V_{OP} = \Delta V_2$  라 하면

$$\frac{\Delta V_2}{\Delta V_1} = \frac{1}{1 + K_1 K_2} \quad (7)$$

가 된다. 따라서 off-set 는 SVC 가 없을 境遇의 電壓 變動  $\Delta V_1$  과 SVC 動作 後의 電壓 變動  $\Delta V_2$  의 比라 할 수 있다.

### 7. SVC 에 依한 系統 安定度 向上 效果

#### 1) 定態 安定度の 向上

그림 14에 表示된 電力 系統에 있어서 送電電力(P) 은 (8)式과 같다.

$$P = \frac{E_1 E_2 \sin \delta}{X} \quad (8)$$

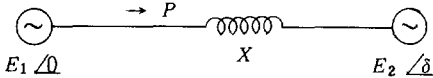


그림 14. 送電 系統圖 (SVC 未設置)

$P$ 는  $\delta = 90^\circ$ 에서 最大가 되며  $P_{max}$ 는

$$P_{max} = \frac{E_1 E_2}{X} \quad (9)$$

가 되는 데 이  $P_{max}$  를 定態 安定 極限電力이라 한다. 그러나 過渡安定度を 考慮하여  $\delta$ 는  $30^\circ \sim 40^\circ$  以內에서 運轉하는 것이 일반적이다. 만일 SVC 를 送電線路의 中間點에 設置하고 電壓을 維持시키는 境遇에는 送電 電力이 (10) 式과 같이 增加한다.

$$P = \frac{2 E_1 E_2 \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{X} \quad (10)$$

이 때 SVC 에서 供給하여야 할 無効電力 Q는 (11) 式과 같다.

$$Q = \frac{4 V^2 \left(1 - \cos \frac{\delta}{2}\right)}{X} = \left(2 \tan \frac{\delta}{4}\right) P \quad (11)$$

式(10)에서 보는 바와 같이 SVC 를 設置한 境遇에는 送受電端의 相差角을  $90^\circ$  以上으로 할 수 있고 送電 可能한 極限 電力을 2倍로 增加시킬 수 있음을 알 수 있다.

#### 2) 過渡 安定度の 向上

電力 系統의 送電線 中間에 SVC 를 接續하고 電壓을 維持시켜 줌으로써 系統의 過渡 安定度を 向上시킬 수 있다. 그림 15와 같이 순수한 리액터만으로 이루어진 二回線 系統에 있어서 A 點에서 事故가 발생하여 事故 回線의 開放이 된 境遇를 가정하자

(a) SVC 가 없는 境遇

事故 前, 發電機 G에서 無限母線 側에 電力  $P_0$  를 送電할 때의 電力-相差角 特性은 그림 16의 曲線

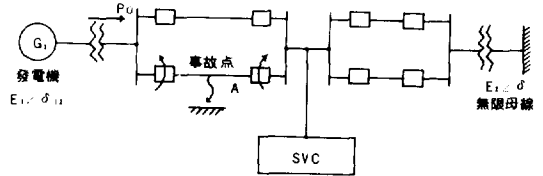


그림 15. 系統 模型

①과 같다. 事故 前의 發電機 入力  $P_i$  는  $P_0$ 와 같은 點(A 點)에서 運轉되고 있지만 일단 事故가 發生하면 發電機 出力은 急激히 低下되어 曲線 ②로 稼動한다. 事故 發生 직후에는 回轉子의 慣性 때문에 相差角은 急變하지 않고 B 點으로 옮겨진다. 以後 短時間內에는 人力의 調節이 이루어질 수 없으므로  $P_i$  는 일정하며  $\Delta P = P_i - P_0 > 0$  이므로 이  $\Delta P$ 는 回轉子를 加速시켜 相差角을  $\delta_A$ 에서 C 點으로 稼動시킨다. 事故 回線의 開放이  $\delta_C$ 에서 이루어 진다면 開放 직후의 動作點은 C에서 E로 옮겨져 1回線 開放時의 特性曲線 ③으로 옮겨진다. 그 以後에는 面積  $A_1 = ABCD$ 가 面積  $A_2 = DEFG$ 와 같아질 때 까지  $\delta$ 는 增加하고 F 點의 相差角  $\delta_m$ 이 最大로 되어  $\delta$ 는  $\delta_A \sim \delta_m$  사이를 振動하게 된다. 만일 面積  $EDH \geq A_1$  이면 系統은 安定을 維持하게 되고 面積  $EDH < A_1$  이면  $\delta$ 는 繼續 增加되어 發電機는 說調된다.

(b) SVC 設置時

定態 安定度の 項에서 言及한 바와 같이 SVC 에 依해 中間 電壓을  $1.0 pu$  로 維持시킬 境遇의 送電 可能 極限電力은  $2.0 pu$  로 增加하지만 SVC 가 없는 境遇에는  $1.0 pu$  밖에 되지 않는다. 그러므로 SVC



가 없을 때 安定度の 極限에 있는 系統에 SVC를 接續하면 그림 17에 보인 바와 같이 安定度の 餘裕度를 가지게 되며 反對로 安定度の 限界 内에서는 送電電력을 增大시킬 수 있게 된다. SVC는 設置點의 電壓을 制御하기 때문에 電力 動搖로 인한 電壓 變動은 效果의 抑制되지만 電力 動搖의 減度 效果는 그 다져 기대할 수 없으므로 系統 電力의 偏差를 入力하여 電力系統 安定化 loop를 追加하면 電力 動搖를 效果의 抑制할 수 있다.

8. SVC에 의한 高調波 發生 및 對策

SVC가 運轉中에는 TCR에 의해  $h = pq \pm 1$  ( $p$ : 變換裝置의 펄스수,  $q$ : 임의 정수)로 表示되는 願하지 않는 特性 高調波가 發生된다. 이 중 특히 關心의 對象이 되는 것은 3차, 5차, 7차, 11차, 13차 高調波로서 이들의 基本波 電流에 대한 比率는 各 各 13.8%, 5%, 2.5%, 1.6%, 0.7% 정도이다. 平衡된 3相 系統에서는 3차, 9차, 15차... 등의 特性 高調波는  $\Delta$ 結線된 리액터 内部를 循環하므로 系統에는 流入하지 않으나 實際의 系統에서는 약간의 不平衡으로 因하여 이러한 高調波 電流가 系統에 流入한다. 各 次數의 高調波 電流가 系統에 흘러들어가면 特定한 周波數에서 系統 임피던스에 比例하는 高調波 電壓을 誘起한다. 이들 高調波 電流는 系統에서 共振으로 因하여 遠 거리까지 傳播하게 되어 境遇에 따라서는 發生源보다 遠거리에서 惡化된 影響이 나타나게 되는 데 이들의 影響을 살펴보면 다음과 같다.

- 器機나 커패시터의 損失 增加 및 壽命 短縮
- 共振에 依한 高調波 過電壓 誘起
- 리플 制御 系統에 障害 誘發
- 電流 變換 裝置의 定電流 制御回路에 誤差 增加 및 不安定 招來
- 通信 電話線에 雜音 發生

그러므로 系統에 發生되는 高調波를 抑制하여야 할 必要性이 있는 데 高調波에 依한 歪曲의 정도는 系統의 構成 條件, 電壓레벨, 器機의 種類에 따라 크게 影響을 받기 때문에 制限値를 設定하기가 어려운 實情이다. 一般的으로 配電系統에 있어서는 送電 系統보다 制限値를 높게 잡을 수 있는 데 이는 電壓이 높을수록 高調波로 因한 惡影響이 널리 傳播되고 補償하기가 어렵기 때문이다. 美國의 AEP 電力會社에서는 138KV 系統에 SVC를 設置 運轉時 各 次數別 高調波 制限値를 1% 以內로, 綜合 歪形率을 4% 以內로 規定하고 있다. 高調波 制限値는 系統의 正常 運轉時는 물론 事故 狀態에 대하여도 滿足되어야 하며 系統 共振 條件은 最大 負荷時와 輕負荷時가 다르고 경우에 따라서는 輕負荷 狀態에서 最惡의 狀態가 發生될 수 있으므로 여러 條件下에서 精密한 分析을 통하여 高調波가 規定值 以內에서 制限될 수 있도록 해야 할 것이다. 高調波를 制限하는 對策으로는 發生 자체를 抑制하는 것과 發生된 高調波를 發生源에서 흡수하는 것으로 大別할 수 있는 데 電流 變換

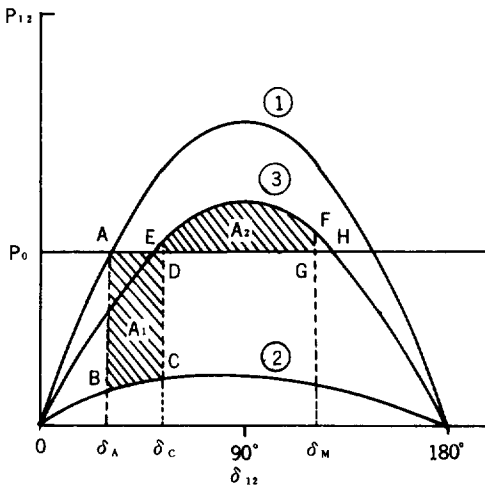


그림 16. SVC 없을 경우 電力-相差角

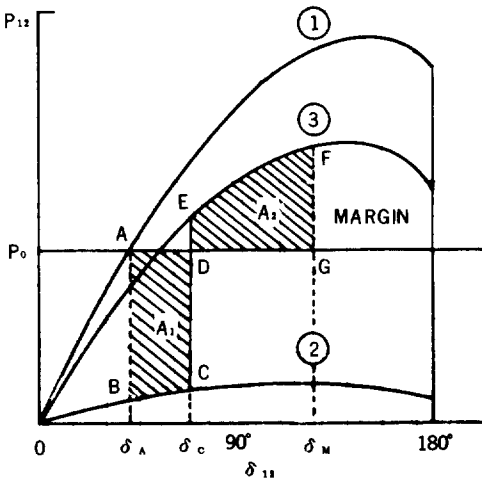


그림 17. SVC 설치시 電力-相差角

裝置의 펄스 數를 增加시키는 方法(6 펄스, 12 펄스, 24 펄스 등)이 前者에 해당하나 펄스의 수를 增加시킬수록 다이리스터의 數가 늘어나므로 價格이 上昇하여 高電圧 大電流 方式에서는 經濟性이 問題가 된다. 後者의 方法은 필터 回路를 利用하는 것이 가장 보편화되고 있으나 最近에는 發生源에서 發生된 高調波와 極性이 反對인 高調波로 相殺시키는 方法이 開發되어 實驗 使用中에 있다.

### 9. SVC의 損失 特性

SVC 使用時 制御 方式에 따른 損失 特性을 圖示 하면 그림 18과 같다. 그림 18에서 曲線 (a)는 固定 커패시터에 TCR 채택시의 損失 曲線으로서 特히 遲相 無効電力을 供給하여야 할 때에 커패시터 容量을 補償하고 遲相無効電力을 供給해야 하므로 리액터 容量이 過多하여 損失이 높게 發生함을 알 수 있다. 曲線 (b)는 TSC, TCR 使用時 損失 曲線으로서 特히 進相 無効電力을 供給하는 때에 損失이 크게 發生한다. 이와 같이 SVC를 制御하는 方式에 따

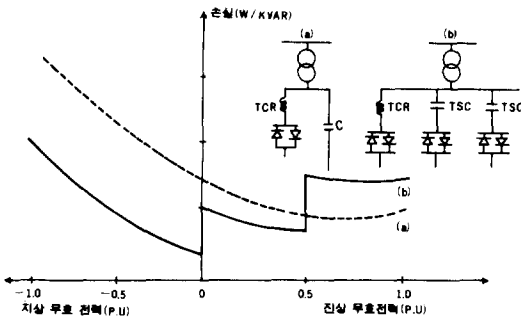


그림 18. SVC의 損失 特性

라 損失 特性이 달라지며 또한 커패시터 뱅크를 利用하여 高調波 필터 回路로 活用時에는 TSC의 開放으로 因하여 特定 次數의 高調波가 필터되지 않을 수도 있으므로 SVC의 制御 方式 選定에는 慎重을 기해야 할 것이다.

### 10. 結 論

지난 數年間 SVC의 開發 및 適用에 광목할 만한 進前이 이루어진 것이 事實이며 無効電力을 制御하기 爲하여 다이리스터 스위치를 利用하여 임피던스를 變化시키는 技法이 産業界나 電力會社에서 점차 보편화되고 있는 추세이다. 大電力 系統에 적합한 다이리스터를 使用함으로써 理想的인 同期調相 設備의 出現 可能性을 最近의 研究 結果에서 보여 주고 있으며 이들 器機들이 量産段階에 이르면 價格도 저렴한 水準에 이를 것으로 예상되어 電力 系統에 使用이 점차 增加될 것으로 展望되므로 우리도 이 分野에 대한 研究 和 開發이 활발히 이루어져야 하겠다.

### 參 考 文 獻

- [1] Direct current Transmission Vol. I Chap. 8., Edward Wilson Kimbark, Wiley-Interscience 1971.
- [2] Static Power Frequency Changers Chap. 9, L. Cyugyi and B. R. Pelly, Wiley-Interscience. 1976.
- [3] Static Var Generators, Powertronics Applied Product Division, Westinghouse.
- [4] Reactive Power Generation and Control by Thyristor Circuits L. Cyugyi, IEEE Trans. on Industry Application, Vol. IA-15 No. 5 Sept./Oct. 1979.
- [5] Application of Static VAR Compensators for Steady State & Dynamic Voltage Control. J. J. Keane etc. AEP. 1979.
- [6] Thyristor Control of A. C. Motors, Chap. 2, J. M. D. Murphy, Pergamon Press. 1973.
- [7] Static Var Generators for Transmission Systems, J. H. Cronin etc. Proceedings of the American Power Conference 1977.
- [8] Siemens Power Engineering, Vol. 3 (1981), Special Issue.
- [9] Asea Journal. 1981 Vol. 54, 5-6.
- [10] Static VAR Compensator: SVC, Mitsubishi.
- [11] 明電時報, 1982. 5. 6月 No. 3, 電力變換裝置特集