

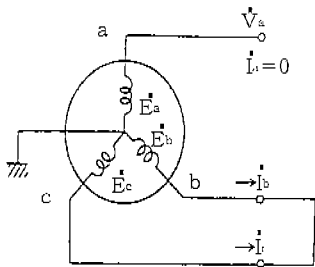
제52회 발송배전기술사 시험문제 모범답안(1)

❖ 자료제공 : 서울공과대학 ❖
(Tel : 02)676-1113~5)

[문제] 발전기 단자에서 2상 단락사고 전류의 크기가 3상 단락사고 전류크기의 86.6(%)가 됨을 증명하시오.(필수 20점).

해설

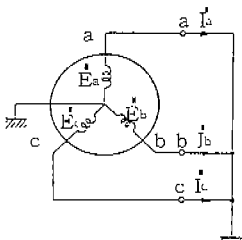
$$\begin{cases} I_a = 0 \\ I_b = -I_c \text{ 에서} \\ V_b = V_c \end{cases}$$



<그림 1> 선간단락 고장

i) 선간단락 고장시

$$\begin{aligned} I_b &= I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = a^2 I_1 + a I_2 = (a^2 - a) I_1 \\ &= \frac{(a^2 - a) E_a}{Z_1 + Z_2} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2} \end{aligned}$$



<그림 2> 3상단락 고장

먼저 선간전압은 모두 0이므로
 $\dot{V}_a = \dot{V}_b = \dot{V}_c = 0$

ii) 3상단락 고장시

$$I_a = \frac{E_a}{Z_1}$$

따라서

$$\frac{I_b}{I_a} = \frac{(a^2 - a) E_a}{Z_1 + Z_2} \text{ 에서 정상 임피던스와 역상 임피던스를 같다고 하면}$$

$$\begin{aligned} \frac{I_b}{I_a} &= \frac{\left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) E_a}{\frac{E_a}{Z_1}} = -j\frac{\sqrt{3}}{2} \\ &= -j 0.866 \end{aligned}$$

이므로 선간단락전류는 3상단락전류의 86.6%가 된다.

【참고】 등가 회로

(1) 1선지락 고장시

$$I_0 = I_1 = I_2 = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

(2) 2선지락 고장시

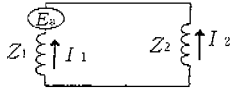
$$I_1 = \frac{E_a}{Z_1 + \frac{Z_0 + Z_2}{Z_0 + Z_2}}$$

$$I_2 = -I_1 \times \frac{Z_0}{Z_0 + Z_2}, I_0 = -I_1 \times \frac{Z_2}{Z_0 + Z_2}$$

(3) 선간단락 고장시

$$I_1 = -I_2 = \frac{E_s}{Z_1 + Z_2}$$

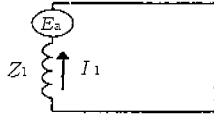
$$I_0 = 0$$



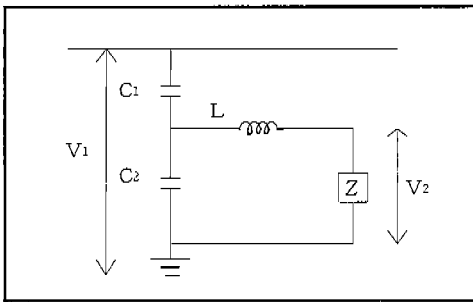
(4) 3상단락 고장시

$$I_1 = \frac{E_a}{Z_a}$$

$$I_0 = I_2 = 0$$



【문제2】 아래 그림에서와 같이 콘덴서형 계기용 변압기에 있어서 공진회로를 이용하는 경우 등가회로를 구하고 공진상태에서의 크기와 무관하게 전압비 V_1 과 V_2 가 일정하게 됨을 증명하시오(필수 20점).



해설

전원주파수 f 에 대하여 C_1 와 C_2 의 병렬 리액턴스와 L 의 유도 리액턴스를 공진조건에 맞추면

$\frac{V_1}{V_2}$ 는 부하 임피던스와 무관하게 된다.

$$Z_1 = -j \frac{1}{\omega C_1}, \quad Z_2 = -j \frac{1}{\omega C_2}$$

$$Z_L = -j \omega L$$

로 놓으면 부하전압 V_2 은

$$V_2 = \frac{V_1}{Z_1 + \frac{Z_2(Z_L + Z)}{Z_2 + Z_L + Z}} \times \frac{Z}{Z_2 + Z_L + Z}$$

$$= \frac{V_1}{\left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right) + \frac{\{Z_1 Z_2 + (Z_1 + Z_2)Z\}}{Z_2 Z}}$$

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2}\right) + \frac{\{Z_1 Z_2 + (Z_1 + Z_2)Z\}}{Z_2 Z}$$

윗 식에서 우변의 제1항의 값은

$$1 + \frac{Z_1}{Z_2} = 1 + \frac{j \omega C_1}{\frac{1}{j \omega C_2}} = 1 + \frac{C_2}{C_1} = \frac{C_1 + C_2}{C_1}$$

제2항의 분자는

$$\left(-j \frac{1}{\omega C_1}\right) \times \left(-j \frac{1}{\omega C_2}\right) + \left\{\left(-j \frac{1}{\omega C_1}\right) + \left(-j \frac{1}{\omega C_2}\right)\right\} \times j \omega L$$

$$= \frac{\omega^2 (C_1 + C_2)L - 1}{\omega^2 C_1 C_2}$$

만일 $\omega^2 (C_1 + C_2)L - 1 = 0$

$$\frac{1}{\omega^2 (C_1 + C_2)} = \omega L$$

이 조건을 만족하면 제2항의 값은 0이 되므로

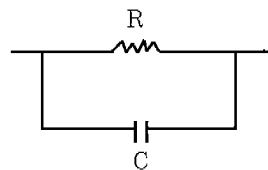
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{C_1 + C_2}{C_1}$$

가 되어 Z 의 값에는 무관하게 된다.

즉, 변압비는 부하에는 관계없이 C_1 과 C_2 의 분합 비로 주어지며, \dot{V}_1 과 \dot{V}_2 사이의 위상차 θ 는 0이 된다.

【문제3】 RC병렬회로에 있어서 ω 를 0에서 ∞ 까지 변화시킬때 임피던스 Z 의 벡터궤적을 구하시오 (20점).

해설



$$Z = \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C} \text{ 에서 } \omega C = X \text{ 라 하면}$$

$$\text{원의 궤적 일반식 } V = \frac{A+B\lambda}{C+D\lambda} \text{ 에서}$$

$$A = 1, \bar{C} = \frac{1}{R}, D = j, \bar{D} = -j, \lambda = X,$$

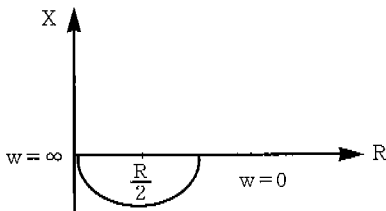
$$B = 0$$

따라서 원의 중심 :

$$P = \frac{\overline{AD} - \overline{BC}}{\overline{CD} - \overline{CD}} = \frac{-j}{\frac{-j}{R} \frac{j}{R}} = \frac{-j}{\frac{-2j}{R}} = \frac{R}{2}$$

원의 반지름 :

$$R = \left| \frac{\overline{AD} - \overline{BC}}{\overline{CD} - \overline{CD}} \right| = \left| \frac{j}{\frac{-2j}{R}} \right| = \frac{R}{2}$$

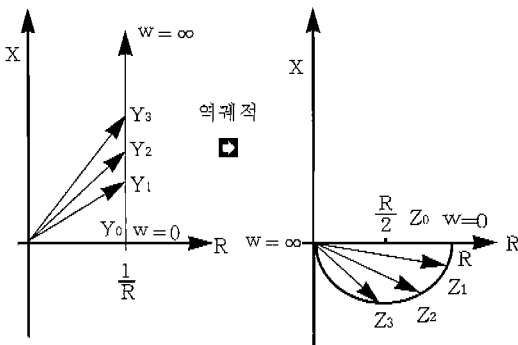


별해 어드미턴스 궤적

$Y = \frac{1}{R} + j\omega C$ 의 역궤적인 임피던스 궤적을 구하면 된다.

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{1}{Y \angle \theta} = \frac{1}{Y} \angle -\theta$$

인 관계를 이용하여 어드미턴스 궤적상의 각점에 대응하는 임피던스 평면상의 점들을 추적함으로써 임피던스 궤적을 구할 수 있다.



[문제4] 3상 주변압기의 결선방식 선정에 있어서 검토해야 할 사항과 2차측 기준으로 Y-Δ 결선방식의 특징을 설명하시오(20점).

해설

(1) 3상 주변압기의 결선방식 선정에 있어서 검토해야 할 사항

3상 변압기의 결선은 일반적으로 Y와 Δ로 고압측과 저압측의 조합에 의해 적용되고 있으나 한쪽의 3상회로로부터 다른 쪽의 3상회로에 에너지를 전달시키는 결선방법에는 다음과 같이 4가지 방법이 있다.

결선방식		각변위	적용시 검토사항
고압	저압		
Y	Y	0°	①부하의 불평형에 의해 중성점 전위가 변동하여 3상 전압의 불평형을 일으키므로 이 결선은 사용하지 않음. ②이 결선이 많이 사용되는 장소는 저전압이고, 전류가 큰 것을 요구하는 수용가이다. ③또 각 변압기의 등가임피던스가 같아야 한다.
Δ	Δ	0°	①이 결선이 많이 사용되는 장소는 고전압이고, 전류가 작은 것을 요구하는 수용가이다. ②이 결선에서 안정한 운전을 하기 위하여 그 변압기의 권선비는 같아야 하며, 만일 그렇지 않으면 무부하시에도 순환전류가 흐른다. ③또 각 변압기의 등가임피던스가 같아야 한다.
Y	Δ	30° Lag	①이 방식은 고압에서 저압으로 내리는 전력용 계량변압기에 사용한다. ②그리고 상전압을 평형시키기 위하여 Y로 결선된 고압권선에서 중성점을 접지시킨다. ③2차 Δ결선의 단점은 대칭된 전류와 전압을 얻기 곤란하며, 즉 단상부하가 불평형 전류를 만들어 주는 원인이 된다.
Δ	Y	30° Load	①이 방식은 저압을 고압으로 송전하는 전력용 계승변압기에 사용한다.

(2) Y-Δ 결선방식의 특징

Y-Δ 결선방식의 특징은 다음과 같다.

가) 장점

- ① Y결선의 중성점을 접지할 수 있다.
- ② 이 결선은 어느 한쪽이 Δ결선이므로 여자전류의 제3고조파 통로가 있으므로 제3고조파의 장해가 없다.
- ③ Δ-Y 결선은 송전단에, Y-Δ 결선은 수전단에 사용하여 높은 전압을 Y결선으로 함으로써 절연에 유리하다. 따라서 보통 송전계통에 사용된다.

나) 단점

- ① 1, 2차 선간전압 사이에 위상변위가 있다.
- ② 1상에 고장이 생기면 송전을 계속할 수 없다.

【문제5】 송전계통에서 개폐서지의 발생원인과 그 대책에 대하여 설명하시오(20점).

해설

(1) 무부하 충전전류 차단시의 서지

무부하 충전전류의 위상은 진상으로 전압보다 90° 앞선다. 충전전류의 차단은 전류가 0일때 이루어지지만 이때 선로측에 파고치에 상당하는 전위가 잔류하여 이것이 선로를 왕복 반사하여 반 싸이를 후에는 차단기에 파고치의 2배에 가까운 전압이 걸리게 되어 차단기가 재점호하기 쉽다.

재점호가 생기면 고조파 진동에 따라 높은 충격 전압이 발생한다. 서지전압의 크기는 정상 대지전압의 파고치에 2배에 가까우나 재점호가 생길 경우에는 3~4배, 경우에 따라서는 6배에 달한다.

방지대책으로는

- (가) 재점호를 방지하기 위하여 차단속도를 신속하게 할 것
- (나) 중성점을 직접접지 계통으로 하거나 임피던스 접지계통으로 할 것
- (다) 병렬회선을 설치할 것

(2)고장전류 차단시의 서지

중성점을 리액터 접지시킨 영상 임피던스가 큰 계통에 있어서는 고장전류는 90° 가까운 지상전류이다. 이것을 전류 0에서 차단하면 차단기의 전원측 전압은 차단직전의 최대 아크 전압에서 전원전압으로 올라간다.

이때 과도진동에 의하여 서지가 발생한다. 서지의 크기는 정상대지전압 파고치의 2배 이하이다.

방지대책으로는, 서지전압은 대체로 높지 않으므로 특별한 방지책은 필요 없으나 만일 높은 값의 것이 걸리는 경우에 대비하여 중성점에 저항접지를 실시한다.

(3) 변압기 여자 전류 차단시의 서지

차단능력이 큰 차단기로 변압기 여자전류 등의 작은 전류를 차단하면 전류의 값이 0이 아니더라도 소호되고 전류는 끊어진다. 그러나 이때 큰 전류 변화율과 무부하 변압기의 큰 임피던스때문에 큰 서지가 발생한다.

방지대책으로는

- (가) 여자전류의 값이 극히 작고 단로기로서 충분히 끊을 수 있다면 단로기로서 차단하게 한다.
- (나) 변압기와 병렬로 적당히 콘덴서를 설치한다.
- (다) 변압기 측에 피뢰기를 설치한다.

(4) 3상을 동시에 투입하지 않을 때의 서지

차단기 각 상의 전극은 보통 동시에 투입되지 않고 근소한 시간적 차이가 생긴다. 이 차이가 약간 심한 경우에는 정상 대지전압 파고치의 3배 전후의 서지가 발생한다. 이 서지가 변압기 전압측에 유도되면 부하측에 위험을 가져오기 쉽다.

방지대책으로는 변압기 저전압측에 보호 콘덴서나 피뢰기를 설치하면 된다.

(5) 고속도 재폐로의 서지

고속도 재폐로 방식에서 재폐로시에 선로측에 약간의 잔류저하가 있고 재폐로시의 재점호가 일어나면 큰 서지가 발생한다.

방지대책으로는

- (가) 선로측에 대지 리액터를 설치하여 잔류전하를 빨리 방전시킨다.
- (나) 투입시에 저항을 연결해서 2단 투입방식을 채용한다.

【문제6】 송전선로에서 적용하는 거리계전기의 원리와 동작특성을 설명하시오.(20점).

해설

거리 계전기는 전압(E)과 전류(I)를 입력량으로 하여 $\frac{V}{I}$ 의 비가 일정값 이하가 되었을때 동작하는 계전기로 ㉠ ohm 계전기 ㉡ 리액턴스 계전기 ㉢ 임피던스 계전기 ㉣ Mho 계전기 등이 있다. 일정 전압하에서는 계전기의 동작시간은 전류에 역비례한다.

즉, $T \propto \frac{1}{I}$

여기서, T=계전기의 동작시간, I=전류이다. 마찬가지로 전압코일의 흡인력은 직접 전압에 비례하므로 일정전류하에서는 계전기의 동작시간은 전압에 정비례한다.

즉 $T \propto E$ 이다. 여기서, E=전압

그러므로 계전기의 동작시간은 $\frac{E}{I}$ 즉, 임피던스 Z다시말하면, 고장점까지의 거리에 비례한다.

$T \propto \frac{E}{I} \propto Z \propto \text{거리}$

그러므로, 임피던스 계전기는 이 두 조정부, 즉 전압, 전류의 조정을 잘하면 여러가지 길이 및 굵기의 송전선로에서 서로 인접하는 계전기간의 동작시간 사이의 간격을 적당하게 정정할 수 있다.

각 계전기의 동작 한계는 다음 식으로 표시된다. 식 중에서 ϕ 는 전압이 전류보다 앞서는 각도, θ 는 임의의 일정 각도이다.

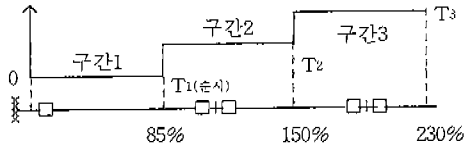
ohm 계전기 $K = \frac{V}{I} \cos(\phi - \theta)$

리액턴스 계전기 $K = \frac{V}{I} \cos(\phi - \frac{\pi}{2})$

임피던스 계전기 $K = \frac{V}{I}$

Mho 계전기 $K = \frac{I}{V} \cos(\phi - \theta)$

따라서 거리 계전기는 입력 전압과 전류를 조정함으로써 송전선로의 원하는 거리 만큼을 보호 범위로 정할 수가 있다. 거리계전기는 보통 3개의 임피던스 요소와 한시계전기(timer relay)를 조합해서 3개의 보호 구간(보통 보호구간 거리의 85%, 150%, 230%)을 시한차를 가지고 보호하도록 한다.



거리계전기의 정정은 계전기 설치점에서 계전기 가 보는 동작한계가 되는 구간까지의 정상 임피던스를 기본으로 해서 정해진다. 계전기에서 본 임피던스는

$Z_{RV} = \frac{V_2}{I_2} = \frac{V_1}{I_1} \times \frac{1/(PT \text{ ratio})}{1/(CT \text{ ratio})} = Z_L \times \frac{(CT \text{ ratio})}{(PT \text{ ratio})}$

여기서 V_1, I_1, V_2, I_2 는 1차, 2차측 전압 및 전류, Z_L 는 선로 임피던스이다.

예를 들어 154kV 송전선로에서 PT비가 154kV/110V이고 CT비가 800/5, 선로 임피던스가 0.4Ω/km일때, 100km 지점을 동작 한계로 정정한다면

$Z_{RV} = 0.4 \times 100 \times \frac{800/5}{154000/110} = 457 \Omega$

이때 계전기의 탭을 조정해서 457Ω에 가깝게 정정(setting)한다. 거리 계전기의 탭은 2%간격, 또는 5%간격 탭으로 되어 있다.

【문제7】 고속도 재폐로 방식의 종류와 재폐로 동작 시퀀스(Sequence)에 대하여 설명하시오.(20점).

해설

1. 개요

전력계통에서 발생하는 사고의 원인은 90% 이상이 순간적인 외물접촉 또는 절연상실로, 고장 발생 후 즉시 절연이 회복되어 정상 운영될 수 있는 특징을 갖는다. 따라서 사고발생시 전력 계통을 고속도로 차단후 일정시간이 경과되면 재투입하여 정상적으로 운영할 수 있는 재폐로 방식이 도입·운영되고 있다.

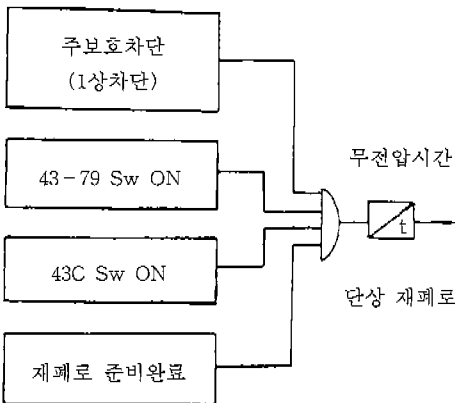
2. 고속도 재폐로 방식의 종류 및 재폐로 동작 설명

(1) 단상 재폐로 방식

단상 재폐로 방식은 1선 지락고장시 고장상만을 차단하여 나머지 2상으로 전력을 송수전하면서 고장점의 절연회복을 기다려 차단했던 1상을 재폐로하는 방식이다. 이 방식은 2상 연계에 의한 동기는 확보되어 있기 때문에 3상 재폐로처럼 특별히 동기검출을 할 필요가 없으므로 1회선 송전계통에도 적용 가능하다.

단상 차단은 3상 차단에 비하면 무전압이 된 선로부근에 타상의 건전전압이 인가되어 있는 2상의 도체가 있으므로 소 이온시간이 길어져서 무전압시간이 3상 폐로에 비해 장시간이 필요하다.

단상 재폐로는 1선 지락고장시에는 고장상만을 차단하고 재폐로 하지만, 2상 이상의 고장시에는 3상을 차단하고 재폐로 하지 않는다. 2상 이상의 고장시에 3상 차단후 3상 재폐로 하도록 고려한 방식을 단상/3상 재폐로 방식이라 한다.



<그림1> 단상 재폐로 방식

(2) 3상 재폐로 방식

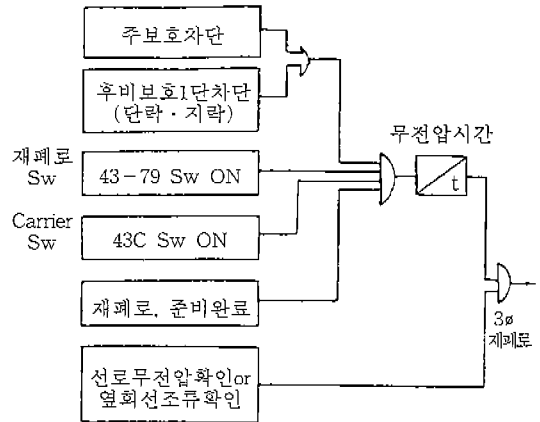
3상 재폐로 방식은 고장의 종류에 관계없이 3상을 모두 차단하고, 3상을 재투입하는 방식이다. 따라서 차단기를 재투입하는 양쪽 계통의 동기를 검정하여야 하므로 동기검출계전기나 조류 검출계전기 등과 조합 사용한다.

가) 동기확인 방식

고장발생으로 양단 차단기가 동시에 차단된 후, 주계통에 가까운 단자는 차단차단과 동시에 선로 무전압을 검출하여 상대단도 차단된 것을 확인한 후에 재폐로 하고, 상대단에서는 충전된 선로전압과 자기단자 모선전압의 위상차를 동기검출계전기로 검출해서 동기가 확인되면 재폐로 하는 방식이다.

나) 조류검출 방식

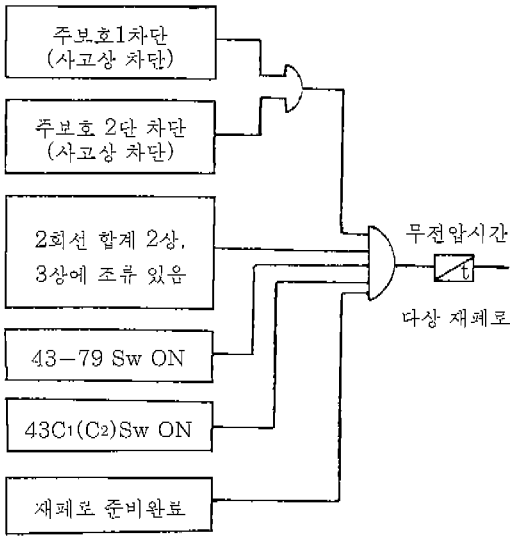
2회선 첩탑 송전선에서 1회선 고장이 발생하여 양단 차단기가 동시차단된 경우 타회선은 건전하게 운전되고 있다면 이를 통해 계통연계가 유지되어 있으므로 타회선의 조류검출계전기가 동작해 있는 것을 확인하고 재폐로하는 방식이다.



<그림2> 3상 재폐로 방식

(3) 다상 재폐로 방식

다상 재폐로 방식은 2회선 송전선에 있어 2회선 합하여 적어도 다른 2상이 건전하면 고장이 발생한 상만을 차단하여 재폐로하는 방식이다. 현 계통에서는 거의 모두가 병행 2회선이 동일 첩탑에 있으므로 2회선이 모두 동작하는 다중 고장의 발생빈도가 높아 다상재폐로는 재폐로의 성공률이 높아 유리하다.



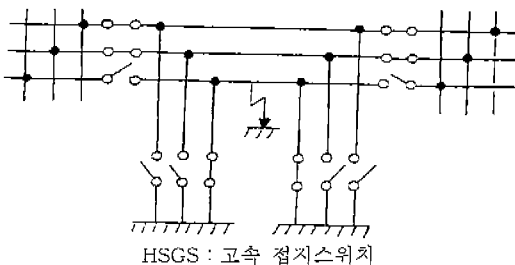
<그림 3> 다상 재폐로 방식

다상 재폐로 방식에서 재폐로 시간의 단축을 위한 방법중 하나로 고속 접지스위치(HSGS : high speed grounding switch)를 사용하고 있다.

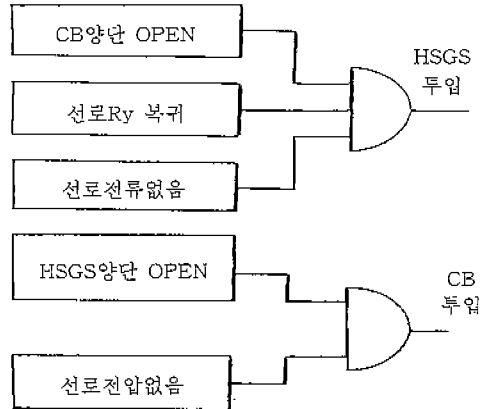
HSGS는 고장 차단후 무전압선로를 고속도로 접지투입하여 소호 시킨후, 다시 HSGS를 개방하고 고속 재폐로하도록 하는 방식으로, Shunt Reactor에 비하여 아크전류의 소호가 풍속, 풍향 등의 외부 요인에 무관하게 확실하고 어떤 사고형태에도 고속도 재폐로가 가능하다는 장점이 있다.

HSGS는 가압된 선로를 접지하는 일이 없도록 아주 신뢰성이 높은 것이어야 하는데, 고장검출 - CB차단 - HSGS투입 - 2차아크소호 - HSGS개방 - CB투입 재폐로 등 일련의 동작을 자동적으로 실시할 수 있도록 해야한다.

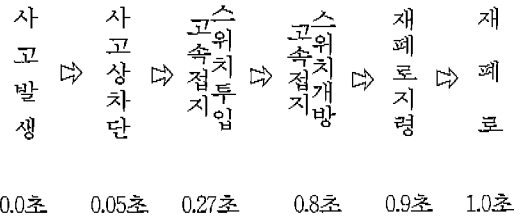
<그림 4-3>은 HSGS에 의한 자동재폐로 방식의 Logic과 진행순서를 도시한 것이며, 765kV송전선로에서의 재폐로시간은 1초 정도가 추천된다.



<그림 4-1>



<그림 4-2> HSGS에 의한 2차아크소호 고속자동접지방식



<그림 4-3> HSGS에 의한 자동재폐로 진행순서

3. 결론

송전선의 고장은 신속하게 제거하면 선로에 의한 손상은 적고 재폐로해도 고장으로 발전하지 않고 송전이 계속되는 경우가 많다.

그래서 재폐로는 송전안전도의 향상과 송전전력의 증가에 유효한 수단이 된다. 또한 우리나라와 같이 국토가 좁은 경우에는 토지이용을 높이기 위하여 송전선 모두가 동일 첩탑의 병행 2회선이기 때문에 뇌격시의 첩탑 전위상승이 생기면 2회선에 걸친 다중사고가 발생하는 확률이 높다.

기간 송전선에는 어떠한 경우에도 계통분리 사고가 나지 않도록 해야한다. 계통분리 사고의 발생확률을 낮추기 위해서는 2회선 고장이라도 2상이 진전하면 재폐로 실시가 가능한 다상 재폐로 방식을 채용하는 것이 필요하다고 생각된다. 그리고 퇴가 많은때와 같이 고장이 연속하여 발생하는 것이 예상되는 경우에는 계통운용상 신속하게 고장상을 복구하는 것이 필요하다고 생각되므로 이런 의미에서도 고속도 다상 재폐로가 필요하다.