

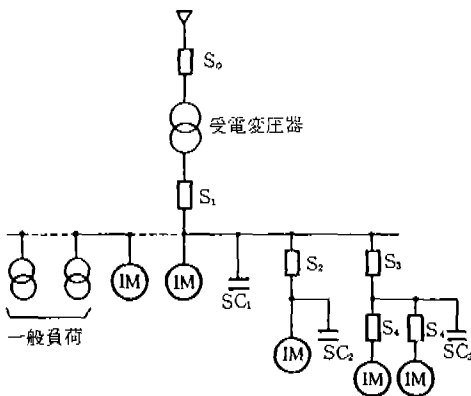
停電時 進相콘덴서의 영향

自家用 電氣設備에서 停電이 발생했을 경우에 그 원인의 규명과 제거를 확실하게 또한 신속하게 실시하여 일각이라도 빨리 送電해야 되는 것은 당연한 일이다. 여기서는 이같은 停電 및 送電에 있어서 力率改善用 進相콘덴서가 구내 전기설비에 미치는 영향 및 進相콘덴서 자체에 대한 영향에 대하여 해설하고 동시에 실제의 停電, 送電時의 トラブル을 防止하기 위한 方策, 進相콘덴서 設備시방에 대하여 설명하기로 한다.

1. 停電時의 進相콘덴서의 作用

自家用 電氣設備가 停電되었을 경우에 進相콘덴서의 작용으로서 배려해야 되는 것은 誘導電動機의 自己勵磁現象이다. 이것을 停電時에 개방되는 개폐기(차단기, 접촉기)별로 그림 1에서 알아본다.

(1) S_0 (또는 S_1) 단 開放



〈그림-1〉 停電時의 系統圖

이 경우에 受電變壓器나 負荷變壓器의 捲線抵抗에 의하여 콘덴서의 殘留電荷가 극히 단시간에 放電, 消滅되기 때문에 특별한 故障은 발생하지 않는다.

(2) S_2 (또는 S_3)가 開放(S_4 는 投入狀態 그대로)

이 때 콘덴서 SC_2 (또는 SC_3)의 용량이 誘導電動機의 無負荷勵磁電流보다 큰 경우 電動機 및 콘덴서 端子電壓이 異常上昇하여 이들 機器의 損傷에 이르는 것도 예상된다. 요즘 콘덴서가 多量으로 사용되고 있는 실정이므로 특히 SC_3 에 대해서는 이 조건에 尙致될 가능성이 있다.

이 대책으로서는 그림 1에서

(i) SC_2 의 용량을 대응하는 誘導電動機의 無負荷勵磁電流 이하로 억제한다.

(ii) 개폐기 S_4 를 停電과 동시에 개방한다.

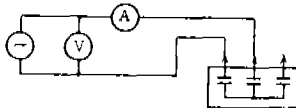
는 것이 필요하며 이것은 停電時 뿐만 아니라 通常의 개폐에 대해서도 마찬가지로 배려가 필요하다. 다만 실제의 설비에서는 대부분의 設備에 이 배려가 되어 있다.

2. 送電전에 停電原因의 究明

(콘덴서點檢)

만일 정전이 발생했을 경우 그 원인을 判別하여 原因場所를 電氣回路에서 개방해야 되는데 원인 규명을 위해 進相콘덴서를 조사할 필요성이 생겼을 경우의 점검순서를 표 1에 들었다. 표 1과 같이 무엇보다도 「安全第一」을 충분히 인식하는 것이 중요하다.

〈표-1〉 停電原因 調査를 위한 콘덴서의 點檢項目

點檢項目	方法과 포인트	停電의 判明原因
外觀目視點檢	端子部, 애자부동에 아크흔적이 없는가	表面部에서의 단락, 지락
	콘덴서케이스 (油量調査裝置가 있는 것은 장치)의 異常膨脹은 없는가	콘덴서 内部에서의 단락, 지락
保護裝置動作有無의 확인	CT 2次, PT 2次등의 보호회로 (메가, 단자이완등)도 체크해야 한다.	보호장치의 對象事故原因
導通試驗	테스터로 실시 (단자상호간, 大地間)	内部 또는 外部에서의 메터릭한 단락, 지락
絶緣抵抗測定	500V (低壓用) 또는 1000V에가로 실시 放電코일의 捲線에는 印加해서는 안된다 (放電코일 내장의 直列리액터의 相間은 주의)	大地間, 相間 (直列리액터)의 절연불량 및 콘덴서端子間 절연불량
容量試驗	電壓, 電流計法이 좋다. 3相電源 (또는 單相電源으로 3回) 에 의하여 리액턴스를 산출하여 3相 不平衡의 정도, 리액턴스 값의 定格과의 차이를 본다. 	콘덴서내부고장

3. 送電時의 進相콘덴서의 영향

停電의 원인이 되고 있는 장소를 제거하고 送電할 때에 進相콘덴서만이 系統에 접속된 상태로 되어 있으면 몇가지의 좋지 않은 현상이 발생하는 수가 있다.

(1) 過進相과 母線電壓 過上昇

力率改善用 進相콘덴서의 효과의 하나로서 負荷稼動에 따른 母線電壓降下를 補償하는 것은 잘 알려져 있는데 進相콘덴서만이 접속된 상태에서의 送電에서는 負荷設備의 대부분이 정지되어 있기 때문에 電力系統이 당연히 過進相이 되어 콘덴서効用이 반대로 「電壓過上昇」의 방향으로 나쁜 작용을 하게 된다.

콘덴서를 포함한 電氣機器에서 절연재료 (誘電體)의 수명에 미치는 영향이 가장 큰 요인이 過電壓과 溫度過大라는 것은 잘 알려져 있으며 대표적인 機器의 許容過電壓은 표2와 같다.

(a) 正常時의 母線電壓 그림2에서 負荷($P+jQ_L$)와 콘덴서($-jQ_C$)가 접속되어 있을 때의 母線電壓(V_r)과 無負荷時 母線電壓(V_s)과의 관계는 각각 다

〈표-2〉 主要機器의 許容過電壓

	許容過電壓
高壓進相콘덴서 (KSC 4802)	최고 : 115% (109%) 24시간평균 : 110% (104%)
低壓進相콘덴서 (KSC 4801)	110%
低壓進相콘덴서 (新KSC 4801)	110% (24시간중 8시간 이내) 115% (24시간 중 30분 이내) 120% (1개월 중 5분 이내×2회) 130% (1개월중 1분 이내×2회)
誘導電動機	110% (3相 平衡時)
變壓器	1次 110% (定格周波數에서) 2次 105% (定格周波數에서)

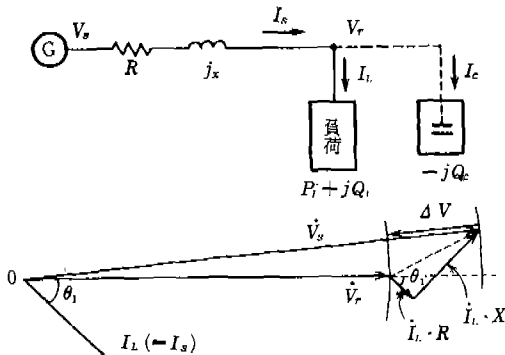
음 식과 같이 구한다.

(i) 콘덴서가 없을 때 (벡터(a))

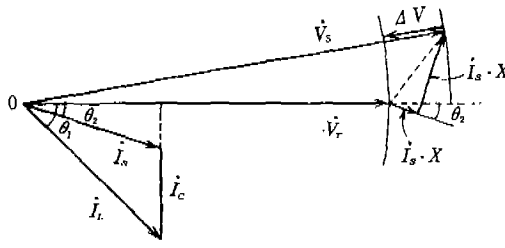
$$\Delta V_1 = | \dot{V}_s - \dot{V}_{r1} | \approx I_L \cdot \cos \theta_1 \cdot R + I_L \cdot \sin \theta_1 \cdot X \quad (1)$$

(ii) 콘덴서가 있을 때 (벡터(b))

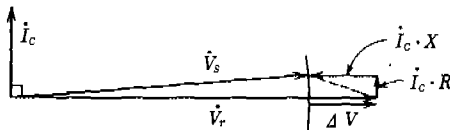
$$\Delta V_2 = | \dot{V}_s - \dot{V}_{r2} | \approx I_s \cdot \cos \theta_2 \cdot R + I_s \cdot \sin \theta_2 \cdot X \quad (2)$$



(a) 콘덴서가 없을 때



(b) 콘덴서가 있을 때



(c) 콘덴서만 있을 때 (送電時)

〈그림-2〉 過進相時의 母線電壓

iii 여기서 式 (1), (2)를 비교하면 $I_s < I_L$, 또한 $\cos \theta_2 > \cos \theta_1$ 이므로 $\sin \theta_2 > \sin \theta_1$ 이기 때문에 그 관계는

$$\Delta V_1 - \Delta V_2 = \underbrace{(I_L \cdot \sin \theta_1)}_{(大)} - \underbrace{(I_s \cdot \sin \theta_2)}_{(小)} > 0 \quad (3)$$

즉 $\Delta V_1 > \Delta V_2$ 가 되며 進相콘덴서가 負荷稼動에 따른 母線電壓降下를 보상한다는 것을 알 수 있다.

(b) 送電時의 母線電壓 벡터圖(그림 2 (c))에서

$$\Delta V_3 = |\dot{V}_s - \dot{V}_{rs}| = -I_C \cdot X \quad (4)$$

가 되며 負의 電壓降下 즉 母線電壓이 無負荷時 母線電壓보다 上昇한다는 것을 알 수 있다.

(c) %임피던스에 의한 電壓降下の 式 앞의 各式을 %임피던스를 사용하여 표시하면 각각 아래 式과 같이 된다(여기서는 式의 誘導를 생략한다).

$$\Delta V_1 = p_L \cdot r_0 + q_L \cdot x_0 \quad (1)$$

$$\Delta V_2 = p_L \cdot r_0 + (q_L - q_C) \cdot x_0 \quad (2)$$

$$\Delta V_1 - \Delta V_2 = q_C \cdot x_0 \quad (3)$$

$$\Delta V_3 = -q_C \cdot x_0 \quad (4)$$

여기서 p_L, q_L ; 기준용량 베이스의 負荷電力($P + jQ_L$)의 P, U, 값

q_C ; 기준용량 베이스의 콘덴서容량(Q_C)의 P, U, 값

r_0, x_0 ; 기준용량 베이스의 電源임피던스($R + jX$)의 %값

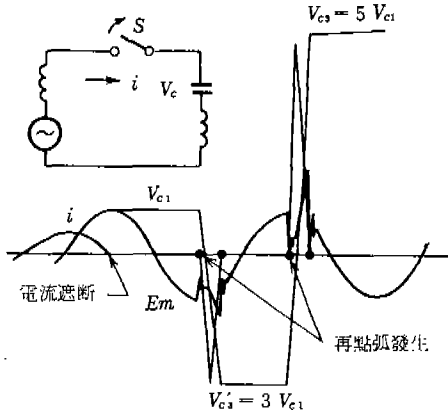
(d) 送電時의 過電壓의 실제 過進相時의 母線電壓 上昇의 이론은 前述한 바와 같은데 실제로는 어떤지 전기설비의 受電形態別로 알아본다.

(i) 特高(11kV 이상) 受電의 경우; 受電點의 短絡임피던스가 受電變壓器의 임피던스에 비하여 대폭적으로 작기 때문에 受電變壓器 2次母線의 電壓에 관해서는 앞의 이론식에 의한 계산결과와 실제의 값은 거의 같아진다(電源임피던스에서 $r_0 \ll x_0$ 이므로 式中の r_0 는 생략해도 된다) 따라서 미리 過電壓의 정도가 예측되므로 대응책도 강구하고 있는 케이스가 많다.

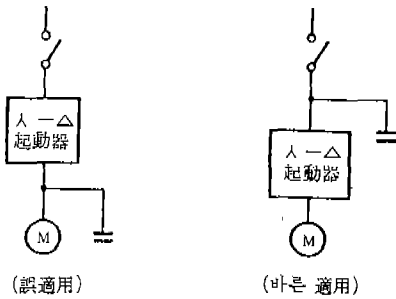
(ii) 高壓(6KV) 受電의 경우; 同一한 高壓母線에多數의 수용가의 負荷 및 進相콘덴서가 접속되어 있다는 것, 配電線의 사이즈, 巨長에 의하여 수용가 마다의 電源임피던스가 다르기 때문에 送電時의 電壓 上昇豫測은 곤란하다. 다만 현실적으로는 電力會社에서의 電壓調整機能이나 최근의 進相콘덴서 自動制御運轉의 급속한 보급도 있으므로 일상의 輕負荷時(夜間, 休日 등)의 최고전압 또는 이를 약간상회하는 정도로 생각하면 된다.

(2) 콘덴서殘留電荷와 送電時 過渡過電壓

停電時에 進相콘덴서에 잔류전하가 존재하며 이것이 放電이 완료되지 않은 短時間 내에 送電되었을 경우에는 送電瞬時に 過渡過電壓이 발생하여 進相콘덴서 뿐만 아니라 同一母線에 접속된 他機器에도 나쁜 영향을 미치게 될 것이 예상된다. 이 過渡過電壓의 발생은 잘 알려지고 있는 「콘덴서開放時의 再點弧現象(그림 3)」과 같은 현상이다. 또한 통상의 콘덴서開放 후의 再投入에 있어서도 마찬가지로 過電壓의 발생이 있기 때문에 「開放 후 소정의 시간(放電抵抗에서 5分, 放電코일에서 5秒) 이상을 경과한 후 再投入해야 된다」으로 되어 있는 것은 주지하는 바와 같다. 또한 유사한 현상인데 誘



〈그림-3〉再點弧現象



〈그림-4〉誘導電動機에의 콘덴서適用

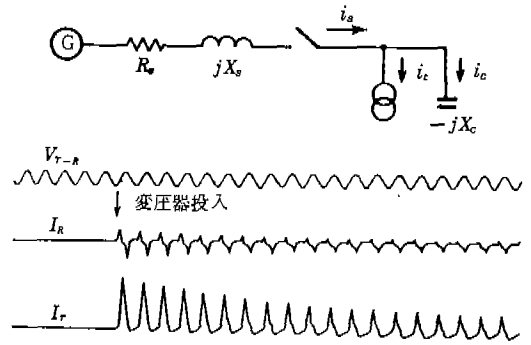
誘導電動機의 Δ - Y 전환기동장치보다도 전동기 권선 측에 進相콘덴서를 直結했기 때문에 콘덴서의 절연 파괴 등의 사고를 경험한 사람도 있을 것이다(그림 4).

또한 進相콘덴서가 配電用 變壓器와 直結되어 있을 경우에는 殘留電荷가 直流抗이 작은 變壓器 捲線을 통하여 단시간 내에 放電되기 때문에 送電時의 過渡過電壓은 대부분의 경우 문제가 없을 정도로 억제된다.

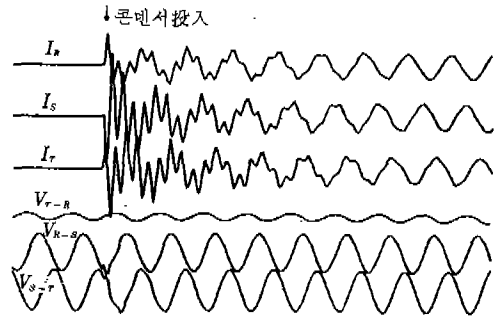
(3) 無負荷變壓器와의 同時投入에 의한 過渡現象

일반적인 動力負荷(電動機 등)의 개폐에 사용되고 있는 電磁接觸器는 同相 交流母線電壓으로 상시 여자, 유지되고 있으므로 停電과 동시에 트립(開放)되어 버린다. 따라서 送電時에는 動力用 變壓器가 無負荷投入되게 되는데 이 때의 勵磁突入電流는 그림 5 (a)와 같은 歪波形式으로 되며 基本波 周波數(50 또는 60Hz)의 2~4 배의 周波數 成分(高調波電流)을 多量으로 포함하고 있다(표 3).

따라서 送電時에 進相콘덴서와 無負荷 變壓器가



(a) 無負荷變壓器勵磁突入電流波動(觀測例)



(b) 進相콘덴서突入電流波形(直列리액터附의 觀測例)

〈그림-5〉無負荷變壓器와 콘덴서의 同時投入

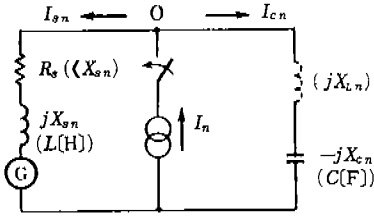
〈표-3〉無負荷變壓器 投入時의 勵磁突入電流에 함유된 高調波成分

高調波次數(n)	含有率
2	25~50%
3	20~35%
4	5~15%

(注) n; 基本波 周波數(50 또는 60Hz)에 대한 倍數含有率; 勵磁突入電流의 基本成分(定格의 數倍 이상)에 대한 百分率

동시에 투입되었을 때 進相콘덴서에는 그림 5 (b)와 같은 콘덴서突入電流에 중첩되어 變壓器 勵磁突流에 포함되는 高調波電流가 分流하여 流入되게 된다. 이 高調波電流의 콘덴서에 分流하는 비율은 다음과 같이 구할 수가 있다.

그림 5의 系統은 그림 6의 等價回路에서 생각하면 되며 킬히호프의 法則에 의하여 結合點 0에서 $I_n = I_{en} + I_{cn}$ 의 관계가 성립되므로 無負荷變壓器를 勵磁突流中の 高調波電流 I_n 의 발생원으로 볼 수 있다.



(그림-6) 等價回路

한편 基本波 周波數(f_0)의 n 배의 周波數($f_n = n \cdot f_0$)에서의 자 리액턴스는 각각

$$X_{sn} = 2\pi f_n \cdot L = n \cdot 2\pi f_0 \cdot L = n \cdot X_s \quad (5)$$

$$X_{cn} = \frac{1}{2\pi f_n \cdot C} = \frac{1}{n \cdot 2\pi f_0 \cdot C} = \frac{1}{n} \cdot X_c \quad (6)$$

로 구할 수 있기 때문에 콘덴서에의 分流比는 R_s 를 $R_s \ll X_s$ 로서 무시하면 다음 式으로 구할 수 있다.

$$I_{cn} = \frac{jX_{sn}}{jX_{sn} + (-jX_{cn})} \cdot I_n$$

$$= \frac{n \cdot X_s}{n \cdot X_s - X_c/n} \cdot I_n \quad (7)$$

또한 進相콘덴서에 波形 改善用 直列리액터 ($L=6\%$)가 부속된 설비에서는 $X_L = 0.06 \cdot X_c$ 의 관계에서 $-jX_{cn}$ 을

$$-jX_{cn} + jX_{Ln} = -\frac{X_c}{n} + n \cdot 0.06 X_c$$

로 대체하면 되고

$$I_{cn} = \frac{n \cdot X_s}{n \cdot X_s - X_c \left(\frac{1}{n} - 0.06 \cdot n\right)} \cdot I_n \quad (8)$$

로서 구할 수가 있다.

이와 같이 流入되는 高調波電流에 의하여 콘덴서에서 高調波電壓 V_{cn} (옴의 法則에 의하여 $V_{cn} = I_{cn} \cdot X_{cn}$ 으로서 구할 수 있다)이 印加되어 앞의 (1)기재의 過進相에 의한 過大電壓과 중첩되기 때문에 콘덴서 자체의 수명에 적지 않은 악영향을 미치게 된다.

또한 電力會社 6kV 配電線에서 受電하고 있는 自家用 設備에서는 많은 다른 수용가의 콘덴서 사용실태의 파악이 곤란하기 때문에 (7), (8)식에 의한 算出은 실제로는 곤란한데 대부분의 경우 변압기용량이 작고 勵磁突入電流가 작다는 것, 配電線의 抵抗分이 크다는 것 등에서 이 현상이 문제가 되는 케이스는 적다고 본다.

(4) 送電時의 現象의 종합

이상과 같이 送電時에 進相콘덴서만이 投入되었을 경우의 여러 가지 현상은 모두가 일상의 콘덴서 回路現象에 관련된 것임을 알았는데 이것을 정리하면

- (i) 過進相에 의한 母線電壓上昇
- (ii) 콘덴서 殘留電荷에 의한 過渡過電壓
- (iii) 無負荷變壓器와 同時投入되었을 때에 변압기 勵磁突入電流 中の 高調波 電流流入에 의한 콘덴서 端子電壓 上昇 등 콘덴서 자체 외에 同一母線의 他機器에의 過電壓印加도 예상되는 현상이다.

이같은 현상은 停電과 동시에 進相콘덴서가 개방되고 送電 후의 負荷(無効電力)의 回復增加 베이스에 맞추어 再投入되면 해결된다. 다음 항에서는 이를 위한 進相콘덴서의 適用方法에 대하여 설명하기로 한다.

4. 停電 - 送電을 고려한 進相콘덴서의 適用方法

(1) 停電時의 進相콘덴서 開放

停電時 콘덴서를 개방하려면 다음의 方法이 많이 사용되며 또한 간편하다.

(a) 低電壓繼電器의 사용 進相콘덴서의 보호 시스템으로서 過電流繼電器(短絡檢出), 過電壓繼電器(過電壓과 過負荷檢出)나 기이스 파괴보호(內壓式 保護用 接點 그림 7, 電力푸즈 등)와 함께 低電壓繼電器가 필요한 것은 종래로부터 알려져 있는데 현실적으로는 大容量設備를 제외하고는 적용되는 예가 적다. 構內 자가용 설비에 이미 低電壓繼電器를 장비한 수용가는 약간의 비용으로 이 利用이 가능하므로 가급적이면 실시할 것을 장려하고 있다.

(b) 콘덴서開閉器(遮斷器)의 操作方式 開閉器의 操作方式를 大別하여 표 4에 들었다. 進相콘덴서用 開閉器에는 종래에 多數의 開閉에 적합한 常時勵磁式(AC 또는 DC)이 많이 사용되었는데 요즘은 에너지節約推進에 따라 운전중 損失이 없는 래치식이 채용되고 있다.

그러나 停電에 있어서 開放해야 될 進相콘덴서用 開閉器에는 표 4의 비교 결과에서 AC電源을 사용한 常時勵磁式이 가장 적합하다는 것을 알 수 있다
(100페이지로 계속)