

클램프형 電流計에 의한 漏洩電流 測定方法



受電盤의 스위치를 끊지 않고 活線狀態에서 옥내배선 등의 漏電量을 측정하는 방법이 고안되었다. 이 方法에 따르면 클램프형 電流計를 모체로, 어댑터를 부가시키는 것만으로 지극히 손쉽게 실질적인 漏電量을 바르게 측정할 수 있다. 여기서는 그 基本原理와 具體的인 方法·用具에 대해 해설한다.

1. 活線狀態에서의 測定

옥내 전기배선이나 電氣機器는 장기간 사용하면 설치환경에 따라서 점차 老朽劣化되어 絶緣 저항이 내려가고 耐電壓도 내려 간다. 老朽劣化의 정도를 조사하기 위해 옛날부터 손쉽게 확인하는 手段으로는 屋內配電盤의 스위치를 끊고 屋內側의 전선을 1線마다 大地(接地線) 사이에서 絶緣저항계(메거)로 絶緣저항을 측정하는 方法이 사용되고 있다. 그러나 工場이나 빌딩의 경우, 測定에 요하는 時間은 단시간이지만 동력의 停止나 照明의 정전, 그리고 최근 보급된 컴퓨터의 停止 등, 수용가에게 더욱 희생을 강요하는 結果가 되고 있다.

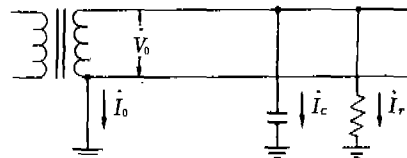
이 경우, 屋內配電盤의 스위치를 끊지 않고 평상시 그대로(活線狀態 그대로) 絶緣劣化의 정

도를 측정할 수 있다면 수용가에 대한 서비스상 대단히 바람직한 일이다.

이하 「活線狀態에서의 劣化測定」을 위해 연구 개발된 測定方法을 설명한다.

2. 活線狀態에서 測定하는 경우의 문제

屋內配線을 課電狀態下에서 對地絶緣의 불량을 計測하려면 접지선에 흐르는 電流를 測定하면 될 것 같지만 그림 1에 든 것과 같은 회로 때문에 즉시 絶緣불량으로 인한 누설전류라고 단정할 수는 없다. 즉 그림 1의 接地線을 흐르는 전류 I_0 는 絶緣不良에 의한 누설전류(有効電流) I_r 이외에 屋內線과 對地間의 靜電容量에 의한 充電電流(無効電流) I_c 가 포함된다. 對地間의 靜電容量은 대략 $0.1\mu F/100m$ 정도이므로 전원이 100V, 60Hz인 경우, 100m 길이에 대해 I_c 는 다음과 같이 된다.



〈그림 1〉 接地線電流

$$I_c = \frac{V_0}{X_c}$$

$$= 100 \times 2\pi \times 60 \times 0.1 \times 10^{-6}$$

$$= 3.77 [\text{mA}]$$

3.77mA는 100V/26.525kΩ에 상당하므로 절연저항이 높을 때는 接地線의 전류는 對地정전용량에 의한 無効電流를 觀測하는 것이 된다.

그림 2에 위의 I_0 , I_r , I_c 의 벡터 관계를 표시하였다. I_r 는 電源電壓 V_0 와 同相이지만 I_c 는 V_0 에 대해 90° 위상이 앞선다. 따라서 I_0 는

$$\vec{I}_0 = \vec{I}_r + \vec{I}_c$$

에 의해 그림 2와 같은 관계가 된다.

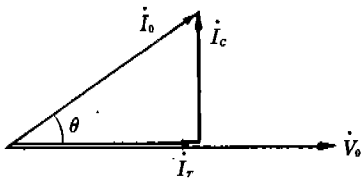
따라서 I_0 의 절대값 $|I_0|$ 는

$$|I_0| = \sqrt{I_r^2 + I_c^2}$$

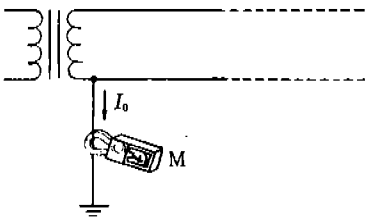
이다.

그림 3과 같이 클램프형 電流計를 接地線에 삽입하여 미터가 표시하는 값은 위의 $|I_0|$ 이다.

결국 接地線에 흐르는 전류는 對地靜電容量에 의한 無効分電流가 상당히 흐르고 있으므로 眞漏洩電流인 有効分電流만을 측정하기 위하여는 어떠한 수단을 가해야 한다.



〈그림 2〉 接地線電流의 벡터圖



〈그림 3〉 클램프형電流計(M)에 의한 I_0 의 測定

또한 참고로 現在 課電狀態 그대로 對地 絶緣不良을 계측하는 方法으로 위의 $|I_0|$ 를 계측하고 별도로 전원電壓 V_0 과 I_0 의 位相差(그림 2에서의 θ)를 계측하여

$$|I_r| = |I_0| \times \cos \theta$$

$$|I_c| = |I_0| \times \sin \theta$$

의 연산으로 구하는 것이 있다.

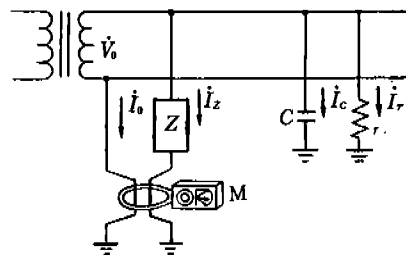
이 방식을 기초로 한 計測器로서 商用 周波數와 다른 周波數의 電流를 準備하여 接地線에 이 電壓을 印加하고 또 接地線에 유입하는 주파수 의 電流를 꺼내어 同期檢波의 수법으로 電壓·電流의 위상차를 알고 有効分 電流, 無効分 電流를 연산하여 出力하는 것이 있다.

다만 이 計測器에 의하는 경우는 접지선 의 도중에 測定用 信號電流를 주입하는 주입變壓기를 장착하여야 하며 클램프형 電流計로 I_0 를 관측하는 것처럼 간단하지가 않다.

3. 클램프형 電流計에 의한 漏洩電流 測定의 基本

클램프형 電流計를 접지선에 삽입하여 有効分 電流 I_r 만을 계측하는 방식의 基本回路를 그림 4에 든다.

요점은 전류계 의 클램프(電流變成器)에 접지선 이외에 補償電流 I_z 를 흘리는 임피던스 Z 의 補償回路를 부가시켜 든다. 그리고 이 보상회로가 없을 때의 전류 I_0 과 보상회로를 부가하였을 때의 合成電流 I_{0+z} 로 부터 I_r 를 구하려는 것



〈그림 4〉 漏洩電流測定의 基本回路

이다.

또 이 경우 보상전류회로를 클램프에 삽입하지 않고 外側에 단독으로 접속하여도 측정결과에서 계산으로 I_r 를 구할 수는 있다.

그러나 前者는 다음과 같은 有效한 이점이 있기 때문에 클램프 내에 補償電流를 흘리는 方法이 좋다.

(a) 보상전류 I_z 의 방향이 正負 자유롭게 선택될 수 있다.

(b) 클램프에 補償電流回路用 코일을 감으면 그 (1/捲數)의 공급전류로 접지선과 동등한 효과를 갖는다.

(起磁力 \propto 電流 \times 捲數)

이에 의해 補償回路의 구조가 작은 것으로 되게 된다.

(c) 後述하는 바와 같이 보상전류를 임의의 可變으로 설정하면 有效電流 I_r 는 전류계 지시값에서 즉시 구할 수 있다 (min 수동 조정에 의한 簡易測定方法).

그림 4의 기본회로에서의各部, 電流의 벡터圖를 그림 5에 든다. 그림 중 I_{0+Z} 는 I_0 와 I_z 의 合成電流이며 이 절대값은 클램프型 電流計의 지시값에서 직접 파악할 수 있다.

또 I_{ZR} , I_{ZX} 는 보상전류 I_z 의 實數分과 虛數分이며 이 값은 자의적으로 삽입하는 Z 와 전원전압 V_0 에 의해 既知의 값이다. 이 벡터圖에서 I_r 를 구하면 \cos 法則에 의해

$$\cos \theta = \frac{I_z^2 + I_{0+Z}^2 - I_0^2}{2 \times I_z \times I_{0+Z}}$$

$$\text{또한, } \tan \varphi = \frac{I_{ZR}}{I_{ZX}}$$

$$\sin(\theta + \varphi) = \frac{I_r + I_{ZR}}{I_{0+Z}}$$

정리하면,

$$I_r = I_{0+Z} \times \sin\left(\cos^{-1} \frac{I_z^2 + I_{0+Z}^2 - I_0^2}{2 I_z \cdot I_{0+Z}} + \tan^{-1} \frac{I_{ZR}}{I_{ZX}}\right) - I_{ZR} \quad (1)$$

補償電流 I_z 의 위상이 전원 V_0 과 同位相, 즉 Z 가 純抵抗性일 때는 식 (1)에 있어서의 기호를 다음과 같이 변화시키면 된다.

$$I_z \rightarrow -I_{ZR}$$

$$I_{ZX} \rightarrow 0$$

이것을 식 (1)에 대입하면 다음과 같이 된다.

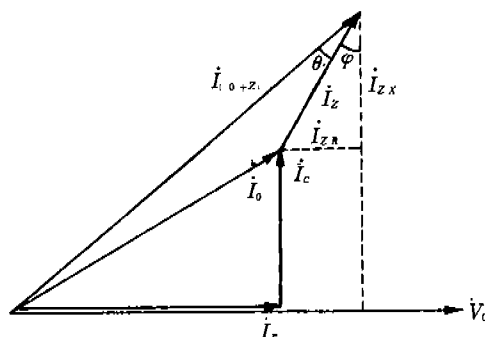
$$I_r = I_{0+Z} \times \sin\left(\cos^{-1} \frac{I_{ZR}^2 + I_{0+Z}^2 - I_0^2}{2 I_{ZR} \cdot I_{0+Z}} + \tan^{-1} \frac{I_{ZR}}{0}\right) - I_{ZR}$$

여기서 다시

$$I_{ZR} \rightarrow -I_{ZR}$$

즉, 補償電流의 방향을 反로 하면 위의 식은 다음과 같이 된다.

$$I_r = I_{0+Z} \times \sin\left(\cos^{-1} \frac{I_{ZR}^2 + I_{0+Z}^2 - I_0^2}{-2 I_{ZR} \cdot I_{0+Z}} - \frac{\pi}{2}\right) + I_{ZR} \quad (2)$$



<그림 5> 基本回路의 벡터도

식 (2)에서 $\cos^{-1} \frac{I_{ZR}^2 + I_{(0+Z)}^2 - I_0^2}{-2I_{ZR} \cdot I_{(0+Z)}} \rightarrow \frac{\pi}{2}$ 로

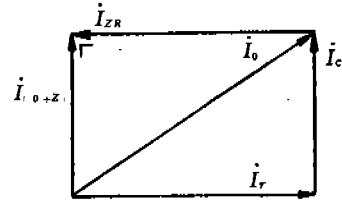
하면 $I_r = I_{ZR}$

즉, 有効分電流(누설전류)는 보상전류의 절대값과 동일한 것이 된다. 그러면 위의 조건은 무엇인지를 살펴 본다.

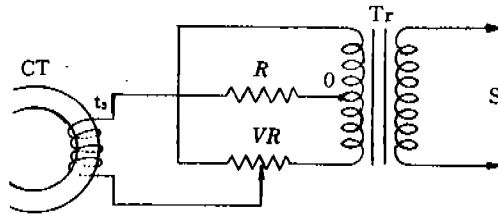
$$\cos^{-1} \frac{I_{ZR}^2 + I_{(0+Z)}^2 - I_0^2}{-2I_{ZR} \cdot I_{(0+Z)}} = \frac{\pi}{2}$$

가 되기 위하여는

$$\frac{I_{ZR}^2 + I_{(0+Z)}^2 - I_0^2}{-2I_{ZR} \cdot I_{(0+Z)}} = 0$$



〈그림 6〉 補償電流가 有効電流와 같은 경우의 벡터圖



〈그림 7〉 min 調整用 附加回路

즉,

$$I_{ZR}^2 + I_{(0+Z)}^2 = I_0^2 \quad (3)$$

이다.

이것은 그림 6과 같이 I_0 을 斜邊으로 하는 직각삼각형이다. 이것은 보상 전류를 변화시켜서 $I_{(0+Z)}$ 가 최소가 되었을 때의 조건과 같다.

4. 클램프型 電流計에 의한 漏洩電流 測定의 실제

前節 3.의 기본원리를 사용한 실용측정의 방법을 2종류 설명한다.

가. min 수동조정에 의한 簡易測定方法

그림 7은 이 측정을 위해 클램프型 電流計의 부가회로를 표시한 것이다. 그림의 T_r 는 수 W의 작은 트랜스, 1차측은 피측정 전원 S에 접속한다.

트랜스 T_r 의 2차측은 中性點 0에서 固定抵

抗 R를 經유하여 클램프 CT의 3차권선 t_3 에 접속한다. 또 트랜스 T_r 2차측의 兩端子는 가변 포텐셔미터 VR에 접속하고 그 擧動端子는 클램프 CT의 3차권선 t_3 의 한쪽 단자에 接續한다. 클램프에 감은 3차 권선은 그림의 경우 4회 감겨 있으므로 接地線側에 洩散한 電流는 이 부가회로에서 供給하는 補償電流의 4배에 相當한다.

고정저항 R는 트랜스 T_r 에 약간의 리케이지 인덕턴스가 있으므로 그 리액턴스 드롭에 대해 충분히 큰 저항 드롭을 주어 클램프의 t_3 에 흐르는 보상전류의 위상을 피측정 전원 S의 전압위상에 맞추는 것이다.

사용방법은 클램프 CT를 被測定電源의 접지선에 삽입하여 클램프 전류계의 지시가 최소(min)가 되도록 부가회로의 VR를 조정한다. 이때 클램프 電流計의 지시값은 식 (3)의 $I_{(0+Z)}$ 이므로 이때는

$$I_r = -I_{ZR}$$

의 조건을 만족시킨 것이 된다.

I_{ZR} 를 알기 위하여는 接地線으로부터 클램프를 분리하고 그대로의 상태에서 클램프 電流計의 지시를 관독하면 補償電流, 즉 漏洩電流(有效分電流) I_r 를 알게 된다.

또 接地線에 클램프를 삽입하고 電流計 min의 관독은 그림 6에서 알 수 있듯이 $I_{(0+Z)} = I_C$ 이므로 이것은 被測定回路의 無効分電流를 測定하고 있는 것이다.

나. 定補償電流 反轉에 의한 演算方法

이 측정방법은 앞의 가.에서 발전시킨 것으로, 수동에 의한 調整이 필요없고 장시간 自動計測記錄을 가능하게 하기 위해 고안된 것이다.

測定器의 구성은 앞의 것과 동일하게 3차 권선을 한 클램프型 電流計와 앞의 것과 유사한 그림 8에 표시하는 부가회로에 부가하여 電流計出力을 연산하는 論理演算回路가 필요하다. 다만 手計算으로 결과를 알 수도 있다.

이 方法의 구조의 기본은 그림 4의 補償回路 Z 를 앞의 가.처럼 純抵抗이며 또한 고정값이고 그 위에 일정시간(예를 들면 수 초) 간격으로 補償電流 I_{ZR} 의 방향을 바꾸고 각각의 電流計의 지시값에서부터 뒤에 표시하는 것과 같은 간단한 演算으로 有效分 누전전류값을 구한다.

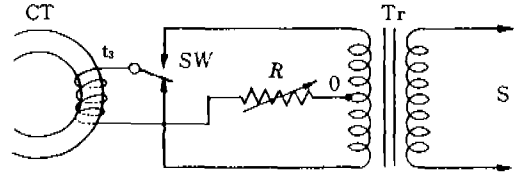
그림 8의 부가회로에 있어서 R 는 半固定抵抗으로 적당한 I_{ZR} 가 되도록 설정해 둔다. SW는 I_{ZR} 의 방향을 전환하는 전환 스위치이다. 그 외는 그림 7의 부가회로와 동일한 것이면 된다.

식 (1)에서의 I_x 를 최초의 時間帶는 $I_x \rightarrow I_{ZR}$, 다음의 時間帶는 $I_x \rightarrow -I_{ZR}$ 로 한다.

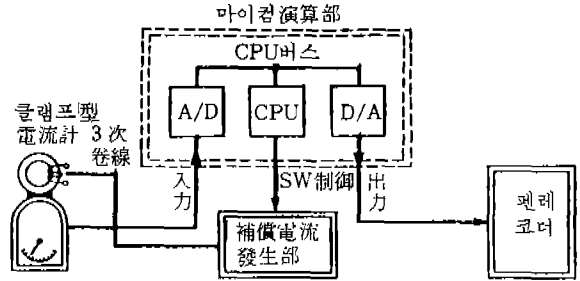
(I_x 는 어느 경우에도 0)

즉, 최초 時間帶의 $I_{(0+Z)}$ 를 $I_{(0+Z)1}$, 뒤쪽의 $I_{(0+Z)}$ 를 $I_{(0+Z)2}$ 로 하면 다음과 같이 된다.

$$I_r = I_{(0+Z)1} \times \sin \left(\cos^{-1} \frac{I_{ZR}^2 + I_{(0+Z)1}^2 - I_0^2}{2I_{ZR} \cdot I_{(0+Z)1}} + \frac{\pi}{2} \right) - I_{ZR}$$



〈그림 8〉 定補償電流反轉用 附加回路



〈그림 9〉 定補償電流法 自動測定記錄 시스템

$$I_r = I_{(0+Z)2} \times \sin \left(\cos^{-1} \frac{I_{ZR}^2 + I_{(0+Z)2}^2 - I_0^2}{-2I_{ZR} \cdot I_{(0+Z)2}} - \frac{\pi}{2} \right) + I_{ZR}$$

정리하면

$$I_r = \frac{I_{ZR}^2 + I_{(0+Z)1}^2 - I_0^2}{2I_{ZR}} - I_{ZR}$$

$$I_r = \frac{I_{ZR}^2 + I_{(0+Z)2}^2 - I_0^2}{-2I_{ZR}} + I_{ZR}$$

이것으로부터

$$I_r = \frac{I_{(0+Z)1}^2 - I_{(0+Z)2}^2}{4I_{ZR}}$$

또는

$$I_r = \frac{\{I_{(0+Z)1} + I_{(0+Z)2}\} \cdot \{I_{(0+Z)1} - I_{(0+Z)2}\}}{4I_{ZR}} \quad (4)$$

즉, 2種의 補償電流를 포함하는 有效分 合成電流의 合 또는 差의 積 누설전류 = $\frac{4 \times \text{補償電流}}$

가 된다.

그림 9는 마이컴의 연산회로를 포함한 이 방법에 의한 全体 시스템 구성이다.