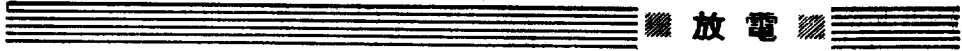


特
輯



最近의 絶縁協調

徐 國 哲
〈光云工大 電氣工學科 教授〉

目 次

- 1. 序 言
- 2. 絶縁協調의 方法
- 3. 電氣機器의 $V-t$ 特性과 絶縁協調
- 4. 避雷器의 性能과 絶縁協調
- 5. 絶縁強度와 絶縁協調
- 6. 結 言

1. 序 言

絶縁協調(Insulation co-ordination)란 일반적으로는 「保護裝置의 特性을 고려한 뒤에 系統에 發生하는 過電壓에 대하여 機器의 耐電壓을 적절히 選定하는 것에 의하여 全系統에 대하여 絶縁強度의 합리적인 協調를 도모하여 安全하고 經濟的인 絶縁設計를 하려는 것이다」라고 말하고 있다.

한편 國際電氣標準規格(IEC)은 絶縁協調의 基本原理를 다음과 같이 규정하고 있다. 「絶縁協調은 有効한 保護裝置의 特性을 고려하면서 機器에 가하여지는 電壓스트레스에 의한 機器絶縁破壞의 確率 또는 供給支障의 確率을 經濟的 運用的으로 받아들일 수 있는 레벨까지 低減할 수 있도록 機器의 絶縁強度를 選定하고 아울러 그 機器를 適用하는 일이다」

즉 機器에 가하여지는 각종의 電壓保護裝置에 의한 電壓抑制, 機器絶縁의 故障率, 絶縁強度의 상호관계를 가장 合理的으로 만드는 것이 絶縁協調이다. 최근에 있어서의 絶縁協調의 進展은 보다 安定하게 작동하는 避雷器(산화아연 式피뢰기)의 등장과 깨스 絶縁電氣機器의 사용 등에 의하여 線路에 發生하는 異常電壓을 低減할 수 있게 된 점이다.

避雷器에 의한 保護에 의하여 생긴 低減絶縁의 채용은 變壓器를 위시한 電氣機器의 絶縁強度가 $V-t$ 特性面에서 協調를 취할 필요가 있게 되어 雷임펄스에 대한 耐力보다도 오히려 開閉임펄스나 長時間의 交流異常電

壓에 대한 耐力쪽이 注目을 받게 되었다.

또한 깨스 絶縁機器에 대한 絶縁協調은 종래의 氣中 絶縁機器와 비교하여 여러가지 특이성이 있어 종래의 絶縁協調方式 그대로를 적용하기 어렵고 깨스 絶縁機器의 특성에 적합한 高유의 方式을 취하게 되는 추세에 있다.

2. 絶縁協調의 方法

(1) 確定論的方法(一般的方法)

현재 많이 쓰이는 方法이며, 系統의 각종 電壓을 想定하여 그것에 安全係數를 고려하여 絶縁試驗電壓을 定하는 方法이다.

系統에 나타나는 電壓의 종류로는

(a) 상시의 商用周波電壓(系統電壓)

(b) 이상시의 短時間商用周波性過電壓(一線地絡時的 健全相電壓上昇, 負荷차단에 의한 電壓上昇 共振에 의한 電壓上昇)

(c) 開閉서어지(차단기의 개폐조각에 의한 서어지 地絡등에 의한 서어지)

(d) 雷서어지의 비가치가 있으며 機器의 絶縁強度도 이것에 대응하여 定하여지며 각각의 試驗電壓이 定하여져 있다.

(a)와 (b)에 대응하여 商用周波試驗電壓

(c)에 대응하여 開閉임펄스試驗電壓

(d)에 대응하여 雷임펄스試驗電壓

商用周波試驗電壓에는 1분간耐電壓試驗과 長時間耐電壓試驗이 있으며, 1분간耐電壓試驗電壓値는 系統의 1線地絡時的 健全相電壓의 약 2배의 값(安全係數 2)이 취하여져 있다.

健全相電壓上昇은 抵抗接地系統에서는 回路電壓/ $\sqrt{3}$ 의 $\sqrt{3}$ 배, 超高壓有効接地系統에서는 같이 1.4배, 超超高壓(500kV)有効接地系統에서는 같이 1.25배가 想

定되어 있다.

長時間耐電壓試驗은 機器絕緣의 性能檢査 신뢰성을 높이기 위하여 도입된 試驗法이며 絕緣에 유해한 코로나 放電의 有無檢출에 주안을 두고 있다.

課電電壓은 對地電壓의 1.5배이며 時間은 1시간씩 2회로 되어 있다.

開閉임펄스 試驗電壓이나 雷임펄스 試驗電壓이나, 避雷器에 의한 보호를 전제로 하여 開閉서어지 혹은 雷서어지를 어떠한 電壓值까지 억제할 수 있는가를 想定하여 이 값에 裕度를 고려하여 정한 것이다.

電壓抑制值의 上限을 保護레벨이라고 하며, 거기에 裕度 10~20% (개폐임펄스), 20~30% (雷임펄스)를 하여 試驗電壓으로 하고 있다.

한 機器의 商用周波試驗電壓, 開閉, 雷임펄스 試驗電壓의 세 가지에는 상호관계가 있으며, 어느 한 가지를 극단적으로 바꾸는 것은 무의미한 일이다. 機器絕緣의 신뢰성을 확보하기 위하여 絕緣方式에도 상호관계가 존재하며 이것을 고려하여 최종적인 試驗電壓이 정하여진다. 「絕緣레벨의 低減」이란 試驗電壓과 系統電壓의 比를 작게하는 것이며, 例로 제 1 표에서 154kV 系統의 雷임펄스 試驗電壓은 750kV 이므로 $750/154=4.87$ 인데 비하여 345kV 系統에서는 $1/345=$ 이며, 500kV 系統에서는 $1800/500=3.6$ 으로 되어 低減되었음을 알 수 있다.

絕緣레벨을 低減시키면 機器絕緣部分의 제작비감소는 물론, 小形機器에 의한 수송중량의 감소등의 効果는 크다. 물론 絕緣레벨을 低減시키는데는 系統에 나타나는 각종 過電壓을 억제시키고 아울러 機器絕緣設計 제작기술등을 相應하여 향상시키지 않으면 안된다.

(2) 確率論의 絕緣協調의 方法

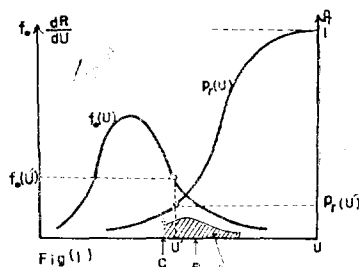
앞으로 채용될 가능성이 큰 方法이며, 系統에 나타나는 過電壓이나 機器의 耐電壓值도 본질적으로는 確率의인 성질을 갖고 있으며 이것을 고려에 넣어 絕緣協調를 검토하는 方法이다.

確率論의 絕緣協調는 그림 1과 같이 過電壓과 絕緣放電率이 사귀는 넓이 (危險率)를 구하고 所要의 값을 확보하는 일이다. 이 方法은 매우 合理的이며 특히 絕緣의 放電經路가 많은 경우, 가령 送電線, 變電所의 碍子連이나 氣中絕緣등에 대하여는 有用하다.

그러나 變壓器등의 內部絕緣에서는 絕緣強度의 統計的 評價가 곤란하기 때문에 실제의 機器를 대상으로 한 設計는 아직 볼 수 없으며 앞으로의 과제로 미루어 둔다.

(3) 準確率論의 絕緣協調의 方法

그림 2와 같이 過電壓과 絕緣의 統計的인 값을 정



- A: Area A
- B: $R = \int_0^{\infty} P_r(U) \cdot f_0(U) dU$
- C: $dR/dU = P_r(U) \cdot f_0(U)$
- f: 開閉서어지 發生確率分布
- p: 絕緣의 放電率

그림 1. 確率論에 의한 危險率의 評價法(IEC)

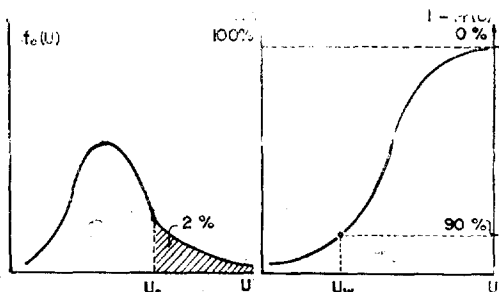


그림 2. 開閉서어지 發生率(2%)와 絕緣耐電壓(90%) (IEC)

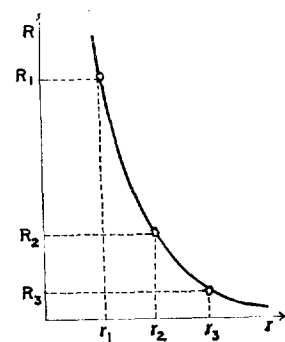


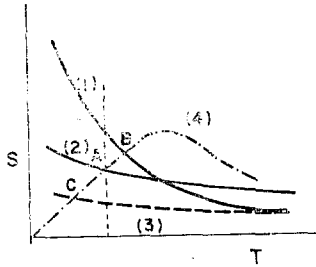
그림 3. 安全係數(r)와 危險率(R)의 관계

하고 이 두값의 比를 安全係數로 하여 絕緣協調를 논하는 方法이다.

IEC에서는 V_w 를 2% 發生率, V_s 를 90%耐電壓으로 設定하여 V_w/V_s 를 安全係數로 하고 있다. 安全係數와 危險率과의 사이에는 그림 3의 관계가 있다.

3. 電氣機器의 V-t特性和 絕緣協調

최근의 경향으로서 避雷器의 制限電壓을 내리는 것 에 의하여 低減電壓을 채용하는 方法이 취하여지고 있으므로 避雷機의 動作特性으로서 임펄스電壓 영역에서의 放電電壓과 地絡有故시에 생기는 것과 같은 長時間



- (1) 放電線
- (2) 變壓器
- (3) 避雷器
- (4) 雷입펄스電壓
- (S) 放電電壓(kV)
- (T) 시간(μs)

그림 4. V-t 특성에 의한 絶緣協調

交流過電壓조영역에서의 放電電壓과의 차가 줄어들며 비교적 평탄한 V-t 특성이 필요하게 되어 있다.

送電機器에서 支持碼子나 부싱과 같이 外部絶緣을 공기에 의지하고 있는 機器에서는 變壓器나 캐스 絶緣機器의 V-t 특성보다 급격한 경향을 갖는 V-t 특성을 나타낸다.

이와 같이 送變電機器는 機器의 絶緣構造에 따라 각각 다른 V-t 특성을 나타내므로 各機器사이의 絶緣協調를 생각할 경우에는 V-t 특성에 의하여 協調를 취할 필요가 있다.

가령 變電所의 引込口에 氣中放電갯을 설치하여 變電機器를 보호하려는 경우, 그림 4와 같이 放電갯의 V-t 특성은 시간이 짧은 영역에서 일어서는 특성을 나타내므로, 變壓器나 卷線形計器用變壓器와 같이 짧은 시간 영역에서도 V-t 특성이 수평에 가까운 機器에서는 충분히 보호되지 않을 염려가 있다.

雷입펄스電壓④가 시간과 함께 上昇하면서 變電所에 전파하여 왔을 경우, 引込口에 설치한 放電갯①이 放電을 개시하는 B점보다 앞서 가령 變壓器②와 같이 V-t 특성이 평탄한 機器에서는 閃絡電壓A점보다 높은 過電壓에 노출되어 絶緣協調상 바람직하지 못하다. 이러한 곳에는 引込口에 避雷器③을 설치하여 變壓器의 V-t 곡선보다 항상 낮은 放電特성을 나타내는 V-t 곡선으로서 變壓器를 過電壓에서 보호하는 방법이 취하여 지고 있다.

避雷機의 進展(酸化亞鉛式避雷器)은 短時間영역에서도 충분히 낮은電壓에서 동작하는 비교적 평탄한 V-t 특성을 나타내고 動作電壓의 변동이 적은 精確한 보호 장치로서 사용할 수 있는 장점을 이루었다고 하겠다.

4. 避雷器의 性能과 絶緣協調

중래형인 갯부착 避雷器의 絶緣協調는 생략하고 근

자에 등장한 갯레스 避雷器와 絶緣協調에 대하여 적어 보려고 한다.

(1) 갯부착 避雷器는 雷過電壓이 雷입펄스 放電開始電壓에 도달하기까지 동작하지 않는 것에 비하여 갯레스 避雷器는 雷過電壓이 그 電壓까지 上昇하기 이전부터 雷過電壓의 에너지를 흡수하여 電壓을 억제하여가므로, 보호성능이 대폭으로 향상된다. 이 효과는 캐스 絶緣變電所등 雷가 되풀이 반사, 누적하여 큰 過電壓이 되는 경우에 크게 작용하며, 같은 조건에서도 갯부착 避雷器에 비하여 갯레스 避雷器편이 15% 정도나 過電壓을 억제하는 일이다.

(2) 特性要素로서의 酸化亞鉛系素子は V-t 특성이 종래의 카아브란담보다 평탄하므로 急峻한 雷過電壓에 대한 보호가 더욱 향상된다.

(3) 續流가 흐르지 않기 때문에 放電耐量이 우수하며 어느값 이상의 드물게만 발생하는 閉開過電壓에 대하여는 적극적으로 避雷器로서 보호시키도록 하고 遮斷器抵抗投入方式의 개선과 아울러 系統에 발생하는 閉開過電壓을 더욱 低減할 수 있을 것으로 생각된다.

위의 세가지사항은 갯레스 避雷器의 制限電壓이 종래형과 동등하더라도 말할 수 있는 사항들이며 實績으로서는 종래형보다 크게 향상하고 있으며 더욱 개량을 하면 制限電壓을 보다 低減시킬 가능성도 생각된다.

5. 絶緣强度와 絶緣協調

(1) 종래에는 하나의 系統電壓하에서 사용되는 機器의 絶緣强度는 한가지가 아니고 機器마다, 다른 값이 채용되고 있었으나, 超高壓系統이 출현하여 소위 低減絶緣이 취하여짐에 따라 機器의 絶緣强度는 원칙적으로는 한가지로 통일되었다.

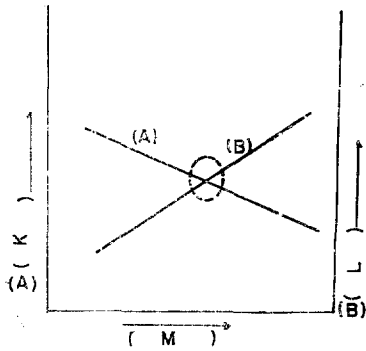
그러나 특별한 경우에는 다른 값이 취하여지매 이것은 주로 變電所내에서의 雷서어지의 크기에 의하여 선정한다.

또한 많은 경우 配置에 의하여 정하여지며, 送電線 引込口 주변機器가 높은 絶緣强度를 채용하고 있다.

일반적으로 變電所 구내가 좁아지면 避雷器에 의하여 거의 모든 機器를 雷서어지로부터 보호할 수 있으므로 絶緣强度는 한종류로 통일하는 것이 가능하다.

避雷器를 送電線 引込口 遮斷器보다 變電所 측에 설치한 경우 遮斷器가 개방되면 避雷器의 보호효과가 送電線측 機器까지 미치지 못하므로 그때의 絶緣强度를 어떻게 선정하느냐가 문제되된다.

- (a) 變壓器와 같이 한다.
- (b) 變壓器보다 약 1.2배로 높인다.



(K) 사고에 의한 損失

(L) 機器의 코스트

(M) 安全係數

그림 5. 絕緣強度의 영향

(c) 避雷器를 送電線측에 설치하여 變壓器強度와 같이 한다.

등의 方法이 있으나 실제로는 위의 세가지가 섞여 있으며, 遮斷器, 斷路器, 變流器는 (a) (단 500kV계통에서는 (b)) 콘덴서형計器用變壓器는 (b),(c)는 깨스絕緣變電所를 제외하면 통상적은 아니다.

(2) 安全係數와 機器絕緣事故率의 관계는 그림 (3) 에 표시하였으나 이것은 그림 5의 (A)로 된다.

한편 安全係數를 높게 하면 일반적으로 機器의 코스트는 상승한다.

이것을 그림 5의 (B)에 표시한다.

安全係數를 높이는데, 機器의 絕緣強度를 높이는 方法과 避雷器의 보호레벨을 낮추는 方法이 있으나 본문에서는 양자를 모두 포함한다.

事故率도 결국은 코스트에 관련되므로 최소의 코스트로 되는 安全係數의 존재가 짐작된다. 개념적으로는 이것은 그림 5의 두 曲線의 交點부분이 된다.

6. 結 言

遮斷器나 避雷器등의 성능향상은 送變電機器의 絕緣協調를 용이하게 하였다.

雷입펄스 電壓영역에서 避雷器보호가 확실하게 되어 低減絕緣을 실시하게 되었다.

한편 開閉인펄스, 過電壓部分放電試驗등과 機器의 V-t特性을 고려한 絕緣協調가 점점 중요하게 되었다.

變壓器와 같은 卷線絕緣의 機器는 絕緣協調면에서는 避雷機의 보호를 받아 가장 낮은 絕緣레벨로 구분되어 있으나, 雷입펄스 電壓영역에서의 卷線絕緣의 개선에 의하여 避雷器와의 絕緣協調가 쉽게 되었다. 絕緣協調의 개선을 위하여는 機器의 수명향상, 定格電壓의 低減, 制限電壓의 低減, 放電耐量의 향상, 異常電壓의 억제등과 아울러 機器絕緣이 나타내는 V-t特性 자체를 서로 協調시켜야 할 것이며, 앞으로 더욱 적극적인 研究가 요망되고 있다.