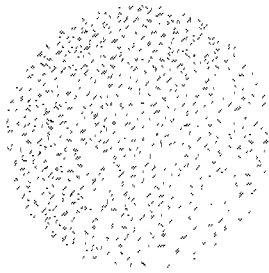


送配電事故에 따른 써어지 發生과 그 被害에 對하여

Protection Damages in Power System due to Overvoltage Transient Surges



吳 明 煥

韓國科學技術院

電子工學部 責任研究員

1. 序 言

써어지 (surge)라고 하면 흔히 바닷가에서 밀려 오는 파도를 연상하게 되는데 電氣回路나 送配電系統에서는 定常電壓을 넘어서 瞬間的으로 發生하는 過渡期的 異常過電壓을 말하게 된다.

일반적으로 電氣工學者 및 電力技術者들이 系統을 設計·運營함에 있어 그 信賴性和 經濟性を 維持하기 위해서는 다음과 같은 技術的 問題點을 검토하지 않으면 안된다.

첫째, 過電壓 써어지의 發生要因과 特性

둘째, 被保護機器 및 回路의 絕緣特性

셋째, 써어지의 吸收 및 抑制方法

특히 최근에는 各種 電氣設備과 送配電制御系統 및 一般電力需用家の 機器에 電力用 半導体나 集積回路 등과 같은 過電壓써어지에 취약한 素子들이 많이 應用되고 있으므로 이들 高價의 能動素子들을 保護하기 위한 適切한 對策이 必要하다.

本稿에서는 送配電系統 및 回路內에 發生되는 過電壓써어지의 實態와 被害를 檢討하고 이의 抑制方法에 關하여 記述하기로 한다.

2. 써어지 發生機構

Ragaller⁽¹⁾가 최근 발표한 高電壓系統의 過電壓 써어지를 類型別로 보면 다음과 같이 세가지로 나눌 수 있다.

첫째는, 落雷에 따른 過電壓發生 이며,

둘째는, 回路開閉에 의한 異狀過電壓이고

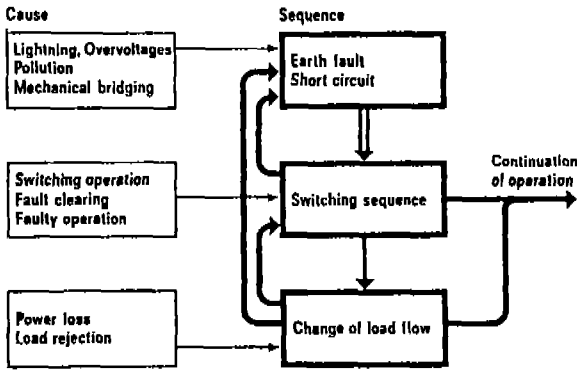
셋째는, 一時的 過電壓現象이다.

물론 이들 異常過電壓의 發生要因을 調査해 보면 너무나 廣範圍하고 그 種類가 多樣하므로, 흔히 統計的 類型分析과 近似化技法을 이용하여 써어지를 分類하고 回路工學에 適用하게 된다.

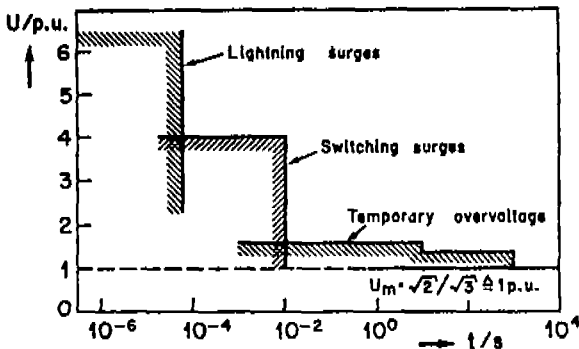
그림 1에는 써어지過電壓이 發生되는 代表的 要因들을 分類하여 나타내었으며 넓은 의미로 볼 때 送配電事故의 대부분이 이러한 範疇에 屬한다고 말할 수 있다.

그림 2는 EHV (Extra-High-Voltage)系統에서發生되는 각종 過電壓써어지의 持續時間과 波高值를 等價的으로 比較한 것이다.

그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 落雷써어지는



(그림 - 1) 써어지過電壓의 發生經路



(그림 - 2) 써어지 電壓 및 持續時間特性

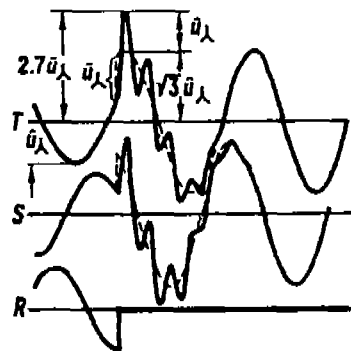
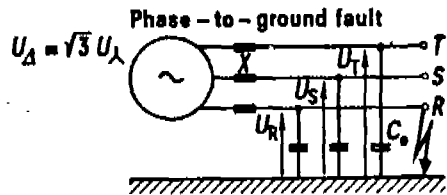
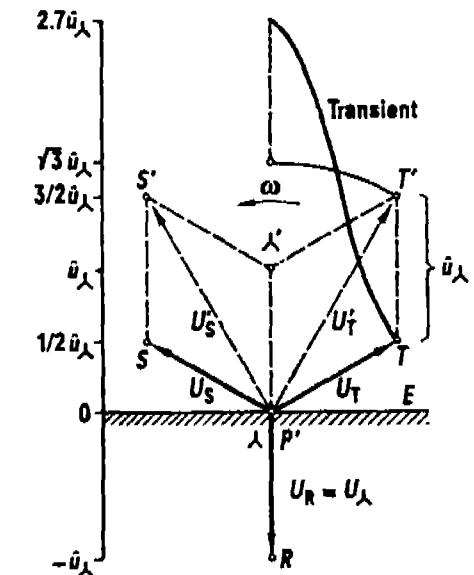
(U_m 은 線間系統定格電壓의 最大値임)

비록 發生頻度가 낮다고는 하지만 電力系統의 定格電壓보다 훨씬 높은 尖頭電壓値를 가지므로 系統의 絶緣物 또는 設備를 單1回에 閃絡시켜버릴 수 있다. 또한 開閉써어지는 落雷써어지 보다는 波高値가 낮지만 最近 電力系統이 매우 複雜해짐에 따라 그 發生要因이 多樣하고 發生頻度가 높아져서 점차 크나큰 問題點으로 登場하고 있다.⁽²⁾

開閉써어지와 같은 系統内部의 過電壓 現象은 주로 電力系統의 地絡事故에 의한 것과 負荷遮斷(誘導性 및 容量性)에 의한 것으로 대별되지만 최근에는 電力電子시스템이 많이 普及됨에 따라 整流(commutation) 또는 쪼핑(chopping)機構에 의한 不規則 過電壓이 回路에 侵入하여 發生되는 경우도 상당히 많다고 報告되어 있다.⁽²⁾

그림 3 에는 一線地絡時의 三相送配電系統 電壓에 대한 過電壓發生을 벡터그림과 함께 설명하였다.

그림 4 에는 誘導性 負荷를 遮斷할 때에 發生되는 써어지電壓과 負荷電流와의 關係를 說明하기 위한 系統回路가 圖示되어 있다.



(그림 - 3) 一線地絡時의 過電壓發生 實例

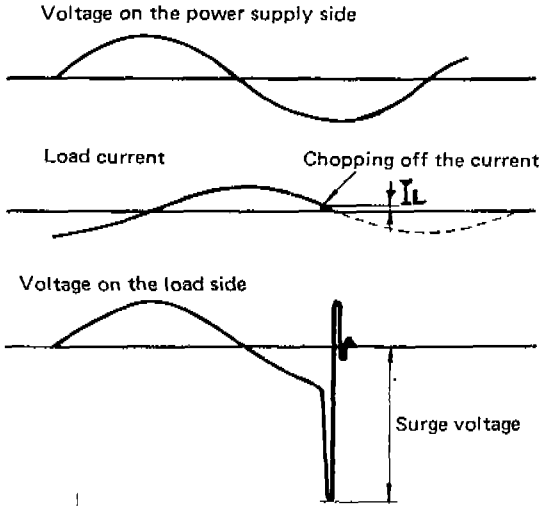
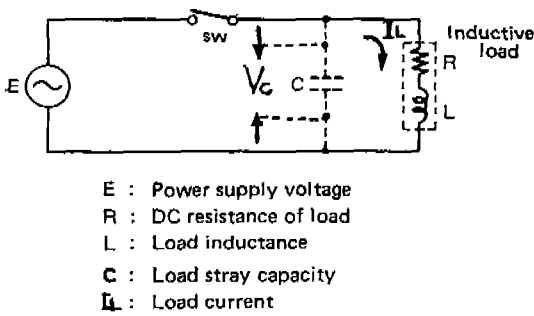
L/C 루우프회로의 最大써어지電壓은,

$$\frac{1}{2}L \cdot I_L^2 + \frac{1}{2}C \cdot V_c^2 = \frac{1}{2}C \cdot V_{sm}^2 \quad (V_{sm} : \text{最大써어지電壓})$$

의 關係로 부터 $\frac{L}{C} \cdot I_L \gg V_c^2$ 인 경우,

$$V_{sm} \approx \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot I_L$$

가 되며, 이때의 系統써어지 임피던스는, $Z_s =$



(그림-4) 誘導性負荷遮斷時的 썬어지發生 原理圖

$\sqrt{\frac{L}{C}}$ 로서 인덕턴스와 커패시턴스와의 函數關係에 따라 정하여지므로 結果적으로 볼 때 썬어지過電壓의 크기는 遮斷되는 負荷電流와 썬어지 임피이던스의 函數로 된다.

썬어지공학(surge engineering)에서 다루는 瞬間過電壓을 高周波進行波(high-frequency traveling wave)이론으로 解析하면 分布定數回路의 概念으로부터 썬어지임피이던스는,

$$Z_s = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (\text{단, } R \text{과 } G \text{는 각각 直並列 等價 抵抗임})$$

로 表示하여야 하는데 高周波範圍에서는 $R \ll \omega L$, $G \ll \omega C$ 가 되므로 $Z_s \approx \sqrt{\frac{L}{C}}$ 의 關係가 역시 成立 된다.

回路 및 系統의 L, C값은 導線의 直徑, 間隙, 大地와의 距離 등에 따라 變化하는데 썬어지 임피이던스는 統計적으로 볼 때 高電壓回路의 경우 約50

~200[Ω], 低電壓配電線의 경우 300[Ω] 以內로서 썬어지電源測으로 接近할수록 5~10[Ω]程度씩 減少한다. 또한 電力케이블시스템에서는 比較的 큰 커패시턴스와 적은 인덕턴스로 因하여 썬어지 임피이던스는 數10[Ω]에 不過하며, 이와 같은 複雜한 分布定數回路에서는 進行波와 反射波가 서로 混合 減鎖 내지는 相乘作用하여 썬어지電壓-電流의 波形도 매우 多樣해진다고 할 수 있다.''

3. 썬어지 過電壓被害

썬어지過電壓이 電力系統이나 電氣·電子回路內로 侵入되면 그 被害狀況은 크게 두가지로 나뉘어진다.

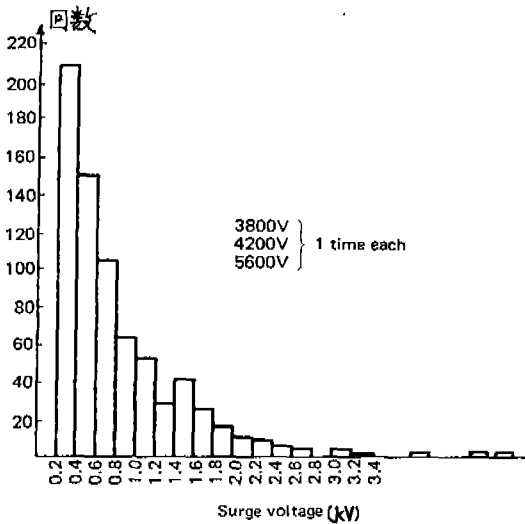
첫째는, 높은 過電壓으로 因하여 機器나 素子の 絶緣破壞가 일어나고 핀홀(pinhole) 또는 閃絡(flash-over)現象이 發生되며 임펄스(impulse)에 대한 絶緣 協助(insulation coordination)의 設計範圍를 超過하는 썬어지電壓의 경우에는 關聯 系統設備에 致命的 打撃을 입힌다.

둘째는, 比較的 높은 過電壓으로 因하여 機器나 部品の 動作回路 및 負荷임피이던스에 過電流가 흐르게 되고 심하면 燒損 또는 壽命劣化現象까지 가게 되는 경우이다.

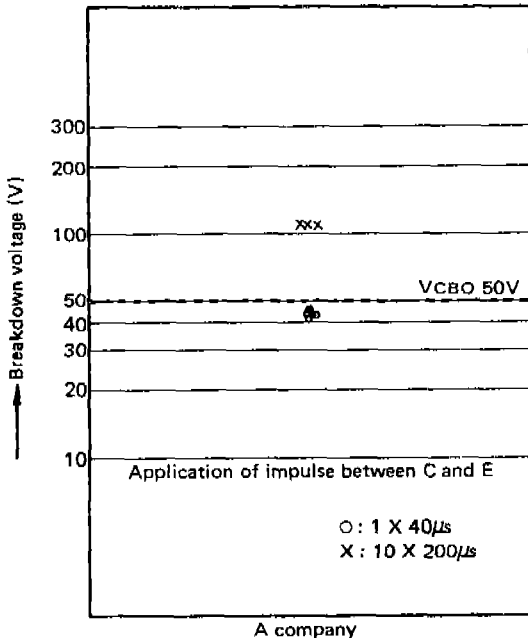
이와 같은 썬어지過電壓 被害는 最近에와서 더욱 더 深刻한 問題로 擡頭되고 있으며 系統과 回路가 漸次 複雜해 지고 半導體素子를 爲始한 마이크로엘렉트로닉스(microelectronics)技術이 高度化됨에 따라 이들 高價의 시스템 및 機資材를 不意의 事故로부터 保護하기 위한 努力이 切實히 必要해 지고 있는 實情이다.

그림5에는 家庭用 低電壓配電線에 侵入한 過電壓썬어지에 대한 統計를 나타내었다. 이것은 거의 完壁할 정도로 低電壓避雷器(low-voltage arrester)를 갖춘 地域에 대한 資料이며 美國의 GE社가 約 10,000時間에 걸쳐서 家庭, 호텔 및 百貨店 등을 對象으로 調査한 것이다.

過電壓썬어지에 의한 半導體 壽命減少 내지는 破壞特性을 그림6과 그림7에 나타내었다. 이들 試驗器들은 모두 單一素子들이지만 LSI나 VLSI 같은 高集積回路들의 경우에는 10⁻⁶초 以下의 極히 짧은 瞬間過電壓에도 動作狀態가 劣化되는 것을 흔히 볼



〈그림-5〉 低壓配電線에 侵入하는 써어지電壓値 (家屋 110V, 年間統計)

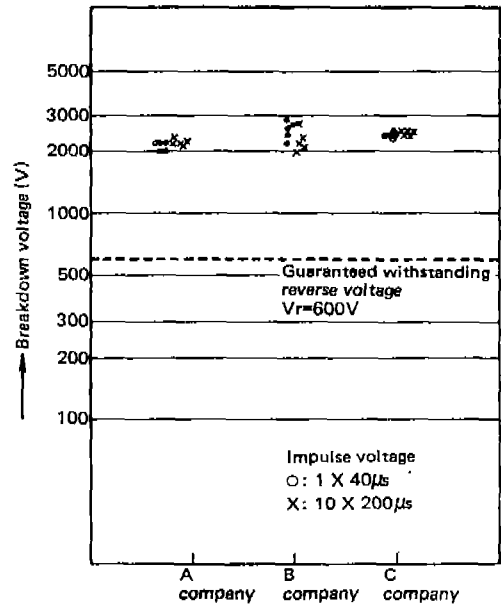


〈그림-6〉 트랜지스터의 衝擊電壓破壞特性

수 있다.

또한 機械工場에서 많이 利用되기 始作한 NC 工作機器나 通信系統에 投入되는 電子交換機 内部의 IC回路들이 써어지過電壓 때문에 誤動作 함으로써 發生되는 産業的·社會的 損失은 구태여 언급할 필요가 없다고 본다.

4. 써어지 吸收對策



〈그림-7〉 다이오드의 衝擊電壓破壞特性

前述한 바와 같이 電力系統의 送配電事故나 負荷 回路遮斷 등으로 因하여 一瞬 過電壓써어지가 發生 되면 어떤 形態로든지 直間接被害를 끼치게 된다.

電力系統 또는 電氣機器 및 各種 回路에 侵入하는 써어지를 吸收하고 抑制하는 技術은 크게 나누어 다음과 같은 形態로 分類된다.⁽⁴⁾

첫째, 被保護對象物 또는 機器의 近處에 設置되어 써어지의 原因 및 發生을 除去하거나 抑制하는 方式, 이와 같은 것으로서는 흔히 避雷針이나 架空地線을 생각할 수 있으며 直擊雷(direct lightning stroke)와 같은 超高에너지放出型 써어지原因을 吸收하는데 유리하다.

둘째, 放電空際(discharge air-gap 또는 gas)을 內藏하고 있는 避雷器의 設置, 이와 같은 것으로서는 簡單한 構造의 空際形과 가스放電管式으로 부터 非直線抵抗체를 벨브형 特性素子를 利用하는 複合形들이 있다.⁽⁵⁾

셋째, 放電空際가 없는 避雷器 또는 써어지吸收器의 採擇. 一般電力系統은 물론 被保護對象機器나 回路의 前端에 並列로 接續되어 過電壓써어지를 自体放電시켜서 大地 또는 線間으로 바이패스 시키는 非線形 裝置로서, R-C直並列 스너버회로(snubber circuit)와 바리스터(varistor) 및 無空際避雷器(gap-less arrester) 등이 여기에 屬한다. R-C 스너버

회로는 電子回路 와 電力用 半導體의 端子電壓 上昇率을 抑制하는 외에도 高周波 雜音 및 펄스形 써어지의 吸收器로 널리 利用되는데 밸브機能이 없는데다가 制限電壓特性이 不良하여 그 用途가 漸次 縮小되고 있다.

非直線抵抗體 만으로 動作되는 바리스터와 無空際 避雷器는 1970年代 以前까지 세뎌바리스터, 炭化珪素(SiC) 바리스터, 제너다이오우드(Zener diode) 등의 形態로 利用되어 왔으나 耐電壓特性, 非直線性 및 衝擊電壓-電流容量의 制限性 등 固有의 問題點들로 인하여 1970年代 以後부터는 低電壓-小容量의 電子回路나 設備에 실리콘바리스터(數volt 未滿)와 제너다이오우드(200V, 20A未滿)가 開閉써어지 吸收用으로 사용될 뿐, 現在는 漸次 酸化亞鉛(ZnO) 바리스터로 代替되고 있다.⁽⁶⁾

1974年 부터 實用化되기 시작한 無空際 避雷器는 酸化亞鉛을 主成分으로한 세라믹 特性素子를 直並列接續시킨 劃期的 써어지吸收器로서, 過去에 空際式 避雷器가 갖고 있던 몇가지 크나큰 短點을 除去하였기 때문에 1980年代에는 그 用途가 擴大될 것으로 展望된다.

5. 結 言

지금까지 檢討한 바와 같이 送配電系統에서 發生

한 電力事故는 落雷나 開閉써어지에 準하는 過電壓 써어지의 原因이 되며 이와같은 써어지들은 언제, 어디서 豫告없이 回路系統에 侵入할 것인지 알 수 없다. 특히 우리나라의 경우 여름철에 落雷現象이 많고 이에 따른 地絡事故의 위험도가 높기 때문에 電力系統을 보다 安守하고 信賴性있도록 維持管理하기 위해서는 各種 絶緣協助技術의 基本이 되는 異常過電壓써어지의 抑制 및 吸收方法을 講究하여 보다 經濟的인 系統運轉과 施設物의 特性劣化防止에 努力해야 할 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

1. K. Ragaller et al., Proc. Brown Boveri Symposium on Surges in High-Voltage Networks, Sept. 3~4 (1979)
2. M. Erche et al., ibid as above (1979)
3. Transient Voltage Suppression Manual (National-ZNR Manual, 1979)
4. The Electricity Council, Power System Protection (II), Peter Peregrinus Ltd., p.286 (1981)
5. 益田淳一, 避雷器とその適用, 電氣學會, P.51, 東京 (1970)
6. 吳明煥, 大韓電氣協會誌, 第73號 p.74 (1983年 1월)

● 表紙사진설명 ●

1887年 2月10日 (96年前) 우리나라에서는 처음으로 景福宮 뒤편 香遠亭(사진) 부근에 3kW 蒸氣發電機 2臺가 設置되어 100燭光아크燈(써치라이트) 2燈이 點燈되었다. 當時 發電機의 冷却用水로 이 연못의 물을 사용했다.

點燈100年の 歷史를 간직한 香遠亭은 그 연못과 함께 오늘도 조용히 國光의 偉容을 자랑하고 있다.

