

高調波에 의한 障害機器의 特性

配電系統에 高調波가 存在한다는 것은 否認할 수 없는 事實이며, 여기에 接續되는 負荷機器는 많거나 적거나 間에 그 高調波의 影響을 받고 있다. 그 影響이 障害로 까지 發展하느냐, 하지 않느냐는 것은 高調波의 程度(次數와 量의 大小)와 時間的인 變動等의 要因으로 一般的으로 決定되는 것은 아니며, 各 負荷機器 自身의 高調波 特性에 크게 左右되는 것이다.

負荷機器·設備의 가운데서 특히 影響·障害를 받기 쉬운 것은 電力用 콘덴서設備이다. 여기에서 콘덴서設備의 特異性을 記述한後 콘덴서·直列 리액터의 高調波 特性에 對해서 解説하기로 한다.

高調波 電流의 影響을 比較的 받기 쉬운 機器에 是 電力用 콘덴서와 여기에 附屬되는 直列리액터가 있다. 過去の 調査에 따르면 影響을 받은 機器 全体의 約 70%가 이러한 것들이 占하고 있다. 電力用콘덴서와 直列리액터에 對한 障害는 高調波 電流의 過大 流入에 의한 異常音, 振動의 發生과 過熱, 燒損이다.

이 外에도 電子機器에 對한 雜音의 發生, 繼電器의 誤動作等의 障害例가 있다(表1 參照).

여기에서는 보다 많은 影響을 받고 있는 電力用 콘덴서, 直列리액터를 中心으로 高調波에 對한 特性을 說明한다.

1. 電力用 콘덴서設備의 高調波 特性

(1) 콘덴서設備의 特異性

콘덴서設備에 있어서의 高調波의 舉動을 생각할 경우, 絶緣性, 熱的 現象等을 主要素로 하는 하아드웨어로서의 現象面과 同時에 이 콘덴서設備의 構成要素인 콘덴서가 지니는 回路數數 C(캐파시턴스)로서의 特異性에 注目할 必要가 있다. 即 系統을 包含하는 回路網에 이 콘덴서의 이론바 C의 回路

要素가 加해지면 弊害發生의 有無에 關係없이 系統과 直列리액터의 인덕턴스要素 L와의 組合에 따라

〈表-1〉 高調波電流에 依한 影響을 받은 機器의 障害의 種類

影響을 받는 機器		障害의 種類	件數
調相用 機器	電力用 리액터附着 콘덴서	過負荷, 過熱, 異常音, 振動	11(24)
	리액터없음	過負荷, 過熱, 異常音, 振動	7(16)
	콘덴서用 리액터	過熱, 燒損, 異常音	14(31)
小 計			32(71)
其他의 設備	過電流繼電器	誤動作, 電流코일燒損	3(7)
	라디오, 텔레비전, 無線	雜音	3(7)
	X線, 마이크로아나라이저	畫像에 惡影響	1(2)
	電力퓨우즈	엘멘트의 過熱	2(5)
	低周波誘導爐	運轉不能	1(2)
	모우터	異常音	1(2)
	積算電力計	電流코일의 燒損	1(2)
	포켓벨	誤報	1(2)
小 計			13(29)
合 計			45(100)

(註) (1) 影響을 받은 機器가 2種類 以上 있을 경우에는 各 各 1件으로 計算했다.

(2) 配電系統이 아닌 것(鐵道와 船舶)은 除外했다.

(3) ()內는 全体에 미치는 比率(%)을 表示

各種의 共振回路를 構成한다. 따라서 콘덴서設備는 回路의 高調波 條件에 對한 直接 影響을 주게 된다. 말하자면 能動的 要素로서의 特異性을 갖는 것이라고 말할 수 있다.

實際의 回路構成에 있어서는 受電系統 回路는 勿論 콘덴서設備와 連結되는 各 負荷回路, 그리고 케이블等 關聯되는 모든 回路要素를 網羅하여 檢討할 必要가 있으나, 以下에서는 가장 基本이 되는 回路에 對해 그 高調波 特性을 說明한다.

(2) 高調波 電源流이 存在하는 경우

整流裝置等의 典型的인 高調波 發生源은, 本質的으로 是를 高調波 定電源流으로 간주하여 解析이 이루어진다.

그림 1 (a)에 表示되는 一般 模擬系統에 있어서 高調波 電源流과 콘덴서回路가 並列로 接續되어 있을 경우, 그 等價回路는 같은 그림(b)와 같이 되어 高調波電流의 分流狀況은 다음과 같은 式으로 求할 수 있다.

$$I_{cn} = I_n \frac{nX_0}{nX_0 + (nX_L - X_c/n)} \quad (1)$$

$$I_{0n} = I_n \frac{nX_L - X_c/n}{nX_0 + (nX_L - X_c/n)}$$

但, n 는 高調波 次數 X_0 , X_L , X_c 는 어느 것도 基本周波數에 있어서의 리액턴스值를 表示한다.

따라서 콘덴서 回路의 高調波 리액턴스 ($nX_L - X_c/n$)가 負(容量性)일 것 같으면, 電源 또는 콘덴서回路에는 發生源 高調波電流 I_n 보다 큰 高調波電流가 흘러갈 수 있게 된다. 이것을 高調波 擴大 現象이라고 부르고 있으며, 特히 電源과 콘덴서回路에서 並列共振의 條件이 成立되면 若干의 高調波電流가 異常하게 擴大하게 된다.

高調波電流의 分流과 턴을 表 2에 表示한다. 回路의 임피던스關係, 特히 直列리액터의 크기에 따라 分流의 狀況이 大幅으로 變化한다.

(3) 高調波 電壓源이 存在하는 경우

콘덴서設備에서 電源側을 본 임피던스는 작다. 換言하면 電源短絡 容量이 充分하게 클 경우에는 그림 2와 같이 高調波를 定電壓源으로서 看做할 수가 있다.

여기에서 V_n 를 n 次調波 電壓源으로 하면, 콘덴서設備에의 n 次調波電流 I_n 는 直列리액터 有無에

따라 各各 다음式으로 表示된다.

(a) 直列리액터가 없는 경우

$$I_n = \frac{V_n}{nX_0 - X_c/n} = \frac{V_n}{X_c} \cdot \frac{1}{n\alpha - 1/n}$$

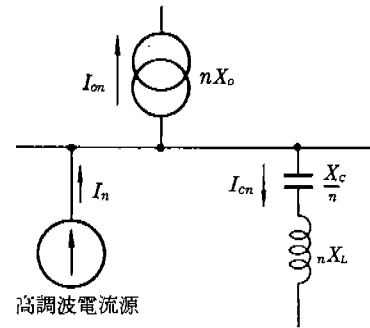
$$\therefore \frac{I_n}{I_1} = \frac{V_n}{V_1} \cdot \frac{1}{n\alpha - 1/n} \quad (2)$$

(b) 直列리액터가 있을 경우

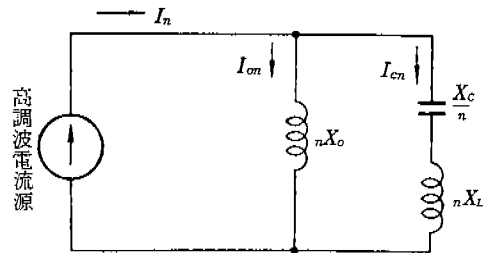
$$I_n = \frac{V_n}{nX_0 + nX_L - X_c/n} = \frac{V_n}{X_c} \cdot \frac{1}{n\alpha - (1 - 0.06n^2)/n}$$

$$\therefore \frac{I_n}{I_1} = \frac{V_n}{V_1} \cdot \frac{1}{n\alpha - (1 - 0.06n^2)/n} \quad (3)$$

但, $\alpha = \frac{X_0}{X_c} = \frac{\text{콘덴서容量}}{\text{系統短絡容量}}$

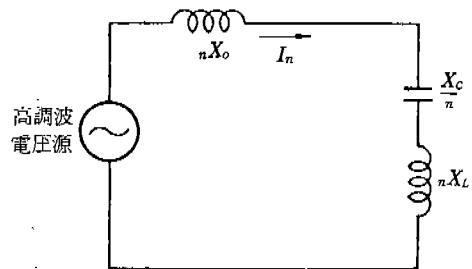


(a) 一般模擬系統



(b) 等價回路

〈그림-1〉 電力用 콘덴서設備의 一般模擬系統



〈그림-2〉 高調波電壓源의 경우의 等價回路

〈表-2〉 高調波電流의 分流配分

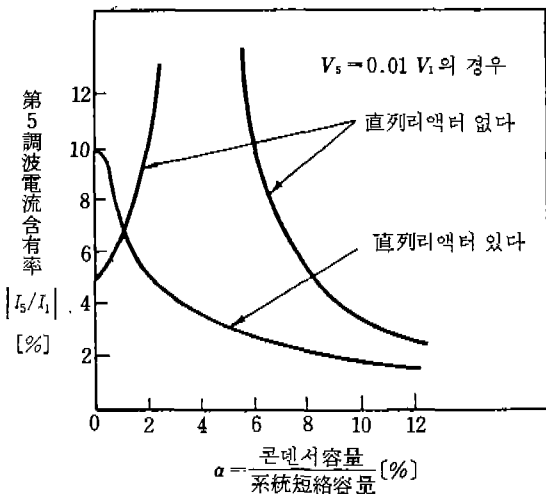
임피던스條件	電流의 狀況	問題點
誘導性 $nX_L - \frac{X_C}{n} > 0$		
$nX_L = \frac{X_C}{n}$		直列共振이 되어 콘덴서設備는 필터로서 仕樣에 滿足해야 할 必要가 있다.
容量性 $\frac{nX_L - \frac{X_C}{n}}{nX_C} < -2$		電壓側의 電壓가 擴大하여 母線電壓의 節曲이 增大한다.
容量性 $-2 \leq \frac{nX_L - \frac{X_C}{n}}{nX_C} \leq -\frac{1}{2}$		直列共振이 되어 各電流 모두 極端의 으로 擴大되기 때문에 絶對的으로 警告해야 한다.
容量性 $-\frac{1}{2} < \frac{nX_L - \frac{X_C}{n}}{nX_C} < 0$		콘덴서設備側의 電流가 擴大된다.

$X_L = 0.06 X_C$ (6%의 直列리액터)로 한다.

變壓器 鐵心의 磁氣飽和에 基因하여 發生하는 高調波 電壓은 3次, 5次가 主로 된 것이나 3次는 變壓器 Δ結線에 의해 外部에 나가지 않기 때문에 5次가 主成分이 된다.

上式의 一例로서 第5調波 電壓源이 基本波의 1% 存在하는 경우의 콘덴서設備의 第5調波 電流含有率 I_5/I_1 과 α 의 關係를 圖示하면 그림3과 같이 된다.

이 그림에서 直列리액터가 없을 경우 $\alpha = 4$ [%]



〈그림-3〉 直列리액터 有無와 高調波 含有率

即 콘덴서容量이 系統短絡容量의 4%의 경우, 第5調波로 共振하여, 그 近傍에서는 第5調波 成分이 極端의 으로 크게 된다. 콘덴서리액턴스의 6%의 直列리액터를 插入해 두면, α 의 如何에도 拘碍 없이 共振現象은 發生하지 않는다.

但, 同直列리액터가 있을 경우에는 第5調波에 있어서의 콘덴서와 直列리액터의 綜合리액턴스는

$$nX_L - \frac{X_C}{n} = \left(0.06n - \frac{1}{n}\right) X_C$$

$$= \left(0.06 \times 5 - \frac{1}{5}\right) X_C = 0.1 X_C$$

가 되며, 콘덴서單本 基本波리액턴스의 10% 까지 低下하게 되니 注意가 必要하다. 即 標準仕樣의 直列리액터에 許容되는 第5調波 電流含有率은 35% 이기 때문에 第5調波 電壓含有率의 許容值은 3.5%가 된다.

(4) 其他의 特異現象

以上에서는 極히 單純化된 回路에 對하여 基本的인 問題點에 對하여 記述했으나 實際의 運用時에 있어서는 回路自体도 複雜하게 되어 여러가지 問題가 發生하는 경우가 있다. 以下는 高調波에 關하여 問題點이 될 수 있는 各種 現象을 簡單하게 列擧한다.

(a) 複雜콘덴서群을 並列運轉하는 경우

특히 直列리액터 有無 混用이 되는 콘덴서設備의 並列運轉時에 直列리액터有의 群의 高調波 電流가 擴大되는 경우가 있다. 이는 直列리액터 有·無兩者의 高調波 리액턴스가 $n < 5.77$ 로

$$\left| \left(0.06n - \frac{1}{n}\right) X_C \right| < \left| -\frac{1}{n} X_C \right|$$

가 成立, 第5調波 以下에서는 有의 쪽의 리액턴스가 작게 되는 것으로서 理解된다. 直列리액터 有의 群을 新設 또는 增設하는 경우는 以上을 加味한 仕樣으로서 設計하면 되나, 逆으로 直列리액터 無의 群을 新設 또는 增設하는 경우는 既設의 直列리액터 有의 群의 電流耐量이 問題가 되는 경우가 있기 때문에 特히 詳細한 事前 檢討가 必要하게 된다

(b) 콘덴서 또는 直列리액터의 容量을 變更하는 경우

콘덴서群의 一部를 撤去하거나 다른 直列리액터와 組合할 경우 또는 1臺의 直列리액터에 接續된 數群으로 된 콘덴서群을 可變調整하는 것 같은 경우

에는, 系統의 리액턴스와의 關聯에서 豫想外的의 共振現象을 일으킬 可能性이 있기 때문에 豫想되는 모든 케이스에 대한 事前 檢討가 必要하다.

(c) 商用 周波數가 變更되는 경우

工場移轉이나 設備移轉 등에서 商用 周波數가 變波數가 變更이 되는 경우가 있으나, 假令 콘덴서와 直列리액터를 組合한 채 移設해도 變更後의 基本周波數에 있어서의 容量비가 6%에서 벗어나기 때문에 共振 등의 現象 可能性이 있으며, 機器의 改造等 措置가 必要하게 된다.

(d) 第3調波가 存在하는 경우

6% 直列리액터가 따른 것이라 할지라도 第3調波에 대해서는 全體의 리액턴스가 容量性이기 때문에 系統定數에 따라서는 3次에서 共振할 可能性이 있다. 따라서 아아크爐等 第3調波 電流를 發生하는 負荷에 近接하여 接續되는 콘덴서設備는 콘덴서容量의 13%의 直列리액터를 設置하여 共振現象을 防止할 對策이 必要하게 된다.

(e) 直列리액터 鐵心이 磁氣 飽和가 생겼을 경우

直列리액터는 主로 經濟性 등의 理由로 鐵心이 있는 製作이 普通이다. 이러한 경우 高調波를 包含한 全流入 電流가 許容限度를 넘어 鐵心磁束 密度가 飽和域에 達하게 되면, 直列리액터의 리액턴스值가 等價의으로 低下하게 된다.

따라서 假令 第5調波가 存在하는 경우에는 上記 리액턴스의 低下에 따라 콘덴서와의 組合에 依한 共振次數가 4, 1次(正常的의 6% 直列리액터 挿入時의 共振次數)보다 上昇하여 5次 共振에 達하는 경우가 있다. 所謂 引込現象이라고 하는 것으로서 鐵心이 있는 리액터가 갖는 非線形 特性에 基因되는 現象이다.

2. 콘덴서設備 構成機器의 高調波 特性

(1) 콘덴서

콘덴서回路의 高調波 電流는, 周波數가 높게 될 수록 流入하기 쉬우며, 基本波에 高調波가 重疊하기 때문에 誘電體의 損失 增加에 의한 溫度上昇과 電氣의 實効值(rms)가 크게 되어 부싱이나 리이드線의 過熱等 熱的인 影響이 생긴다. 이러한 것이

誘電體와 絶緣物의 熱劣化를 促進시켜, 長期的으로 는 燒損이나 破壞의 原因이 된다. 高調波를 包含한 實効值 電流의 限度가 例로 高壓用에서는 實効值가 定格電流의 135%를 넘지 않는 範圍에서 性能이 保證되고 있다.

한편 高調波 電流의 流入에 의해 콘덴서의 誘電體에는 基本波 電壓 외에도 高調波電壓이 重疊되어 印加된다. 이 高調波電壓은 $I_n(X_c/n)$ 로 計算되며, 流入되는 電流의 絶對值가 같을것 같으면 第3~5調波等, 低次周波數일수록 높은值가 된다. 이것이 過大하게 되면 誘電體의 絶緣壽命에 影響을 준다.

그리고 콘덴서의 異狀으로서 소리가 나는 問題가 있다. 振動音으로서 콘덴서素子の 電極部分의 振動과 리이드線과 케이스의 電磁振動 및 傳達에 依하는 共振振動을 생각할 수 있다.

騒音에 대해서는 그 種類와 發生狀況이 多樣하며 周圍의 環境, 附着條件이나 製品의 構造, 發生의 條件에 따라 달라져 그 原因의 解明도 困難한 것이 많다.

高調波에 의한 連續的인 振動音만으로서 콘덴서의 性能上 特別 問題는 없으나 이러한 경우에는 端子 케이스의 溫度上昇과 流入電流를 調査하여 規格의 許容限度內에 있는지의 與否를 確認할 必要가 있다.

(2) 直列리액터

直列리액터는 그 機能과 構造上 連續 使用時의 高調波 流入量의 許容限度는 電壓의으로 거의 影響을 받는 일은 없으며, 오히려 鐵心의 過熱, 卷線이나 기름의 溫度上昇의 增大 등 熱的인 面에서 큰 影響을 받는다. 高調波 電流에 起因되는 過負荷에 의한 過熱은 絶緣物 등의 劣化를 招來, 燒損 등의 障害로 發展한다.

現在의 規格上으로는 流入電流의 許容限度로서 「第5調波 電流를 包含하는 境遇, 그 含有率이 基本波 電流에 對하여 35% 以下로서 그 合成電流의 實効值가 定格電流의 120% 以上」로 規定되어 있다.

鐵損은 周波數의 1~2乘에 比例하여 增加한다. 따라서 高調波에 의한 損失은 周波數가 높아질수록 顯著하게 增加하기 때문에, 그 許容電流值도 작게 된다.

또 高調波 電流가 過大한 경우는, 1-(4)(e) 에

서 記述한 바와 같이 高調波의 引込現象 등의 異狀 共振를 惹起시키는 경우가 있으니 注意가 必要하다.

리액터의 騒音發生은 鐵心の 軀部の 磁氣 吸引力과 磁氣歪曲 振動이 主要原因이며 이것이 鐵心, 外函, 放熱器等に 傳搬하며, 共振, 反射等の 現象을 同伴하여 傳達된다. 高調波 電流의 流入에 依해 振動이 增加하여, 音壓레벨도 높아지기 때문에 振動·騒音이 增加한다.

또한 振動周波數가 1 kHz에 가까워지면 聽感 程度가 좋아지기 때문에 振動·騒音은 한층 크게 느끼게 된다. 리액터 그 自体에는 性能上 特別 問題가 되지 않는 경우가 많으나 콘덴서와 같은 調査가 必要하다.

◇ ◇ ◇
配電系統에 있어서 比較的 高調波 電流의 影響을 받기 쉬운 電力用 콘덴서設備과 그 構成機器인 콘덴서, 直列리액터의 高調波 特性에 對하여 記述했다. 콘덴서設備에서는 이외 다른 放電코일도 使用되고 있으나 放電코일은 콘덴서와 並列로 接續되는 “인덕턴스”이기 때문에 거의 高調波의 影響을 받지 않는다. 또 高調波에 起因하는 事故例도 없기 때문에 特別 配慮할 必要는 없다고 생각된다.

한편 高調波電流가 많은 경우에는 콘덴서用 퓨즈의 溶斷이나 保護繼電器의 動作에 支障을 招來하는 일도 있기 때문에 이같은 適用에 있어서는 注意가 必要하다.

(63 p에서 계속)

(2) 給水用 밸브의 不良

給水用 밸브는 貯水槽의 水位를 一定하게 維持하기 爲해 플로우트식 밸브等을 使用하고 있다. 이들 給水用的 밸브가 故障이 났을 경우 貯水槽에 給水가 不可能할 때도 있다.

(3) 地下貯水槽의 漏水

地下貯水槽의 破損等に 依해 漏水되고 給水量이 이에 못미쳐서 水位가 올라가지 않는다.

(4) 上水の 給水量에 對하여 貯水槽의 물의 使用量이 많다.

貯水槽의 水位가 電極棒 E_2' 보다 내려갔다가 再次 水位가 높아져 電極棒 E_1' 에 到達하여 揚水펌프가 驅動하여 上部水槽에 물을 퍼 올릴 때 給水量에 對해 퍼 올리는 水量이 많을 경우 水位는 점점 내려간다.

(5)~(10) 1月號의 故障診斷을 參照

(11) 揚水펌프의 空轉 또는 不良

揚水펌프의 시일이 나빠지면 펌프中の 물이 없지고 再次 펌프를 始動할 경우 펌프는 空轉한다. 揚水펌프가 空轉한 경우는 물을 펌프에 再次 넣어 펌프를 正常으로 運轉시킨다.

펌프가 停止하여 再次 펌프가 運轉을 始作하여도 空轉한다면 揚水펌프의 故障의 原因을 調査하여

본다.

(12) 地下水槽의 水位가 電極棒 E_2' 보다 내려가 電動機가 停止하였다.

空轉防止가 붙어 있는 플로우트레스回路는 펌프의 空轉을 막기 爲해 揚水펌프의 吸水管끝보다 水位가 내려가기前에 自動적으로 펌프의 運轉을 停止하고 再次 水位가 올라갔을 경우 即時 揚水할 수 있도록 되어 있다.

이 경우 地下水槽의 水位가 내려간 原因을 調査하여 그 原因을 除去한다.

(13) 플로우트레스回路의 不良으로 電動機가 始動하지 않는다.

空轉防止가 붙어 있는 플로우트레스回路는 前에 記述한 自動給水回路의 端子 A, C와 自動排水回路의 端子 B, C가 直列로 接續되어 있고 이들의 플로우트레스回路의 故障診斷은 이미 記述한 바 있으므로 그것을 參考하기 바란다.

(14) 電動機는 始動하였는데 揚水펌프는 空轉하고 있다.

揚水펌프가 무엇인가의 原因으로 空轉하는 경우 물을 再次 넣고 펌프가 正常的으로 動作하는가를 調査한다.

(15)~(17) 1月號의 故障診斷을 參照