

變壓器 V結線에서의 Impedance 不平衡으로 인한 電力分配

The power distribution of the open delta connected transformers due to unbalance of the impedances

吳 哲 洙 慶北大學校 工科學部

Abstract

The open delta circuit of the power transformer is still often applied, in spite of its reduced utilization of the power. In this paper, a new approach to the calculation of the power and its distribution in each transformer component is presented. For the power evaluation, the method of the complex power analysis is applied.

I. 序 論

變壓器 V結線은 變壓器의 利用率이 낮은것이 그 短點으로 指通되어 있으나¹⁾, 在來에 設置된 施設物이나 農魚村 等과 같이 간편한 裝置로 三相을 驅動하여야 할 경우에 많이 쓰이고 있다.

또한 V結線의 경우, 電負荷側에 電壓의 不平衡이 야기된다고 알려져 있으나 그 解析的 分析을 多少 소홀히 取扱되어 온 느낌이다. 이에 解析 및 各 變壓器의 電力分配, 特히 各 變壓器의 Impedance 不平衡에 起因한 電力分配을 다루어 보고져 하며 實驗을 통한 實驗을 얻어보 고져 한다.

2. 電流 및 出力 關係式

V結線 變壓器에 負荷를 △로 練結한 경우, 1 次側 回路를 고려하지 않고 等價回路를 그리면 그림 1과 같다. 各 變壓器의 Impedance를 Z_1 , Z_2 라 하고 變壓器 二次側 誘導起電力을 各各 E , bE 라 한다.

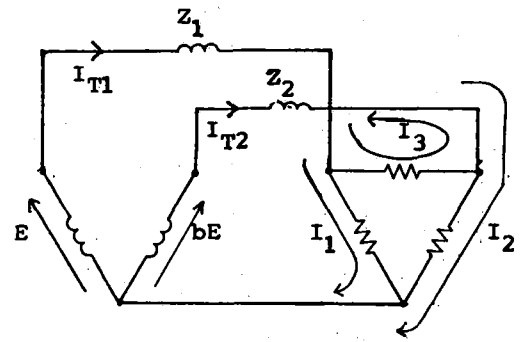


그림 1 등가회로

各 變壓器의 出力을 재기 위해서 2臺의 電力計를 T_1, T_2 의 出力단에 연결하여 測定하면서, 電力의 分配 또한 알 수 있게 裝置하였다

電流 計算을 통해 I_1, I_2, I_3 을 各 分岐回路 電流로 하여 $I_{T1} = I_1 + I_3$, $I_{T2} = I_2 - I_3$ 를 干先 計算한다.

各 變壓器의 誘導起電力을 設定함에 導入한 vector operator b 는

$$b = 0.5 - j 0.866$$

의 값을 가지며, 三相 對稱座標에 쓰는 a 와의 關係는

$$b = -a$$

$$b^2 = a^*$$

이다.

나아가서

$$b^{-1} = 1 - b$$

$$1 + b^2 = b$$

의 關係式도 成立한다.

I_1, I_2, I_3 를 求함에 있어,

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_1 + Z_1 & 0 & Z_1 \\ 0 & Z_2 + R_2 & -Z_2 \\ Z_1 & -Z_2 & R_3 + Z_1 + Z_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E \\ bE \\ -b^2E \end{pmatrix} \quad (1)$$

라 놓고 우선 ΔZ 를 計算하면,

$$\Delta Z = (R_1 + Z_1)(R_2 + Z_2) \left(-b^2 + \frac{bZ_2}{R_2 + Z_2} \right) - Z_1R_2 - Z_1Z_2 \quad (2)$$

인데, $R_1 = R_2 = R_3 = R$ 라 하고 이 값이 個個 變壓器의 定格電流에 해당되는 抵抗값이라 假定하면,

$$z_1 = \frac{Z_1}{R}, \quad z_2 = \frac{Z_2}{R}$$

로 導入되고, 이에 따라

$$\Delta z / R^3 = (1 + z_1)(1 + z_2)(1 + z_1 + z_2) \quad (3)$$

$$\Delta z_1 / ER^2 = b^2 z_1 + (1 + z_2)(1 + z_1 + z_2) \quad (4)$$

$$\Delta z_2 / bER^2 = -b z_2 + (1 + z_1)(1 + z_1 + z_2) \quad (5)$$

$$\Delta z_3 / -b^2 ER^2 = (1 + z_1) - b(1 + z_1)(1 + z_2) (z_1 - z_2) \quad (6)$$

가 얻어지고, $I_1 = \Delta z_1 / \Delta z$ 의 關係式에서

$$I_{1z} = \frac{E}{R} \left\{ (1 - b^2) - z_1 + 4b^2 z_2 - (1 - 2z_2)(z_1 - z_2) \right\} \quad (7)$$

$$I_{1z} = \frac{bE}{R} \left\{ (1 + b) - z_2 - 4bz_2 - (1 - 2z_2)(z_1 - z_2) \right\} \quad (8)$$

및 피상전력 $S_1 = (\bar{I}_1, E^*), S_2 = (\bar{I}_2, bE^*)$ 의 關係式에서,

$$S_1 = \frac{E^2}{R} \left\{ (1 - b^2) - z_1 + 4b^2 z_2 - (1 - 2z_2)(z_1 - z_2) \right\} \quad (9)$$

$$S_2 = \frac{(bE)^2}{R} \left\{ (1 + b) - z_2 - 4bz_2 - (1 - 2z_2)(z_1 - z_2) \right\} \quad (10)$$

로 얻어진다. z 는 z_1, z_2 의 平均價이다.

여기서 $P = \text{Re}(s)$ 를 應用하여 實 電力을 計算함에 있어, z 를 Reactance 分만 고려키로 한다. ($Z = jX$), 나아가서 實 값을 求함에 있어 P_1, P_2 가 서로 다른 電壓의 位相에 基準하고 있음을 注意시켜야 하겠다. 卽

$$P_1 = \text{Re}(S_1) = \text{Re}(\bar{I}_1, E^*) \quad (11)$$

$$P_2 = \text{Re}(S_2) = \text{Re}(\bar{I}_2, bE^*) \quad (12)$$

따라서 Vector operator 값을 고려하면,

$$\frac{P_1}{E^2/R} = 1.5 + 2\sqrt{3} |z| - 2 |z(z_1 - z_2)| \quad (13)$$

$$\frac{P_2}{E^2/R} = 1.5 - 2\sqrt{3} |z| - 2 |z(z_1 - z_2)| \quad (14)$$

가 얻어지고 이를 圖解하면 그림 2 와 같다.

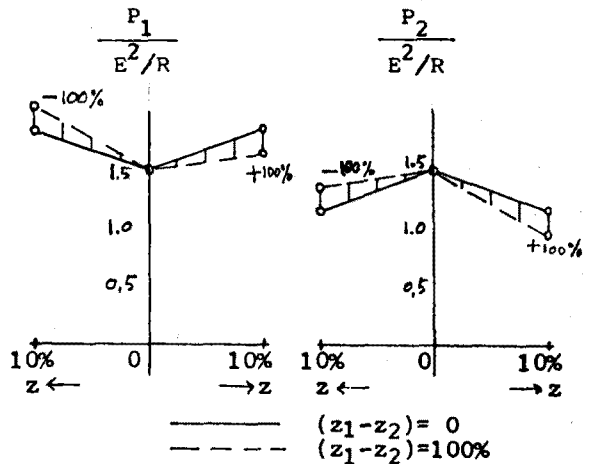


Fig. 2

3. 電壓의 不平衡

變壓器 出力 단자의 電壓을 V_1, V_2, V_3 이라 하면 각 分岐電流로서 이 값을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$V_1 = E(1-z_1) \{ 1 + b^2 z_1(1-2z_2)(1-z_2) \} \quad (15)$$

$$V_2 = bE(1-z_2) \{ 1 - bz_2(1-2z_1)(1-z_1) \} \quad (16)$$

$$V_3 = b^2 E(1-2z_1) \{ 1 - z_2 - b(z_1 - z_2) \} \quad (17)$$

이로써 알수 있는 것은 V_1 과 V_2 가 原來의 사잇각 60° 보다 작아 진다는 것 나아가서 V_3 의 절대값 또한 V_1 및 V_2 의 절대값 보다 적어진다는 등이다. 이의 例를 圖示하면 그림 3과 같다.

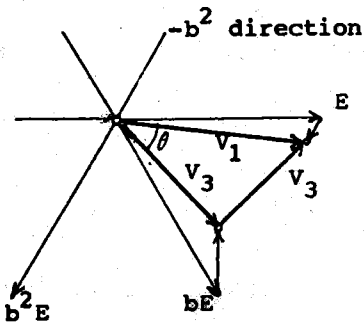


그림 3. V의 Vector 圖

4. 實驗 및 結論

實驗에 使用한 變壓器는 각각 200 W, 100 V (二次側) 2 A (二次側) $R = 43 \Omega$, $Z_1 = 7.4 \Omega$, $Z_2 = 8.8 \Omega$ 이었다.

上記 값으로 impedance $z_1 = 15\%$, $z_2 = 17.6\%$, $(z_1 - z_2) = -2.6\%$ 임을 알 수 있겠다.

아래에서 보는바 負荷側의 相電壓은 서로 相當한 不平衡을 야기시켰고 이는 앞서 解析上 알아본 結果와 부합되는 바이다.

測定 結果

V_i	測定 1	測定 2
V_1 [V]	40	64
V_2 [V]	36	58
V_3 [V]	28	46
I_{T1} [A]	1.3	2.2
I_{T2} [A]	1.2	1.9
I_s [A]	0.7	1.5
P_1 [W]	48	130
P_2 [W]	36	98

各 變壓器에 分配되는 出力의 값이 상당히 다른 것은 電壓과 電流의 不平衡 뿐만 아니라 $\cos \phi$ 에 많이 좌우 됨을 알 수 있겠고, 이는 式 (9) (10)의 複素電力的 計算式에서도 解析적으로 나타나는 바이다.

나아가서 V結線에서의 電壓 電力 등의 平衡을 만들 수 있는 補助回路가 研究되어야 할것으로 思料된다.

參 考 文 獻

1. 朴永文 外 共著 最新 送配電工學 信興出版社 1983, pp.89-89.
2. Charles Hubert, Electric Circuits, McGraw 1982, pp 603 - 619
3. Slemon, Straughen, Electric Machines, Addison-Wesley Publishing 1980, pp 554 - 555