

變壓器의 等價回路 定數決定法

左 宗 根

A Determining Method of Equivalent Circuit Constants of Transformer

Chong-keun Jwa

Summary

The T-type equivalent circuit constants of transformers with regard to magnetic saturation, are studied. And these constants are determined by measuring both primary and secondary resistance, and also by the no-load test (at 60% and 100% of rated voltage) and the rated frequency short-circuit test (at 50%, 100% and 200 % of rated current). By using these constants, the characteristics are calculated accurately, and the calculated values and measured values are compared.

序 論

送電系統의 超高壓化에 따른 大容量 變壓器의 製作, 多樣한 用途의 特殊變壓器가 製作됨에 따라 보다 精度 높은 等價回路 定數決定法이 要求되고 있다.

現在 使用되고 있는 定常狀態 定數決定法은 磁氣飽和의 影響을 考慮하지 않고 있기 때문에 精密한 特性 計算을 期待할 수 없다.

따라서 本 研究에서는 變壓器와 誘導電動機의 原理의 類似性을 利用하여 Miki (1978) 등이 發表한 磁氣飽和를 考慮한 誘導電動機 定數決定法을 參考로 하여 變壓器의 定數 決定方法을 提案하고 이의 妥當性을 檢討하였다.

磁氣飽和의 影響

特性算定에 使用되는 等價回路로서는 L型 및 T型이 있고 普通 簡易計算用으로서 L型을 使用하고 있으나 精密計算을 하기 위하여 <그림 1.>에 보인 T型 等價回路를 使用하였다.

磁氣飽和를 考慮하는 경우 이 等價回路에서 勵磁回路定數인 勵磁리액턴스 x_M 과 鐵損分抵抗 r_M 은 이 回路定數 兩端의 電壓에 따라 電化하는데 變壓器에 있어서 는 이 電壓이 거의 一定하다고 생각되므로 이들의 變

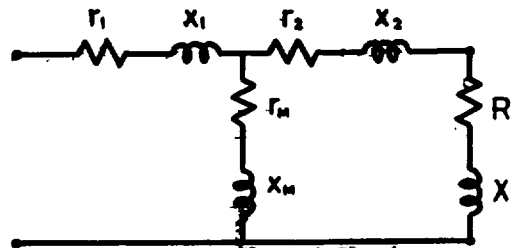


Fig. 1. T-type equivalent circuit

化를 따르 考慮하지 않는다. <그림 2.>에 보인 바와 같이 被試驗 變壓器에 對하여 短絡電流를 變化시켜 試

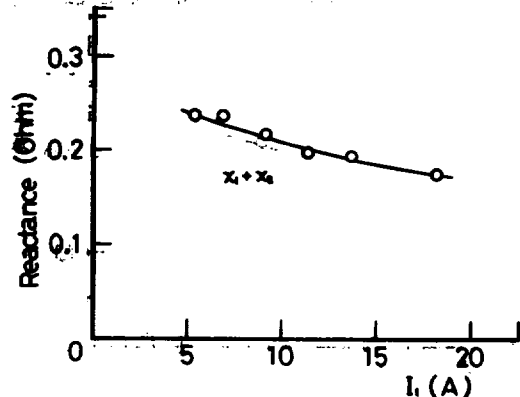


Fig. 2. Variation of $x_1 + x_2$

驗한 結果 電流變化에 따라 $x_1 + x_2$ 가 漏洩磁路의 飽和로 因하여 緩慢한 指數函數的 變化를 하고 있으므로 回路定數를 決定할 때는 磁氣飽和를 考慮하여야 한다.

回路定數決定과 그 近似法

1. 短絡時에 있어서 x_M, x_1 및 x_2

普通 x_1, x_2 는 短絡試驗으로 구하고 이 값을 運轉狀態의 값으로 假定하여 特性算定을 한다. 따라서 이들의 값을 精度높게 구하는 것은 特性算定上 重要하다. 現在 使用하고 있는 方法으로는 勵磁임피던스를 無視하여 $x_1 + x_2$ 의 값을 決定하고 있고 $x_1 + x_2$ 에 誤差가 包含되나. 이 誤差는 적은 것으로 생각하고 있다. 그러나 電流에 의한 飽和의 影響으로 리액턴스가 變化하는 경우에는 이를 考慮하여 리액턴스를 구할 必要가 있다.

1) 定格周波數의 短絡試驗을 거의 定格電流로 試驗하고 (1), (2)式으로 x_1 을 구한다. 또 定格周波數의 無負荷試驗에 있어서 60% 定格電壓을 印加하여 勵磁 리액턴스의 未飽和值 x'_M 와 x_1 의 合을 구하여 (3)式에서 x'_M 를 分離한다.

$$x = x_1 + x_2 = \sqrt{\left(\frac{V_s}{I_s}\right)^2 - \left(\frac{W_s}{I_s^2}\right)^2} \dots\dots (1)$$

$$x_1 = x_2 = x/2 \dots\dots (2)$$

$$x'_M = \sqrt{\left(\frac{V'_0}{I'_0}\right)^2 - \left(\frac{W'_0}{I'_0^2}\right)^2} - x_1 \dots\dots (3)$$

여기서 V_s : 短絡印加電壓, I_s : 短絡 1次電流, W_s : 短絡時入力, V'_0 : 無負荷時 60% 定格電壓, I'_0 : V'_0 때의 無負荷電流, W'_0 : V'_0 때의 無負荷入力이다.

2) 1)에서 얻은 (2)式의 結果를 利用하여 短絡試驗時의 等價回路를 <그림 3.>과 같이 構成하고 여기서 x_2 의 補正值를 구한다. 이 等價回路에서 r_{1s}, r_{2s} 는 각각 試驗時의 1, 2次 捲線抵抗이고 添字 S는 短絡時를 表示하고 鐵損分抵抗 r_M 은 電壓이 낮기 때문에 無視하였다.

이 等價回路에서

$$\dot{I}_s = I_s (\cos \varphi_s - j \sin \varphi_s) = I_{sa} - j I_{sb} \dots\dots (4)$$

$$\cos \varphi_s = \frac{W_s}{V_s I_s} \dots\dots (5)$$

이므로 勵磁임피던스 사이의 電壓을 \dot{E}_s 라고 하면

$$\dot{E}_s = \dot{V}_s - (r_{1s} I_{sa} + x_{1s} I_{sb}) - j (x_{1s} I_{sa} - r_{1s} I_{sb}) \dots\dots (6)$$

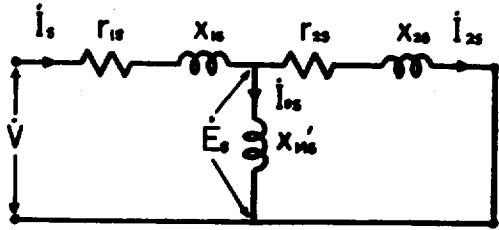


Fig. 3. Equivalent circuit of transformer shorted

이고, 勵磁電流 I_{0s} 는

$$I_{0s} = \frac{\dot{E}_s}{jX'_{Ms}} \dots\dots (7)$$

이 되고, 2次電流 I_{2s} 는

$$I_{2s} = I_s - I_{0s} \dots\dots (8)$$

이다. 따라서 短絡時 2次漏洩리액턴스 x_{2s} 는

$$x_{2s} = \left[\left(\frac{E_s}{I_{2s}}\right) - \left(\frac{W_s - I_s^2 r_{1s}}{I_s^2}\right)^2 \right]^{1/2} \dots (9)$$

가 된다.

2. 電流變化時의 x_1 및 x_2

x_1, x_2 는 각각 1, 2次 負荷電流에 따라 變化하므로 本方法에서는 이들을 電流의 函數로서 表示하는 方法을 採用했다. 定格의 50, 100 및 200% 電流에서 短絡試驗을 하고 上述한 方法으로 구한 x_{2s} 와 I_{2s} 사이의 關係를 兩對數 그래프에 表示하면 <그림 4.>와 같다. x_1 에 對해서도 負荷電流에 의한 飽和가 原因이되므로 I_s 와 x_1 의 關係는 I_{2s} 와 x_2 의 關係와 같다고 생각할 수 있다.

以上の 檢討에서 x_1, x_2 는 각각 I_1 및 I_2 의 指數函數로 表示하는 方法이 가장 適當하다고 생각된다.

50 및 200% 定格電流에서의 I_{2s} 와 x_2 의 값에서

$$\alpha = \frac{\log x_2(200) - \log x_2(50)}{\log I_{2s}(200) - \log I_{2s}(50)}$$

$$x_2(50) = (50\% \text{ 電流時의 } x_2)$$

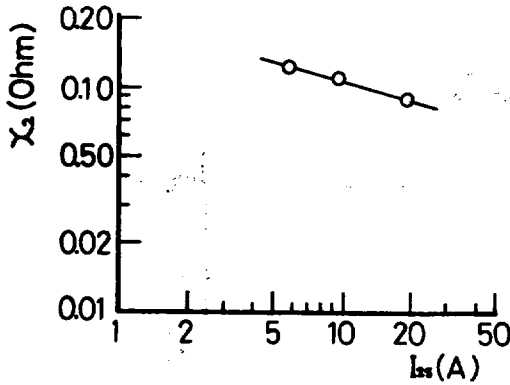


Fig. 4. Relation between I_{2s} and x_2

$$\left. \begin{aligned} x_2(200) &= (200\% \text{ 電流時의 } x_2) \\ I_{2s}(50) &= (50\% \text{ 電流時의 } I_{2s}) \\ I_{2s}(200) &= (200\% \text{ 電流時의 } I_{2s}) \end{aligned} \right\} (10)$$

를 구하고 x_2 를

$$x_2 = A(I_2)^\alpha \dots\dots\dots (11)$$

로 한다.

x_1 의變化도 x_2 와 같은 方法으로

$$x_1 = B(I_1)^\alpha \dots\dots\dots (12)$$

로 나타낼 수 있다.

3. r_M 및 x_M 의 決定

定格周波數 無負荷試驗을 하고 다음 式에 의하여 r_M 과 x_M 을 구한다.

$$\left. \begin{aligned} r_M &= \frac{Wi}{I_0^2} \\ Wi &= W_0 - I_0^2 r_{10} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

여기서 Wi : 鐵損, r_{10} : 無負荷試驗時의 1次 捲線抵抗이다.

$$x_M = X - x_1 \dots\dots\dots (14)$$

$$X = x_1 + x_M = \sqrt{\left(\frac{V_0}{I_0}\right)^2 - \left(\frac{W_0}{I_0^2}\right)^2} \dots\dots (15)$$

特性算定을 위한 試驗과 計算法

本 方法을 適用하기 위해 필요한 試驗은 다음의 3種 類이고 定數를 決定하기 위한 數式的 處理에 對해서는 前章에서 說明하였기 때문에 여기서는 그 方法과 順序

만을 記述한다.

1. 1, 2次 捲線抵抗測定

1, 2次 捲線抵抗 R_1, R_2 를 測定하고 이 때의 溫度를 $t_a [^\circ C]$ 라고 하면 基準捲線溫度 $t_b [^\circ C]$ 에서의 1, 2次 捲線抵抗 r_1, r_2 는

$$r_1 = \frac{234.5 + t_b}{234.5 + t_a} R_1$$

$$r_2 = \frac{234.5 + t_b}{234.5 + t_a} R_2'$$

(R_2' 는 1次換算 2次捲線抵抗)이다

2. 無負荷試驗

定格 및 60% 定格電壓으로 試驗하여 電壓, 電流 및 入力を 測定하고 測定後 곧 1次捲線抵抗을 測定하고 (13)~(15)式을 使用하여 r_M 과 x_M 을 구한다.

3. 短絡試驗

定格電流의 短絡試驗에서 電壓, 電流, 入力 및 1次 捲線抵抗을 測定하고 이 結果 (1)~(3) 式을 使用하여 x'_M, x_1 을 決定한다, 또 (4)~(9)式을 使用하여 x_2 를 補正한다,

定格의 50, 200% 電流의 短絡試驗에서 電壓, 電流 및 入力を 測定하고 (4)~(9)式을 使用하여 各 경우의 x_2, I_{2s} 를 計算하고 (10)式에서 α 를 구하여 x_1, x_2 의 近似式을 세운다.

以上の 試驗結果로 얻은 回路定數를 <그림 1.>의 等價回路에 適用하여 諸特性을 計算한다.

特性算定値와 實測値와의 比較

本 方法의 妥當性을 檢討하기 위하여 <表 1.>과 같 은 定格의 變壓器에 對하여 試驗한 結果 <表 1.>과 같

Table 1. Specifications and circuit constants of tested transformer

Specifications		Circuit constants [Ω]	
Out put	1KVA	r_1	0.237
Primary voltage	110V	x_1	$0.193 I_1^{-0.257}$
Secondary voltage	220V	r_M	64.465
Polarity	additive	x_M	$149.549 - x_1$
Type	Shell	r_2	0.158
		x_2	$0.194 I_2^{-0.257}$

은 定數를 算定하였다, 다음에 變壓器에 抵抗負荷를 定數를 使用하여 구한 計算值를 比較하면 <그림 5.>와 接續하고 負荷試驗을 하여 얻은 實測值과 <表 1.>의 같다.

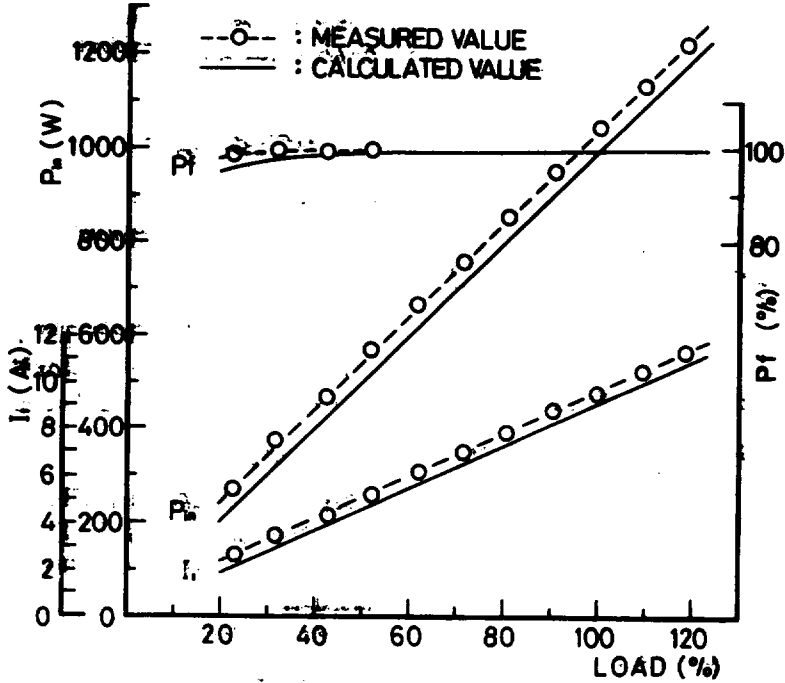


Fig. 5. Characteristic curves

그림에서 보는 바와 같이 實測值과 計算值가 잘 一致하고 있음을 알 수 있다, 즉 負荷試驗範圍에서 入力 (P_{in})은 實測值에 對한 誤差가 $-3.9 \sim -16.3[\%]$, 1次電流 (I_1)는 $-3.8 \sim 14.2[\%]$, 力率 (P_f)은 $+1.9 \sim -2.4[\%]$ 로 精度가 높다.

磁氣飽和를 考慮한 變壓器의 等價回路 定數決定法을 提案하고 이 方法으로 決定한 回路定數로 特性計算을 하여 實測值과 比較하였다.

그 結果 實測值에 對한 計算值의 誤差가 實驗範圍內에서 平均 8% 以內로 精度가 높으므로 各種 變壓器의 特性把握 및 運轉에 좋은 資料가 될 것이다.

摘 要

變壓器와 誘導電動機의 原理的 類似性을 利用하여

引 用 文 獻

電氣學會, 1974. 電氣工學 핸드북, 599~600
 Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., Kusko, A.
 1971. Electric Machinery, McGraw-Hill
 Kogakusha, 32~41
 Ishizaki, A., Hirayama, K. 1967. Precise
 determination of equivalent circuit parameters for performance calculation of poly-

phase induction machines, IEEJ, 87 (1),
 173~180
 Miki, I., Matsuse, K., Nozawa, J., Takagi,
 K. 1978. A Determining Method of Equivalent Circuit Constants of Induction Motor Considering Magnetic Saturation, IEEJ-B, 98(6), 17~24