

# Minor Network에 의한 變壓器의 衝擊電壓波의 移行現象解析

논문  
20~6~1

## An Analysis on Surge Voltage Transfer Phenomena of Transformers by Minor Network

이 승 원  
(Sung Won Rhee)

### Abstract

Secondary-side transfer phenomena of primary-side surge voltage in concentric-cylindrical transformers of high turn-ratio still present a problem in transformer insulation design even in the case of a neutral solid-grounding type.

The conventional methods of analyzing them so far are much complicated for practical applications. Therefore, this paper describes a new approach to the analysis of secondary-side transfer phenomena of surge in concentric-cylindrical transformers of high turn-ratio and solid-grounding type.

This generalized approach is thought to be more simple with the use of minor network concepts than the conventional one by major network only.

The result shows that the secondary-side transfer phenomena of surge voltage could not be neglected even in concentric-cylindrical transformer of high turn-ratio and solid-grounding type, and will be satisfactorily applicable to the design of neutral-solid-grounding type transformers.

### 1. 序 論

2次移行衝擊波에 대한 研究는 送配電電壓의 昇壓에 따라 變壓器卷線에 雷擊 및 内部 開閉衝擊波電壓이 印加되었을 때 中性點 非接地時 2次로 移行되는 異常電壓이 2次側卷線 및 이에 접속된 外部 回路에 甚한 피해를 가져오는 경우가 많아 이의 解析과 對策이 필요하게 되어 시작되었으나, 直接接地式이라 할지라도 變壓比가 큰 경우에는 2次移行電壓이 問題視되게 되는 것이다.

變壓器卷線에 衝擊波電壓이 印加되었을 때의 1次電壓 印加卷線の 内部振動 現象에 대하여는 R. Rüdenberg에 의한 進行波理論, L. V. Bewley에 의한 定在波理論 그리고 Abetti의 電磁 model에 의한 定數解析 등이 있으나 이들은 모두 高壓側 1次卷線の 卷線對地 및 卷線 코일間의 振動電壓에 대한 絕緣設計에 眼點을 두어 풀이하였기 때문에 2次卷線을 모두 對地 電位를 갖었

다고 보아 이들에 대한 영향 및 2次 卷線에 흐르는 電流에 의한 영향을 고려하지 아니하였다.

2次移行電壓에 대해서도 Wagner 및 Bewley의 MKC 直線分布 理論과 이를 근거로 하여 改良한 林의 m, MKC 指數分布理論이 있으며, 이에 의한 內鐵型 2卷線 變壓器에 대한 解析이 大石<sup>(6)</sup>에 의하여 提示된 바도 있다.

그러나 精確한 解析은 複合多重卷線에 적용할 경우, 복잡성을 띄게 되어 一般성이 없다. 고로 좀 더 簡單하고 一般性 있는 解析方法에 대하여 追求한 結果 衝擊波 電壓에 대한 變壓器 回路를 解析의 主眼點을 Major 및 Minor network로 구분하여 이 두 network가 서로 各 연관성을 가지고 振動한다는 概念을 導入함으로써 종전의 Major network 만을 主眼點으로한 移行現象解析法보다 훨씬 簡單하고 正確性 있는 解析結果를 얻을 수 있게 되었다.

이 方法에 의한 것 같으면 모든 變壓器의 移行電壓 現象이 용이하게 解析될 뿐만 아니라 종전의 解析方法

\* 정회원 : 서울대학교 공과대학교수

으로는 無振動이라고 해석될 수 밖에 없었던 圓筒型變壓器까지도 Minor network 을 고려함으로써 衝擊電位振動이 2次로 移行됨을 알게 되었다. 여기서는 또한 이 解析에 의해서 多重接地 方式配電線路에 사용되는 高電壓比一端接地 變壓器의 移行電壓을 解析하여 이의 卷線絶緣設計를 위한 基本指針을 設定할 수 있게 되었으므로 이에 提示하였다.

## 2. Major Network 및 Minor Network의 設定

變壓器의 衝擊波電壓特性 回路를 細部的으로 표시하면 그림 1(b)과 같이 상당히 복잡하므로 이를 層當 分布定數回路로 분할하여 이를 Minor network 라 하고 이 Minor network를 (a)와 같이 하나의 部分集中定數로 한 전체의 分布定數回路로 設定하여 이를 Major network라고 설정하였다.

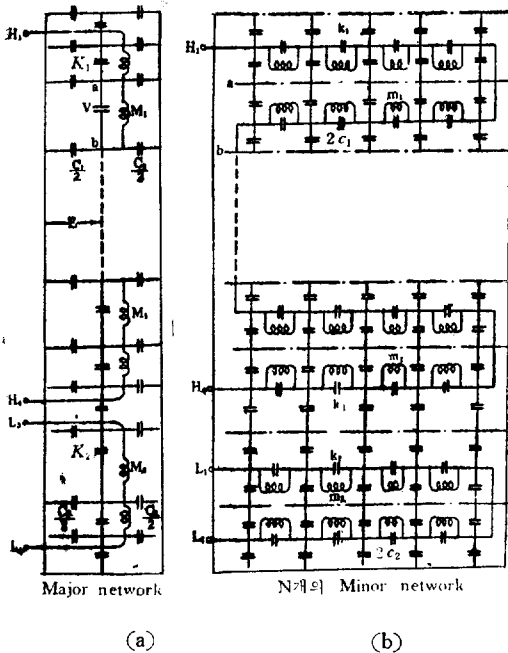


그림 1. Major 分布定數特性回路와 Minor 分布定數特性回路

Fig. 1 Major and Minor impulse voltage characteristics circuit.

여기서

$K_1, K_2$ : 高壓 및 低壓側의 Major network 에서의 單位長當 直列 靜電容量.

$C_1, C_2$ : 高壓 및 低壓側의 Major network 에서의 單位長當 對地 靜電容量.

$k_1, k_2$ : 高壓 및 低壓側의 Minor network 回路에서의 單位長當 直列 靜電容量.

$c_1, c_2$ : 高壓側 및 低壓側의 Minor network 回路에서의 並列 靜電容量.

$M_1, M_2$ : 高壓側 및 低壓側의 Major network 回路에서의 單位長當 誘導係數.

$m_1, m_2$ : 高壓側 및 低壓側의 Minor network 에서의 單位長當 誘導係數이고,

$E, V$ : Major network 에서의 對地電壓 및 卷線間電壓

$e, v$ : Minor network 에서의 並列電壓 및 卷線間電壓이며,  $X, Z$ 는 각각 Major 와 Minor network 에서의 半徑 및 軸方向 per unit 길이 이다.

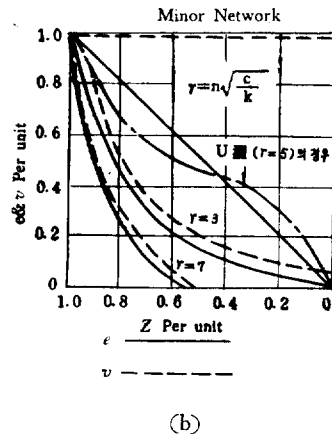
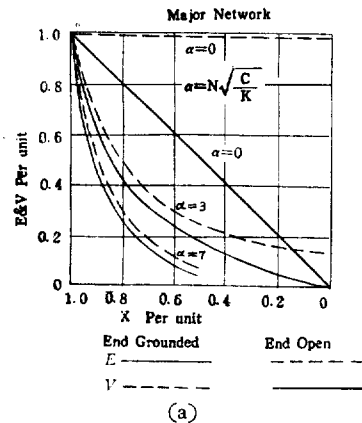


그림 2. Major 와 Minor network 의 初期電位分布

Fig. 2 Properties of the initial impulse voltage distribution in Major and Minor network

그림 1의 Major network 의 a, b 端子 사이의  $K_1, C_1, M_1$  은 각각 Minor network 의 a, b 端子 사이에서 본 等價值이며, 이때 初期衝擊電壓 分布는 각각  $K_1, C_1$  및  $k_1, c_1$ 에 의해서만이 결정되며, Major network 즉,

卷線內의 初期電位分布는 그림 2에서와 같이 他端接地時는

$$\left. \begin{aligned} E &= E_1 \frac{\sinh \alpha X}{\sinh \alpha} \\ V &= V_1 \frac{\cosh \alpha X}{\cosh \alpha} \end{aligned} \right\} (1)$$

他端開放時는

$$\left. \begin{aligned} E &= E_1 \frac{\cosh \alpha X}{\cosh \alpha} \\ V &= V_1 \frac{\sinh \alpha X}{\sinh \alpha} \end{aligned} \right\} (2)$$

단,  $E_1$  : 印加對地電位,  $V_1$  : 線路端 Minor network의 印加電壓이다. 그리고, Minor network 卷線內의 初期電位分布는 他端이 마치 接地되어 있는 것과 같이 분포되는데, 이는 Minor network의 他端이 同電位線에 연결되어 있어, 일반적으로 한 卷線에 電位振動現象을 규정할때, 그 外권선은 接地되어 있는 상태로 보는 견지<sup>(9)</sup>에서 볼때 이 同電位線을 각 Minor network에서의 接地點으로 볼수 있기 때문이다. 그러므로

$$\left. \begin{aligned} e &= e_1 \frac{\sinh \gamma Z}{\sinh \gamma} \\ v &= v_1 \frac{\cosh \gamma Z}{\cosh \gamma} \end{aligned} \right\} (3)$$

단,  $e_1$  : Minor network의 對同電位線電位,  $v_1$  : Minor network의 코일간 電壓이다.

여기서 이들은 각각

$$\alpha = N \sqrt{\frac{C_1}{K_1}}, \quad \gamma = n \sqrt{\frac{c_1}{k_1}} \text{의 값에 따라 각각}$$

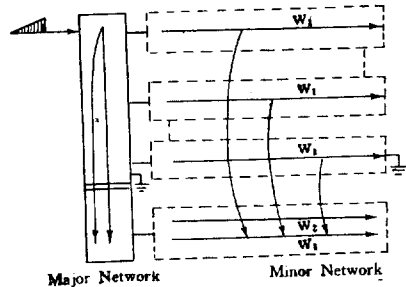
그림 2(a)와 (b)와 같은 初期電壓分布를 가진다.

이상과 같이 변압기 卷線간의 衝擊電壓分布를 살펴 보면 전체의 卷線을 軸方向(Z)과 半徑方向(X)으로 고찰하되 半徑方向(X)으로의 Major 回路는 軸方向(Z)의 Minor 回路分布定數를 각 層當의 部分集中定數로 본 分布定數回路라 놓고 部分集中定數를 다시 分布定數回路로 대체한 Minor 回路와의 사이에 서로 연관성을 갖이고 內部電位振動을 일으킨다고 본다. 즉 Minor network는 중간정전용량  $c$ 와 코일간 정전용량  $k$ 사이에,  $\gamma = n \sqrt{\frac{c}{k}}$ 의 값에 따라 局部電位振動을 일으키게 된다. 그러나 이러한 진동은 Minor network의 조건에 따라 병렬 및 직렬공진상태이므로 각 Minor network의 양단간 電位는 각 Minor network의 극부전위진동 주파수에 대하여는 진동하지 아니하며, 전 Minor network간의 분담전압은 공진등가임피던스에 따라 결정될 것이다. 여기서 각 Minor network의 部分等價集中定數의 분포를 표시한 것이 Major network가 될 것이다. 즉 半徑方向(X)의 Major network의 각 分布定數중 직렬정전용량  $K$ 는 각 Minor network의 양단사이에서 본 등가정전용량으로 이를 표시하면

$$K = \frac{\sum c}{\gamma} \tanh 2\gamma = \sum c$$

로 되고, 병렬등가 용량  $C$ 는 각 Minor network를 단 일 코일로 보았을 때 이것의 대지용량이 되고, 상호유도 계수  $M$ 는 각 Minor network 사이의 것이 되어,  $\alpha = N \sqrt{\frac{C}{K}}$ 인 分布定數回路에서의 電位振動을 일으킨다. 요약하면 電位振動의 移行課程은 衝擊電壓이 印加되면 먼저 그림 2에서 보는 바와 같이 Minor 回路要素에 初期電位分布를 하게 되고 이것을 巨視的으로 볼때 Major 回路電位分布 形態로 나타난다. 여기서 각 Minor 回路의 電位振動은 Major 回路 初期電位分布 比率의 印加電壓 ( $V$ )에 의하여 Z 方向으로 定在波理論에 입각한 電位振動이 일어남과 동시에 他 Minor 回路의 電位振動이 靜電 및 電磁 移行하여 오게 되는데, 이때 그 移行強度는 Major 回路의 電位振動形態에 따라 결정될 것이다.

그러므로 2次 卷線 Minor 回路에서는 그림 3과 같이 Major 回路 初期電位分布 比率의 靜電電位分布 電壓에 따른 자체 定數에 의한 電位振動과 1次 卷線 Minor network에서의 電位振動이 Major network의 電位振動比率에 따라 移行하여 오는 移行電壓의 합한 電位振動이 일어나게 된다.



布라고 가정하였다. 즉 그림 4에서 起磁力가 생겼을 때, 이 起磁力에 의하여  $x$ 점에 쇄교하는 磁束은 거리  $|y-x|$ 에 대하여 1次的 函數關係를 갖는 분포를 한다고 가정하여 無損失 線路에서의 基本方程式으로 다음과 같이 정하였다.

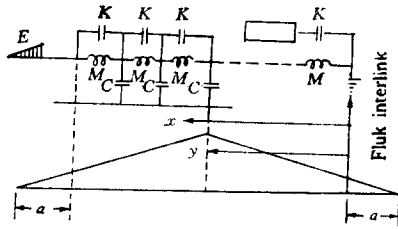


그림 4. Bewley의 MKC 直線分布特性回路  
Fig. 4. Bewley's MKC linearity distributed characteristics circuit.

$$\frac{dV}{dx} = \frac{M}{2a+1} p \left\{ \int_0^x (a+1-x)(a+y) I(y, p) dy + \int_x^1 (a+x)(a+1-y) I(y, p) dy \right\} \quad (4)$$

$$\frac{dI}{dx} = CpV - Kp \frac{d^2V}{dx^2} \quad (5)$$

위식을  $x$ 에 관하여 微分하여

$$\frac{d^4V}{dx^4} - p^2 MK \frac{d^2V}{dx^2} + MCp^2 V = 0 \quad (6)$$

고로  $V = \sum_{n=1}^4 A_n e^{\gamma n x}$  (7)

여기서

$$\gamma^2 = \frac{p^2 MK \pm \sqrt{p^4 M^2 K^2 - 4MCp^2}}{2} \quad (8)$$

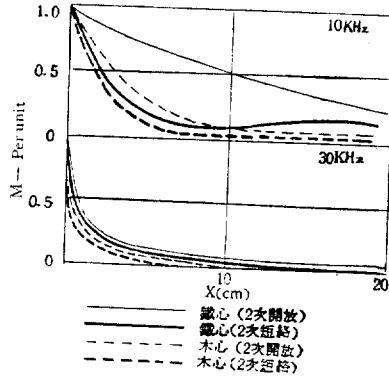
이다. 그러나, 卷線間的 相互誘導作用을 直線分布로 하는 경우는 有限長卷線이나 또는 卷線 주위에 歸路가 존재하여 있지 않는 경우에서는 그 近似性이 인정되나 그림 5와 같이, 變壓器에서와 같이 주위에 歸路 卷線이 있거나, 가까운 곳에 철심이 존재하는 경우는 相互誘導作用이 直線分布가 되지 못함을 알 수 있다. (3)(4)(5)

(2) 林의  $m, MKC$  指數函數分布理論<sup>(2)</sup>

變壓器에서와 같이 卷線 주위에 철심이 존재하는 경우 종래에는 Bewley씨의 直線分布理論에 의하여 鐵心 대신 空心(혹은 木心)에서 相互誘導作用을 計算하고 測定하되, 실제로 있어 철심으로 된 변압기에 충격과가 침입하면, 高電壓에 의하여 철심이 포화가 됨으로 위의 試驗測定の 경우의 危害度보다 낮을 것이라고 하여 더 이상의 고려를 하지 아니 하였다.

Rüdenberg에 의하면 2次 回路가 近似的 短絡狀態에 있으면, 卷線間的 誘導作用의 효과가 적어져서 균등한  $L$  分布가 된다고 생각하며, 變壓器와 같이 주

위에 歸路가 있거나, 또는 철심이 있는 경우는 철심 내의 渦流通路에 의한 2次 短絡狀態가 존재한다고 보아 相互誘導作用의 효과가 급속히 감쇠하는 현상을 일으키게 된다. 그리고, 1次 印加電壓 周波數가 높으면 이러한 현상이 더욱 뚜렷하다. (그림 5 참조)



2,800Turns. coil dia 0.2mmφ  
DSC coil Mean Dia 7cm

그림 5. 卷線間的 相互誘導作用<sup>(1)</sup>  
Fig. 5. Mutual inductance between coils.

여기서 卷線間的 相互誘導作用을 減衰係數  $m$ , 인 指數函數分布라고 보고 다음과 같은  $m, MKC$  指數分布理論의 基礎方程式을 적용하였다. 즉

$$\frac{dV}{dx} = Mp \int_0^1 e^{-m|x-y|} I(y, p) dy \quad (9)$$

$$\frac{dI}{dx} = CpV - Kp \frac{d^2V}{dx^2} \quad (10)$$

이를 微分하여 정리하면

$$\frac{d^4V}{dx^4} - \frac{d^2V}{dx^2} (m_s^2 + 2m_s MKp^2) + 2m_s MCp^2 V = 0 \quad (11)$$

고로

$$V = \sum_{n=1}^4 A_n e^{\gamma n x} \quad (12)$$

단,

$$\gamma^2 = \frac{m_s^2 + 2m_s MKp^2 \pm \sqrt{(m_s^2 + 2m_s MKp^2)^2 - 8m_s MCp^2}}{2} \quad (13)$$

지금 식 (11)에서 中性點接地의 경우 內部電位振動<sup>(2)</sup>은

$$v(x, t) = Ex + \frac{-2E\alpha^2}{\pi(\alpha^2 + \pi^2)} \sin \pi x \times \cos \frac{\alpha \pi \sqrt{\alpha^2 + m_s^2}}{\sqrt{2m_s MC} \sqrt{\alpha^2 + \pi^2}} t + \frac{(-1)^s 2E\alpha^2}{s\pi(\alpha^2 + s^2 \pi^2)} \sin s\pi x \times$$

$$\cos \frac{\alpha \pi \sqrt{s^2 \pi^2 + m_s^2}}{\sqrt{2m_s MC} \sqrt{\alpha^2 + s^2 \pi^2}} t \quad (14)$$

中性點開放의 경우의 內部電位振動<sup>(1)</sup>은

$$v(x, t) = E + \frac{(-1)16\alpha^2 E}{\pi(4\alpha^2 + \pi^2)} \cos \frac{\pi}{2} x$$

$$\times \cos \frac{\alpha \pi \sqrt{4m_s^2 + \pi^2}}{2\sqrt{2m_s MC} \sqrt{4\alpha^2 + \pi^2}} t$$

$$+ \frac{(-1)^2 16\alpha^2 E}{(2s-1)\pi[4\alpha^2 + (2s-1)^2 \pi^2]} \cos \frac{2s-1}{2} \pi x$$

$$\times \cos \frac{\alpha(2s-1)\pi \sqrt{4m_s^2 + (2s-1)^2 \pi^2}}{2\sqrt{2m_s MC} \sqrt{4\alpha^2 + (2s-1)^2 \pi^2}} t \quad (15)$$

여기서  $s=1, 2, 3, \dots$ 이다.

지금, 식 (14), (15)를 다음과 같이 정리하여,  $m_s$  MKC 分布와 LKC 分布와의 관계를 비교하면 표 1과 같다. 즉,

他端子接地(中性點接地):

$$v(x, t) = E\varepsilon^{-at} + E \sum_{s=1}^{\infty} U_s \sin s\pi x \cos \omega_s t \quad (16)$$

他端子開放(中性點開放):

$$v(x, t) = E\varepsilon^{-at} + E \sum_{s=1}^{\infty} U'_s \cos \frac{2s-1}{2} \pi x \cos \omega'_s t \quad (17)$$

II 1. 單一線理論에 있어서 定在波의 振幅과 周波數<sup>(1)(5)(7)</sup>

Table 1. Amplitude and frequency of the standing wave by single winding theory

等價回路		L K C	M K C	$m_s$ M K C
이론 제안자		wagner	Bewley	林·西田
一端印加他端接地 兩端同時印加	$U_s$	$\frac{(-1)^s 2\alpha^2 \cos s\pi}{s\pi(\alpha^2 + s^2 \pi^2)}$	"	"
	$\omega_s$	$\frac{s\alpha\pi}{\sqrt{LC} \sqrt{\alpha^2 + s^2 \pi^2}}$	$\frac{s^2 \alpha \pi^2}{\sqrt{MC} \sqrt{\alpha^2 + s^2 \pi^2}}$	$\frac{s\alpha\pi \sqrt{m_s^2 + s^2 \pi^2}}{\sqrt{2m_s MC} \sqrt{\alpha^2 + s^2 \pi^2}}$
一端印加 他端開放	$U'_s$	$\frac{(-1)^s 16\alpha^2 \cos s\pi}{(2s-1)\pi[4\alpha^2 + (2s-1)^2 \pi^2]}$	"	"
	$\omega'_s$	$\frac{(2s-1)\alpha\pi}{\sqrt{LC} \sqrt{4\alpha^2 + (2s-1)^2 \pi^2}}$	$\frac{(2s-1)^2 \alpha \pi^2}{2\sqrt{MC} \sqrt{4\alpha^2 + (2s-1)^2 \pi^2}}$	$\frac{(2s-1)\alpha\pi \sqrt{4m_s^2 + (2s-1)^2 \pi^2}}{2\sqrt{2m_s MC} \sqrt{4\alpha^2 + (2s-1)^2 \pi^2}}$

단,  $s=1, 2, 3, \dots$

兩端子同時印加의 경우<sup>(4)</sup>: 이 경우는 他端子接地의 경우와 內部振動現象은 같으나, 振動幅이 2배가 되고, 偶數調波는 상쇄된다. 그리고 식(16)에서의 1항은  $E\varepsilon^{-at}$ 가 되지 않고  $E^{-at}$ 가 된다.

즉

$$v(x, t) = E\varepsilon^{-at} + E \sum_{s=1}^{\infty} 2U_s \sin s\pi x \cos \omega_s t \quad (18)$$

단,  $s=1, 3, 5, \dots$

여기서  $(x, t)$ 의  $x$ 는 卷線全長을 1로 하고, 他端子를  $x=0$ , 電壓印加端子를  $x=1$  한 것이다.

4. Minor Network에서의 電位振動

圓筒型變壓器의 卷線方式에는 그림 6, 7과 같이 U型 接續多重卷線 및 N型 接續多重卷線の 2가지 방식이 있는데, N型은 層間絶緣을 均등하게 하는 잇점이 있는 반면 層間接續線을 외부로 빼내므로 卷線損失이 많다. U型은 層數가 많은 卷線에 사용하되, 層間絶緣을 2배로 하여야 하므로 각각 장단점이 있다.

多重圓筒型變壓器 卷線은 인접층의 卷線의 영향을 극히 많이 받는다.  $m_s$  MKC 指數分布理論에 의하

여 풀이해야 할 것이다. 고로 여기서는  $m_s$  MKC 指數分布理論을 적용하였다. 그리고 각 Minor network는 단독으로 작용하는 分布定數回路로 간주하여 해석할 수 있어 層數가 많은 변압기에서도 解析이 대단히 간단해진다.

지금 이들에 대한 Minor network에서의 初期電位分布를 보면,

1) U型 雙成코일의 初期電位分布

U型 코일의 한개의 Minor network 初期電位分布는  $\pm \frac{1}{2}V$ 의 反對極性을 갖은 電壓이 양단에 동시 인가한 경우와 같아서, 각 Minor network 에서만 생각하면, 對稱의 原理에 의하여, 그 平均電壓이 零이 됨으로, 中央點( $Z=\frac{1}{2}$ )이 同電位線이 되어 마치 접지된 것과 같이 작용한다. 그리고 그 인접 Minor network 는 인가전압의 극성이 바뀐 것과 같이 작용한다. 지금 A-B, B-C 간의 初期電位分布는

A-B:

$$v^{+0} = \frac{V}{2} \left[ 1 + \frac{\sinh \frac{\gamma}{2} (2Z-1)}{\sinh \frac{\gamma}{2}} \right] \quad (19)$$

B—C :

$$v^{+0} = \frac{V}{2} \left[ 1 + \frac{\sinh \frac{\gamma}{2} (1-2Z)}{\sinh \frac{\gamma}{2}} \right] \quad (20)$$

로 되며, Major network 의 他端을 접지하였을 때, Minor network 의 内部電位振動을 풀이하면

A—B :

$$v(Z, t) = VZ + \frac{V}{2} \sum_{s=1}^{\infty} U_{UZ} \sin \frac{(2s+1)\pi}{2} (2Z-1) \cos \omega_{UZ} t \quad (21)$$

B—C :

$$v(Z, t) = V(1-Z) + \frac{V}{2} \sum_{s=1}^{\infty} U_{UZ} \sin \frac{(2s+1)\pi}{2} (1-2Z) \cos \omega_{UZ} t \quad (22)$$

여기서,

$$U_{UZ} = \frac{(-1)^s 4\gamma^2 \cos s\pi}{(2s+1)\pi[\gamma^2 + (2s+1)^2\pi^2]} \quad (23)$$

$$\omega_{UZ} = \frac{(2s+1)\gamma\pi \sqrt{4m_s^2 + (2s+1)^2\pi^2}}{4\sqrt{2m_s^2 MC} \sqrt{\gamma^2 + (2s+1)^2\pi^2}} \quad (24)$$

이다.

여기서  $s$ 는 고조파차수인데 일반적으로 基本波만을 취급함이 통례이다. 그리고  $m_s$ 는 相互誘導係數의 減衰係數이다.

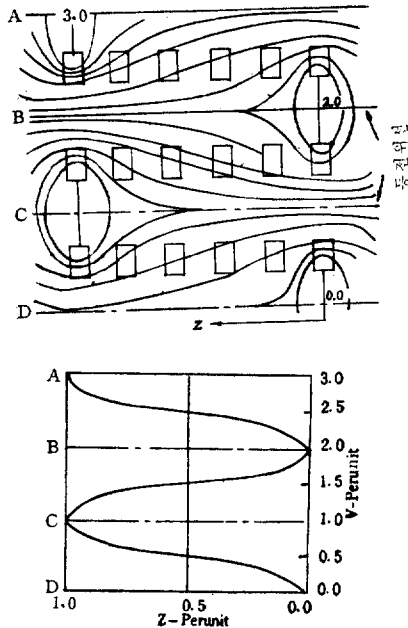


그림 6. U型卷線 Minor network 에서의 初期電位分布

Fig. 6 Initial voltage distribution of U-type winding-Minor network.

2) N型變成코일의 初期電位分布

N型變壓器卷線에서는 그림 7에서와 같이 Minor network 에서의 初期電位分布가 존재함으로 Major network 에서의 一端이 접지 되었을 때는 각 Minor network 의 他端도 접지된 것과 같이 初期分布가 됨으로, 각 Minor network 을 해석할 때도 他端이 접지된 것과 같이 따로 따로 해석할 수가 있다.

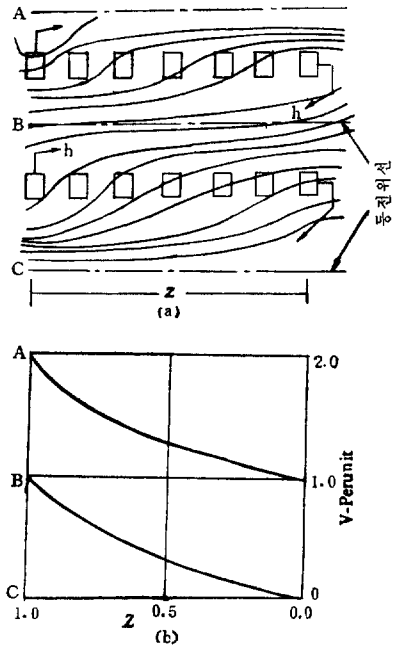


그림 7. N型卷線 Minor network 에서의 初期電位分布

Fig. 7 Initial voltage distribution of N-type winding-Minor network

지 금A—B 간이나 B—C 간에 동일한 初期電位分布를 갖고 있으므로

$$v^{+0} = V \frac{\sinh \gamma Z}{\sinh \gamma} \quad (25)$$

그러므로 Major network 他端이 접지되었을 때는

A—B : B—C :

$$v(Z, t) = VZ + V \sum_{s=1}^{\infty} U_{NZ} \sin sZ\pi \cos \omega_{NZ} t \quad (26)$$

여기서

$$U_{NZ} = \frac{(-1)^s 2\gamma^2 \cos s\pi}{s\pi(\gamma^2 + s^2\pi^2)} \quad (27)$$

$$\omega_{NZ} = \frac{s\alpha\pi \sqrt{m_s^2 + s^2\pi^2}}{\sqrt{2m_s^2 MC} \sqrt{\gamma^2 + s^2\pi^2}} \quad (28)$$

이다.

이외 다른 조건의 卷線方式에 대하여는 여기에 표시

하지 아니하였으나, 식 (16)~(18)과 표 1에 의하여 결정할 수 있다.

5. Major Network에서의 移行度決定

앞서 말한 바와 같이, Major network의 定數는 Minor network의 從屬函數 관계를 갖고 있어, 그림 8에서와 같은 圓筒型變壓器의 예를 들면 다음과 같다.

즉, Major network에서의 直列靜電容量 K는

$$K = \frac{\Sigma c}{\gamma} \tanh 2\gamma \doteq \Sigma c$$

로서, Minor network의 導體群을 平行平板이라고 하여 구한 값으로 대치하여도 된다. 그리고 對地靜電容量 C는 Minor network와 鐵心 및 케이스와의 靜電容量으로 일반적으로 衝擊電壓振動을 감쇄시키기 위하여 적은 값이 되도록 설계하며, 多重圓筒卷線에서는 C=0라고 보아도 상관 없다. 종래에는 多重圓筒卷線은 C=0 즉 α=0 임으로 Major network만을 主眼點으로 한 해석에서는 電位振動이 일어나지 않는다고 보았다.

相互誘導係數 M는 LKC理論 및 MKC, m<sub>2</sub>MKC理論에 따라 算定法이 각각 다르나, 이들에 대하여는 문

헌 (3), (4), (5)에 발표되었고, Minor network에서는 앞서 말한 바와 같이 m<sub>2</sub>MKC理論을 적용하되, 여기서 無振動變壓器라고 말하는 多重圓筒型變壓器의 移行現象을 고찰함에 있어 Major network의 α가 영이라 놓고 해석하였다.

지금 그림 8-(a)와 같이 多重圓筒線卷線配置가 되어 있는 경우, Major Network의 등가회로는 (b)와 같은데, 지금 1次卷線 H<sub>1</sub>에 Eε<sup>-αt</sup>인 衝擊波電壓이 인가되고, 他端 H<sub>4</sub>가 접지되었을 때의 初期電位分布는 他端接地點에 관계없이 상대방 鐵心面 B가 接地端이라 본 分布를 갖어, 그림 8-(c)의 (a) (α=0인 경우, (a)'는 α=1)와 같이 分布되어,

$$v^{0+} = E\epsilon^{-\alpha t} \frac{\sinh \alpha X_0}{\sinh \alpha} \tag{29}$$

란 분포를 갖는다. 여기서 X<sub>0</sub>는 B점을 X<sub>0</sub>=0, 電壓印加點 A를 X<sub>0</sub>=1라고 놓은 값이다. 그러므로 각 Minor network의 對地初期電位는 식 (29)에, 그 위치에 따른 X<sub>0</sub>의 값을 대입하면 구하여지며, 각 Minor network의 印加衝擊波電位는 Minor network의 先端은 앞쪽 Minor network와의 사이의 同電位面電位(실제에는 양권선간격의 중앙에 해당하는 X<sub>0</sub>)의 값이 될 것이고 終端은 다음 Minor network와의 사이의 同電位面에 해당하는 X<sub>0</sub>의 값을 구하면 된다.

多重圓筒線에서는 α=0임으로 실제, 철심 B면에서의 거리에 비례할 것이다.

지금, B鐵心面을 接地面으로 보는 근거는 그림 5에 보는 바와 같이 鐵心内部에 단락된 渦流回路가 존재하여, 衝擊波와 같은 高調波에 대하여는 큰 에너지 손실을 갖고 있기 때문이라고 생각한다. 이를 실제로 고찰코져 후술하는 실측실험에서 2次卷線을 短絡하고, 1次卷線의 中間點의 電位變動을 살펴본 바,  $\frac{AL_1}{AB}$  비율만큼 電位振幅이 줄어들었다. 그리고, 접지단자 H<sub>4</sub>의 初期對地電位比率는  $\overline{H_4H_4'}$ 이인데, 이는 Minor Network의 양단에 γ 값에 따른 電位分布에 의하여  $\overline{H_4H_4'}$  만큼의 電位가 분포된다.

여기서 2次卷線에서의 初期移行電位는 L<sub>1</sub> 端에는

$$E \frac{L_1 L_1'}{AB}$$

이다. 만약에 Major network의 α의 값이 α>0이면, 移行電位振動은 식 (21), (22), (26)과 식 (29)식에 의하면

$$v(X_0, t) = E\epsilon^{-\alpha t} X_0 + E \sum_{j=1}^{\infty} U_j \sin s\pi X_0 \cos \omega_j t \tag{30}$$

여기서

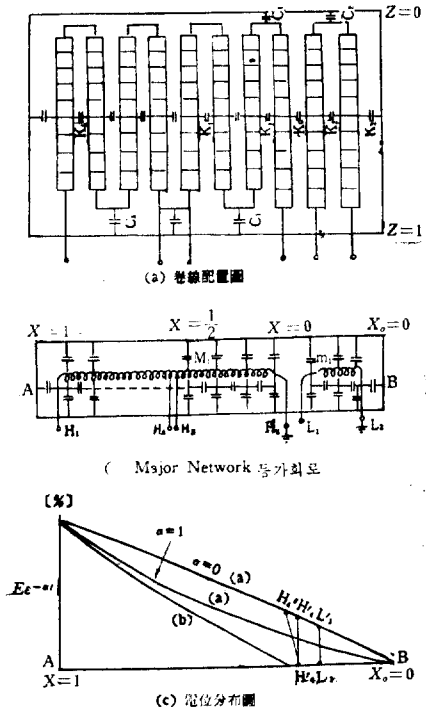


그림 8. Major network  
Fig. 8 Major network

$$\left. \begin{aligned} U_X &= \frac{(-1)^s 2\alpha^2 \cos s\pi}{s\pi(\alpha^2 + s^2\pi^2)} \\ \omega_X &= \frac{s\alpha\pi\sqrt{m_s^2 + s^2\pi^2}}{\sqrt{2m_s MC}\sqrt{\alpha^2 + s^2\pi^2}} \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

에 의하여, Major 및 Minor network 간에

$$v(X_0, Z, t) = f(X_0, t) \cdot g(Z, t) \quad (32)$$

인 관계를 갖고 電位振動이 행하여 진다. 이를 圓筒型의 경우에 대하여 靜電移行現象과 電磁移行現象을 각각 풀이하여 보면 다음과 같다.

1) 靜電移行現象—I

2次卷線에서는 앞서 말한 바와 같이 Major network에 의한 電位分布에 의하여 2次的 Minor network가 N型인 경우에 A-B: 와 같은 조건에 있으면 식 (26)과 식 (30)에 의하여, 對地와의 사이의 電位振動은

$$\begin{aligned} E_{2s} &= v(X_{0L1}, Z, t)_{A-B} \\ &= \left[ E\epsilon^{-\alpha t} X_{0L1} + E \sum_{s=1}^{\infty} U_X \sin s\pi X_{0L} \cos \omega_X t \right] \\ &\quad \times \left[ Z + \sum_{s=1}^{\infty} U_{2Z} \sin sZ\pi \cos \omega_{2Z} t \right] \end{aligned} \quad (33)$$

인 移行電位振動이 일어날 것이다.

지금 多重圓筒型인 경우,  $\alpha=0$  이므로,  $U_X=0$ ,  $\omega_X=0$  이고, 그리고, 印加衝擊電壓을 가한 1次側 端子  $H_1$ 과 같은 축의 2次 端子  $L_1$ 의 경우에는  $Z=1$  이 된다. 즉, 식 (33)은

$$E_{2s} = \left[ E\epsilon^{-\alpha t} X_{0L1} \right] \left[ Z_{L1} + \sum_{s=1}^{\infty} U_{2Z} \sin sZ\pi \cos \omega_{2Z} t \right] \quad (34)$$

가 될 것이다. 그러나 定在波成分은 初期分布와 定常分布와의 사이의 過渡現象이므로 계속 남아 있으나,  $E\epsilon^{-\alpha t} X_{0L1} Z_{L1}$  성분은 2次卷線이 적은 임피던스에 의하여 접지되어 있으면, 定常分布는 零電位임으로 이項은 零이 되어 없어진다. 그러므로 식 (34)은

$$E_{2s} = E\epsilon^{-\alpha t} X_{0L} \sum_{s=1}^{\infty} U_{2Z} \sin sZ\pi \cos \omega_{2Z} t \quad (35)$$

가 된다. 여기서  $U_{2Z}$ ,  $\omega_{2Z}$ 는 2次卷線의 Minor network의 값이다. U형의 경우는  $U_{2Z}=U_{U2Z}$ ,  $\omega_{2Z}=\omega_{U2Z}$ ,  $sZ = \frac{(2s+1)}{2}(2Z-1)$ 과  $\frac{(2s+1)}{2}(1-2Z)$ 가 된다.

2) 靜電移行現象—II

1次 Minor network에서 電位振動에 의하여, 다른 Minor network 간의 相互移行現象도 생각할 수 있다. 여기에는 靜電 및 電磁移行의 두 가지를 생각할 수 있는데, 우선 靜電移行은 각 Minor network에서 다른 Minor network에 I에서와 같은 原理에 의하여 이행될 것이나, 2次卷線 Minor network에의 移行電位는 空間적으로 거의 순간적으로 Minor network全體에 평

均化된다고 생각한다. 즉, U型卷線의 Minor network의 식 (21)에서

$$\begin{aligned} V\epsilon^{-\alpha t} \int_0^1 Z dz + \sum_{s=1}^{\infty} V \int_0^1 U_Z \sin \frac{(2s+1)}{2} (1-2Z)\pi \\ \cos \omega_Z t dz = \frac{V}{2} \end{aligned} \quad (36)$$

그리고, 식 (22)에 의한 값은  $-\frac{V}{2}\epsilon^{-\alpha t}$ 가 되어 定在波振動의 電位移行은 없다.

N型卷線의 Minor network의 식 (26)은

$$\begin{aligned} V\epsilon^{-\alpha t} \int_0^1 Z dz + V \sum_{s=1}^{\infty} \int_0^1 U_Z \sin sZ\pi \cos \omega_Z t dz \\ = \frac{V}{2} + \frac{2}{\pi} V \sum_{s=1}^{\infty} \frac{1}{s} U_Z \cos \omega_Z t, \quad \text{단, } s=1, 3, 5 \end{aligned} \quad (37)$$

으로, N型卷線에서의 靜電移行은 존재한다. 그리고 이들이 2次卷線에의 靜電移行은 Major network에서의 比率로 행하여지나, 이들이 적은 임피던스로 연결된 2次卷線에서는 零이 된다.

3) 電磁移行

1次 Minor network에서 2次 Minor network에의 電磁移行은 軸方向 및 半徑方向의 磁束에 의하여, 1次 및 2次간의 電磁結合에 의하여 결정된다. 즉 Minor network 간의 卷線比  $n$ 라 하고, 變壓器의 % Impedance 電壓을 %  $IZ$ 라 하면, 電磁移行電壓은 2次開放時  $\frac{1}{n}$ , 2차 단락시  $\frac{100-\%IZ}{100} \frac{1}{n}$ 로 결정된다.

U형의 경우, 1次他端接地시, 1次卷線이  $Z=1$ 에서  $Z=0$  방향의 것과,  $Z=0$ 에서  $Z=1$  방향의 것의 Minor network가 卷線條件이 다를 때는 각각의 Minor network의 값을 따로 따로 계산하여야 한다.

$$\begin{aligned} E_{2m} = \sum_{i=1}^{M_i} \frac{V_i}{n} \left[ \epsilon^{-\alpha t} Z + \frac{1}{2} \sum_{s=1}^{\infty} U_{UZ} \sin \frac{(2s+1)}{2} (1-2Z)\pi \cdot \right. \\ \left. \cos \omega_{UZ} t \right] - \sum_{i=1}^{M_i} \frac{V_i}{n} \left[ \epsilon^{-\alpha t} (1-Z) + \frac{1}{2} \sum_{s=1}^{\infty} U_{UZ} \sin \right. \\ \left. \frac{(2s+1)}{2} (2Z-1)\pi \cdot \cos \omega_{UZ} t \right] \end{aligned} \quad (38)$$

가 된다. 여기서 1항은  $Z=1 \rightarrow Z=0$  방향의 값, 2항은  $Z=0 \rightarrow Z=1$  방향의 것으로,  $i$ 의 값은 각각 해당 Minor 회로의 값이다. 그러므로 각각 Minor network 조건이 거의 같고, 분담전압  $V_i$ 가 균등하면, 각 Minor network끼리의 卷線比  $n$ 는 전 직열 Minor network 분담전압의 합을  $\sum V_i = E$ 로 하면 직열 전 권선비  $n_0$ 가 된다. 고로 식(38)은 기본파(실제로 기본파에 대하여서만 취급하여도 큰 차이는 없다)  $s=1$ 의 경우의 값으로 정리하면

$$\begin{aligned} E_{2\pi} = \frac{E}{n_0} \epsilon^{-\alpha t} (2Z-1) + \frac{E}{2n_0} U_{UZ} \left[ \sin \frac{3}{2} (1-2Z)\pi \right. \\ \left. - \sin \frac{3}{2} (2Z-1)\pi \right] \times \cos \omega_{UZ} t \end{aligned} \quad (39)$$

이다.



N형의 경우, 식(26)에서

$$E_{2m} = \frac{E}{n_0} \varepsilon^{-\alpha t} Z + \frac{E}{n_0} U_{NZ} \sin Z\pi \times \cos \omega_{NZ} t \quad (40)$$

가 될것이다. 그러나 식(39), (40)의 1항은 2차를 접지한 경우, 없어짐으로 電磁移行은 상당히 줄어들 것이다.

### 6. 實測結果와의 比較檢討

對象 供試變壓器는 圓筒型多重卷線의 卷鐵心變壓器로서, 現행 多重接地方方式送電線路에 적용되고 있는 것으로 표 2는 그러한 변압기의 한 설계예이다.

실험은 표 2와 같이 설계한 1 단접지변압기를 제작하여, 한영공업 Co. 소장의 IWA TSU Elec. Co. 계의 No. SPG 6C Surge Analyzer 와 Synchroscope 에 의하여 행하였다.

표 2. 供試變壓器의 設計值

Table 2. Sample design sheet of the model transformer

項 目		規 格															
高用周波數(60Hz)에 대한 定格	容量[KVA]	10, 1φ															
	1次電壓[KV]	12.9															
	2次電壓[V]	200/100															
	허용상승온도[°C]	65															
鐵 心	卷鐵心, 外鐵型	139×54															
	窓口(Z×X)[mm]																
卷線配置	<table border="1"> <thead> <tr> <th>길이 [mm]</th> <th>Layer 수</th> <th>Layer당 권선 수</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>H_{X1}</math></td> <td>18</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td><math>H_{X2}</math></td> <td>18</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td><math>L_{X1}</math></td> <td>9</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td><math>L_{X2}</math></td> <td>9</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	길이 [mm]	Layer 수	Layer당 권선 수	$H_{X1}$	18	9	$H_{X2}$	18	9	$L_{X1}$	9	2	$L_{X2}$	9	2	
		길이 [mm]	Layer 수	Layer당 권선 수													
		$H_{X1}$	18	9													
		$H_{X2}$	18	9													
		$L_{X1}$	9	2													
$L_{X2}$	9	2															
Major 권선간 $n_0$	2952/24=123																
Minor 권선간 $n$	164/6=27																

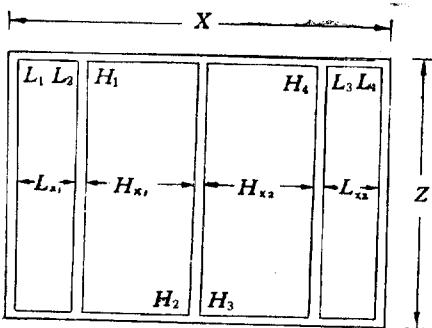


그림 9. 권선 배치도

Fig. 9 Winding distribution

### 1) 同一卷線간의 移行現象

本論文의 본래 목적은 卷線數가 다른 1, 2차간의 移行電位現象을 규명하고자 하는 것이나, 理論의 展開의 타당성을 입증코저, 동일한 권선조건을 갖인 2개의 高壓卷線간의 移行現象부터 검토하여 본다.

지금 1차(고압), 2차(저압)의 Minor network의 諸定數를 算定한 결과 표 3과 같다. 그리고 시험인가 충격파는 기본충격파  $1 \times 40 \mu s$ 로서, 식에서의  $E\varepsilon^{-\alpha t}$ 의 값은  $1.0456 E(\varepsilon^{-1.847 \times 10^4 t} - \varepsilon^{-2.458 \times 10^4 t})$ 로 된다.

표 3. Minor network의 諸定數의 計算值

Table 3. Values of the factor for calculations of Minor network.

	高壓卷線	低壓卷線
Minor 회로의 $\gamma$	30	13.5
" $m[mH/M]$	28.15	0.9
" $c[\mu F/M]$	1.38	0.361
" $m_s$	3	3
$U_{UZ}$	0.445	0.0174
$\omega_{UZ}$	$50.5 \times 10^3$	$457 \times 10^3$
$U_{NZ}$	0.631	0.600
$\omega_{NZ}$	$27.0 \times 10^3$	$285 \times 10^3$

Case 1 : U型卷線에서 2개의 高壓卷線중 한쪽을 1차, 다른쪽을 2차로 하되,  $H_1$ 에 인가,  $H_2, H_4$ 를 접지하고,  $H_3$ 의 對地電位를 測定할때, 각 정수는,

$$X_0 = \frac{27}{45} = 0.6, Z=0, n_0=1$$

이고, 이때, 靜電移行은 식(35)와 식(36)에서

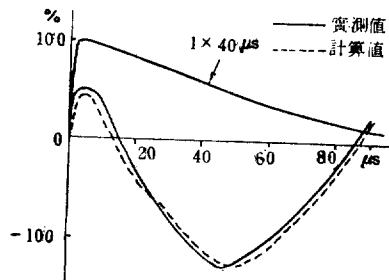
$$E_{2s} = 0.6 E \varepsilon^{-\alpha t} \cdot U_{UZ} \left[ \sin \frac{3}{2} (2Z-1)\pi \right] \cos \omega_{UZ} t + 0$$

여기서 2항이 零이 되는 것은 식(36)에서의 값이, 2차 권선을 접지하였기 때문에 없어진다.

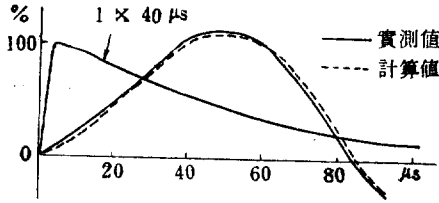
電磁移行은 식(39)에서 2차개방인 때는 다음과 같다 (2차 단락인때는 1항은 零이된다).

$$E_{2m} = -E \varepsilon^{-\alpha t} + E U_{UZ} \sin \frac{3}{2} (1-2Z) \cos \omega_{UZ} t$$

고로,  $Z=0, U_{UZ}=0.445, \omega_{UZ}=50.5 \times 10^3$  이므로



(a)  $X_0=0.6, Z=0$



(b)  $X_0=0.95, Z=1$

그림 10. 1端接地 同一卷線간 靜電 및 電磁移行 現象

Fig. 10 Electro static and magnetic transfer phenomena between the winding of same conditions solid-grounded

$$E_2 = E_{2s} + E_{2m} = -E\epsilon^{-at} + 0.445E(1 + 0.6\epsilon^{-at}) \times \cos \omega_{UZ}t$$

이다. 이때의 計算値와 實測結果는 그림 10의 (a)와 같다.

Case II : U型卷線에서 Case I과 같이 高壓卷線이 移行現象을  $H_2$ 에 인가,  $H_1, H_4$ 를 접지하고,  $H_3$ 의 對地電位를 測定할때, 각 정수는

$$X_0 = \frac{23}{25} = 0.93, Z=1, n_0=1,$$

$$U_{UZ} = 0.445, \omega_{UZ} = 50.5 \times 10^3$$

이므로,

$$E_2 = E_{2s} + E_{2m} = E\epsilon^{-at} - 0.445E(1 + 0.93\epsilon^{-at}) \cos \omega_{UZ}t$$

이다. 이때 計算値와 實測結果는 그림 10의 (b)와 같다.

2) 高低壓卷線간의 移行現象

Case III : 지금 高壓卷線을 직렬로 連結하고( $H_2$ 와  $H_3$ 결합),  $H_4$ 를 접지,  $H_1$ 에 인가 하되, 低壓側은  $L_4$ 를 접지하고  $L_3$ 의 對地電位를 측정하는 경우는,

$$X_0 = 0.2 \left( = \frac{9}{45} \right), Z_L = 1, n_0 = 123 \times 2 = 246$$

이므로

$$E_{2s} = -0.2E\epsilon^{-at} U_{UZL} \cos \omega_{UZL}t$$

$$E_{2m} = \frac{E}{246} \epsilon^{-at} - \frac{E}{246} U_{UZH} \cos \omega_{UZH}t$$

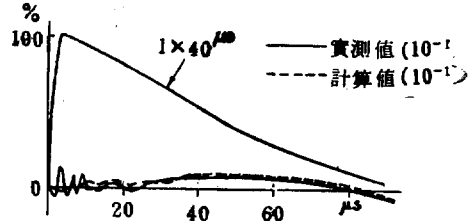
여기서,  $U_{UZH} = 0.445, \omega_{UZH} = 50.5 \times 10^3,$

$U_{UZL} = 0.0174, \omega_{UZL} = 457 \times 10^3$  이므로

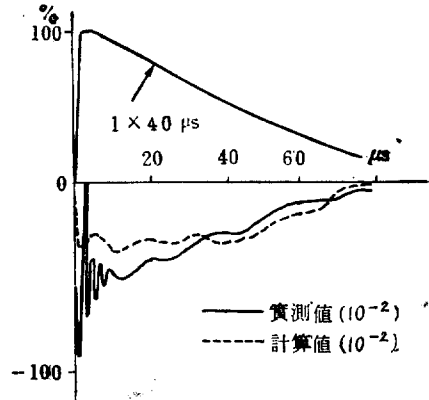
$$E_2 = E_{2m} + E_{2s} = 0.0041E\epsilon^{-at} - 0.00180E \cos \omega_{UZH}t - 0.00248E\epsilon^{-at} \cos \omega_{UZL}t$$

이를 實測結果와 비교하면 그림 11(a)와 같다.

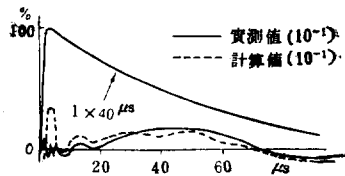
여기서 충격파 인가 초기의 실측치가 高調波成分이 포함된 것은(4) 인가충격파의 先頭長이 짧은 경우에 나타나는 현상으로, 靜電移行 중 다른 Minor network의 電位振動에 따른 移行에 의하여 대지에 흡수되지 못한 순간에 나타나는 것으로 생각된다.



(a)  $X_0=0.2, Z_L=1, n_0=246$



(b)  $X_0=0.33, Z_L=0, n_0=123$



(c)  $X_0=0.9, Z_L=1, n_0=123$

그림 11. 1端接地 異卷線(高低壓卷線)간의 靜電 및 電磁移行 現象

Fig. 11 Electro-static and magnetic transfer phenomena of the high ratio transformer solid-grounded

Case IV : Case III와 같은 조건에서  $H_3$ 에 인가한 경우-

$$X_0 = 0.33 \left( = \frac{9}{27} \right), Z_L = 0, n_0 = 123$$

이므로

$$E_{2s} = -0.33E\epsilon^{-at} U_{UZL} \cos \omega_{UZL}t$$

$$E_{2m} = -\frac{E}{123} \epsilon^{-at} + \frac{E}{123} U_{UZH} \cos \omega_{UZH}t$$

여기서,  $U_{UZH} = 0.445, \omega_{UZH} = 50.5 \times 10^3,$

$U_{UZL} = 0.0174, \omega_{UZL} = 457 \times 10^3$  이므로

$$E_2 = E_{2m} + E_{2s} = -0.0081E\epsilon^{-at} + 0.0036E \cos \omega_{UZH}t - 0.0046E\epsilon^{-at} \cos \omega_{UZL}t$$

이다. 계산결과 및 실측결과를 그림 11의 (b)에 표시한다.

Case V : 2개의 高壓卷線을 低壓側卷線만 사용하고,  $H_3$ 를 접지,  $H_4$ 에 충격파를 인가하여,  $L_3$ 의 對地電位를 측정하던, ( $L_4$  접지) 각 정수는

$$X_0=0.9\left(=\frac{9}{10}\right), Z_L=1, n_0=123$$

이 되므로, 靜電移行은

$$E_{2s}=0.9E\epsilon^{-at}U_{UZL}\sin\frac{3}{2}(2Z-1)\pi\cdot\cos\omega_{UZL}t$$

電磁移行은

$$E_{2m}=\frac{E}{123}\epsilon^{-at}+\frac{E}{123}U_{UZH}\cos\omega_{UZH}t$$

이다. 여기서

$$U_{UZH}=0.445, \omega_{UZH}=50.5\times 10^3,$$

$$U_{UZL}=0.0174,$$

$$\omega_{UZL}=457\times 10^3 \text{ 이므로}$$

$$E_2=E_{2m}+E_{2s}=0.0081E\epsilon^{-at}$$

$$-0.0036E\cos\omega_{UZH}t$$

$$-0.0157E\epsilon^{-at}\cos\omega_{UZL}t$$

이들의 계산결과와 실측결과를 비교한 것을 그림 11의 (c)에 표시한다.

이상으로, 복잡한 Minor network를 갖는 U형의 圓筒型卷線일지라도, 각각의 Minor network의 조건에 따라 각각 단독으로 풀이할 수 있어, 계산방식이 간소화 되고 靜電 및 電磁移行의 정도를 각요소에 대하여 추리할 수 있어, 설계조건을 미리 조정할 수 있다.

특히 變壓比가 큰 변압기에서는 이상과 같은 Minor network에 의한 풀이에서, 變壓比에 관계없이 2차회로 이행되는 것은 靜電移行이므로, 高低壓卷線간의 離隔거리에 직접적인 관련성이 있음을 알 수 있어, Case V와 같이 高壓卷線중의 低壓卷線가까운 Minor network에 衝擊電位振動이 발생하거나 인가되면, 인가초기에 심한 移行振動現象이 일어남을 알 수 있어 商用周波數電壓인가시 누설리액턴스를 적게하기 위하여 채택하는 샌드위치권선을 高低壓比 變壓器에서는 채용하지 아니하여야 할 것으로 생각된다.

### 檢 討

1. Minor network 방식에 의하여 계산하고 실측한 결과가 그림 10, 11에서와 같이 거의 부합되고,

2. 1次卷線 상호간의 移行現象을 볼 때, 그 각 定數가 동일하므로, 波形에 다른 고조파가 들어가지 아니하나, 2次低壓에의 移行現象은 初期靜電移行의 振動周波數와 Minor network 간 電磁移行의 주파수가 다르므로, 이들이 서로 합쳐서 나오는 것을 볼 때, 多重圓筒卷線일지라도, Minor network 사이와의 移行現象은 위의 展開理論중의 식 (35)(39)에서와 같이 존재함을 알 수 있다.

3. 靜電移行은 충격과 인가초기에 큰 電位振動을 일으키고, 電磁移行은 Minor network의 卷線方式에 따라 振動周波數 및 振幅이 달라지나, 충격과 인가 후기까지 계속 電位振動을 일으킴으로, (식(39)참조) 이에 연결된 負荷條件에 영향을 미치는 것은 電磁移行이며, 高電壓比變壓器에서의 卷線方式에 특히 주의를 요한다.

4. 卷線條件, 즉 M,K,C 및 권선비가 같은 高壓卷線간에는 충격과 인가 초기일지라도 높은 高調波가 생기지 아니하나 卷線條件이 다른 高低壓간에서는 높은 高調波가 생기게 됨으로 권선정수를 상호 정합되도록 조정하여야 하는데, 이때는  $1\mu s$  이하의 周波數에서는 비정합 되도록 권선정수를 조정 보완하여야 할 것이다.

5. 振動周波數는 圓筒卷線인 경우, Minor network들의 振動周波數에만 관계됨을 알 수 있다.

6. 일반적으로 電磁移行은 靜電移行보다 훨씬적이다. 그러므로 卷線比에 관계가 없는 靜電移行으로 말미암아 高電壓比變壓器는 卷線配置에 특히 주의하여야 한다.

### 基本設計指針

1. N型보다 U型卷線方式이 移行度가 낮다.

2. 층당 권선비(1,2차권선)를 될 수 있는 한 적게 하여야 하고

3. 층당 간격, 특히 고압과 저압간의 간격을 될 수 있는 한 크게 하여야 한다.

4. 鐵心과 卷線の Z 방향 간격은 층당 간격에 비해 하여 크게 하면 되므로, 商用周波數電壓에서의 設計에서의 設計方針에만 고려하여도 된다.

5. 電磁移行에 대하여는 주위 물질(주로, 층간절연물)의 透磁率을 될 수 있는 한 적은 것으로 함이 衝擊特性은 좋아진다.

6. 高電壓比變壓器에서 특별히 권선배치에 주의하여야 한다.

### 7. 結 論

變壓器의 內部衝擊波移行은 變壓器內部的 卷線 간격에 따라 移行度가 달라지는데, 이는 卷線 사이의 絕緣物의 誘電率 및 誘磁率에도 깊은 관계가 있다. 多重圓筒型의 경우, 일반적으로 無振動變壓器라고 하나, 층간 권선 사이도  $\alpha$ 가 큰 하나의 分布定數이기 때문에 內部振動이 생기며, 이러한 發生振動은 다른 권선에 移行됨을 알 수 있다.

本論文에서는 층간 分布定數回路를 Minor network라 하여 解析한 결과, 振動周波數는 Minor network에 의하여 결정되고, 그 移行度는 層을 部分集中 定數로 한 Major 分布定數回路의 振動에 따라 결정됨을 알 수 있다.

多重圓筒型에서는 Major network의  $\alpha$ 가 零이므로, 층간의 거리에 비례하는데, 計算 및 實測結果, 이를 확인할 수 있었다. 즉,

1. Minor network를 이용함으로써 細部的 것까지 分析할 수가 있어, 多重卷線變壓器와 같은 分布定數 回路가 복잡한 경우에도 解析할 수 있다.

2. 移行도를 길이의 함수로 대치시킬 수 있어, 變壓器의 卷線 및 鐵心構造의 Surge 설계의 基本概念을 명료하게 할 수 있다.

3. Minor network의 卷線方式에 따라 電位振動移行을 확인할 수 있고, 이를 數值計算할 수 있으므로, 설계시 권선조건을 설정을 용이하게 할 수 있다.

이상과 같이 Minor network의 概念을 도입하므로써 衝擊電壓波의 移行을 變壓器內部構造의 寸수 및 배치와의 關係하여 數理的으로 밝힐 수 있었다.

### 참 고 문 헌

(1) Gerhard M. Stein(WECO): Transformer Impulse Lecture, Power Transformer Reference p. 406—407 1955

(2) 林重憲(京都大), 西田富士夫: 相互誘導作用を考慮した變壓器の 内部振動; J.I.E.E.J Vol. 75—2 No. 807. p. 1493. Dec 1955.

(3) 奥山賢一(日立): 變壓器卷線の 衝擊電位分布の 數値解析; J.I.E.E.J Vol. 87—1 No. 940 p.181 1967.

(4) 川口芳弘(東芝): 變壓器卷線内部電位振動計算のための 諸定數の 算定について; J.I.E.E.J Vol. 89—3 No. 967 p.537 March, 1969.

(5) 大石孟(大阪變壓器): 內鐵形變壓器의 過渡内部電位振動의 數値解析; J.I.E.E.J. Vol. 89—4 No.967 p.730 April 1969

(6) 大石孟(大阪變壓器): 內鐵形 2卷線變壓器의 移行電壓의 解析; J.I.E.E.J. Vol. 91. No.7. p.1339 July 1971

(7) 後藤以紀(電氣協同研究會): 變壓器低壓側移行電壓保護裝置設置要綱; 電氣協同研究 Vol.9. No.6 p.17

(8) L.V. Bewley: Traveling Wave on Transmission System.

(9) 淺川七平, 清水榮: 變壓器, 日刊工業新聞社 電力機器講座5 p. 49 April 1966