

商用周波 交流鐵道電化 (2)

權 永 準*

5. 給電電壓의 選定問題

商用周波數에 依한 單相交流鐵道電化方式의 實施例은 大部分이 50 c/s 地域인 歐州이며 最近에 印度, 日本 등이 東洋에서 實施한 것으로서 「給電電壓을 얼마程度로 決定할 것이냐」하는 問題는 重大한 것이었으나 U.I.C. 는 25 kV 를 標準으로 認定하고 I.E.C. 亦是 25 kV 를 標準值로 認定하고 있다.

이 標準給電電壓을 決定하는데는 佛蘭西가 主導의 役割을 한 模樣으로 從來 歐州地域에 널리 實施되고 있는 16 2/3 c/s 單相交流 15 kV 方式을 比較의 對象으로 하여 같은 相對的單相交流 50 c/s 에서는 給電電壓을 얼마로 選定할 것인가를 檢討할때 力率 0.8, 負荷 3,000 kW 이서 20%의 電壓降下가 될 距離를 同一距離로 할 수 있는 給電電壓을 選定하는 것을 前提로하여,

a. 16 2/3 c/s 方式

가. 100 mm² 銅電車線과 銅吊架線 使用時

Line Impedance 0.238/45° Ω/km

給電可能距離 34.2 km

나. 100 mm² 銅電車線과 靑銅吊架線 50 mm² 使用時

Line Impedance 0.233/45° Ω/km

給電可能距離 41.5 km

b. 50 c/s 方式

가. 100 mm² 銅電車線과 靑銅吊架線 50 mm² 使用時

Line Impedance 0.51/64.5° Ω/km

나. 100 mm² 銅電車線과 65 mm² 靑銅吊架線 使用時

Line Impedance 0.50/72° Ω/km

給電可能距離는 가, 나, 項 같이

20 kV 에서 36.7 km

25 kV 에서 57.3 km

程度가 되며 歐州의 3次送電電壓 45 kV 를 參酌하여 將次 電源側 送電線의 中性點을 變電所에서 直接接地하여 rail에 接續하고 電車線에 電源의 1相을 直接連結한다면 電鐵用變電所의 變壓器設備 등은 全部 省略할 수 있다는 將來의 實現性이 加味되어 25 kV 를 標準電壓으로 決定하였다고 한다. 우리나라의 境遇는 一般送電

電壓이 20 kV 가 標準이므로 交流電氣鐵道の 給電電壓을 20 kV 로 決定한다 하여도 送電側은 線間電壓이며, 電氣鐵道側은 相電壓인 關係로 電壓의 統一問題와는 別個의 問題가 되며, 線間電壓으로 換算하면(電鐵側) 35 kV 가 될뿐만 아니라 電車線電壓을 25 kV 以下로 20/√3 kV(11.5 kV)로 하여 一般送電電壓과 統一하면 carrying current 가 2倍로 增加하게 되어 變電所間隔, 使用銅量의 增加 등 經濟面에서 直流과 同一하게 되고 25 kV 以上으로 上昇하면 現存鐵道施設自體의 構造物의 絕緣間隔과 絕緣協調上 難點이 許多하고, 電車線電壓을 더 上昇시켜 變電所 間隔을 100 km 以上 延長하게 되면 1個變電所가 有故時 延長給電上의 限界點 超過로 因한 列車運轉上의 支障 等等 不可能한 諸要素가 顯出되므로, 우리도 國際標準值인 25 kV 를 給電電壓으로 選定하고 變電所間隔을 50 km 程度로 하며 中間에 區分所와 補助區分所를 施設하고 遠方制御로 隨意操作하게 하는 것이 技術的으로나 經濟的으로나 有利하지 않음까 생각된다.

6. 電車線給電回路의 Impedance 算定

交流鐵道電化의 給電回路는 電源系統과 電源用變壓器의 impedance 도 생각하여야 하겠으나, 이에 關한 것은 一般送電問題에 詳記되어 있고, 또 電車線路의 給電回路의 impedance 가 重要한 位置를 占할뿐만 아니라 電車線路의 給電回路는 1線接地의 單相回路로서 接地側은 rail을 導體로 하여 大地上에 露出된 軌道床의 砂利와 枕木을 媒介로 한 半接地狀態의 特殊한 回路를 構成하고 있으므로, 一般書誌에 記述이 적은 部門에 屬한 것같이 여기에 電車線路에 對한 impedance 를 算定하는 實驗式과 例를 들어 보기로 한다.

6.1 簡單한 回路

第一簡單한 電車線給電回路는 電車線1條와 rail를 歸線으로 하는 回路이므로 이 回路는 電車線이 大地上에 一定한 높이로 絕緣된 導體(T)와, 漏洩抵抗(S)의 道床에 依하여 接地된 rail(R)이 直列로 「그림 13」과 같이 接續된 것이다.

「그림 13」은 部分定數의 合成으로서, 電車線給電回路의 impedance 는 給電點에서 負荷點까지의 距離가

* 鐵道廳 工電局 電化課長

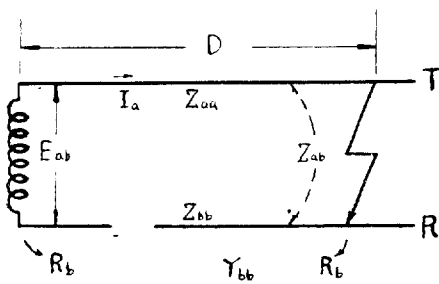


그림 15

D km 로 相當히 큰 數值인 境遇에는

$$Z = \frac{E_{ab}}{I_a} (Z_{aa} - n^2 Z_{bb}) D + (1+n)^2 R_b \dots\dots\dots (6.1)$$

n = 軌條를 흐르는 誘導電流과 架空線을 흐르는 電流와의 比 = Z_a/Z_{bb}

R_b = 軌條特性 impedance (Z_{bb}/Y_{bb})^{1/2}

Z_{aa} = 電車線단의 impedance

Y_{bb} = 大地 leakage

電車線의 impedance Z_{aa} 는 그 內部 impedance Z_{ai} 와 外部 impedance Z_{ae} 와의 vector 和로서 Z_{ae} 는 Carson-Pollaczek 氏의 公式에 依하여 求하여 진다.

Carson-Pollaczek 氏의 公式

$$Z_{ae} = \left\{ \omega L \left(\frac{\pi}{2} - \frac{4x}{3\sqrt{2}} \right) + j\omega \left(2.1n \frac{4k}{rx} + \frac{4x}{3\sqrt{2}} - 0.1544 \right) \right\} \times 10^{-4} \Omega/\text{km} \dots\dots\dots (6.2)$$

r = 導體半徑 (cm)

$x = 4\pi h\sqrt{2}\delta f$

δ = 大地導電率 (e.m.u.)

$k = \sqrt{3\pi\delta\omega}$

即 電車線의 impedance 는 電線의 굵기의 大小에 關係되는 것 보다는 大地導電率 δ 의 影響이 더 크다는 것을 알 수 있다. (6.1)式的 後項은 給電點과 給電點에서 rail 에 흐르는 電流의 出入點 impedance 를 表示하는 것으로서 이것을 Z_s 라고 하면

$$Z_s = R_b(1+n)^2 \Omega \dots\dots\dots (6.3)$$

歸線電流는 rail 을 흐르는 分電流와 大地에 流出 또는 流入하는 電流의 合成으로서, 軌條內電流는 架線電流에서 大地電流를 吸引한 것에 誘導電流를 加算한 것이

며, 歸線電流에 對한 配置는 媒介體에 關한 定數를 適宜調整하면 一般傳送方程式을 適用하여도 無妨하다는 것을 C.C.I.F.에서도 認定하고 있는 것이다. 即「給電點과 負荷點에서 大地電流는 最大値에 到達하고 이 點에서 멀어질수록 急減한다.」그러므로 軌條電壓分布도 이에 影響되며 電流分布의 狀況은 相互誘導의 影響을 받으므로 接近導體의 有無와 그 離隔距離, 周波數, 導電率 等에 따라 그 狀況이 달라지는 것이다.

6.2 電車線給電回路의 Impedance 計算值

「그림 14」와 같은 配置의 電車線回路에 對한 計算例

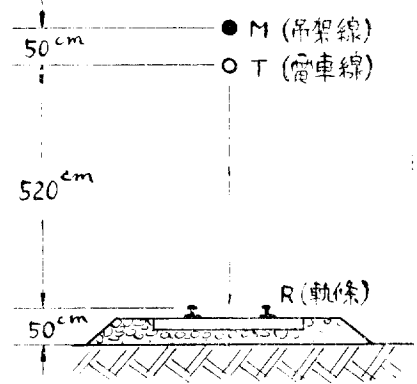


그림 14

를 表示하면

(a) 電車線의 Impedance (Z_{ae})

Z_{ae} 는 그 內部 impedance Z_{ai} 와 外部 impedance Z_{ae} 의 vector 和이고, Z_{ai} 는 電車線의 種類에 따라 달라지며, 外部 impedance Z_{ae} 는 Carson-Pollaczek 氏의 公式으로 計算한 結果인 것이다.

表-1 Z_{ai} (內部 Impedance)

鋼 銅 圓 形 電車線 (mm ²)	等價半徑 mm	導體抵抗 Ω/km	內 impedance Ω/km
110	6.17	0.1592	0.05
85	5.50	0.2030	0.05

表 2 Z_{ae} (外部 Impedance)

電車線 mm ²	$\delta = 10^{-12}$ e.m.u.		10^{-13} e.m.u.		10^{-14} e.m.u.	
	R Ω/km	L mH/km	R Ω/km	L mH/km	R Ω/km	L mH/km
110	0.0412	2.151	0.0487	2.376	0.0494	2.605
85	0.0412	2.206	0.0487	2.431	0.0494	2.660

表-3 Z_{aa} (電車線 Impedance)

大地導電率 電車線 mm ²	$\delta=10^{-12}$ e.m.u.	10^{-13} e.m.u.	10^{-14} e.m.u.
110	0.2064+j 0.691 0.721/73°23'	0.2079+j 0.762 0.790/74°46'	0.2089+j 0.834 0.860/75°56'
85	0.2502+j 0.708 0.751/70°31'	0.2517+j 0.779 0.818/72°08'	0.2524+j 0.851 0.888/73°28'

以上の結果에서注目되는點은電車線給電回路의 impedance는相當한角度를 가지며導體의 굵기의大小보다는大地導電率의影響이 크다는 것을證明하고 있는 것이다.

(b) 軌道の Impedance (Z_{bb})

Rail 2條가 大地上에 露出되어 있을 때의 impedance는 rail의 内部 impedance Z_{bi} 는 實測値를 利

用하고, 外部 impedance는 亦是 Carson-Pollaczek 氏의 公式로 計算한 數値를 利用하며, 그 數値를 「表-4」에 記載한다. rail의 誘導率은 rail에 흐르는 電流值에 따라 달라지며 同一한 斷面積을 가진 rail이라 할지라도 rail의 材質에 따라 變化되므로 True-Blood 氏의 實驗結果를 參考로 하여 Z_{bi} 를 決定하며 또 Carson-Pollaczek 氏의 公式은 rail의 地土의 「높이」가 50 cm 程度로 낮으므로 省略하여도 無妨하다.

表-4 軌道の Impedance Z_{bb} Ω/km

電 Rail 重量 kg	大地導電率 流	$\delta=10^{-12}$ e.m.u.	10^{-13} e.m.u.	10^{-14} e.m.u.
37	100	0.124+j 0.513 0.528 /76°26'	0.124+j 0.584 0.579 /78°02'	0.124+j 0.656 0.667 /79°18'
	300	0.149+j 0.528 0.567 /71°38'	0.140+j 0.609 0.634 /73°38'	0.149+j 0.681 0.704 /75°16'
	500	0.209+j 0.548 0.586 /69°07'	0.209+j 0.619 0.653 /71°20'	0.209+j 0.691 0.714 /73°17'
50	100	0.114+j 0.497 0.510 /77°05'	0.114+j 0.570 0.582 /78°42'	0.114+j 0.642 0.653 /79°56'
	300	0.159+j 0.522 0.549 /73°03'	0.159+j 0.595 0.616 /75°04'	0.159+j 0.657 0.686 /76°36'
	500	0.186+j 0.527 0.559 /70°17'	0.189+j 0.600 0.629 /72°32'	0.189+j 0.672 0.698 /74°19'

(c) 電車線과 Rail 과의 相互 Impedance(Z_{ab})

電車線과 rail 과의 相互 impedance Z_{ab} 도 亦是 Carson-Pollaczek 氏의 公式에 依하여

$$Z_{ab} = \frac{1}{2}(Z_{ab1} + Z_{ab2}) = Z_{ba}$$

$$\left\{ \omega \left\{ \frac{\pi}{2} - \frac{4k}{3\sqrt{2}}(h_1 + h_2) \right\} + j\omega \left\{ 2ln \frac{2}{k\sqrt{b^2 + (h_1 - h_2)^2}} - 0.1544 + \frac{4k}{3\sqrt{2}}(h_1 + h_2) \right\} \right\} \times 10^{-4} \Omega/km \dots\dots\dots(6-4)$$

$k = \sqrt{2\pi\delta\omega}$
 h_1 = 電車線의 높이(m)
 h_2 = Rail의 높이(cm)

δ = 大地導電率(e.m.u.)

(6-4)式에 依한 計算結果를 表示하면 「表 5」와 같다

表-5 Z_{ab} Ω/km

大地導電率	$\delta=10^{-12}$ e.m.u.	10^{-13} e.m.u.	10^{-14} e.m.u.
Z_{ab}	0.0482+j 0.258 0.260 /79°16'	0.0490-j 0.326 0.330 /81°27'	0.0493-j 0.378 0.401 /82°56'

(d) 電車線과 單線軌道로 構成된 回路 Impedance (Z)

「表 3」 「表 4」 및 「表 5」에서 電車線과 單線軌道로 構成된 回路의 合成 impedance $Z = Z_{aa} + n^2 Z_{ab}$ ($n = -Z_{ab}/Z_{bb}$)를 求하면 「表-6」과 같이 된다.

表-6 Z'(簡單한 給電回路의 Impedance) (Ω/km) (500 A에 對한 數值)

電車線種 mm ²	Rail 重量 kg	$\delta=10^{-12}$ e.m.u.	10^{-13} e.m.u.	10^{-14} e.m.u.
110	37	0.205+j 0.576 0.6118 /70° 25'	0.213+j 0.597 0.6339 /70° 22'	0.219+j 0.609 0.647 /70° 11'
	50	0.203+j 0.570 0.605 /70° 25'	0.209+j 0.591 0.6265 /70° 29'	0.215+j 0.604 0.641 /70° 25'
85	37	0.249+j 0.593 0.643 /67° 13'	0.256+j 0.612 0.663 /67° 18'	0.260+j 0.626 0.685 /67° 13'
	50	0.246+j 0.587 0.636 /67° 15'	0.253+j 0.606 0.656 /67° 20'	0.259+j 0.621 0.6325 /67° 22'

(e) Rail 特性 Impedance (R_b)

略算으로는

$$Z=(Z_{aa}-n^2Z_{bb})D \dots\dots\dots (6-5)$$

實質的인 電車線給電回路의 impedance 는 「表 5」 Z' 의 數値에 給電點과 負荷點의 流出, 流入點 impedance 를 添加하여야 한다.

(6-5)式과 같이 $(1+n)^2R_b$ 項을 省略하여도 D 가 相當히 큰 數値일 때는 큰 差異가 없게 된다.

$$R_b=(Z_{bb}/Y_{bb})^{\frac{1}{2}} \text{ 이므로}$$

表-7 Rail의 特性 Impedance (R_b)

Rail 重量 kg	Y_{bb} Ω/km	$\delta=10^{-12}$ e.m.u.	10^{-13} e.m.u.	10^{-14} e.m.u.
37	2	0.541 /34° 33'	0.572 /35° 40'	0.598 /36° 35'
	1	0.766 /34° 33'	0.808 /35° 40'	0.845 /36° 35'
	0.2	1.711 /34° 33'	1.806 /35° 40'	1.889 /36° 35'
50	2	0.529 /35° 08'	0.560 /30° 16'	0.591 /37° 09'
	1	0.748 /35° 08'	0.793 /30° 16'	0.836 /37° 09'
	0.2	1.672 /35° 08'	1.772 /30° 16'	1.868 /37° 09'

6-3 合金銅吊架線을 使用한 電車線給電回路의 Impedance 計算

a. 條件

適用範圍	A	B
電車線	硬銅 85 mm ²	硬銅 110 mm ²
吊架線	合金銅 60 mm ²	合金銅 70 mm ²
Rail	50 kg	50 kg
大地導電率	10^{-12} e.m.u.	10^{-13} e.m.u.
負荷電流	100 A	200 A

電車線給電回路의 配置는 「그림 14」와 同一한 것으로 하고 吊架線(M)와 電車線(T)의 平均間隔을 50 cm로 본다.

(b) 計算

前記 「6-2」에 記述한 바와 같이 計算할 수 있으며 等價導體半徑 r_e 는 다음式으로 求한다.

$$r_e=(r_1 \cdot r_m \cdot s^2)^{\frac{1}{3}} \text{ cm} \dots\dots\dots (6-6)$$

r_1 =電車線 等價半徑(cm)

r_m =吊架線 等價半徑(cm)

s =電車線과 吊架線과의 平均距離(cm)

導體의 地上等價높이 h_e 는

$$h_e=570-\frac{h_m}{h_1+h_m} s \text{ (cm)} \dots\dots\dots (6-7)$$

h_1 =電車線 地上높이

h_m =吊架線 地上높이

(c) 結果

表-9 合金吊架線을 使用한 回路 Impedance

條件	A	B
合金銅吊架線	0.161+j 0.438	0.139+j 0.453
	0.466 /69° 36'	0.474 /72° 42'
鋼吊架線	0.251+j 0.595	0.209+j 0.591
	0.646 /67° 06'	0.627 /70° 30'

「表-9」에서 보는 바와 같이 impedance 値는 合金吊架線을 使用한 것이 約 30%程度 減少할 수 있다는 數

值이며, 吊架線과 電車線과의 距離에 따라서도 變化가 있다는 것을 알 수 있는 것이다. 特히 注目할 點은 回路 impedance 의 低減策은 電車線의 斷面積을 「寬게」하는 것 보다 合金吊架線을 使用하는 便이 效果가 크다는 結論이 成立되는 것이다.

6-4 復線區間의 電車線回路 Impedance

復線回路의 電車線回路 impedance 는 上下線의 相互 impedance 를 생각하지 않으면 안될 것이다. 上述한 「6-3」과 同一한 合金鋼吊架線을 使用한 境遇를 計算하여 보면

(a) 條件 (그림 15 와 같이)

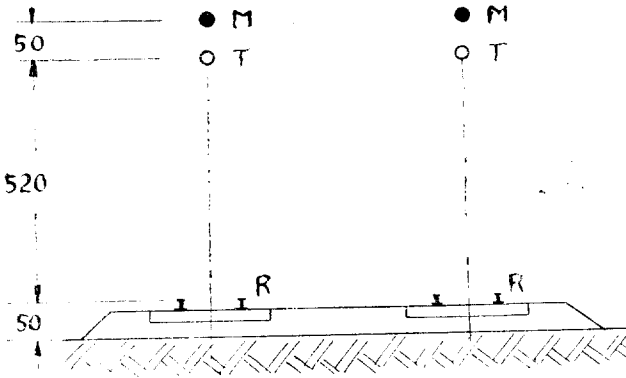


그림 15

電車線 硬銅	110 mm ²
吊架線 合金銅	70 mm ²
Rail	50 kg
大地導電率	10 ⁻¹³ e.m.u.

(a) 定數 「그림 16」에서

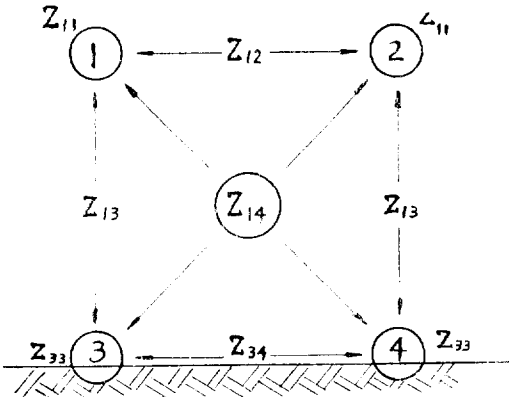


그림 16

$$Z_{11}=0.156+j 0.630 (\Omega/\text{km})$$

$$Z_{12}=0.049+j 0.342$$

$$Z_{13}=0.049+j 0.322$$

$$Z_{14}=0.049+j 0.310$$

$$Z_{33}=0.129+j 0.585$$

$$Z_{34}=0.049+j 0.341$$

(c) 綜合 Impedance

$$\frac{Z_{11}+Z_{12}}{2} - \frac{1}{2} \frac{(Z_{13}+Z_{14})^2}{(Z_{33}+Z_{34})} \dots\dots\dots (6-8)$$

計算結果는

$$Z=0.0737+j 0.271=0.281 / 74^\circ 6' (\Omega/\text{km})$$

이 數値를 「表-10」과 比較하여 보면 復線區間의 電車線給電回路 impedance 는 單線區間에 比하여 約 60% 程度의 數値로 되었다는 것을 알 수 있다.

6-5 Feeder wire 를 設備한 電車線回路

Feeder wire(F)를 「그림 17」과 같이 設置하였을 境遇에, 이것을 電車線과 並列로 使用할 때와, rail 에 對하여 어느 間隔을 두고 接續하여 使用할 때를 생각할 수 있다. 即, 前者는 positive feeder 로 使用한 境遇이고, 後者는 negative feeder 로 使用한 境遇인 것이다.

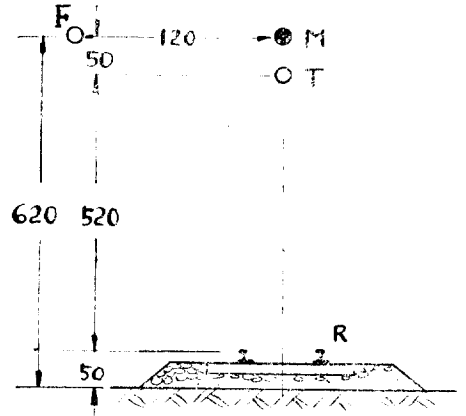


그림 17

6-5-1 Positive Feeder 를 設置한 回路

(a) 計算式

Rail 의 特性 impedance 를 無視하면

$$Z = \frac{(Z_{cc}-Z_{ac})(Z_{aa}-\frac{1}{2}\frac{Z_{ab}Z_{bc}}{Z_{bb}}+(Z_{aa}Z_{ac})(Z_{ac}-\frac{1}{2}\frac{Z_{ab}+Z_{bc}}{Z_{bb}})}{Z_{aa}+Z_{cc}-2Z_{ac}} \dots\dots\dots (6-9)$$

(b) 數值例

表 10 (Ω/km)

電車	Feeder Wire	Rail	$\delta=10^{-12}$	$\delta=10^{-13}$	$\delta=10^{-14}$
110 mm ²	200 mm ²	50 kg	0.105 + j 0.368 0.383 /74°06'	0.111 + j 0.392 0.407 /74°12'	0.117 + j 0.406 0.422 /74°00'
85	200	37	0.116 + j 0.382 0.399 /73°12'	0.123 + j 0.403 0.422 /73°06'	0.129 + j 0.415 0.435 /72°36'

6-5-1 Negative Feeder를設置한 回路

(a) 計算式

Rail의 特性 impedance를 無視한 前記「6 5 1」과 같이

$$Z = Z_{aa} - nZ_{ab} - mZ_{ac} \dots\dots\dots(6-10)$$

(b) 計算結果數值例

$\therefore Z_{ab} = \frac{Z_{ab} \cdot Z_{cc} - Z_{ac} \cdot Z_{bc}}{Z_{bb}Z_{cc} - Z_{bc}^2}$ (Rail 電流와 電車線電流의 比)

$Z_{ac} = \frac{Z_{ac}Z_{bb} - Z_{ab}Z_{bc}}{Z_{bb}Z_{cc} - Z_{bc}^2}$ (Negative feeder 電流와 電車線電流의 比)

$\therefore Z_{cc}$: Negative feeder impedance

表 11

線電車	線吊架	Feeder	Rail	δ	Z	n	m'
110 mm ²	鋼	325 mm ²	50 kg	10 ⁻¹²	0.185 + j 0.511 0.543 /70°06'	0.313 /105°	0.36 /33°
85	鋼	200	50	10 ⁻¹²	0.233 + j 0.530 0.579 /66°18'	0.318 /90°	0.322 /90°
110	鋼	325	50	10 ⁻¹⁴	0.193 + j 0.524 0.558 /69°48'	0.362 /107°	0.378 /25°
85	鋼	200	50	10 ⁻¹⁴	0.238 + j 0.543 0.593 /66°18'	0.369 /89°	0.368 /24°
110	合金鋼 70	150	50	10 ⁻¹³	0.151 + j 0.373 0.395 /70°36'	0.295 /77°	0.419 /38°
85	合金鋼 60	125	30	10 ⁻¹³	0.151 + j 0.390 0.471 /68°45'	0.264 /72°	0.322 /47°

6-6 吸上變壓器를設置한 回路

電車線과 rail間에 吸上變壓器가 設置된 境遇

(a) 長距離區間의 中間에 吸上變壓器 1個가 있을때

$$Z = (Z_{aa} - n^2Z_{bb})D + (1+n)^2R_b + \frac{2R_b(Z_1 + nZ_m) + (Z_1Z_2 - Z_m^2)}{2R_b + Z_2} + \frac{2nR_b(Z_m + nZ_2)}{2R_b + Z_2}$$

$$= (Z_{aa} - n^2Z_{bb})D + (1+n)^2R_b + \frac{2R_b(Z_1 + 2nZ_m + n^2Z_2) + (Z_1Z_2 - Z_m^2)}{2R_b + Z_b}$$

$\therefore Z_1, Z_2, Z_m$ 은 吸上變壓器의 自己 impedance 및 相互 impedance(Ω)

萬若 $Z_1 = Z_2 = Z_m$ 라면

$$Z = (Z_{aa} - n^2Z_{bb})D + (1+n)^2R_b + \frac{2(1+n)^2R_bZ_1}{2R_b + Z_1} \dots\dots\dots(6-11)$$

또 $Z_1 > R_b$ 인 때는

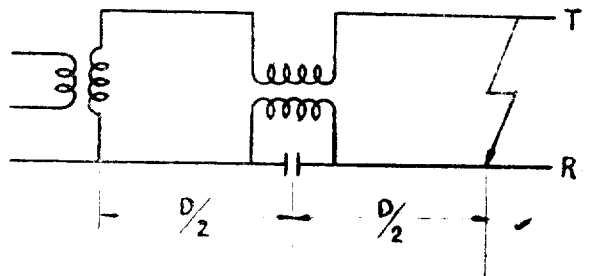


그림 18

$$Z = (Z_{aa} - n^2Z_{bb})D + 3(1+n)^2R_b \dots\dots\dots(6-12)$$

結局 吸上變壓器를 設置하면 電車線의 impedance가 增加함을 意味한다.

(b) 吸上變壓器를 多數 設置한 境遇
吸上變壓器數 = m

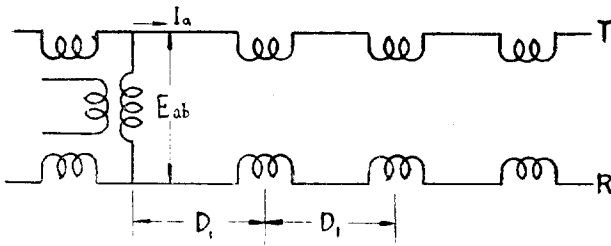


그림 19

$$\begin{aligned} \therefore mD_1 &= D \\ Z &= (Z_{aa} - n^2 Z_{bb})D + (1+n)R_b \\ &= \frac{2(1+n)R_b \tan h \frac{rD_1}{2} + Z_2 - Z_m}{Z_2 + 2R_b \tan h \frac{rD_1}{2}} \\ &+ m \frac{2R_b(Z_1 + 2nZ_m + n^2Z_2) \tan h \frac{rD_1}{2} + (Z_1Z_2 - Z_m^2)}{Z_2 + 2R_b \tan h \frac{rD_1}{2}} \end{aligned} \quad (6-13)$$

6-7 Negative Feeder 와 吸上變壓器를 設置한 回 路

(a) 計 算 式

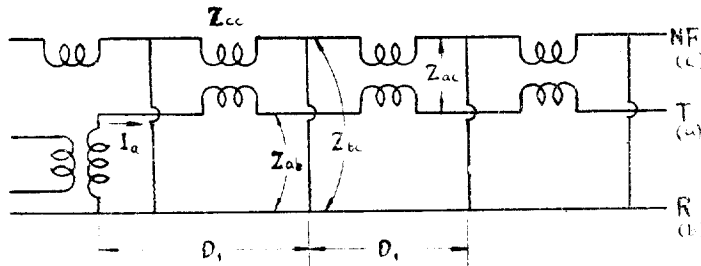


그림 20

中間의 一吸上區間에서 다음과 같은 關係가 成立된 다.

Rail에서 電車線에의 誘導電壓

$$= Z_{ab}D_1(na - nc \frac{Z'_m}{Z'_2})I_a \quad (6-14)$$

Negative feeder에서 電車線에의 誘導電壓

$$= -Z_{bc}D_1 \frac{Z'_m}{Z'_2} I_a \quad (6-15)$$

吸上變壓器次端子電壓 = $(Z_1 - Z_m \frac{Z'_m}{Z'_2})I_a$ (6-16)

그러므로 全體 m 區間에 對한 綜合 impedance 는 다 음과 같다.

$$\begin{aligned} Z &= m \left\{ Z_{aa}D_1 + (na - nc \frac{Z'_m}{Z'_2})Z_{ab}D_1 - Z_{bc} \right. \\ &\quad \left. \frac{Z'_m}{Z'_2} D_1 (Z_1 Z'_m \frac{Z'_m}{Z'_2}) \right\} + (1+n_2)^2 R_b - \\ &\quad (1+nc)(1+na) \frac{Z'_m}{Z'_2} R_b' \\ &= \left\{ Z_{aa} - na^2 Z_{aa} \right\} - (Z_{bc} - na nc Z_{bb} \frac{Z'_m}{Z'_2}) \\ &\quad D + m(Z_1 - Z_m \frac{Z'_m}{Z'_2}) + (1+na)^2 R_b' \\ &\quad - (1+nc)(1+n_2) \frac{Z'_m}{Z'_2} R_b' \dots (6-17) \\ \therefore na &= -\frac{Z_{ab}}{Z_{bb}}, \quad nc = -\frac{Z_{bc}}{Z_{bb}} \\ Z'_m &= Z_m + D_2(Z_{cc} - na nc Z_{bb}) \\ Z'_2 &= Z_2 + D_1(Z_{cc} - nc^2 Z_{bb}) \\ R_b' &= R_b \end{aligned}$$

計 算 例

(6-17)式으로 negative feeder 와 吸上變壓器를 設 置한 電車線路의 impedance 를 計算함에 있어 R_b 를 包含한 項은 平常時는 僅少하므로 省略하기로 하고

- 電車線 硬銅 85 mm²
- 吊架線 鋼
- Rail 30 kg
- 大地導電率 10¹² e.m.u.

Negative Feeder 125 mm²(等價)

로서 「그림 14」와 같이 配置하였다면,

$$\begin{aligned} Z_{aa} &= 0.250 + j 0.708 = 0.751 / 70^\circ 30' \\ Z_{bb} &= 0.129 + j 0.518 = 0.534 / 76^\circ 00' \\ Z_{ab} &= 0.048 + j 0.255 = 0.260 / 79^\circ 18' \\ Z_{cc} &= 0.192 + j 0.628 = 0.707 / 74^\circ 12' \\ Z_{ac} &= 0.047 + j 0.323 = 0.326 / 81^\circ 42' \\ Z_{bb} &= 0.048 + j 0.247 = 0.251 / 79^\circ 00' \end{aligned}$$

또 吸上變壓器 1 個當 定數로서

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_2 = 1.703 + j 42.09 (\Omega) \\ Z_m &= 17 + j 42 (\Omega) \end{aligned}$$

即, $N_2/N_2=1$ 이 되는 理想的인 吸上變 壓器가 電車線路 4 km 間隔으로 設置 되었다고 생각하면 이 回路의 impedance 는

$$Z = 0.278 + j 0.770 = 0.82 / 70^\circ 00' (\Omega/\text{km})$$

以上的 結果를 negative feeder 와 吸上變壓器의 設 置가 없는 回路와 比較하여 보면 常時 約 30%의 回路 impedance 가 增加되며 複線區間에서는 相互 impedance 關係로 約 50%의 回路 impedance 가 增加한다는 것을 豫測할 수 있는 것이다.

6-8 電車線路의 短絡障害時의 Impedance

吸上變壓器와 negative feeder 를 設置한 電車線給

電回路에 있어서는 短絡障害時의 莫大한 電流에 對하여 吸上變壓器의 鐵心이 飽和되어 定常時 impedance 와는 根本的으로 다른 數值가 될 것이며 이 短絡事故時의 impedance 値는 吸上變壓器의 設計構造에 따라 달라질 것은 明確한 것이다. 이 境遇를 正確히 記錄한 文獻도 別로 찾지 못하였으므로 爲先入手된 範圍內에서 日本國有鐵道에서 實施한(給電電壓 20 kV) 仙山線의 人工地路試驗의 測定結果를 紹介하여 參考에 資하고자 한다. 卽, 이 試驗結果는 仙臺變電所에서 28 km 地點의 電車線電壓이 8.100 V 이었고 이 地點에서 10 km 先方의 電車線回路 impedance 는 $(5.52 + j 12.73)$ 이었으며 吸上變壓器와 negative feeder 設置가 없는 電車線回路($5.23 + j 11.04$)에 比하면 故障時에는 吸上變

壓器 때문에 impedance 增加率이 約 14 % 程度 增加하였다 한다.

[以下 次號] (1963 年 11 月 13 日 接受)

參 考 文 獻

1. 日本國有鐵道交流電化調査委員會資料
2. 日本國鐵道動力近代化調査委員會資料
3. British Railways Electrification Conference (1960)
4. L'electrificazione dell (1960)
5. 50 Années De Traction Électrique (1961)
6. 印度北部幹線電化 三菱電機 自立評論

投 稿 規 定

- (1) 報文投稿者는 會員에 限함을 原則으로 한다.
- (2) 報文은 本誌에 投稿하기 前에 發表되지 않은것을 原則으로 한다.
- (3) 原稿採擇은 編修委員會에서 定한다.
- (4) 報文은 200字 原稿紙에 記入하여 投稿하되 50面 内外 이어야 한다.(表, 그림 等 包含)
- (5) 報文을 外國語로 發表할 境遇에는 約 26×21 cm 의 用紙에 한줄 건너서 打字한 것으로써 可能的 限 15 面 内外이어야 한다.(表, 그림 等 包含) 但 1,000字 以內의 國文抄錄을 붙여야 한다.
- (6) 引用文獻은 다음과 같은 順序로 記述하여 全部를 本文에 모아 써야 한다.
 - ㄱ) 單行本의 경우 : 著者名, 書籍名, 出版社名 및 所在地, 出版年度, 引用頁.
 - ㄴ) 論文紙의 경우 : 著者名, 題目, 雜誌名, 卷, 頁, 出版年度.
- (7) 論文體制는 다음과 같이 定한다.
 - ㄱ) 序論, 本論, 實驗, 結論.
 - ㄴ) 挿入圖表는 그림 1, 그림 2, ……., 表 1, 表 2, ……等으로 表示하고 簡單한 說明을 要한다.