SEL-387 電驛測試標準值推導過程、結果及 SEL-487E 測試標準值推導結果

台中供電區營運處　黃佳豐

摘要

此份文件敘述 SEL-387 電驛之測試電流標準值方程式推導過程，含該電驛特性曲線 087P、SLP1、SLP2 上之方程式，及 SEL-487E 之測試電流標準值推導結果。SEL-387 之測試電流標準值方程式於電驛說明書中已有述明，且經實際測試與推導結果一致；SEL-487E 之測試標準值方程式未經實際測試，且說明書上未述明方程式，僅供參考。

關鍵詞：差動電流、抑制電流。

一、前言

數位型變壓器差流保護電驛較傳統 E/M 型電驛複雜，除可規劃邏輯以提供所須要之功能外，其特性曲線亦可規劃，且可因應不同接線方式之變壓器及 CT，由電驛進行相角及電流大小補償，不再限制受保護變壓器兩端之 CT 結線須與變壓器之結線須互補以提供相同之相角差，但也因為此一功能，讓數位變壓器差流保護電驛之測試較傳統之 E/M 型電驛為複雜。若依照現役之 SEL-387 差流電驛原廠說明書，測試時為了測試方便，須將變壓器結線及 CT 結線補償之功能設定為最簡便之設定，測試之標準值若採此一設定會較為容易計算，但實際閱讀 SEL-387 保護電驛說明書之後，發現可以不變更前述補償設定以進行測試，茲如以下說明。

二、電驛特性曲線

SEL-387 之差動電流及抑制電流關係曲線如(圖 1)所示；

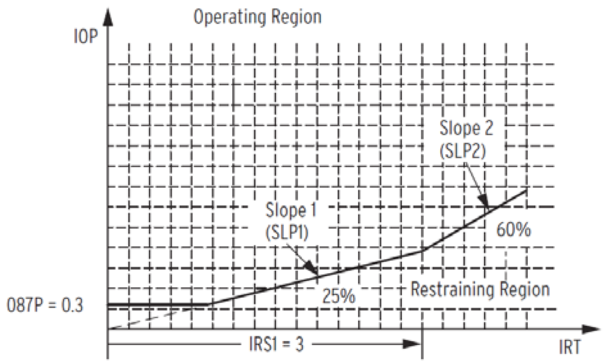

圖 1　SEL-387 特性曲線

Y 軸為 IOP(差動電流)，X 軸為 IRT(抑制電流)；而 IOP 及 IRT 又由圖 2 之方式運算得之；

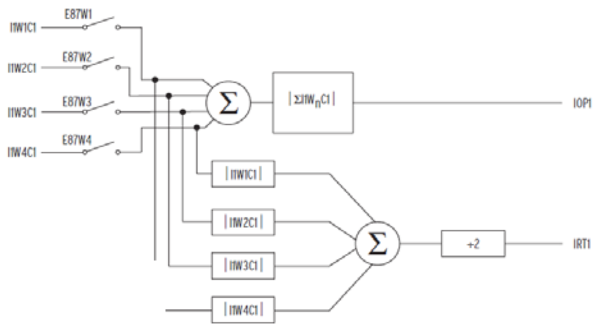

圖 2　SEL-387 IOP、IRT 計算方式

其中 IOPn 及 IRTn(n=1,2,3)分別為 A,B,C 相之差動電流及抑制電流，I1WnC1 為 A 相繞組 n 經過濾波及補償後的 60Hz 電流相量，非原始電流；此補償方式會影響到原始電流與補償後電流之關係，進而影響標準值之計算方式，在方程式推導完成之後會敘述。

由(圖 2)可知：

$$IOP1=\left|\sum I1WnC1\right| \cdots\cdots(1)$$

$$IRT1=\frac{1}{2}\times\sum\left|I1WnC1\right| \cdots\cdots(2)$$

方程式之推導分為三部份：1.087P 部份、2.SLP1 部份、3.SLP2 部份、4.電流補償部份。

(一)087P 部份

因 087P 為平行 X 軸之直線，對應之方程式為

$y=a$ (a 為常數)

，故 087P 之方程式為：

IOP1=O87P ……(3)

為了便於測試，僅使用 W1 繞組測試，由(1)式帶入(3)式可得下式：

$$O87P=\left|\sum I1WnC1\right|=\left|I1W1C1\right| \cdots\cdots(4)$$

(4)式在之後會改為未經補償之原始電流，在此先不做說明。

(二)SLP1 部份

由 SEL-387 之特性曲線圖(圖 1)可知，SLP1 為一條經過原點且斜率為

$\frac{SLP1}{100}$

之直線，由直線之斜率方程式

$y=mx$ (m 為常數，表斜率)

得

$$IOP1=\frac{SLP1}{100}\times IRT1 \cdots\cdots(5)$$

將(1)、(2)式帶入(5)式，得：

$$\left|\sum I1WnC1\right|=\frac{SLP1}{100}\times\frac{1}{2}\times\sum\left|I1WnC1\right| \cdots(6)$$

為了測試及計算方便，僅使用 W1 及 W2 兩繞組，變更(6)式如下：

$$\left|I1W1C1+I1W2C1\right|=\frac{SLP1}{100}\times\frac{1}{2}\times\left(\left|I1W1C1\right|+\left|I1W2C1\right|\right) \cdots\cdots(7)$$

為了測試及計算方便，做以下假設：

$$I1W1C1=\left|I1W1C1\right|\angle 0^\circ \cdots\cdots(8)$$

$$I1W2C1=\left|I1W2C1\right|\angle 180^\circ \cdots\cdots(9)$$

$$\left|I1W1C1\right|>\left|I1W2C1\right| \cdots\cdots(10)$$

其中(8)、(9)式等效如下：

$$I1W1C1=\left|I1W1C1\right| \cdots\cdots(11)$$

$$I1W2C1=-\left|I1W2C1\right| \cdots\cdots(12)$$

將(11)、(12)式帶入(7)式：

$$\left|\left|I1W1C1\right|-\left|I1W2C1\right|\right|=\frac{SLP1}{100}\times\frac{1}{2}\times\left(\left|I1W1C1\right|+\left|I1W2C1\right|\right) \cdots(13)$$

由(10)式之假設可將(13)式整理得下式：

$$\left|I1W1C1\right|-\left|I1W2C1\right|=\frac{SLP1}{100}\times\frac{1}{2}\times\left(\left|I1W1C1\right|+\left|I1W2C1\right|\right) \cdots(14)$$

(14)式經整理後可得下式：

$$\left|I1W1C1\right|=\frac{1+\frac{SLP1}{200}}{1-\frac{SLP1}{200}}\times\left|I1W2C1\right| \cdots\cdots(15)$$

$$\because 1+\frac{SLP1}{200}>1-\frac{SLP1}{200}$$

$$\therefore \frac{1+\frac{SLP1}{200}}{1-\frac{SLP1}{200}}>1$$

$$\therefore \left|I1W1C1\right|=\frac{1+\frac{SLP1}{200}}{1-\frac{SLP1}{200}}\times\left|I1W2C1\right|>\left|I1W2C1\right|$$

，與(10)式之假設一致。

再將(15)式帶回(2)式：

$$IRT1=\frac{1}{2}\times\sum\left|I1WnC1\right|=$$

$$\frac{1}{2}\times\left|I1W1C1\right|+\frac{1}{2}\times\left|I1W2C1\right|=$$

$$\frac{1}{2}\times\frac{1+\frac{SLP1}{200}}{1-\frac{SLP1}{200}}\times\left|I1W2C1\right|+\frac{1}{2}\times\left|I1W2C1\right|$$

……………………………………………………(16)

(16)式經整理可得：

$$\left|I1W2C1\right|=IRT1\times\left(1-\frac{SLP1}{200}\right)\text{…………}(17)$$

再將(17)式帶回(15)式：

$$\left|I1W1C1\right|=\frac{1+\frac{SLP1}{200}}{1-\frac{SLP1}{200}}\times\left|I1W2C1\right|=$$

$$\frac{1+\frac{SLP1}{200}}{1-\frac{SLP1}{200}}\times IRT1\times\left(1-\frac{SLP1}{200}\right)=$$

$$IRT1\times\left(1+\frac{SLP1}{200}\right)$$

………………………… …(18)

(17)、(18)式為 SLP1 測試時之方程式，但因所使用之電流為經補償後之電流，之後會推導為原始電流。

(三)SLP2 部份

由 SEL-387 之特性曲線圖(圖 3)可知

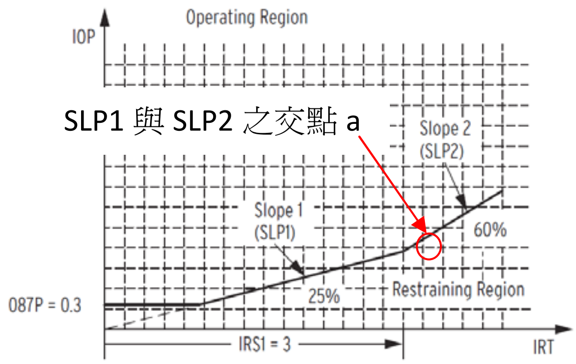

圖 3 SEL-387 特性曲線

SLP1 及 SLP2 之交點 a 之 IRT 軸座標為 IRS1，即

$$IRT1=IRS1$$

，由直線之斜率方程式：

$y=mx$ （m 為常數，表斜率）

可得：

$$IOP1=\frac{SLP1}{100}\times IRS1$$

得 a 點之座標為

$$\left(IRS1,\frac{SLP1}{100}\times IRS1\right)\text{……………………}(19)$$

已知經過點(c, d)且斜率為 m 之直線方程式為：

$$y-d=m(x-c)\text{…………………………}(20)$$

將(19)式座標及 SLP2 斜率帶入(20)式：

$$IOP1-\frac{SLP1}{100}\times IRS1=\frac{SLP2}{100}\times(IRT1-IRS1)$$

……………………………………………(20)

(20)式經整理後可得：

$$IOP1=\frac{SLP2}{100}\times IRT1-\left(\frac{SLP2}{100}-\frac{SLP1}{100}\right)\times IRS1$$

……………………………………………(21)

為了測試及計算方便，僅使用 W1、W2 之電流，且做以下假設(同 SLP1 之假設)：

$$I1W1C1=\left|I1W1C1\right|\angle 0^\circ\text{………………}(8)$$

$$I1W2C1=\left|I1W2C1\right|\angle 180^\circ\text{…………}(9)$$

$$\left|I1W1C1\right|>\left|I1W2C1\right|\text{…………………}(10)$$

其中(8)、(9)式等效如下：

$$I1W1C1=\left|I1W1C1\right|\text{……………………}(11)$$

$$I1W2C1=-\left|I1W2C1\right|\text{…………………}(12)$$

將(1)、(2)式帶入(21)式：

$$\left|\sum I1WnC1\right| =$$

$$\frac{SLP2}{100}\times\frac{1}{2}\times\sum\left|I1WnC1\right|-\left(\frac{SLP2}{100}-\frac{SLP1}{100}\right)\times IRS1$$

$$\left\|I1W1C1\right|-\left|I1W2C1\right\| =$$

$$\frac{SLP2}{100}\times\frac{1}{2}\times\left(\left|I1W1C1\right|+\left|I1W2C1\right|\right)-$$

$$\left(\frac{SLP2}{100}-\frac{SLP1}{100}\right)\times IRS1$$

……………………………………………………(22)

由假設(10)

$$\left|I1W1C1\right|>\left|I1W2C1\right| \text{ …………………… } (10)$$

，(22)式可變為：

$$\left|I1W1C1\right|-\left|I1W2C1\right| =$$

$$\frac{SLP2}{100}\times\frac{1}{2}\times\left(\left|I1W1C1\right|+\left|I1W2C1\right|\right)-$$

$$\left(\frac{SLP2}{100}-\frac{SLP1}{100}\right)\times IRS1$$

……………………………………………………(23)

(23)式經整理後可得下式：

$$\left|I1W1C1\right| = \frac{\left(1+\frac{SLP2}{200}\right)}{\left(1-\frac{SLP2}{200}\right)}\times\left|I1W2C1\right|-$$

$$\frac{\frac{SLP2}{100}-\frac{SLP1}{100}}{1-\frac{SLP2}{200}}\times IRS1$$

……………………………………………………(24)

由(2)式：

$$IRT1=\frac{1}{2}\times\sum\left|I1WnC1\right| =$$

$$\frac{1}{2}\times\left|I1W1C1\right|+\frac{1}{2}\times\left|I1W2C1\right|$$

……………………………………………………(25)

(24)式帶入(25)式中：

$$IRT1 =$$

$$\frac{1}{2}\times\left(\frac{\left(1+\frac{SLP2}{200}\right)}{\left(1-\frac{SLP2}{200}\right)}\times\left|I1W2C1\right|-\frac{\frac{SLP2}{100}-\frac{SLP1}{100}}{1-\frac{SLP2}{200}}\times IRS1\right)$$

$$+\frac{1}{2}\times\left|I1W2C1\right|$$

經整理得：

$$IRT1=\frac{1}{1-\frac{SLP2}{200}}\times\left|I1W2C1\right|-$$

$$\frac{1}{2}\times\frac{\frac{SLP2}{100}-\frac{SLP1}{100}}{1-\frac{SLP2}{200}}\times IRS1$$

$$\left|I1W2C1\right| =$$

$$\left(1-\frac{SLP2}{200}\right)\times IRT1+\frac{1}{2}\times\left(\frac{SLP2}{100}-\frac{SLP1}{100}\right)\times IRS1$$

……………………………………………………(26)

將(26)式帶回(24)式：

$$\left|I1W1C1\right| = \frac{\left(1+\frac{SLP2}{200}\right)}{\left(1-\frac{SLP2}{200}\right)}\times$$

$$\left[\left(1-\frac{SLP2}{200}\right)\times IRT1+\frac{1}{2}\times\left(\frac{SLP2}{100}-\frac{SLP1}{100}\right)\times IRS1\right]-$$

$$\frac{\frac{SLP2}{100}-\frac{SLP1}{100}}{1-\frac{SLP2}{200}}\times IRS1$$

整理得：

$$\left|I1W1C1\right| = \left(1+\frac{SLP2}{200}\right)\times IRT1-$$

$$\frac{1}{2}\times\left(\frac{SLP2}{100}-\frac{SLP1}{100}\right)\times IRS1$$

……………………………………………………(27)

(26)、(27)式即為 SLP2 之測試標準值方程式，但所使用之電流為補償後之電流。

將(27)式減去(26)式：

$$\left|I1W1C1\right|-\left|I1W2C1\right|=$$

$$\left(1+\frac{SLP2}{200}\right)\times IRT1-\frac{1}{2}\times\left(\frac{SLP2}{100}-\frac{SLP1}{100}\right)\times IRS1-$$

$$\left(1-\frac{SLP2}{200}\right)\times IRT1-\frac{1}{2}\times\left(\frac{SLP2}{100}-\frac{SLP1}{100}\right)\times IRS1$$

$$=\frac{SLP2}{100}\times IRT1-\left(\frac{SLP2}{100}-\frac{SLP1}{100}\right)\times IRS1$$

$$\because SLP2>SLP1>0$$

$$\therefore 0>-\left(\frac{SLP2}{100}-\frac{SLP1}{100}\right)>-\frac{SLP2}{100}$$

$$\therefore \frac{SLP2}{100}\times IRT1-\left(\frac{SLP2}{100}-\frac{SLP1}{100}\right)\times IRS1>$$

$$\frac{SLP2}{100}\times IRT1-\frac{SLP2}{100}\times IRS1=$$

$$\frac{SLP2}{100}\times(IRT1-IRS1)$$

$\therefore SLP2>0$且$SLP2$直線在$IRS1$右側，即$IRT1\geq IRS1$

$$\therefore IRT1-IRS1\geq 0$$

$$\therefore \frac{SLP2}{100}\times(IRT1-IRS1)>0$$

故$\left|I1W1C1\right|-\left|I1W2C1\right|>0$

即$\left|I1W1C1\right|>\left|I1W2C1\right|$，與(10)式假設一致。

在下節會推導為原始電流。

(四)電流補償部份

下圖(圖 4)為 SEL-387 電流之補償過程：

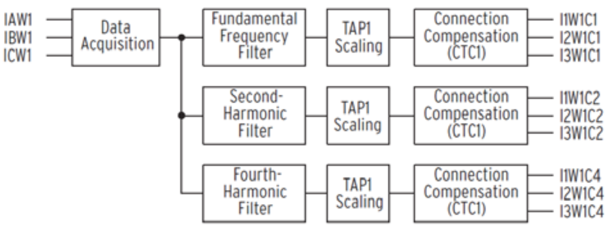

圖 4　SEL-387 電流補償計算方式

由(圖 4)可知：

$$\begin{bmatrix} I1W1C1 \\ I2W1C1 \\ I3W1C1 \end{bmatrix}=\frac{1}{TAP1}\times[CTC(m)]\times\begin{bmatrix} IAW1 \\ IBW1 \\ ICW1 \end{bmatrix}\cdots(28)$$

[CTC(m)]為電驛內定值，由說明書節錄如下(表一)：

$$[CTC(1)]=\frac{1}{\sqrt{3}}\bullet\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}\qquad [CTC(2)]=\frac{1}{3}\bullet\begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ -2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[CTC(3)]=\frac{1}{\sqrt{3}}\bullet\begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}\qquad [CTC(4)]=\frac{1}{3}\bullet\begin{bmatrix} -1 & -1 & 2 \\ 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix}$$

$$[CTC(5)]=\frac{1}{\sqrt{3}}\bullet\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}\qquad [CTC(6)]=\frac{1}{3}\bullet\begin{bmatrix} -2 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \end{bmatrix}$$

$$[CTC(7)]=\frac{1}{\sqrt{3}}\bullet\begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}\qquad [CTC(8)]=\frac{1}{3}\bullet\begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \\ 2 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$[CTC(9)]=\frac{1}{\sqrt{3}}\bullet\begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}\qquad [CTC(10)]=\frac{1}{3}\bullet\begin{bmatrix} 1 & 1 & -2 \\ -2 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[CTC(11)]=\frac{1}{\sqrt{3}}\bullet\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}\qquad [CTC(12)]=\frac{1}{3}\bullet\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}$$

表一　SEL-387 電流補償矩陣

由上表之型式，可得：

$$[CTC(m)]=\frac{1}{k}\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix}\cdots\cdots\cdots\cdots(29)$$

帶回(28)式可得：

$$\begin{bmatrix} I1W1C1 \\ I2W1C1 \\ I3W1C1 \end{bmatrix}=\frac{1}{TAP1}\times[CTC(m)]\times\begin{bmatrix} IAW1 \\ IBW1 \\ ICW1 \end{bmatrix}=$$

$$\frac{1}{TAP1}\times\frac{1}{k}\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix}\times\begin{bmatrix} IAW1 \\ IBW1 \\ ICW1 \end{bmatrix}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(30)$$

假設欲測試之變壓器為兩繞組，W1CTC 設定為

12，W2CTC 設定為 11；

因前述推導僅使用 IOP1 及 IRT1，僅與 I1WnC1 有關，故取出(30)式中的 I1W1C1 如下：

$$I1W1C1=\frac{1}{TAP1}\times\frac{1}{k}(a\bullet IAW1+b\bullet IBW1+c\bullet ICW1)$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(31)$$

觀查[CTC(12)]及[CTC(11)]，得[CTC(12)]的 a 元素為 2，[CTC(11)]的 a 元素為 1，為了方便測試及計算，做以下設定：

$$IBW1 = ICW1 = 0 \quad \cdots\cdots (32)$$

將(32)式帶入(31)式，得：

$$I1W1C1 = \frac{1}{TAP1} \times \frac{1}{k} \times a \times IAW1 \quad \cdots\cdots (33)$$

根據(11)式假設

$$I1W1C1 = |I1W1C1| \quad \cdots\cdots (11)$$

帶回(18)式：

$$|I1W1C1| = I1W1C1 = IRT \times \left(1 + \frac{SLP1}{200}\right) \quad \cdots\cdots (18)$$

得：

$$IAW1 = IRT \times \left(1 + \frac{SLP1}{200}\right) \times TAP1 \times k \times \frac{1}{a} \quad \cdots\cdots (34)$$

因 W1CTC=12，查(表一)[CTC(12)]可知 k=3，a=2，

故得：

$$IAW1 = IRT \times \left(1 + \frac{SLP1}{200}\right) \times TAP1 \times \frac{3}{2} = IRT \times \left(1 + \frac{SLP1}{200}\right) \times TAP1 \times 1.5 \quad \cdots\cdots (35)$$

同理：

$$\begin{bmatrix} I1W2C1 \\ I2W2C1 \\ I3W2C1 \end{bmatrix} = \frac{1}{TAP2} \times [CTC(m)] \times \begin{bmatrix} IAW2 \\ IBW2 \\ ICW2 \end{bmatrix} \cdots (36)$$

將(29)式帶入(36)式可得：

$$\begin{bmatrix} I1W2C1 \\ I2W2C1 \\ I3W2C1 \end{bmatrix} = \frac{1}{TAP2} \times [CTC(m)] \times \begin{bmatrix} IAW2 \\ IBW2 \\ ICW2 \end{bmatrix} = \frac{1}{TAP2} \times \frac{1}{k} \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} IAW2 \\ IBW2 \\ ICW2 \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots (37)$$

因前述推導僅使用 IOP1 及 IRT1，僅與 I1W2C1 有關，取出(37)式中的 I1W2C1 如下：

$$I1W2C1 = \frac{1}{TAP2} \times \frac{1}{k} \left(a \bullet IAW2 + b \bullet IBW2 + c \bullet ICW2\right) \quad \cdots\cdots (38)$$

同前述原因，觀查[CTC(12)]及[CTC(11)]，得[CTC(12)]的 a 元素為 2，[CTC(11)]的 a 元素為 1，為了方便測試及計算，做以下設定：

$$IBW2 = ICW2 = 0 \quad \cdots\cdots (39)$$

將(39)式帶入(38)式，得：

$$I1W2C1 = \frac{1}{TAP2} \times \frac{1}{k} \times a \times IAW2 \quad \cdots\cdots (40)$$

根據(12)式假設

$$I1W2C1 = -|I1W2C1| \quad \cdots\cdots (12)$$

帶回(40)式，得

$$I1W2C1 = -|I1W2C1| = \frac{1}{TAP2} \times \frac{1}{k} \times a \times IAW2 \quad \cdots\cdots (41)$$

(41)式整理得：

$$|I1W2C1| = -\frac{1}{TAP2} \times \frac{1}{k} \times a \times IAW2 \quad \cdots\cdots (42)$$

帶回(17)式

$$|I1W2C1| = IRT \times \left(1 - \frac{SLP1}{200}\right) \quad \cdots\cdots (17)$$

得：

$$|I1W2C1| = -\frac{1}{TAP2} \times \frac{1}{k} \times a \times IAW2 = IRT \times \left(1 - \frac{SLP1}{200}\right) \cdots (43)$$

(43)式整理得：

$$IAW2 = -IRT \times \left(1 - \frac{SLP1}{200}\right) \times TAP2 \times \frac{k}{a} \quad \cdots\cdots (44)$$

因設定 W2CTC=11，查(表一)[CTC(11)]得

k=$\sqrt{3}$，a=1，故得

$$IAW2 = -IRT \times \left(1 - \frac{SLP1}{200}\right) \times TAP2 \times \sqrt{3}$$

……………………………………………………(45)

SLP2 的推導亦同，在 W1CTC=12，W2CTC=11 時，由(26)、(27)式可得：

$$IAW1 = \left[\left(1 + \frac{SLP2}{200}\right) \times IRT1 - \frac{1}{2} \times \left(\frac{SLP2}{100} - \frac{SLP1}{100}\right) \times IRS1\right] \times TAP1 \times 1.5$$

……………………………………………………(46)

$$IAW2 = -\left[\left(1 - \frac{SLP2}{200}\right) \times IRT1 + \frac{1}{2} \times \left(\frac{SLP2}{100} - \frac{SLP1}{100}\right) \times IRS1\right] \times TAP2 \times \sqrt{3}$$

……………………………………………………(47)

O87P 的推導，由(4)式：

$$O87P = |I1W1C1| \cdots\cdots(4)$$

將(33)式

$$I1W1C1 = \frac{1}{TAP1} \times \frac{1}{k} \times a \times IAW1 \cdots\cdots\cdots(33)$$

及(11)式假設

$$I1W1C1 = |I1W1C1| \cdots\cdots\cdots(11)$$

帶入(4)式

$$O87P = |I1W1C1| \cdots\cdots\cdots(4)$$

得

$$O87P = |I1W1C1| = I1W1C1 = \frac{1}{TAP1} \times \frac{1}{k} \times a \times IAW1$$

整理得

$$IAW1 = TAP1 \times \frac{k}{a} \times O87P \cdots\cdots\cdots(48)$$

因 W1CTC=12，經查表一[CTC(12)]得 k=3，a=2，故得

$$IAW1 = TAP1 \times 1.5 \times O87P \cdots\cdots\cdots(49)$$

實際測試 SEL-387 電驛時，因[CTC(m)]中的元素除 a 之外，其餘元素亦有數值，為了避免受其他元素影響，測試時暫時將動作接點改為 87R1，即僅偵測 A 相之差流元件；87R 為三相差流元件，87R1、87R2、87R3 任一元件動作時，87R 均會動作。

三、SEL-487E 推導結果

SEL-487E 的 IOP、IRT 名稱與 SEL-387 不同，為 IOPRA 及 IRTRA，

$$IOPRA = \left|\sum IAmMC\right| \cdots\cdots\cdots(50)$$

$$IRTRA = \sum |IAmMC| \cdots\cdots\cdots(51)$$

其中 IAmMC 等效於 I1WnC。SEL-487E 不同於 SEL-387，SEL-487E 的特性曲線斜率只有一段，但有兩條，當 SEL-487E 偵測到外部故障時會將斜率較低的 SLP1 切換至斜率較高的 SLP2，得到較高的安全性，避免電驛誤動作。

SEL-487E 的推導結果如下：

$$IAW1 = \frac{SLP1 + 1}{2} \times IRTRA \times TAP1 \times A$$

……………………………………………………(52)

$$IAW2 = -\frac{SLP1 - 1}{2} \times IRTRA \times TAP2 \times B$$

……………………………………………………(53)

其中 A、B 與[CTC(m)]有關。(52)、(53)式尚未經過實機驗證。

四、參考文獻

[1] SEL-387 原廠說明書

[2] SEL-487E 原廠說明書