

10347
3741

实用电力系统 短路计算法

陳 濟 民 編

上海科学技术出版社

实用电力系统 短路计算法

陳濟民編



上海科学技术出版社

內 容 提 要

本書介紹電力系統中所發生的平衡與不平衡短路電流計算方法。書中所有計算用公式來源及其導引暨實際應用方面，均有詳細敘述，對於蘇聯先進計算方法亦廣為介紹。讀畢本書之後，對於一般複雜的電力網絡短路計算已能基本掌握。本書可作大學或電機專修科教材之用，亦可供電機工程從業或設計人員自修或參考之需。

实用电力系统短路計算法

編 者 陳 濟 民

*

上海科學技術出版社出版

(上海南京西路2001號)

上海市書刊出版業營業許可証出.093號

上海勞動印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

開本 850×1168 1/32 印張 9 12/32 插頁 1 字數 204,000

(原中科、科技版其印0.500冊 1955年3月第1版)

1959年3月第1版 1959年8月第2次印刷

印數 1,501—3,500

統一書號：15119 · 301

定 價：(十四)1.30元

編 者 的 話

設計一個電力系統或電力站都是由短路電流計算上着手，由此可見短路電流計算在電力工程中的重要性。中文的電力系統短路計算書籍非常的少，尤其是三相不平衡短路計算的參考資料更是缺乏。祖國現正展開大規模的經濟建設，全國電氣化是我們的遠大目標，需要培養大量的電機工程技術幹部，因此也極需要這一類專門知識的書籍。編者最近參考了十數本書籍，以中等電機技術人員作為讀者對象，編寫本書，中分三個主要部分：第一部分是基本理論，第二部分是三相平衡短路計算，第三部分是應用對稱成分法的不平衡三相短路計算。除介紹蘇聯先進技術外，對於必要的理論及公式都有詳細的說明或證明，並且特別注重實用方面。可供專科或大學教材，可供電機工程從業或設計人員自修參考之用。

編者感覺到許多中文科技書籍，往往因為編寫時文筆過於簡略，致使讀者於閱讀時不能體會書中的意義，甚至讀到半途因無法了解而不能繼續下去，實是可惜！因此本書中辭句力求淺顯，解釋力求詳盡，不厭其煩，不避通俗，目的在於使每一個讀者都能體會書中的意義，做到無師自通的地步。

本書脫稿之後，雖曾經過了三次的校核，仍恐有遺漏或錯誤的地方，希望讀者不吝指正，將來如有再版的機會，當必一一加以修正。

編 者 識

1954 年於北京

再版序言

本書初版第一次印刷時發現筆誤頗多，承各方讀者關懷愛護提出寶貴意見多條，均經珍重接受，於此次印刷時一一更正，編者特於此處向易企衡，陳耀球，范崇信，彭培敏四位先生謹致謝忱。

本書此次再版已將書中習題演算答案附於書末，可供讀者自修參考之用。

編者 1957, 12, 14.

目

錄

第一章 基本理論.....1-88

1-1 百分值.....	1
1-2 百分值與基本千伏安數值的 關係.....	4
1-3 為什麼在障礙電流計算時多 採用百分電抗值，而不用 百分阻抗值？.....	5
1-4 串聯的百分電抗值.....	6
1-5 並聯的百分電抗值.....	8
1-6 串聯及並聯的百分電抗值.....	10
1-7 三相平衡電路的百分電抗值.....	11
1-8 三相電力輸電線的百分電抗 值.....	12
1-9 三相交流發電機及變壓器等 的百分電抗值.....	13
1-10 變壓器百分電抗值的詳細意 義.....	14
1-11 變壓器百分電抗值的估計方 法.....	20
1-12 電網絡的簡化法——等價的 星形及三角形接法的阻抗.....	22
1-13 三角形 Δ ——星形Y接法三 相變壓器主副繞圈電流的 絕對值和相位變移問題.....	27
1-14 三線圈變壓器.....	30
1-15 三線圈變壓器的常數.....	32

1-16 阻抗值自一個電壓值轉至另 一個電壓值的變換方法.....	42
1-17 標么值.....	43
1-18 為什麼用標么值或百分值呢？	44
1-19 短路電流重要性的認識.....	48
1-20 交流發電機的短路.....	48
1-21 發電機突然短路時所產生的 瞬變現象(或稱過渡現象).....	49
1-22 瞬變電抗(或稱過渡電抗)和 次瞬變電抗(或稱次過渡 電抗).....	61
1-23 短路電流的有效值.....	66
1-24 蘇聯標準型水輪和汽輪發電 機的計算曲線.....	68
1-25 有自動電壓調整器的蘇聯標 準型水輪和汽輪發電機的 計算曲線.....	72
1-26 計算曲線的用法.....	76
1-27 短路電流的直流成分電流 (非週期性部分電流)的計 算方法.....	79
1-28 短路衝擊電流和短路全電流 最大有效值的計算方法.....	83
第一章習題.....	87

第二章 平衡的三相短路.....89-138

2-1 三相短路.....	89
2-2 起始對稱的三相短路容量.....	90
2-3 計算短路電流的幾個方法.....	94

2-4 限流電抗器.....	104
2-5 短路電流計算中幾個應注意 的問題.....	109

2-6 電阻數值相當大的電路中短 路電流和短路容量的計算 方法.....	115	電流及短路容量計算方法	119
2-7 利用電力網絡簡化法的短路		2-8 多電源電力系統中計算曲線 的用法.....	126
		第二章習題	138
第三章 不平衡的短路——對稱成分法.....	139-285		
3-1 不平衡的短路.....	139	中的應用.....	192
3-2 對稱成分法的起源.....	139	3-16 對稱三相發電機端子相電壓 對稱成分與序電流及序阻 抗的關係.....	194
3-3 三相不平衡電勢(或電壓)的 分解方法.....	140	3-17 序網絡的概念及它的性質..	197
3-4 三相不平衡電流的分解方法	154	3-18 序網絡的阻抗.....	199
3-5 電壓升,電壓降,電流方向及 雙腳註記法.....	156	3-19 三相電力系統中常見的各種 類型的障礙.....	202
3-6 三相電路中中性點的電位..	163	3-20 障礙電流電壓的計算步驟..	204
3-7 三相電路中的線與線間電壓 是沒有零序成分的.....	165	3-21 單相直接接地的障礙.....	205
3-8 線電壓的對稱成分與相電壓 的對稱成分間的關係....	166	3-22 單相經阻抗 Z 歐姆接地的障 礙.....	216
3-9 三角形電流與星形電流對稱 成分之間的關係.....	174	3-23 兩相之間短路(但不接地)的 障礙.....	219
3-10 三相不平衡阻抗及不平衡導 納的對稱成分.....	177	3-24 兩相之間短路兼接地的障礙	225
3-11 無中性線不平衡三相負荷中 性點與電源中性點之間的 電位差.....	179	3-25 兩相之間經阻抗 Z 歐姆短路 (不接地)的障礙.....	231
3-12 對稱成分各序的獨立性....	183	3-26 兩相之間短路後經阻抗 Z 歐 姆接地的障礙.....	235
3-13 平衡三相電路對稱成分獨立 性的另一證法.....	185	3-27 三相短路(不接地)的障礙..	240
3-14 序阻抗.....	190	3-28 三相短路兼接地的障礙.....	241
3-15 克希荷夫定律在對稱成分法		3-29 比較詳細的不平衡障礙電流 計算.....	242
		第三章習題	283

習題答案

第一章

基本理論

1-1 百分值 在計算短路電流時有一個特殊的習慣，電路中所有的阻抗數值、電抗數值或電阻數值，不是用歐姆來表示，而另用一種百分值方法來表示。假設有一個阻抗 Z 歐姆接在某電路中，這個電路的額定電流是 I 安培，額定電壓是 V 伏特，那末當額定電流 I 通過這個阻抗時所產生的電壓降 IZ 伏特與額定電壓 V 伏特之比的數值再乘以 100，所得的結果就叫做這個阻抗在這種額定電壓值和額定電流值下的百分值。如果用方程式來表示時，就可以寫作：

$$\%Z = \frac{I \times Z}{V} \times 100\% . \quad (1)$$

上式所表示的是一種百分值。仿此，一個電抗 X 歐姆的百分值是：

$$\%X = \frac{I \times X}{V} \times 100\% , \quad (2)$$

一個電阻 R 歐姆的百分值是：

$$\%R = \frac{I \times R}{V} \times 100\% . \quad (3)$$

爲了表示區別起見，一個阻抗 Z (或電抗 X 或電阻 R) 如用歐姆值來表示時可寫作 Z (或 X 或 R) 歐姆，如用百分值表示時則寫作 $\%Z$ (或 $\%X$ 或 $\%R$)。

上列三式中的 V 伏特叫做基本電壓值， I 安培叫做基本電流值。 V 和 I 的乘積 $V \times I$ 叫做基本伏安值。 $V \times I / 1,000$ 叫做基本仟

伏安值。用 I 去除 V 所得的商數 V/I 叫做基本阻抗值。

第(1)式又可寫作：

$$\%Z = \frac{\frac{Z}{V} \times 100}{\frac{I}{I}} \times 100 = \frac{Z}{\text{基本阻抗值}} \times 100 \quad (4)$$

所以我們可以另下一個定義說：一個阻抗 Z 歐姆的百分值 $\%Z$ 就是等於這個阻抗 Z 與電路中的基本阻抗之比的數值再乘以 100。這個定義同時也可以推廣到百分電抗值 $\%X$ 或百分電阻值 $\%R$ 上面去。

當我們說，一部單相 2 仟伏安、200 伏特、10 安培的交流發電機的內部阻抗百分值 $\%Z$ 是 20% 時，我們的意思就是說，當這部發電機輸送滿負荷 10 安培電流時，在機內所產生的內部電壓降數值，是等於它的額定電壓數值 200 伏特的 20%，或 40 伏特。

如果將電路中的全部電壓 V 伏特加於一個阻抗 Z 歐姆上，換句話說，就是將全部電壓 V 伏特跨接在 Z 的兩端，那末所產生的短路電流，可以用下式計算：

$$I_{sc} = \frac{100 \times I}{\%Z} \quad (5)$$

上式中的 I_{sc} 是短路電流值， I 是額定電流值， $\%Z$ 是阻抗 Z 的百分值。這個公式可用下法證明。

因為

$$I_{sc} = \frac{V}{Z}; \quad (5a)$$

但是由第(1)式

$$Z = \frac{V}{100 \times I} \times \%Z,$$

把它代入第(5a)中得到：

$$I_{sc} = \frac{V}{Z} = \frac{V}{\frac{V}{100 \times I} \times \%Z} = \frac{100 \times I}{\%Z}.$$

例 1. 假設有一部 2 仟伏安、200 伏特、10 安培的交流單相發電機，它的內部阻抗百分值 $\%Z = 20\%$ ，在發電機的輸出處發生了短路。試問短路電流是多少安培？

解：將額定電流 $I = 10$ 安培及 $\%Z = 20\%$ 代入第(5)式中得到短路電流

$$I_{sc} = \frac{100 \times I}{\%Z} = \frac{100 \times 10}{20} = 50 \text{ 安培}.$$

例 2. 有一個 10 仟伏安、10/2 仟伏特的單相變壓器，它的百分電抗值 $\%X = 5\%$ 。如果在變壓器的高壓側送進 10 仟伏特的電壓，而把它的高壓側短路起來，試問短路電流是多少安培？

解：變壓器的電阻值比它的電抗值小得很多，故此 $\%Z \approx \%X$ 而第(5)式可以寫作：

$$I_{sc} = \frac{100 \times I}{\%X},$$

上式中的 $\%X$ 就是變壓器的百分電抗值。由題意變壓器高壓側的額定電流是：

$$I = \frac{\text{額定容量}}{\text{高壓側額定電壓}} = \frac{10 \times 1,000}{10 \times 1,000} = 1 \text{ 安培}.$$

故此高壓側所送進去的短路電流是：

$$I_{sc} = \frac{100 \times 1}{5} = 20 \text{ 安培}.$$

如果在變壓器的低壓側送進 2 仟伏特的電壓，而把變壓器的高壓側短路起來，則低壓側所送進去的短路電流是：

$$\begin{aligned}
 I_{sc} &= \frac{100}{5} \times \text{低壓側額定電流} = \frac{100}{5} \times \frac{\text{額定容量}}{\text{低壓側額定電壓}} \\
 &= \frac{100}{5} \times \frac{10 \times 1,000}{2 \times 1,000} = 100 \text{ 安培。}
 \end{aligned}$$

1-2 百分值與基本仟伏安數值的關係 由第(1)式中可以看出一個阻抗 Z 的百分值是隨着額定電壓和額定電流的數值而不同的。當一個阻抗 Z 歐姆接在額定電壓為 V_1 伏特，額定電流為 I_1 安培的電路中時，它的百分阻抗值是：

$$(\%Z)_1 = \frac{I_1 Z}{V_1} \times 100\%;$$

如果把這個阻抗接在額定電壓為 V_2 伏特，額定電流為 I_2 安培的電路中時，它的百分阻抗值是：

$$(\%Z)_2 = \frac{I_2 Z}{V_2} \times 100\%.$$

上面兩式的比值是：

$$\frac{(\%Z)_1}{(\%Z)_2} = \frac{V_2 I_1}{V_1 I_2}.$$

如果 $V_1 = V_2 = V$ 則上式可以寫作：

$$\frac{(\%Z)_1}{(\%Z)_2} = \frac{VI_1}{VI_2} = \frac{(KVA)_1}{(KVA)_2}. \quad (6)$$

上式中的 $(KVA)_1 = VI_1/1,000$ 就是 $(\%Z)_1$ 的基本仟伏安數值；
 $(KVA)_2 = VI_2/1,000$ 就是 $(\%Z)_2$ 的基本仟伏安數值。故此在同一電壓值下，一個阻抗 Z 的百分阻抗值是和它的基本仟伏安數值成正比例的。

$$\text{仿此,} \quad \frac{\%X_1}{\%X_2} = \frac{(KVA)_1}{(KVA)_2}, \quad (7)$$

及
$$\frac{\%R_1}{\%R_2} = \frac{(KVA)_1}{(KVA)_2} \quad (8)$$

當我們提到一個阻抗的百分值時，我們應該連帶地說明它的基本仟伏安數值，不然就沒有意義了。假設我們遇到一個電機器械的百分電抗值，而沒有告訴我們它的基本仟伏安數值時，則我們認為這個百分電抗值是根據這個器械的額定仟伏安容量而計算的。

例 3. 有一個電抗的百分電抗值是 12%，基本仟伏安值是 1,000 仟伏安。如果在同一電壓值下以 2,000 仟伏安作為基值，則它的百分電抗值是多少？

解：
$$(\%X)_2 = \frac{2,000}{1,000} \times 12\% = 24\%.$$

例 4. 一副 10 仟伏特單相輸電線的額定電流是 150 安培，電抗值是 0.4 歐姆，它的百分電抗值是多少？

解： 由第(2)式，

$$\%X = \frac{150 \times 0.4}{10 \times 1,000} \times 100 = 0.6\%.$$

例 5. 上題中所計算的百分電抗值它的基本仟伏安值是多少？

解： 基本仟伏安值
$$= \frac{10,000 \times 150}{1,000} = 1,500 \text{ 仟伏安}.$$

1-3 為什麼在障礙電流計算時，多採用百分電抗值而不用百分阻抗值？ 當某電路發生了障礙（例如短路等）時，所引起的變化極端複雜，絕對準確的計算幾乎是不可能的，而且自實用上說也是不需要的，因此不得不於計算時製定了一些合理的假設，目的在於簡化計算時的手續，但是仍然能夠保持着相當的準確程度。一般說來，交流發電機，限流電抗器和大容量的變壓器等部的內部百分電阻

值遠比它的內部百分電抗值為低，可以將百分電阻值忽略不計，單用百分電抗值。但是如果某些部分的百分電阻值相當的大，不容忽視時，就應當適當地計入。蘇聯的計算方法，凡是電路中各元件的百分電阻值之和 $\sum \%R$ ，小於該電路中各元件的百分電抗值之和 $\sum \%X$ 的三分之一時，或是說，當

$$\sum \%R < \frac{1}{3} \sum \%X$$

時，則 $\sum \%R$ 可以不計，反之，就應計入，此時電路中的等價百分阻抗值是：

$$\%Z = \sqrt{(\sum \%R)^2 + (\sum \%X)^2}. \quad (9)$$

至於電路中的 $\sum \%R$ 或 $\sum \%X$ 如何算法，以後另有說明。有時我們遇到某電路中包含有電纜，則電纜的百分電抗值反而比它的百分電阻值小了許多，在此種情形之下，我們反而可以忽略電路的百分電抗值不計。

上面所說的，以後都有舉例說明，此時暫不繼續討論。

1-4 串聯的百分電抗值 第 1 圖是一部發電機，它的漏磁電抗值為 X_1 歐姆，額定電壓為 V 伏特，額定電流為 I_1 安培，與兩只電抗器串聯着。一只電抗器的電抗值為 X_2 歐姆，額定電流為 I_2 安培。另一只電抗器的電抗值為 X_3 歐姆，額定電流為 I_3 安培。這三個電抗串聯着，構成一個等價的電抗，其數值為：

$$X_E = X_1 + X_2 + X_3 \text{ 歐姆。}$$

在以發電機的額定容量 $V \times I_1/1,000$ 仟伏安為基值下，這個等價電抗的百分值是：

$$\begin{aligned}\% X_E &= \frac{I_1 X_E}{V} \times 100 = \frac{I_1 X_1 + I_1 X_2 + I_1 X_3}{V} \times 100 \\ &= \frac{I_1 X_1}{V} \times 100 + \frac{I_2 X_2}{V} \times \frac{I_1}{I_2} \times 100 + \frac{I_3 X_3}{V} \times \frac{I_1}{I_3} \times 100\end{aligned}$$

但是

$$\frac{I_1 X_1}{V} \times 100 = \% X_1 \left(\text{基本仟伏安值爲 } \frac{VI_1}{1,000} \text{ 仟伏安} \right),$$

$$\frac{I_2 X_2}{V} \times 100 = \% X'_2 \left(\text{基本仟伏安值爲 } \frac{VI_2}{1,000} \text{ 仟伏安} \right),$$

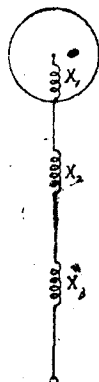
$$\frac{I_3 X_3}{V} \times 100 = \% X'_3 \left(\text{基本仟伏安值爲 } \frac{VI_3}{1,000} \text{ 仟伏安} \right).$$

故此上式可寫作：

$$\begin{aligned}\% X_E &= \% X_1 + \% X'_2 \times \frac{I_1}{I_2} + \% X'_3 \times \frac{I_1}{I_3} \\ &= \% X_1 + \% X'_2 \times \frac{VI_1}{VI_2} + \% X'_3 \times \frac{VI_1}{VI_3} \quad (10)\end{aligned}$$

$$= \% X_1 + \% X_2 + \% X_3. \quad (11)$$

上式中 $\% X_1$ 的基本仟伏值是 $VI_1/1,000$ 仟伏安，而 $\% X_2$ 是把以 $VI_2/1,000$ 為基本仟伏安的 $\% X'_2$ 照第(7)式變換為以 $VI_1/1,000$ 為基本仟伏安的百分電抗值。同樣的 $\% X_3$ 是把以 $VI_3/1,000$ 為基本仟伏安的 $\% X'_3$ 照第(7)式變換為以 $VI_1/1,000$ 為基本仟伏安的百分電抗值。故此 $\% X_1$ 、 $\% X_2$ 和 $\% X_3$ 的基本仟伏安數值是完全相同的。此式告訴我們：如果有好幾個電抗串聯着，而我們想把各個電抗的百分電抗值相加起來時，則各個電抗百分電抗值的基本仟伏安數值必須是相同的而後可以相加，否則我們應該先把各個百分電抗值用第(7)式變換成同一基本仟伏安值下的百分電抗值後，再行相加，此點極為重要。



第 1 圖

例6. 一部單相 100 仟伏安, 百分電抗值等於 12% 的發電機, 與一個 50 仟伏安, 百分電抗值等於 5% 的變壓器, 及一個 50 仟伏安, 百分電抗值等於 25% 的電抗器串聯使用。試求它們串聯後的等價百分電抗值。

解: 以發電機的額定容量 100 仟伏安作為基值, 把變壓器及電抗器的百分電抗值用第(7)式換算如下:

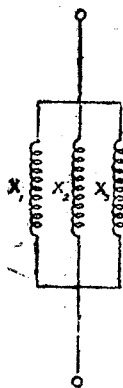
$$\text{變壓器新的百分電抗值} = \frac{100}{50} \times 5\% = 10\%,$$

$$\text{電抗器新的百分電抗值} = \frac{100}{50} \times 25\% = 50\%,$$

全電路的等價百分電抗值是:

$$\begin{aligned} \%X_E &= 12\% + 10\% + 50\% \\ &= 72\%, (\text{基值} = 100 \text{ 仟伏安}). \end{aligned}$$

1-5 並聯的百分電抗值 第2圖是三個並聯的電抗 X_1 、 X_2 和 X_3 歐姆, 它們的額定電壓都是 V 伏特, 額定電流分別是 I_1 、 I_2 和 I_3 安培, 它們並聯後的等價電抗是:



$$X_E = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3}} \text{ 歐姆}. \quad (12)$$

它們的等價百分電抗值是:

$$\begin{aligned} \%X_E &= \frac{I_T X_E}{V} \times 100\% \\ &= \frac{I_T}{V} \times \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3}} \times 100\%. \quad (13) \end{aligned}$$

第2圖 上式中, $I_T = I_1 + I_2 + I_3$ 安培。

我們可以將第(13)式寫作：

$$\begin{aligned} \% X_E &= \frac{1}{\frac{I_T X_1}{V} \times 100 + \frac{I_T X_2}{V} \times 100 + \frac{I_T X_3}{V} \times 100} \% \\ &= \frac{1}{\frac{I_1 X_1}{V} \times \frac{I_T}{I_1} \times 100 + \frac{I_2 X_2}{V} \times \frac{I_T}{I_2} \times 100 + \frac{I_3 X_3}{V} \times \frac{I_T}{I_3} \times 100} \% \quad (14) \end{aligned}$$

我們把上式中的 $\frac{I_1 X_1}{V} \times 100$ 叫做 $\% X'_1$ ，它的基值是 $\frac{VI_1}{1,000}$ 仟伏安；

$\frac{I_2 X_2}{V} \times 100$ 叫做 $\% X'_2$ ，它的基值是 $\frac{VI_2}{1,000}$ 仟伏安；及 $\frac{I_3 X_3}{V} \times 100$

叫做 $\% X'_3$ ，它的基值是 $\frac{VI_3}{1,000}$ 仟伏安，則上式可寫作：

$$\% X_E = \frac{1}{\frac{1}{\% X'_1 \times \frac{VI_T}{VI_1}} + \frac{1}{\% X'_2 \times \frac{VI_T}{VI_2}} + \frac{1}{\% X'_3 \times \frac{VI_T}{VI_3}}} \% \quad (15)$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{\% X_1} + \frac{1}{\% X_2} + \frac{1}{\% X_3}} \% \quad (16)$$

上式中的 $\% X_1$ 是把以 $\frac{VI_1}{1,000}$ 仟伏安為基值的 $\% X'_1$ 用第(7)式變

換成以 $\frac{VI_T}{1,000}$ 仟伏安為基值的百分電抗值； $\% X_2$ 是把以 $\frac{VI_2}{1,000}$ 仟

伏安為基值的 $\% X'_2$ 用第(7)式變換成以 $\frac{VI_T}{1,000}$ 仟伏安為基值的百

分電抗值； $\% X_3$ 是把以 $\frac{VI_3}{1,000}$ 仟伏安為基值的 $\% X'_3$ 用第(7)式

變換成以 $\frac{VI_T}{1,000}$ 仟伏安為基值的百分電抗值。由此看來， $\% X_1$ 、

$\%X_2$ 和 $\%X_3$ 的基本仟伏安值都是相同的，故此當許多個電抗並聯使用時，我們要把各個電抗的百分電抗值統一變成同一基本仟伏安下的百分電抗值後，才能應用第(16)式求得它們並聯之後的等價百分電抗值。這一點與上節中所說的有相類似的地方，也是極關重要的。

例 7. 三部交流發電機並聯使用；第一部的容量為 7,500 仟伏安，百分電抗值為 15%。第二部容量為 12,500 仟伏安，百分電抗值為 12%。第三部容量為 20,000 仟伏安，百分電抗值為 13%。試問並聯後的等價百分電抗值是多少 %？

解：以 10,000 仟伏安為共同的基值，把三部發電機的原來百分電抗值用第(7)式換算如下：

$$\text{第一部 } \%X_1 = \frac{10,000}{7,500} \times 15 = 20\%,$$

$$\text{第二部 } \%X_2 = \frac{10,000}{12,500} \times 12 = 9.6\%,$$

$$\text{第三部 } \%X_3 = \frac{10,000}{20,000} \times 13 = 6.5\%.$$

故此由第(16)式，等價的百分電抗值是：

$$\%X_E = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{1}{9.6} + \frac{1}{6.5}} = 3.24\%, (\text{基值為 } 10,000 \text{ 仟伏安}).$$

1-6 串聯及並聯的百分電抗值 當許多電抗連接成一組串聯及並聯的複雜電路時，我們可以按照下述辦法，把它們歸併成功一個等價的百分電抗值。

(1) 先將各個電抗的百分電抗值用第(7)式變換為同一基本仟伏安數值的百分值，基本仟伏安值可以任意的選定。