

# 電力系統中性點低電阻接地之電阻值探討

電機技師 陳耀彬

## 一、前言

一般工廠配電中之中壓系統(如 22.8 kV、13.8kV、11.4kV、6.9kV、4.16kV)常採用低電阻接地方式，相信參與工程規劃設計、電力系統運轉或維護工作者(包括筆者在內)可能會或曾被問或自問到：“為何要使用低電阻接地方式”、“如何選定該電阻器 NGR 之電阻值”、“有何依據”。有主張以 NGR 限制最大接地故障電流為滿載電流者，有主張限制最大接地故障電流為 1/3 滿載電流者，有主張限制最大接地故障電流為 1000A 者，筆者皆未看到有一明確論述(包括筆者曾規劃之 400A 者-新宇汽電廠)。最近(2002 年 7 月)因參與某汽電廠之規劃，過程中又被問及此問題，乃積極蒐集相關資料而探討之。

## 二、為何要使用低電阻接地系統

2.1 在一般工廠配電中，常被使用的接地方式有：直接接地、低電阻接地、高電阻接地、非接地等；其中非接地系統由於下列原因，除了特殊考慮(如核能發電廠內與核能安全有關之緊要系統-480Vac、120Vac、125Vdc、250Vdc[5.3])，已不常被使用。

- (1) 不易做好上下游過電流保護電驛之協調[5.1]。
- (2) 容易因接地故障處之再襲現象(re-striking ground faults)導致暫態過電壓，而中壓系統之 60Hz 測試電壓與其使用電壓間之餘裕小於低壓

系統者[5.5]，如表 2.1，而[5.6，p.272]指出：依實際量測經驗顯示此種暫態過電壓可達 5-6pu。

表 2.1

Highest Voltage For Equipment A (kV-r.m.s.)	Rated Power Frequency Short-duration Withstand B (kV-r.m.s.)	倍數 C = A/B
0.72	3	4.17
1.2	6	5
3.6	10	2.78
7.2	20	2.78
17.5	38	2.17
24	50	2.08
72.5	140	1.93
170(650BIL)	275	1.61

摘自 IEC 186-1987

(3) 第一次接地故障不易被檢(查)出，而可能因過電壓導致第二點異相之接地故障，變成相間故障[5.6，page313]。

2.2 中壓系統中常有大型旋轉機器(如馬達、發電機)接於該電壓系統，而此類旋轉機器之絕緣能耐較其它電氣設備者薄弱，需儘可能限制接地故障電流以避免或降低其對旋轉機器的層間絕緣之破壞(burning of laminations) [5.4]，故中壓系統得採用電阻接地方式。圖 2.2 為重繪自 GECALST-HOM(新宇汽電廠之發電機廠家)之發電機可承受接地故障電流-時間曲線圖，圖中可看出下列各點：

- (1) 如果最大接地故障電流被限制在 10A(高電阻接地之大約目標值，

詳細計算得參考[5.6, p.342])，而故障能在 4.5 秒內清除或隔離，則該發電機可確保在本質安全範圍內，這對於單機系統 (unit-connected) 是可達成的目標；但對於多回路配電系統，則因故障電流太小(尚須考慮能夠檢出十分之一程度的故障電流)，而不易做好上下游過電流保護電驛之協調。故高電阻接地較適用於大型發電機且屬單機者，而不適用於多回路配電系統。

- (2) 如果最大接地故障電流被限制在 100A(低電阻接地之範疇)，要確保該發電機在本質安全範圍內，該故障須能在 0.15 秒內清除或隔離，這對於供電給多回路配電系統之發電機(做為上游)是不易達到的目標；但對於各分路(屬最下游)之馬達是可達成的目標(使用 ZCT+50N，可設定為  $I_{0>/t_{0>>}} : 10A/0.1sec. , I_{0>>/t_{0>>}} : 50A/0.05 sec.$ ；此已考慮斷路器之跳脫遮斷時間-0.08sec.)。
- (3) 如最大接地故障電流被限制在 200A，即屬最下游之馬達將較難被確保在本質安全範圍內，而可使其落在”輕微破壞”之範圍內(如 140A/0.3sec.)。
- (4) 如最大接地故障電流被限制在 1000A，即屬最下游之馬達將較難被確保在”輕微破壞”而進入”嚴重破壞”之範圍內。

### 三、選定中性點電阻器 NGR 電阻值需考慮之因素

#### 3.1 旋轉機器對發生於其內的最大接地故

障電流時之承受度，如上述之說明，如有旋轉機器接於其上之系統，宜使用  $\leq 100A$  為目標值；而對於無旋轉機器接於其上之系統(如 22.8kV)，得使用較大之目標值，甚至使用直接接地方式(台電之 22.8kV 配電系統即使用直接接地方式)。

3.2 發生接地故障時，基於下列理由，不需考慮因中性點電位漂移可能造成之過電壓現象：

- (1) 即使屬非接地系統，中性點電位最大漂移至原系統之相對地電壓，非故障相對地電位則可能出現原系統之相對相電壓；電阻接地系統之兩者則較小。
- (2) 低電阻接地系統之保護電驛系統可在 1 秒內隔離或清除故障。
- (3) 一般中壓系統之變壓器中性點絕緣等級採與線端之絕緣等級相同，即全絕緣設計。(特高壓系統，如 161kV、345kV，基於變壓器造價成本之考慮，中性點常採降級絕緣設計)。
- (4) 由表 2.1 知：中壓系統之 60Hz 測試電壓與其使用電壓間之倍數達 2.08 以上。

3.3 發生接地故障時，在 NGR 之功率損失對系統的影響[5.1, p.645]

- (1) 以圖 3.3A 為例(摘自[5.1, Fig.4 on p. 645 ])，計算結果如表 3.3A，以 EXCEL 繪圖如圖 3.3B(與[5.1, Fig.5 on p.645 相吻合]，圖中顯示：在 NGR 之最大功率損失(0.893pu)發生在  $R=0.186pu$  時。[5.1]指出：在此單機系統中，發生接地故障時，可能因較大之功率損失導致發電機激烈搖擺

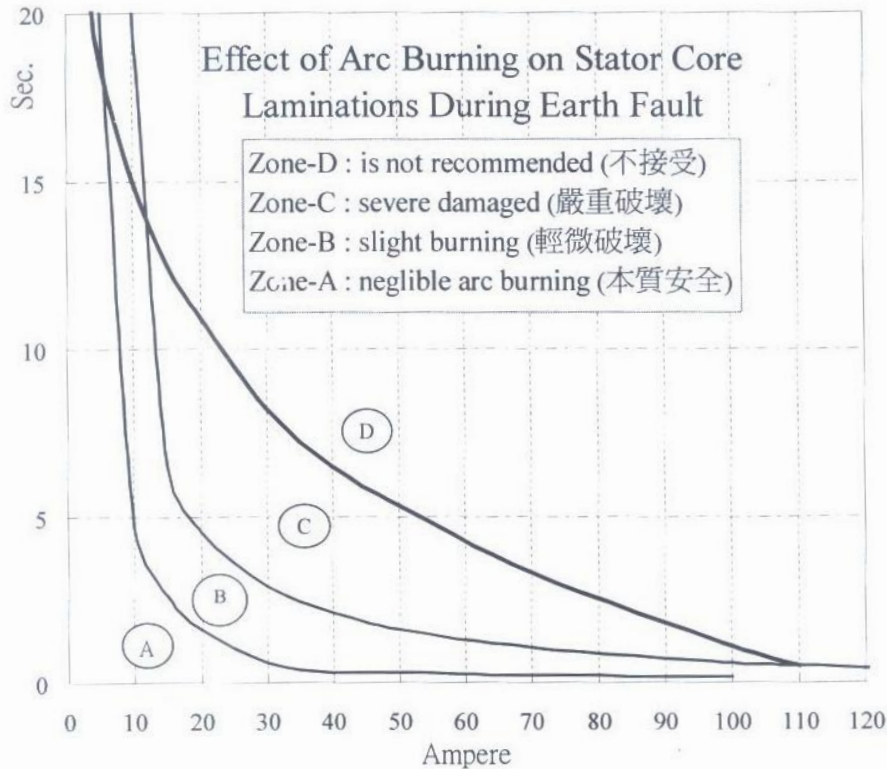


圖 2.2

(violent swinging)而陷入不穩定狀態。故[5.1, p.646]乃有“1/4 容量”之建議目標。

- (2) 上述之“1/4 容量”之建議目標，[5.1]並無明確說明是屬於上限值或下限值，易造成讀者(包括筆者)之混淆困擾，但由[5.1, Table 2 on p. 649 - 各種接地方式優劣比較表]中有關穩定度(stability)之比較，可推斷其應為上限值。
- (3) 進一步針對[5.1, Fig.6 on p. 645]探討，發現其所謂“1/4 容量”應該是指“最大接地故障電流為系統滿載電流的 1/4”，如表 3.3B 中之曲線圖與[5.1, Fig.6]相吻合，而表中之最大接地故障電流約為系統滿載電流的 1/4。
- (4) 系統穩定度此問題，對於由台電供電之用戶配電系統(相對於台電

系統相當微小)應無需顧慮；而對於由小容量緊急發電機獨立供電之系統則需小心規劃，但應可藉快速動作之保護電驛清除或隔離故障予以克服。

- (5) 表 3.3C 乃依上述(3)之方法，在<系統阻抗=0.01pu>、<變壓器阻抗=0.075pu>、<1/4 容量>之假設條件下，計算各種可能配電電壓/容量組合之 NGR 電阻值。以 22.8 kV/60MVA 為例， $I_{G-MAX}/NGR$  之目標值得為：380A/34.7Ω，且可看出  $I_{G-MAX}$  將隨容量變小而變小(成正比)。

### 3.4 保護系統之考慮(電驛與比流器)

- (1) 由表 3.3C 知：如以上述方法求得 NGR 電阻值則發生最大接地故障電流時之  $X_{equal} / R_{equal}$  皆為 0.02，這使得比流器因故障電流的

直流成分而飽和之問題變成無需顧慮。

- (2) 對於有旋轉機器接於其上之配電系統，如上說明宜使用 IG-MAX  $\leq 100A$  為目標值之 NGR，由於可能出現之接地故障電較小(須考

慮 1/10 之程度)，各分路宜以零相比流器予以檢出接地故障，主電源回路則可賴變壓器中性線上之比流器有效地檢出接地故障，如圖 3.4A。

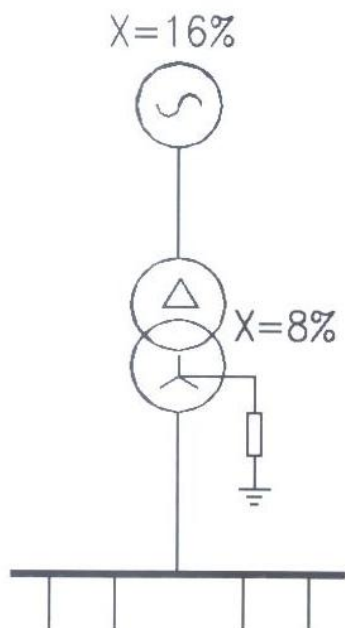


圖 3.3A

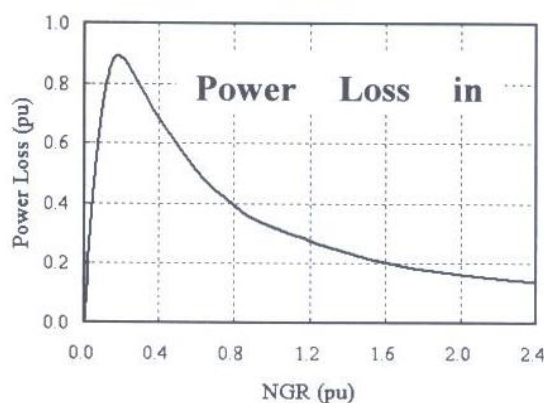


圖 3.3B

表 3.3A Power Loss in NGR

$X_G$ (pu)	0.16	0.16	<b>0.16</b>	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
$X_T$ (pu)	0.08	0.08	<b>0.08</b>	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
$R_{NGR}$ (pu)	0.001	0.05	<b>0.19</b>	0.4	0.8	1	2	2.5
$X_1$ (pu)	0.24	0.24	<b>0.24</b>	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
$X_2$ (pu)	0.24	0.24	<b>0.24</b>	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
$X_0$ (pu)	0.08	0.08	<b>0.08</b>	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
$X_{total} (= X_1+X_2+X_0)$	0.56	0.56	<b>0.56</b>	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
$Z = \sqrt{(3R)^2 + X_{total}^2}$	0.56	0.58	<b>0.79</b>	1.32	2.46	3.05	6.03	7.52
$I_f = 3 / Z$ (pu)	5.36	5.17	<b>3.79</b>	2.27	1.22	0.98	0.50	0.40
Power Loss (pu)	0.010	0.446	<b>0.893</b>	0.684	0.395	0.322	0.165	0.133

表 3.3B

系統(kV)	13.8							
發電機或系統阻抗 $X_G$ (pu)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
變壓器阻抗 $X_T$ (pu)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
系統容量(MVA)	5	10	20	50	100	200	400	600
系統滿載電流(A)	209	418	4184	8368	16735	20919	20919	25103
NGR (ohm)	156.2	78.1	7.8	3.9	2.0	1.6	1.6	1.3
最大接地故障電流 (A)	51	102	1019	2039	4078	5097	5097	6116

表 3.3C

系統(kV)	4.16			11.4			13.8			22.8		
發電機或系統阻抗 $X_G$ (pu)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
變壓器阻抗 $X_T$ (pu)	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
系統容量 (MVA)	2	5	10	5	10	20	10	20	40	20	40	60
系統滿載電流 (A)	278	694	1388	253	506	1013	418	837	1674	506	1013	1519
NGR (ohm)	34.6	13.8	6.9	104.0	52.0	26.0	76.2	38.1	19.0	104.0	52.0	34.7
$X_{equ1} / R_{equ1}$	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
最大接地故障電流 $I_G$ (A)	69	173	347	63	127	253	105	209	418	127	253	380

(3) 對於無旋轉機器接於其上之配電系統，可視情況選用直接接地方式、 $\leq 100A$  低電阻接地、或  $>100A$  低電阻接地，如使用較大

接地故障電流目標值時，則可用 3 只相比流器殘餘接法檢出接地故障，如圖 3.4B，但其連接之 51N 電流值無法設定為較小(避免誤動

作)，所以嚴謹的保護仍以圖 3.4A 之零相比流器配合 51N 才能確實且迅速檢出排除較小的接地故障；[5.7]介紹說明如何使用零相比流器-電驛以獲得最佳之保護(較高之靈敏度且避免誤動作)；下列核三廠之最末端設備分路設定即皆採用零相比流器檢出排除較小的接地故障(其採用 1000A 之低電

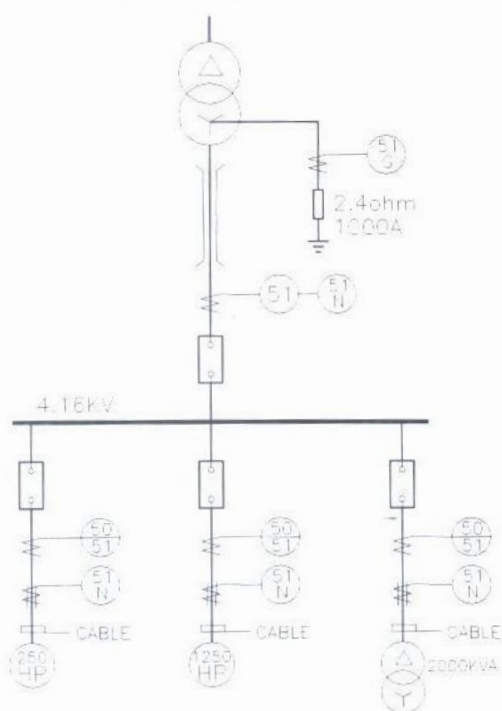


圖 3.4A

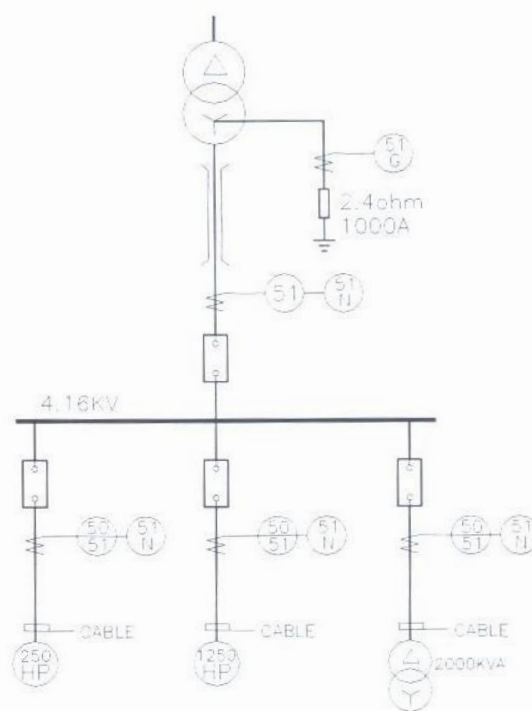


圖 3.4B

阻接地方式系統對接於其上的馬達無法提供適當之保護)。

表 3.4

系統電壓	接地方式	51 設定
13.8kV	NGR (8Ω/1000A)	30A / 0.1sec.
4.16kV	NGR (2.4Ω/1000A)	30A / 0.1sec
480V	直接接地	10A / 0.033sec.

#### 四、結語

- 4.1 中壓系統如接有馬達，宜採  $\leq 100\text{ANGR}$  之低電阻接地方式。
- 4.2 中壓系統如無馬達接於其上，得採  $\leq 100\text{ANGR}$  或  $>100\text{A NGR}$  之低電阻接地方式或直接接地方式。
- 4.3 大型發電機宜採單機系統架構和高電阻接地方式(約 10A 程度)。
- 4.4 中小容量(緊急)發電機獨立供電系統，宜採高電阻接地方式或  $\leq 100\text{A}$

NGR 之低電阻接地方式。

#### 五、參考資料

- 5.1 Westinghouse, "Electrical Transmission and Distribution Reference Book" (Chapter 19, Grounding of Power System Neutrals)
- 5.2 台電工程月刊，第409期(71.9)，李森源，“近年臺電一次系統故障容量及接地方式檢討”
- 5.3 台電工程月刊，第497期(79.1)，陳耀

彬,“匯流排電氣故障探討”

- 5.4 IEEE Std 142-1972, “IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power System”
- 5.5 Westinghouse Electric Corporation, Technical Document, “System Neutral Grounding and Grounding Fault Protection Guide”
- 5.6 G.E. “Industrial Power System Data

Book”

- 5.7 Billy Breikreutz, “Core Balance Ground Fault Protection of Motors on a Low-Resistance Ground, Medium-Voltage System”, IEEE Transaction On Industry Application, Vol. 31, No.6, November/Dexember 1995.

咦！  
保護電驛？

請參加

保護電驛訓練班。

