

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 科學園區氣封開關設備外殼暫態感應電壓及雜散電流特性 研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 96-2221-E-168-034-  
執行期間：96年08月01日至97年07月31日  
執行單位：崑山科技大學電機工程系

計畫主持人：王瑋民  
共同主持人：黃清池  
計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：蔡昆旭  
碩士班研究生-兼任助理人員：施冠亦

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 97年09月11日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告  
 期中進度報告

科學園區氣封開關設備外殼暫態感應電壓  
及雜散電流特性研究

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫  
計畫編號：NSC 96-2221-E-168-034-  
執行期間：96 年 8 月 1 日至 97 年 7 月 31 日

計畫主持人：王瑋民  
共同主持人：黃清池  
計畫參與人員：蔡昆旭 施冠亦

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、  
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢  
 涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：崑山科技大學電機系

中 華 民 國 97 年 8 月 31 日

摘 要

大環境變遷與因應高科技產業快速發展，為提高供電品質，高壓輸電線路之規劃設計已逐漸由架空方式轉變為地下化，同時採用氣封開關設備(GIS)之室內變電所設計方式日益普及。由於電力系統開關操作時，GIS 外殼易發生感應暫態過電壓，與其他設備具電位差時(如電纜遮蔽層)，極易造成過電壓火花放電，除威脅人員安全外，對電力品質亦成為一潛在影響因素。

GIS 外殼分成數段，各段 GIS 內的相導體對外殼有分佈電容存在。為避免造成環流，支持鐵架與避雷器接地線分別單獨接至共同接地匯流排。因此兩端電壓差即可能造成環流及暫態電壓之火花放電。本計畫以南科超高壓變電所 345kV GIS 為研究對象，除模擬雜散電流外，同時針對斷路器啟、閉時之暫態特性，探討其對 GIS 外殼感應電壓影響；本報告利用 ATP 電磁暫態軟體，進行模擬驗證。另外地網高頻模型亦為一影響開關突波重要參數，本計畫亦一併列入分析。

關鍵詞：氣封開關設備，科學園區

## Abstract

Owing to the variances of living environment and promoting the power quality, TPC's transmission lines are gradually designed as the underground type. In the meanwhile, the gas-insulated switchgear (GIS) is employed for the indoor-type substations. When the switching operations are performed, the transient high voltage will occur on the enclosure of GIS. This transient voltage may lead to flashover between the junction with different voltage (like sheath layer of power cable). The phenomenon of flashover will result to the danger of crews and influence the power quality.

GIS is composed of several segments of metal compartment, the capacitance exists between the phase conductor and enclosure. To prevent the loop current happen, the grounding of supporting shelf and sheath layer of power cable are connected to ground network independently. In this report, based on the Nan-Ke E/S 345 kV GIS, the stray current and switching transient voltage of the enclosures of GIS are studied. The ATP software package is used for simulations. The effects of high frequency ground network model on the switching transient are taken into consideration in this report.

Keywords: GIS, Science-Based Industrial Park

## 前言

近年社會環境變遷，傳統開放式變電所需逐漸改換為佔地較小之室內型變電所 [1]。GIS 遂成為開關設備運用主流，其使用六氟化硫(SF<sub>6</sub>)為絕緣材質，擁有優良之絕緣特性以及消弧能力，GIS 主要優點為

### 1. 佔地空間小，適合多種地區環境

GIS 需求佔地空間約為傳統開放式開關 5~10%，有效解決設置空間取得不易問題。同時其適用環境包括屋內或屋外，特別對其他條件較差之環境，如鹽害之海邊、寒冷之高山或者雪地區域均能適用。

### 2. 安全裕度高、高可靠度以及維護週期長

由於導體部分均密封於金屬包封容器內，感電機率較低，受環境、外在因素影響也較少。同時因密封結構之特性，絕緣特性較能維持良好，維護需求較少。

儘管如此，因 GIS 密閉式之特性，較不易預先由外觀檢測，同時若發生故障亦不易判定故障點，修復時間亦較一般傳統開放式開關設備長。

GIS 外殼分成數段，各段之間主要靠螺絲連接，各段 GIS 內的相導體對外殼有分佈電容存在，PT 高壓側中性點一般接於 GIS 外殼，而低壓側中性點則連接至設備再接至設備再接至接地匯流排，避雷器接地線是單獨接至共同接地匯流排，未共接於 GIS 外殼 [2]。由於 GIS 與接地網相距甚遠，因此採用共同接地匯排流供 GIS 外殼及各設備接地。利用各段 GIS 外殼與內部導體之電容及各接地線之電感，可用 ATP 程式模擬開關突波現象。

## 研究目的

南科 E/S 為一室內型變電所，345kV 主電源由曾文溪口，採地下洞道系統利用電力電纜引入變電所。為提高供電品質，相關電纜相關研究包括：電纜破壞、終端匣破壞，接續匣破壞與 GIS 電纜油槽。維護監測項目主要包括 GIS 外殼循環電流、高頻暫態放電現象及鐵構接地系統雜散電流分佈。



圖 1 GIS 外殼三相短接



圖 2 獨立分開接地線

南科 E/S 運轉初期，345kV GIS 外殼與支撐鐵構三相單獨短接後接地，發現產生約 200A 感應雜散循環電流，導致 GIS 外殼溫度異常升高。後將 GIS 外殼三相短接後再由 S 相鐵架予接地(如圖 1)，有效減少流經接地線循環電流，此外為避免鐵架與電纜遮蔽層間形成環流，兩者之接地線採獨立分開個別接地，如圖 2。另由於開關突波經常造成 GIS 外殼與電纜下部金具間發生閃絡現象，因此設計加裝避雷器元件 SVL (Surge Voltage Limiter)以抑制異常循環電流及暫態電壓火花放電現象，本文以 ATP 模擬穩態時雜散循環電流及開關投入時造成之暫態電壓。

## 研究方法

本報告研究方法包括 GIS 外殼與電纜遮蔽層處接地方式、高頻地網模型及開關暫態三部份，分述如後：

### 1. GIS 外殼與電纜遮蔽層處接地方式

圖 3 所示為變電所 GIS 及電纜接地相關的接地導體互連及接地方式。變電所接地導體將各種設備接至地網的導體，包括接地線、接地電纜及接地銅排等。電纜進入變電所後之接地及變電所內各種設備之接地，所使用的接地導體相當多且複雜，圖中 GIS 外殼與電纜遮蔽層為絕緣處理，為防止暫態電壓（開關突波）引起之閃絡，加裝 SVL 做為暫態突波洩放路徑。圖中 CCPU (Cable Cover Protective Unit) 為變阻體元件，裝於電纜遮蔽層之非接地端，避免環流產生。

此外 GIS 外殼與支持鐵構間亦可能因感應電壓而形成雜散環流，其現象與電纜遮蔽層接地相同。

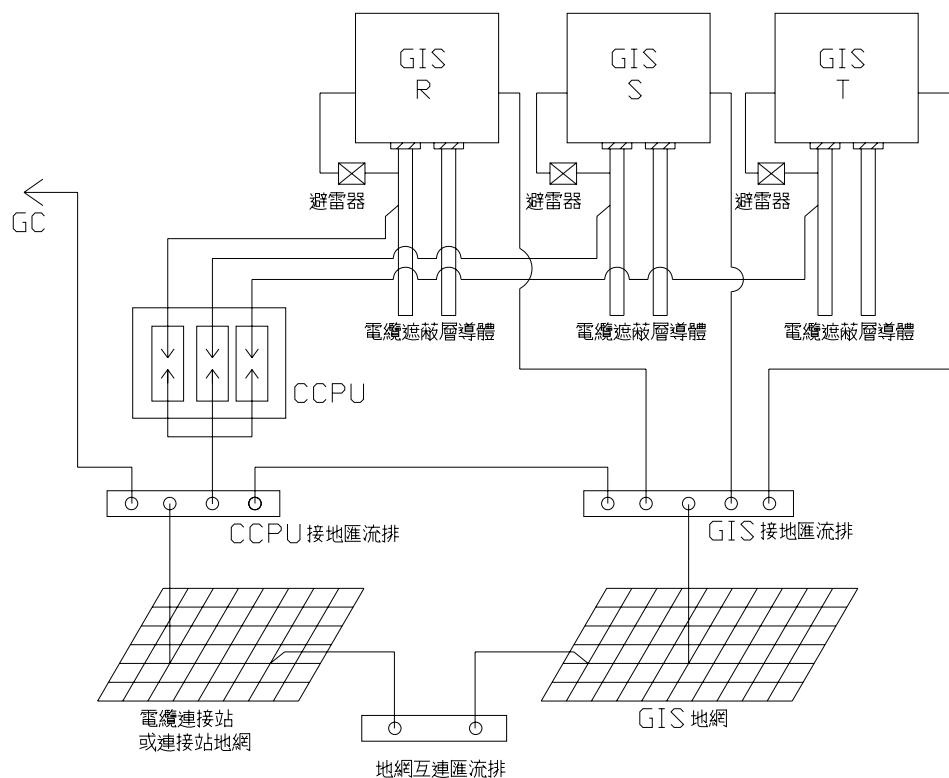


圖 3：變電所內 GIS 及電纜遮蔽層接地互連方式

## 2. 高頻地網模型

為考慮地網對高頻率開關突波響應影響，本文參考文獻[3-5] 地網高頻分佈模型如圖 4，參數計算如公式(1)~(4)。

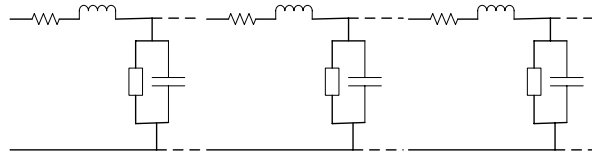


圖 3：高頻地網導體模型

$$L_i \approx \frac{\mu_0 l_i}{2\pi} \times (\ln \frac{2l_i}{a} - 1) \quad H \quad (1)$$

$$r_i = \frac{\rho}{2\pi l_i} \times \left[ \frac{2h+a}{l_i} + \ln \frac{l_i + \sqrt{a^2 + l_i^2}}{a} - \sqrt{\left(\frac{a}{l_i}\right)^2 + 1} \right. \\ \left. + \ln \frac{l_i + \sqrt{4h^2 + l_i^2}}{2h} - \sqrt{\left(\frac{2h}{l_i}\right)^2 + 1} \right]^{-1} \quad \Omega \quad (2)$$

$$C_i(a_i) = 2\pi\epsilon l_i \times \left[ \frac{a_i}{l_i} + \ln \frac{l_i + \sqrt{a_i^2 + l_i^2}}{a_i} - \sqrt{\left(\frac{a_i}{l_i}\right)^2 + 1} \right]^{-1} \quad F \quad (3)$$

$$G_i = \frac{C_i}{\epsilon\rho} \quad \Omega^{-1} \quad (4)$$

其中

$l$  為每段網目地網導體線長度(取 20 米)

$a$  為地網導體半徑(約 0.0056 m)

$\rho$  為土壤電阻係數(約 100  $\Omega$ -m)

$h$  為地網埋設深度(約 80cm)

## 3. 暫態開關突波

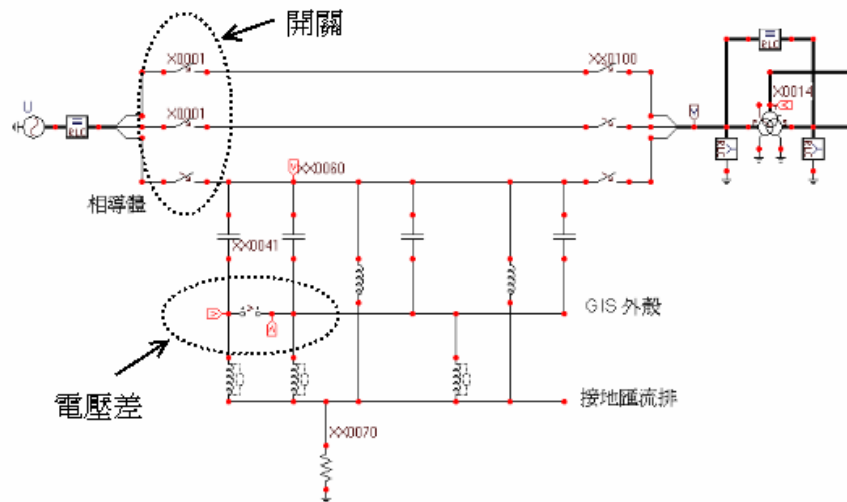


圖 4 GIS 之暫態開關突波模擬電路

圖 4 為 GIS 之簡化 ATP 電路模型，在開關投入時，相導體對外殼間電容與接地線電感將形成振盪電路。由於機械特性[4]，斷路器三相接點投入時將不同步，假設 C 相接點先投入，A、B 相再同步投入，則 C 相投入時形成一單相 RLC 二階電路[5]，忽略接地電阻值，於 GIS 外殼與電纜遮蔽層接地間電壓基本方程式可簡化為公式(5)：

$$v_{GIS-G} = \frac{-\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2} V_m [\cos(\omega t) - \cos(\omega_0 t)] \quad (5)$$

其中  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ， $V_m$  為電壓峰值

## 結果與討論

### 1. 雜散電流模擬

圖 5(a)~(b)為量測點示意圖，分為三相短接前後狀況，圖 5(c)為 ATP 模擬電路，模擬結果如圖 6~圖 8 及表 1~2。

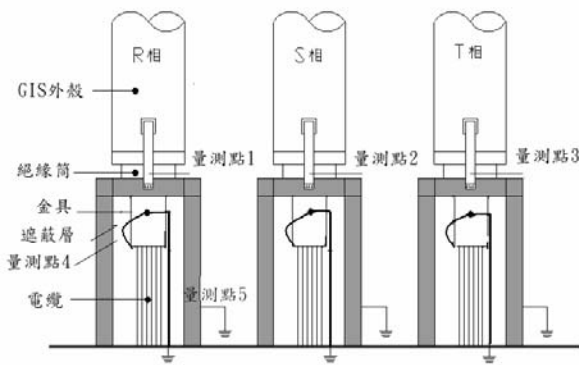


圖 5(a) 三相短接前量測點示意圖

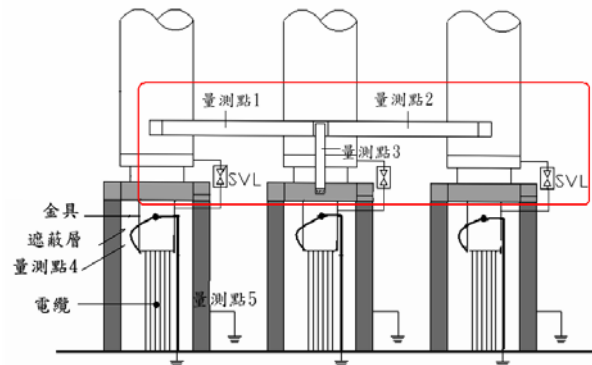


圖 5(b) 三相短接後量測點示意圖

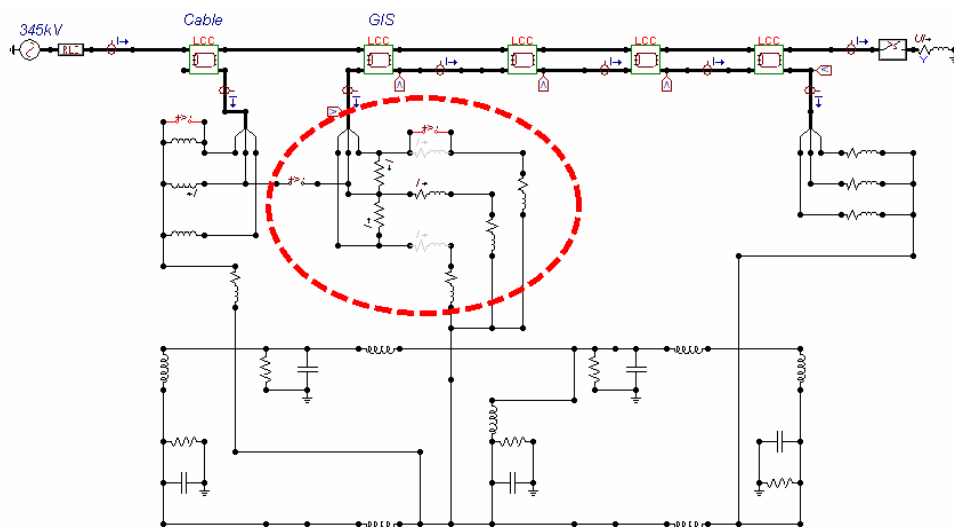


圖 5(c) ATP 模擬電路

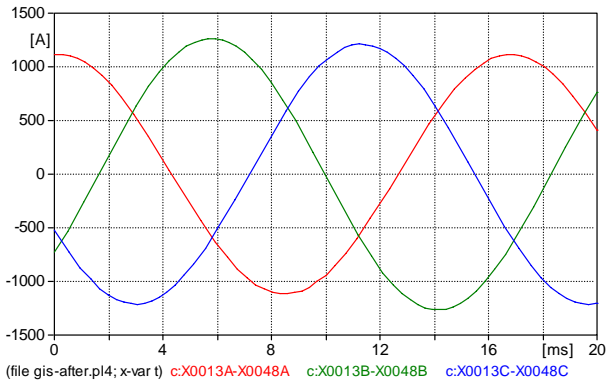


圖 6 負載電流

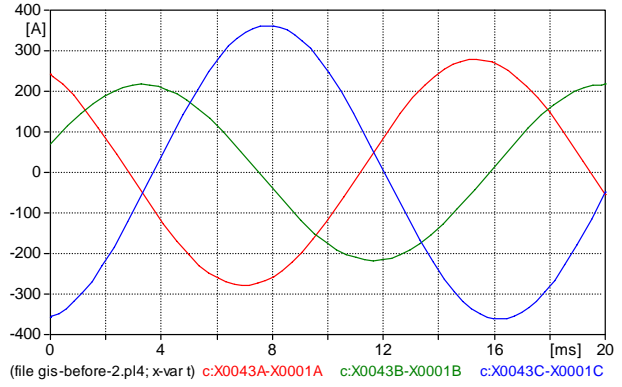


圖 7(a) 鐵架對地電流 (未短接)

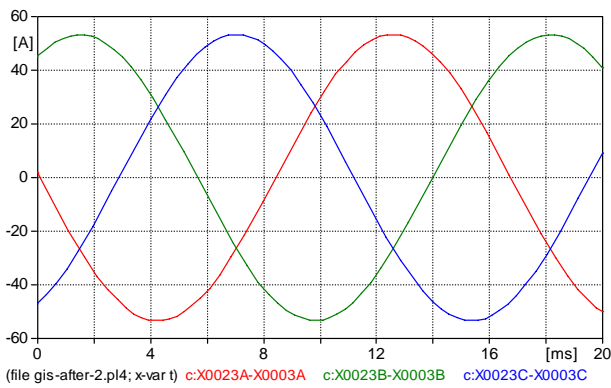


圖 7(b) 遮蔽層對地電流 (未短接)

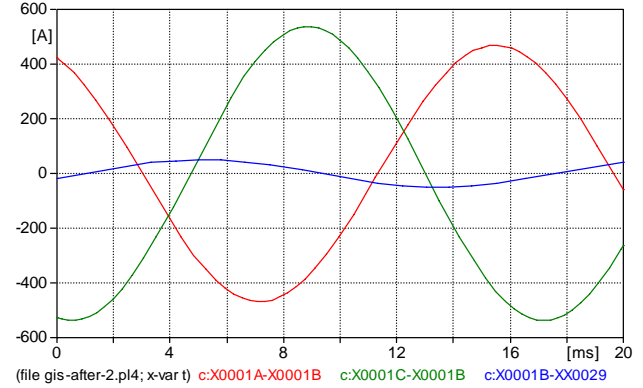


圖 8(a) GIS 外殼電流 (短接後)

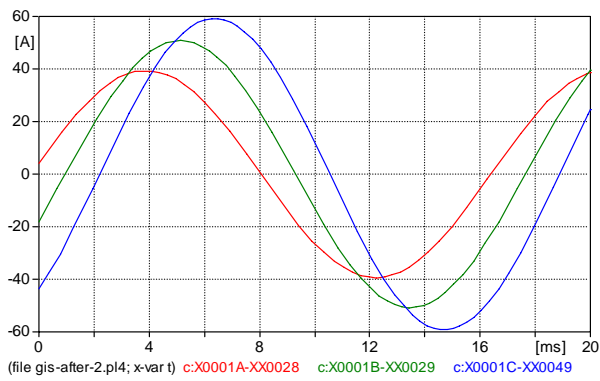


圖 8(b) 鐵架對地 (短接後)

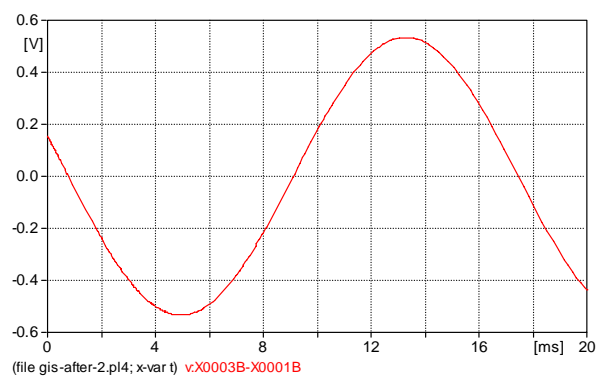


圖 8(c) 鐵架對遮蔽層電位差



表 1 三相未短接電流(R 相 rms, A)

量測點	實測	模擬
1	214	210
2	232	254
3	225	220
4	64	61
5	201	210
備註：三相負載電流為 893A、856A 及 789A		

表 2 三相短接後電流 (rms, A)

量測點	實測		模擬	
1	211		246	
2	291		333	
3	36		35	
	(R 相)	(S 相)	(R 相)	(S 相)
4	25	23	35	34
5	63	62	42	35
備註：三相負載電流為 930A、923A 及 910A				

## 2. 開關突波模擬

圖 7 為 ATP 模擬之簡化 GIS 等效電路，相導體對外殼電容值及電感可依公式(6)及(7)估算

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad \text{F/m} \quad (6)$$

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad \text{H/m} \quad (7)$$

a 為相導體半徑，b 為外殼內半徑

參考一般經驗值[6-8]，GIS 相導體對外殼分佈電容電容(C)取 100pF，電纜對遮蔽層電容取 0.3μF；連接接地網之接地線電感 (L) 取 1.3 μH/m；電源電阻及接地電阻取 0.1 歐姆。模擬電路如圖 9，結果如圖 10(a)~(c)。其次模擬加入 SVL (放電電壓 4kV) 後響應，結果如圖 11(a)~(b)。

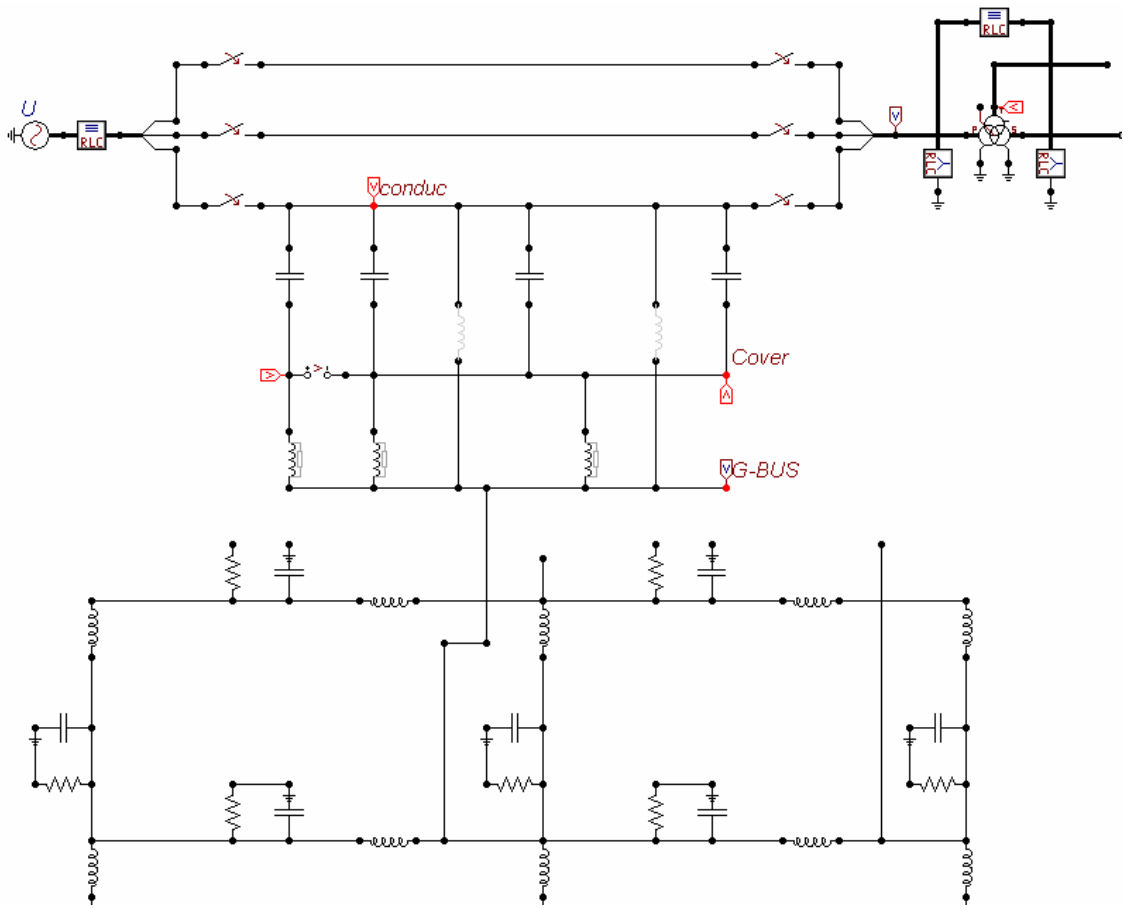


圖 9 ATP 模擬 GIS 電路

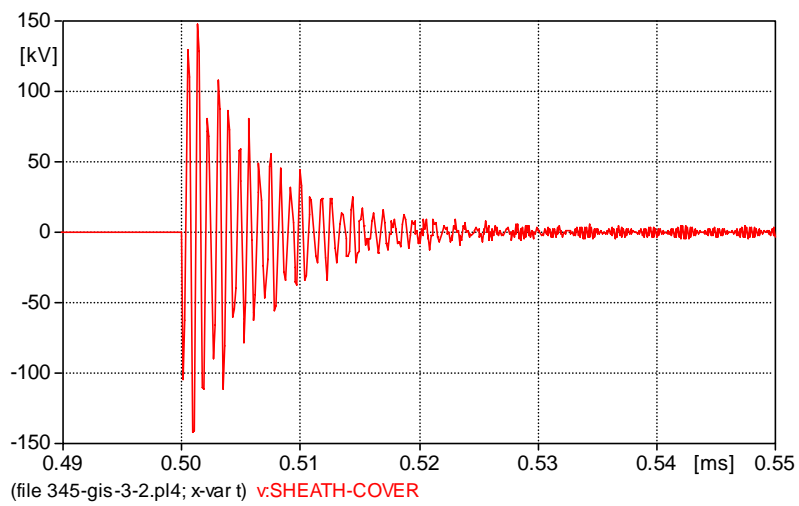


圖 10(a) GIS 外殼與電纜遮蔽層間暫態電壓

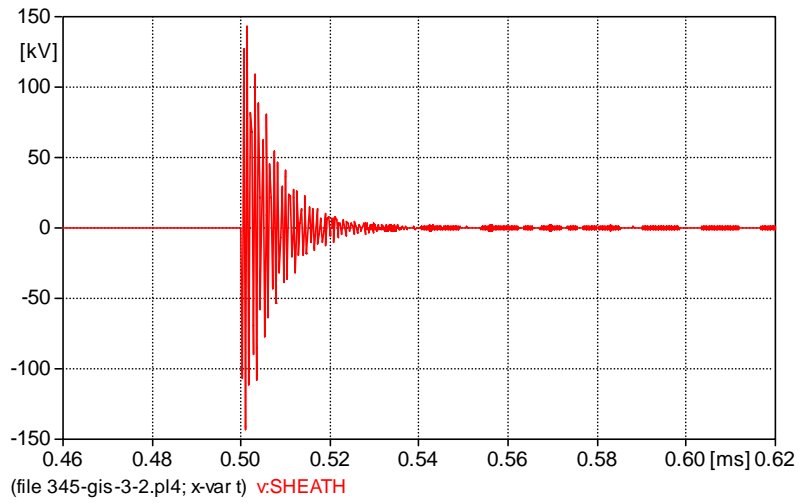


圖 10(b) 電纜遮蔽層接地間暫態電壓

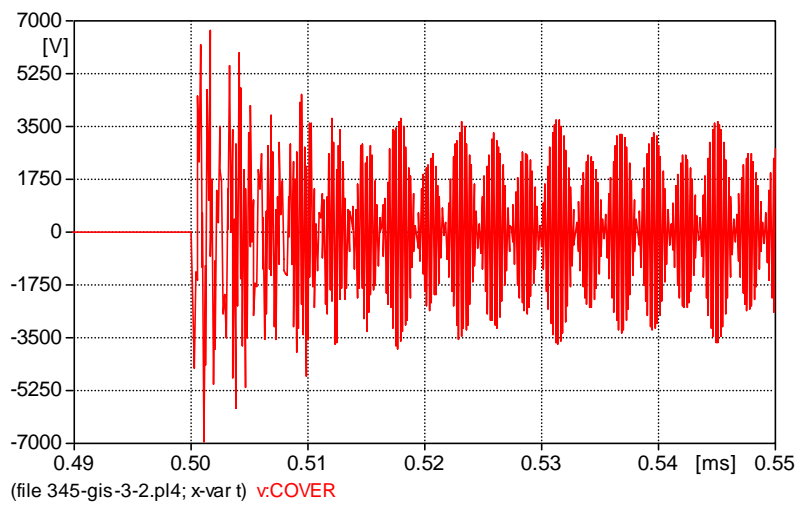


圖 10(c) 外殼上暫態電壓

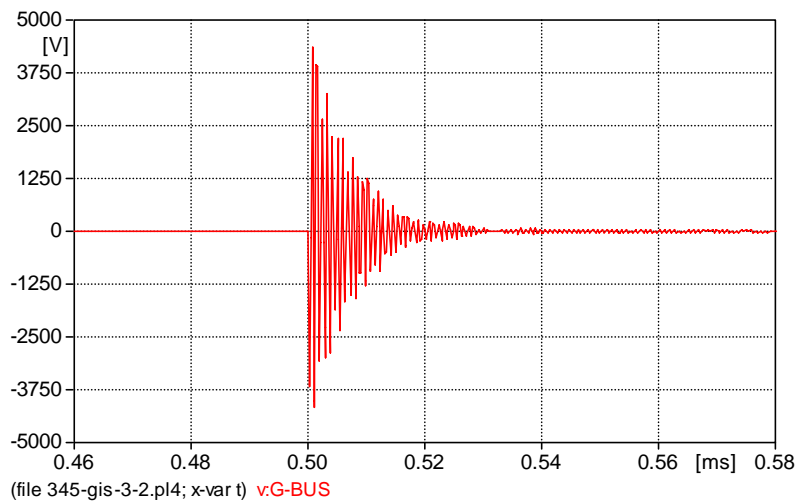


圖 10(d) 接遮銅排上暫態電壓

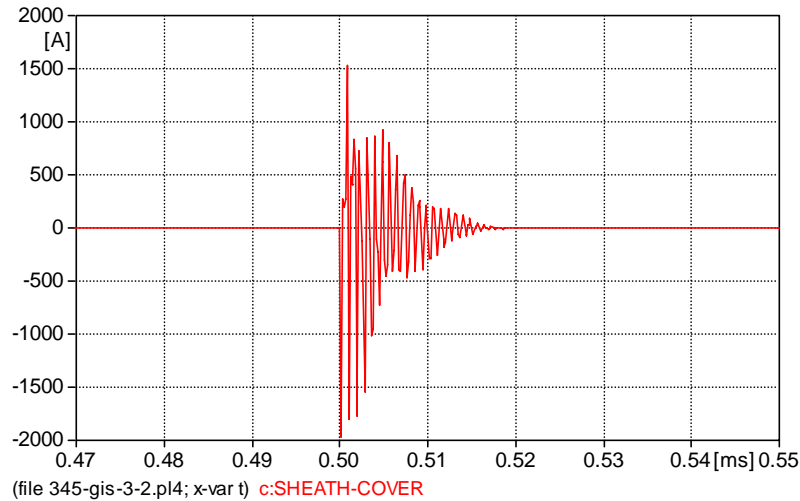


圖 11(a) SVL 放電電流

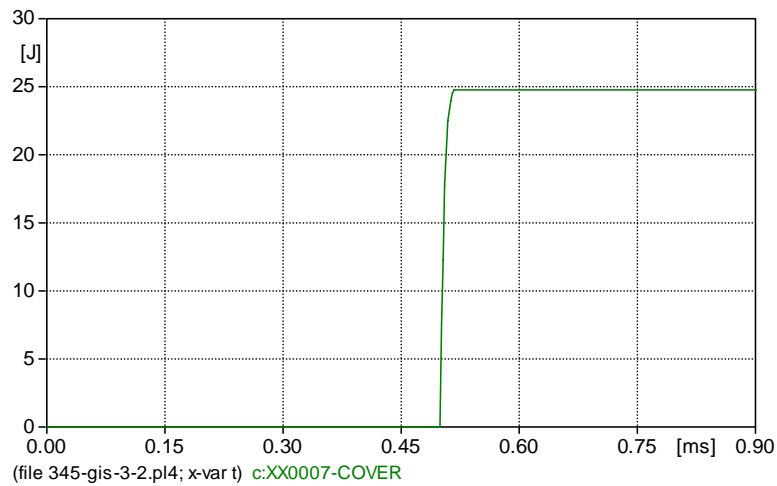


圖 11(a) SVL 上能量

模擬結果顯示暫態電壓峰值達 150kV，震盪頻率約為 5 MHz，此暫態電壓可能引起閃絡。裝設 SVL 後，其上能量約 25J。

### 計畫成果自評

本計畫主要成果為：

1. GIS 外殼三相經一長銅板短接後，透過單相（S 相）接一銅板至電纜終端匣鐵構台架接地，可有效降低金具間流經鐵構台架之雜散電流，降低熱損失亦間接提升供電環境安全；但此時需預防 R 及 T 相因開關突波引起與金具間之火花放電。
2. 由於 GIS 斷路器三相接點投入時之時間差，由模擬結果發現可能在 GIS 外殼與電纜金具間可能產生數百 kV 頻率之暫態電壓，可藉由加裝 SVL 方式避免火花放電。
3. 所需裝設 SVL 容量不大，能量約 25J。

計畫結果提供台電或業界工廠變電所 GIS 設備設計及維護參考，提升供電環境

安全及品質，研究成果將投稿於 97 年電力研討會。

### 參考文獻

- [1] 陳建賢，”氣封絕緣開關運用與維護實務”，電機月刊第十七卷第四期，pp.204~218，2002。
- [2] 周至如，”161kV 供電之高科技工廠接地問題檢討與改善對策”，電機月刊第十一卷第十一期，pp.238~257，2001。
- [3] M.Ramamoorthy, “Transient Performance of Grounding Grids,” IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 4, No. 4, October 1989, pp. 2053-2059.
- [4] S. Karaki, “Transient Impedance of GIS Grounding Grid,” IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 10, No. 2, April 1995, pp. 723-731.
- [5] Rong Zeng, “Lightning Impulse Performances of Grounding Grids for Substations Considering Soil Ionization,” IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 4, No. 4, October 1989, pp. 2053-2059.
- [6] “IEEE application guide for shunt reactor switching”, IEEE Std C37.015-1993.
- [7] Hiroshi Tanae, ” High-Frequency Reignition Current and Its Influence on Electrical Durability of Circuit Breakers Associated with Shunt-Reactor Current Switching,” IEEE Transactions on power Delivery Vol 19 No.3 July 2004, pp.1105~1111.
- [8] 張宏展，「並聯電抗器之 GCB 啟閉特性與診斷研究」，台電研究案，2003。