

**ADI**

Aurora Diode Inc.

工業電路瞬態電壓保護



Industrial Circuit Transient Voltage Protection

# 電路保護

- 當前，產品安全性越來越受到重視，法規要求產品需具備防雷等級，如 IEC61000-4-5 和 IEC61000-4-2。某些出口產品必須通過相應的安規認證，才能進入市場。
- 隨著電路集成度的提高和晶片的小型化，IC 的抗干擾能力逐漸減弱，電磁相容問題更加突出。
- 在電路中添加低成本的保護器件，可以有效保護主晶片等高成本元件免受瞬態干擾電壓的損壞，從而降低產品的開發成本。
- 設計保護器件能提高產品的可靠性，降低故障率，減少維護和維修成本。
- 雷電對電子產品的損害往往是致命的，在 AC 電源輸入端加入防雷保護器件，可以減少雷擊損害，並保護人身安全。
- 高品質產品能提升市場競爭力，從而滿足客戶需求。

- Quality is not just a part of our process  
it is the way we work.



# 相關測試標準

標準類別	標準類型	標準編號	標準標題
GB	ESD	GB/T 17626.2	電磁相容 試驗和測量技術靜電放電抗擾度試驗
IEC		IEC6000-4-2	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test
GB	EFT	GB/T 17626.4	電磁相容 試驗和測量技術電快速瞬變脈衝群抗擾度試驗
IEC		IEC61000-4-4	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test
GB	Surge	GB/T 17626.5	電磁相容 試驗和測量技術浪湧（衝擊）抗擾度試驗
IEC		IEC61000-4-5	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test

- Quality is not just a part of our process  
it is the way we work.



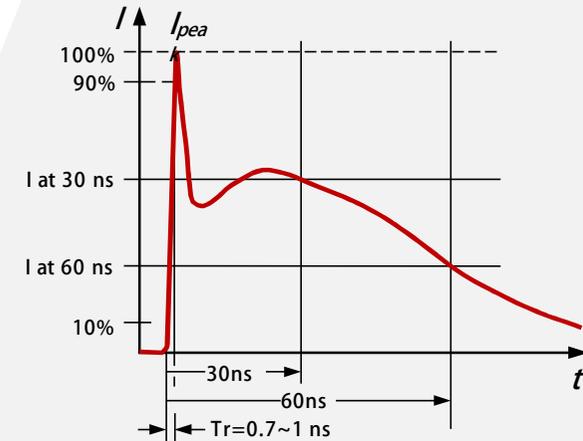
# GB/T 17626.2/IEC61000-4-2

靜電放電波型參數

等級	指示電壓	第一峰值放電電流 (±15%)	上升時間 Tr (±25%)	30 ns處放電 電流 (± 30%)	60 ns處放電 電流(±30%)
	kV	A	ns	A	A
1	2	7.5	0.7~1	4	2
2	4	15	0.7~1	8	4
3	6	22.5	0.7~1	12	6
4	8	30	0.7~1	16	8

用於測量30 ns和60 ns電流時間的參考點是電流首次達到放電電流第一個峰值的10%時的瞬間。  
注意上升時間Tr是第一峰值電流的10%到90%之間的時間間隔。

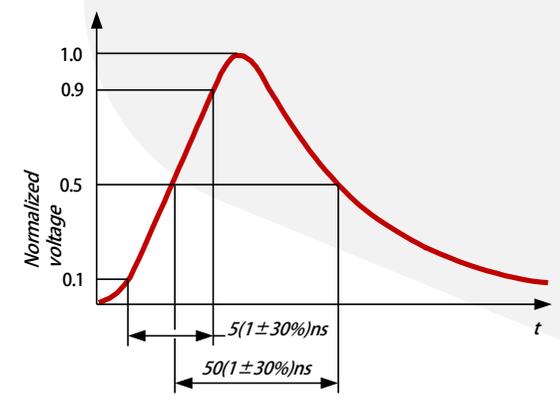
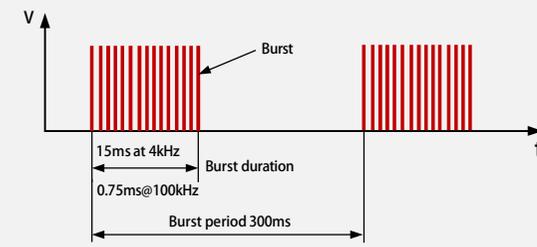
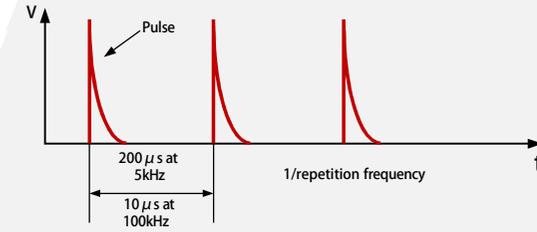
測試等級				
測試等級	等級1	等級2	等級3	等級4
接觸放電	2	4	6	8
空氣放電	2	4	8	15



# GB/T 17626.4/IEC61000-4-4

開路試驗電壓和脈衝的重複頻率

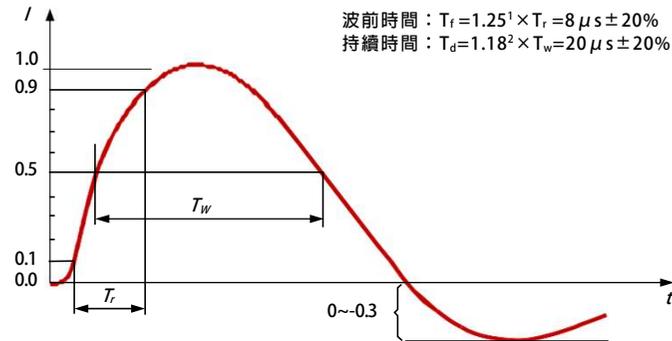
等級	供電電源埠保護接地(PE)		I/O(輸入/輸出)信號資料和控制埠	
	電壓峰值	重複頻率	電壓峰值	重複頻率
	(kV)	(kHz)	(kV)	(kHz)
1	0.5	5 或者 100	0.25	5或者100
2	1	5或者100	0.5	5或者100
3	2	5或者100	1	5或者100
4	4	5或者100	2	5或者100



# GB/T 17626.5/IEC61000-4-5

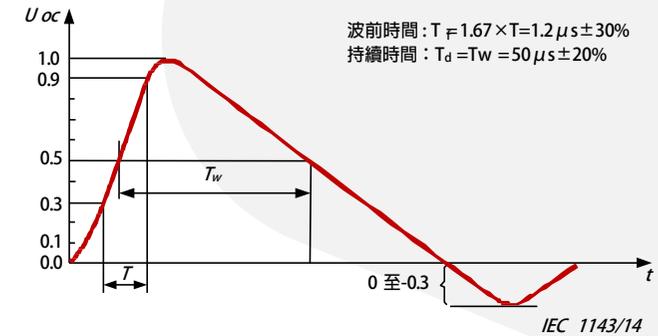
峰值開路電壓與峰值短路電流的關係

開路電壓峰值 (±10%)	短路電流峰值 (±10%) (18μF)	短路電流峰值 (±10%) (9μF+10Ω)
0.5kV	0.25kA	41.7A
1.0kV	0.5kA	83.3A
2.0kV	1.0kA	166.7A
4.0kV	2.0kA	333.3A



8/20 μs 電流波

IEC 1144/14

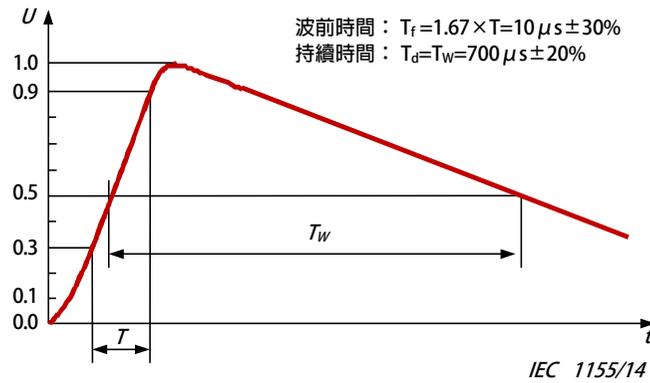


1.2/50 μs 電壓波

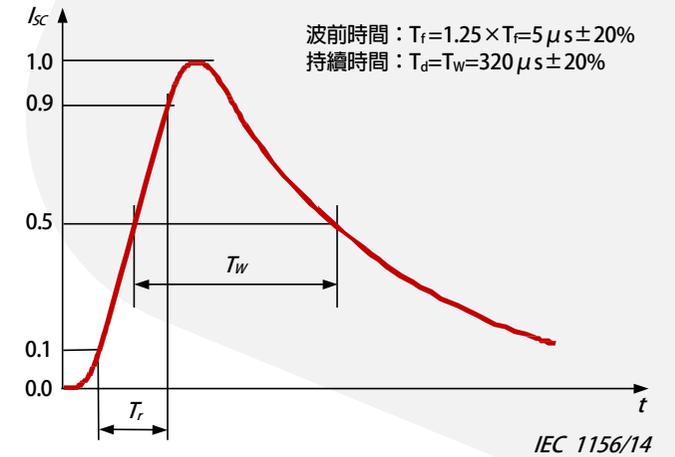
IEC 1143/14

# GB/T 17626.5/IEC61000-4-5

峰值開路電壓與峰值短路電流的關係	
開路電壓峰值 (±10%)	短路電流峰值 (±10%)
0.5kV	12.5A
1.0kV	25A
2.0kV	50A
4.0kV	100A



10/700  $\mu s$  電壓波



5/320  $\mu s$  電流波



# GB/T 17626.5/IEC61000-4-5

電源介面：測試等級選擇								
安裝等級	測試等級 (kV)							
	AC電源和 a.c. I/O 外部介面 <sup>a</sup>		AC電源和 a.c. I/O 內部介面 <sup>a,d</sup>		DC電源和 d.c. I/O 外部介面 <sup>a</sup>		DC電源和 d.c. I/O 內部介面 <sup>a,d</sup>	
	耦合方式		耦合方式		耦合方式		耦合方式	
	線-線	線-地	線-線	線-地	線-線	線-地	線-線	線-地
0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	NA	0.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	0.5	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	1	2	1	2	NA	NA	NA	NA
4	2.0 <sup>b</sup>	4.0 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	4.0 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	4.0 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	4.0 <sup>b</sup>
5	c·b	c·b	2.0 <sup>b</sup>	4.0 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	4.0 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	4.0 <sup>b</sup>

a.如果電纜長度小於或等於10m，則不建議測試。

b.對於採用特定主保護器件的埠，相應的主保護元件參數將應被應用於測試中，從而確保與受保護元件的協調性（匹配性）。如果需要主保護來保護介面但沒有提供，通常按照主要保護的最大允許級別和典型的主保護器上執行測試。

c.取決於當地供電系統類別。

d.通常不需要對系統內部埠進行測試。

# GB/T 17626.5/IEC61000-4-5

電路/線路：測試等級選擇												
安裝等級	測試等級 (kV)											
	不對稱操作電路/線路 <sup>a, c, e</sup>				對稱操作電路/線路 <sup>a, c, e</sup>				遮罩的電路/線路 <sup>a, d, e</sup>			
	外部埠		內部埠		外部埠		內部埠		外部埠		內部埠	
	線-線	線-地	線-線	線-地	線-線	線-地	線-線	線-地	線-線	遮罩線-地	線-線	遮罩線-地
0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	NA	NA	NA	0.5	NA	NA	NA	0.5	NA	NA	NA	NA
2	NA	NA	0.5	1	NA	NA	NA	1	NA	NA	NA	0.5
3	NA	NA	1	2	NA	NA	NA	2	NA	NA	NA	2
4	2.0 <sup>b</sup>	4.0 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	4.0 <sup>b</sup>	NA	4.0 <sup>b</sup>	NA	4.0 <sup>b</sup>	NA	4.0 <sup>b</sup>	NA	4.0 <sup>b</sup>
5	2.0 <sup>b</sup>	4.0 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	4.0 <sup>b</sup>	NA	4.0 <sup>b</sup>	NA	4.0 <sup>b</sup>	NA	4.0 <sup>b</sup>	NA	4.0 <sup>b</sup>

a. 對距離小於10m的資料線不建議測試。

b. 對於採用特定主保護器件的埠，相應的主保護元件參數將應被應用於測試中，從而確保與受保護元件的協調性（匹配性）。如果需要主保護來保護介面但沒有提供，通常按照主要保護的最大允許級別和典型的主保護器上執行測試。

c. 線上間接地接有浪湧保護器（SPDs）的網路線路中可能會發生線至線之間的浪湧（橫向）。這種波動超出了本標準的範圍。然而，這種現象可以通過定義的主要保護層應用共模浪湧來模擬。取決於當地供電系統類別。

d. 連接天線的埠測試不屬於本標準的範圍。

e. 通常不需要對系統內埠進行測試。

# 浪湧防護原理

## 第一級保護

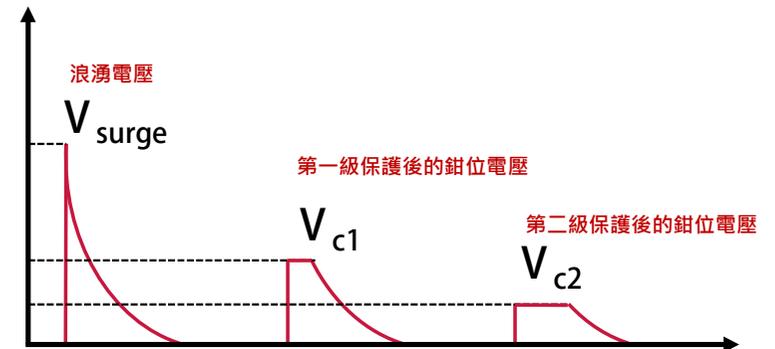
第一級保護一般為最容易引入雷電的埠，如建築物進線口、AC電源輸入埠等，一般根據應用場合選取不同類型大通流保護器件。電源埠的第一級防護一般選用鉗位型大通流保護器件。信號埠的第一級防護一般採用開關型過壓保護器件，如GDT、SPG、TSS、信號類防雷模組(SPD)等。

## 第二級保護

第二級防護與第一級防護類似，一般選用反應速度快鉗位電壓低的TVS、ESD等。

## 退耦元件

由於第一級防護器件與第二級防護器件採用的過電壓保護器件種類不同，擊穿電壓大小不同，回應時間不同，所以要在兩級過電壓保護器件之間加退耦元件才能保證兩級過電壓保護器件協同工作。退耦元件要求有一定的阻抗才能起到退耦的作用。



# 各類保護器件性能比較

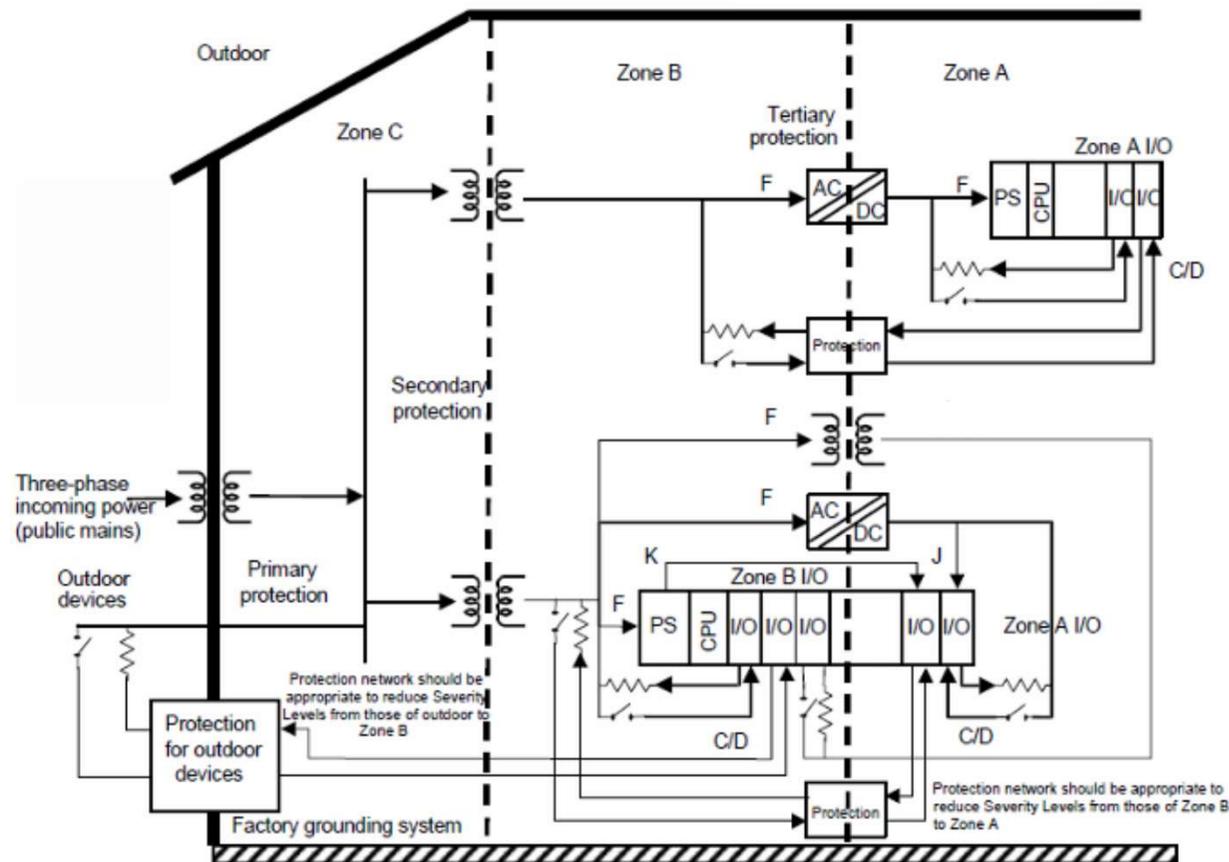
特性 器件	鉗位型過壓保護器件				開關型過壓保護器件		
	MOV	Hyper-fix	TVS	ESD	GDT	SPG	TSS
通流量 (8/20 $\mu$ s)	大	較大	一般	小	大	較大	一般
回應速度	慢	特快	特快	特快	較慢	快	快
電容	較大	較大	較大	較小	特小	特小	較小
直流擊穿電壓精度	一般	精準	精準	精準	一般	一般	精準
脈衝擊穿電壓	低	低	低	低	高	高	低

MOV、GDT和SPG具有較大的通流量，SPG最大達3kA，MOV可達70kA，GDT可達100kA，一般用於一級防護。

TSS、TVS和ESD為矽基材料器件，以半導體製程製作，具有較精準的擊穿電壓，快速回應速度等優點，一般用於第二級電路防護。

Hyper-fix為超大功率TVS，具有MOV和TVS的優點，如精準的擊穿電壓，超大浪湧衝擊電流，快速回應速度等，可替代MOV應用於AC電源輸入端作為一級防護。

# 工業環境保護示意圖



# 工業電路保護



人機介面



伺服器



伺服驅動器



PLC



工業平板



變頻器

# 220VAC輸入埠保護

## 壓敏電壓 ( $V_{1mA}$ ) 選擇：

壓敏電壓選擇時要考慮電源電壓波動、壓敏電阻電壓精度、壓敏電阻的老化係數等因素；壓敏電阻的壓敏電壓選取一般遵循如下選型公式，a值取決於電網的穩定程度，如電網波動較小時，選取的選擇即可偏小，如偏遠地區或工業應用環境電網波動較大時，則選取較大的範圍。

$$V_{1mA} \geq \frac{(1+a)}{(1-b)(1-c)} \cdot V_p$$

a：電源波型係數，一般為0.1~0.5

$V_p$ ：電源輸入電壓峰值

b：壓敏電壓公差，一般取0.1

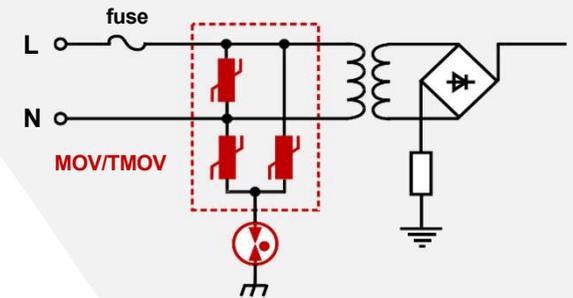
c：為元件的老化係數，一般取0.1

差模保護採用MOV或TMOV，共模保護 MOV/TMOV與GDT串聯到保護地。GDT具有較大的絕緣阻抗，可減緩壓敏電阻的老化，延長MOV使用壽命。

選用高壓GDT，也可幫助通過絕緣耐壓測試。

## 推薦器件選型

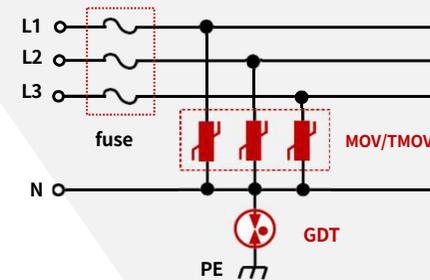
該方案中，MOV或TMOV任選其一。MOV有85°C及140°C應用環境區分，耐高溫MOV具有更高的可靠性。電源無絕緣耐壓測試可選擇2R-6\*8系列的GDT，電源有要求絕緣耐壓測試，可選擇2R-8\*8系列的GDT。



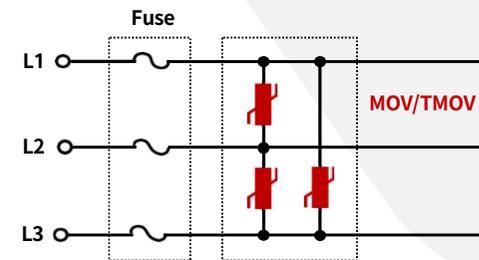
# 三相 AC380V電源保護

採用壓敏電阻分別從相線到中線做共模保護，相線之間的兩個壓敏電阻做差模保護。中線到地採用氣體放電管到保護地，可以緩解MOV的老化，提高系統可靠性。

該接線方式為差模保護，選擇MOV或TMOV對電源輸入端進行差模保護，由於三相電源線電壓為AC380V，故MOV的電壓選取應較高。

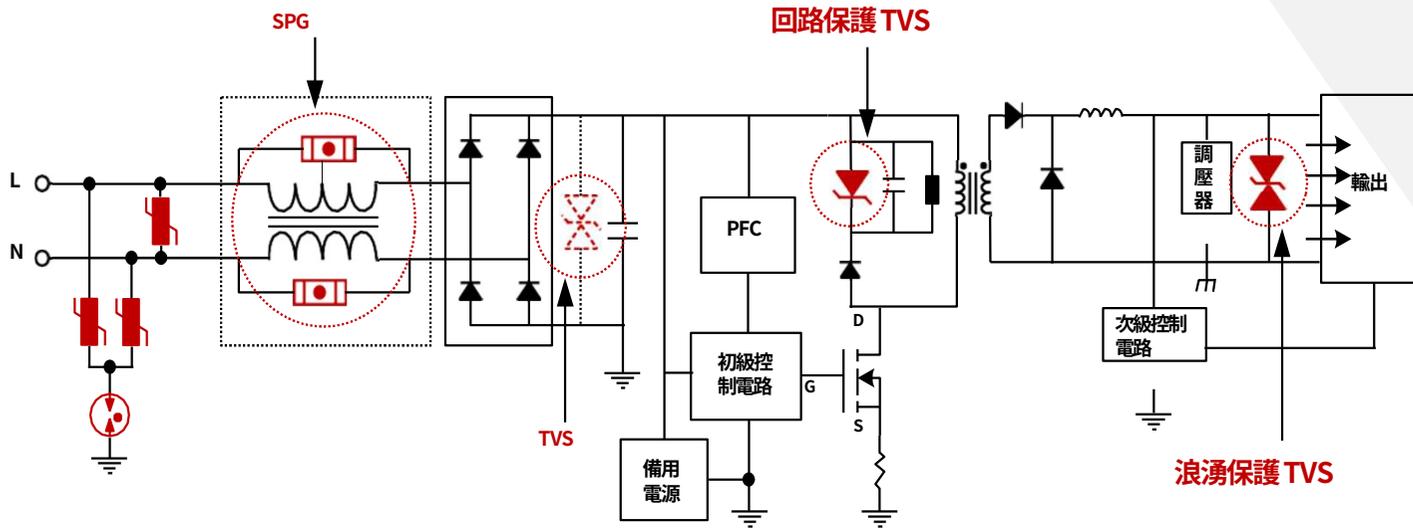


星型接線方式差共模保護



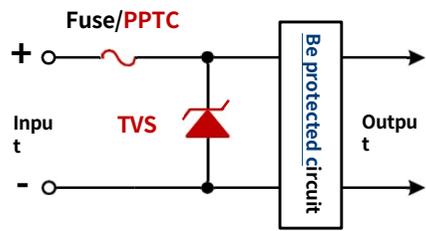
三角型接線方式差模保護

# AC電源系統其它部分保護

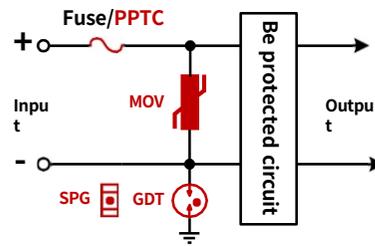


器件選型		
種類	AC110V輸入	AC220V輸入
整流橋	P6KE440CA	P6KE440CA
	SMBJ400CA	SMBJ400CA
回路保護	P6KE200A P6KE200LA	P6KE200A P6KE200LA
浪湧保護	DC3.3V : <a href="#">SMAJ5.0A</a> / <a href="#">SMBJ5.0A</a> / <a href="#">SMCJ5.0A</a> DC5.0V : <a href="#">SMAJ6.5A</a> / <a href="#">SMBJ6.5A</a> / <a href="#">SMCJ6.5A</a> DC12V : <a href="#">SMAJ18A</a> / <a href="#">SMBJ18A</a> / <a href="#">SMCJ18A</a> DC24V : <a href="#">SMAJ28A</a> / <a href="#">SMBJ28A</a> / <a href="#">SMCJ28A</a>	

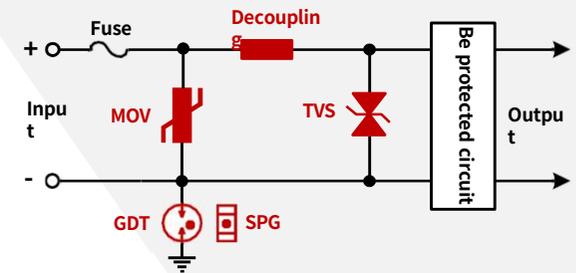
# 直流電源保護



Case 1

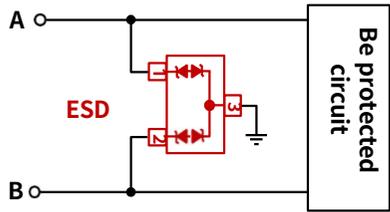


Case 2



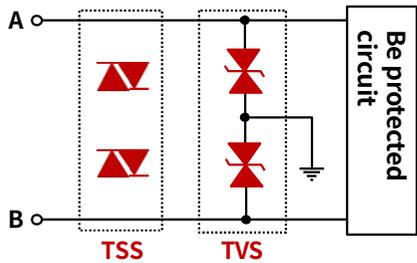
Case 3

# RS485介面保護



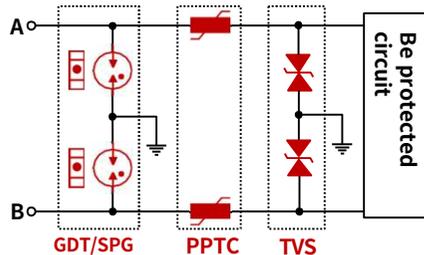
## 靜電防護

採用專用485防護ESD器件對RS485的資料線進行防護，該器件具有7V和12V不對稱的工作電壓。  
測試標準：IEC61000-4-2，等級4，接觸放電 8kV，空氣放電15kV



## 一級浪湧防護

採用TVS或半導體放電管TSS對RS485介面進行浪湧防護，可獲得較高的浪湧防護等級。  
測試標準：IEC61000-4-2，等級4，接觸放電 8kV，空氣放電15kV  
IEC61000-4-5，10/700 $\mu$ s，40 $\Omega$ ，4kV， $\pm$ 5次



## 二級浪湧防護

第一級採用GDT進行防護，第二級採用TVS進行防護，在獲得較高浪湧防護等級的同時，可獲得較低的鉗位電壓。  
測試標準：IEC61000-4-2，等級4，接觸放電 8kV，空氣放電15kV  
IEC61000-4-5，10/700 $\mu$ s，40 $\Omega$ ，4kV， $\pm$ 5次

# I/O介面ESD保護

可同時對2路 I/O介面進行保護，並且工作電壓從5V至24V可選。  
也可選擇單路的ESD器件對一路 I/O口進行保護

ESD1：

封裝：SOT-23

工作電壓：3V，5V，12V，15V，24V



ESD2：

封裝：SOD-523

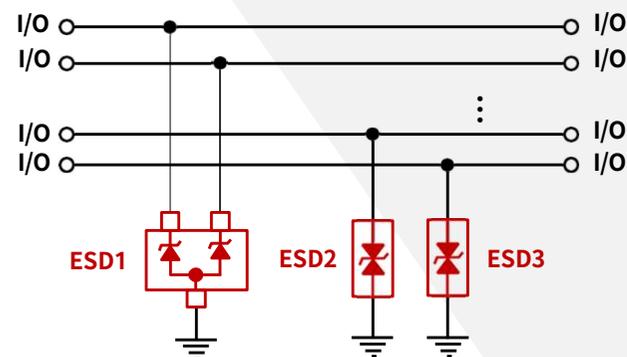
工作電壓：5V



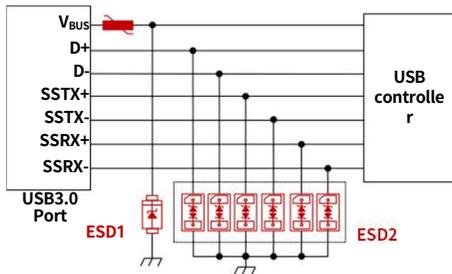
ESD3：

封裝：SOD-123S

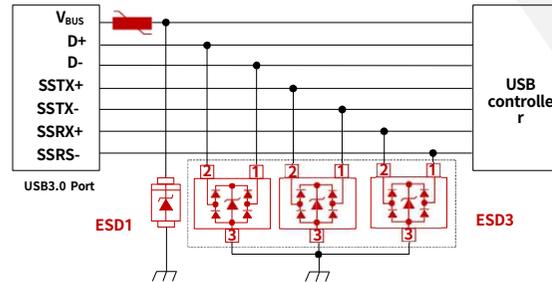
工作電壓：5V~170V



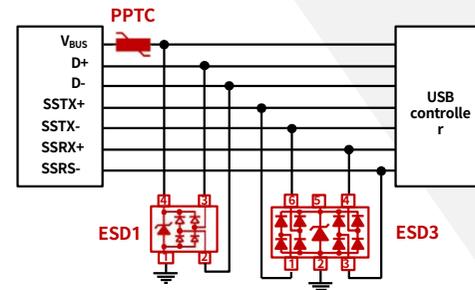
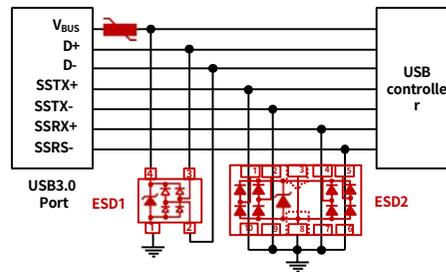
# USB3.0介面ESD保護



單路ESD器件

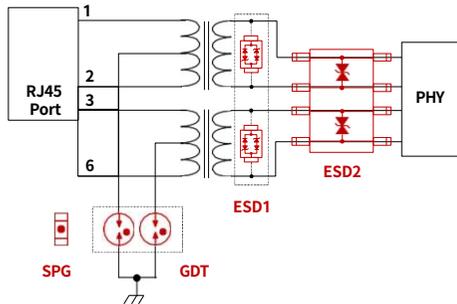


雙路ESD器件



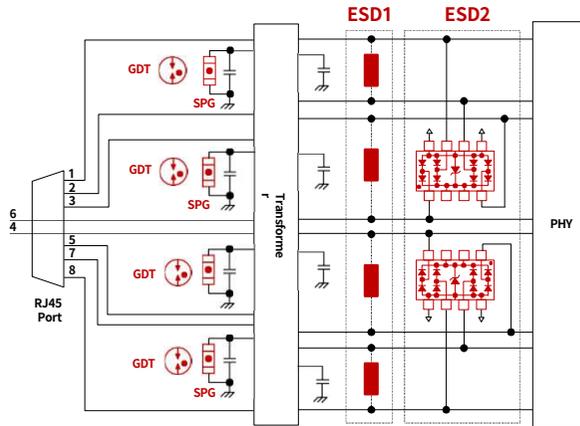
# 乙太網介面保護

## 100M乙太網介面保護



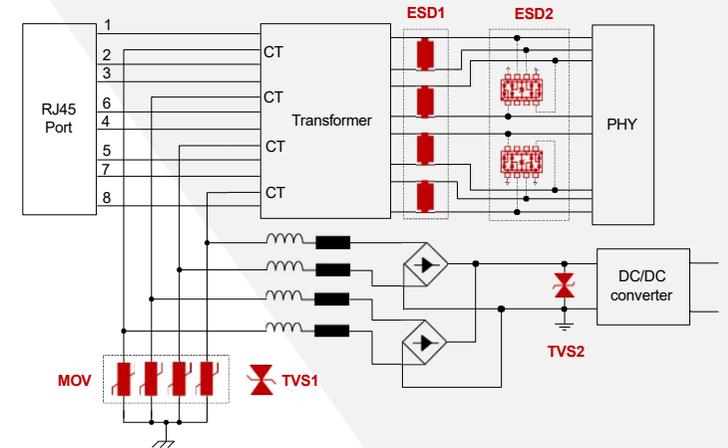
隔離變壓器後端採用單路保護器件ESD1或多路保護器件ESD2進行二次保護。

## 100M乙太網介面保護



隔離變壓器後端採用分立ESD器件或集成ESD器件進行二次保護

## 1000M PoE 介面保護



一次側採用TVS進行共模保護。隔離變壓器後端採用分立ESD器件或集成ESD器件進行二次保護。分立ESD器件做差模保護，集成ESD器件可同時進行差共模保護。

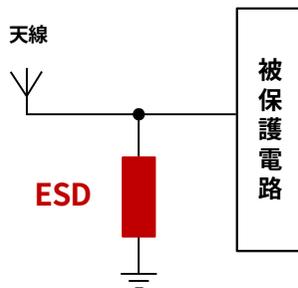
測試標準：IEC61000-4-2，等級4，接觸放電8kV，空氣放電15kV IEC61000-4-5，10/700 $\mu$ s，40 $\Omega$ ，6kV， $\pm$ 5次

測試標準：

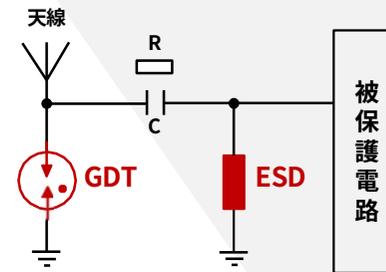
IEC61000-4-2，等級4，接觸放電8kV，空氣放電15kV  
IEC61000-4-5，10/700 $\mu$ s，40 $\Omega$ ，6kV， $\pm$ 5次



# 天線 (RF) 介面保護

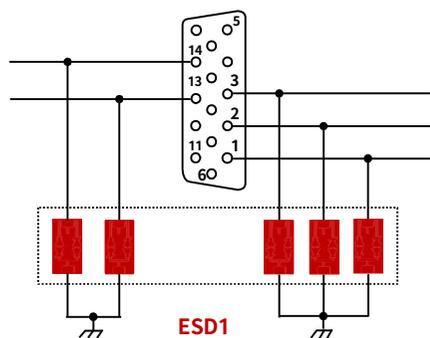


採用超低電容ESD產品對天線介面進行靜電保護。

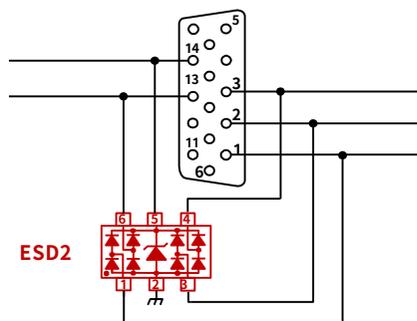


採用超低電容ESD器件進行精確鉗位。

# VGA介面保護 & DVI 介面保護

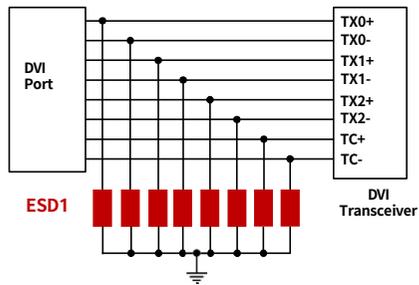


採用單路ESD器件對VGA介面進行ESD保護，可選用SOD882（相容0402）封裝或 SOD-323（相容0805）封裝的器件。

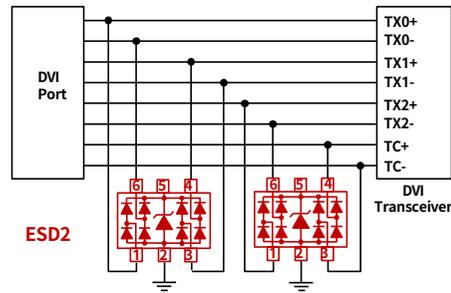


採用SOT23-6L封裝的器件對VGA介面進行ESD保護，需要注意的是該器件的引腳5不是低電容埠，不能接在高速資料線。

# VGA介面保護 & DVI 介面保護

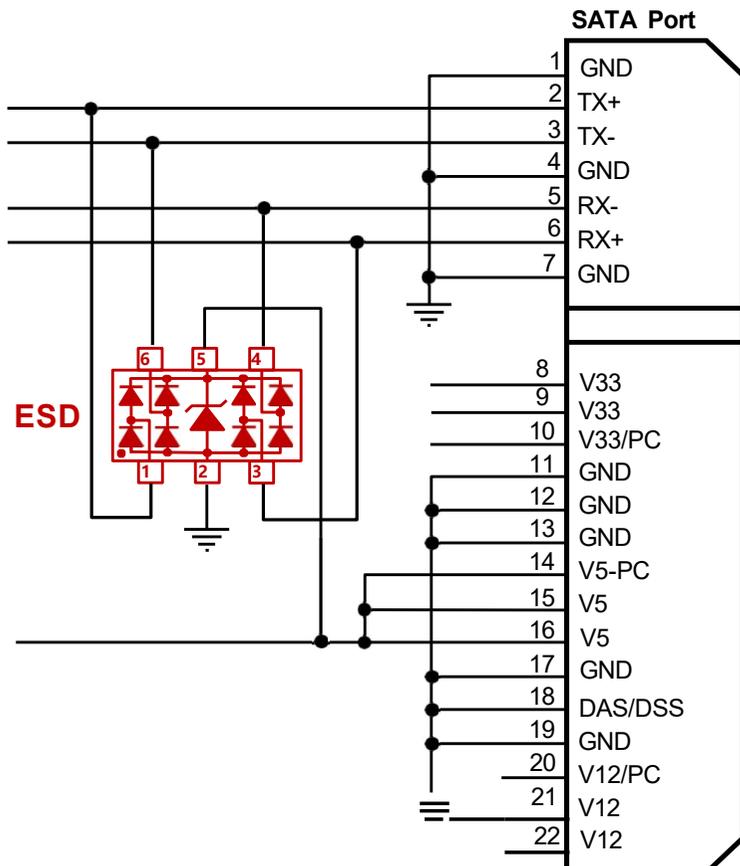


採用單路ESD器件對DVI介面進行ESD保護，可選用SOD-882（相容0402）封裝或 SOD-323（相容0805）封裝的器件。



採用SOT23-6L封裝的多路ESD器件對DVI介面進行保護，需要注意的是該器件的引腳 5不是低電容埠，不能接在高速資料線。

# SATA介面ESD保護



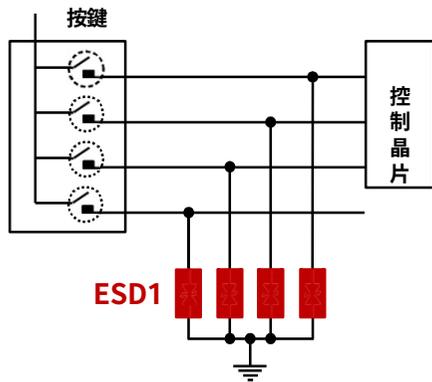
採用SOT23-6L封裝的器件對SATA的電源線及資料線進行保護。ESD器件的低電容引腳與SATA的數據線相連，非點電容引腳與電源埠相連。

測試標準：

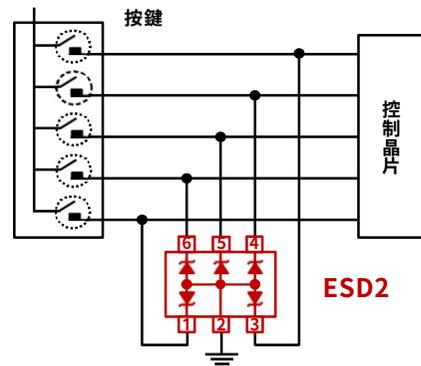
IEC61000-4-2，等級4，接觸放電8kV，空氣放電15kV

# 按鍵介面ESD保護

可根據按鍵介面選擇合適封裝的ESD保護器件，單路按鍵介面可選擇單路保護器件，多路按鍵介面可選擇多路ESD器件，以下為兩個典型應用案例。



分立ESD器件靜電保護



集成ESD器件靜電保護

**YOUR SMALL DEVICES,  
OUR PASSION AND EXPERTISE.**

**-THANK YOU FOR YOUR PARTICIPATION**

**ADI**

**Aurora Diode Inc.**

[WWW.AURORA-DIODE.COM](http://WWW.AURORA-DIODE.COM)