

APPLICATION NOTE

EVERLIGHT
EVERLIGHT
EVERLIGHT

EL3120 IGBT Gate Drive Optocoupler 應用手冊

引言

目前整個世界趨勢講究綠能環保，以電能取代傳統的石化燃料；所以選用高效率、高功率的元件，是解決環境污染和降低碳排放的關鍵。IGBT 擁有高輸入阻抗及低導通壓降(低導通阻抗)的優點，在一些高效率設備上通常會選擇 IGBT 作為功率控制元件，例如電動車、馬達驅動器、風力/太陽能發電、再生能源逆變器(Renewable Energy Inverter)及 UPS 不斷電系統...等，因此使用 IGBT 的設備將在未來幾年蓬勃發展。

本文首先簡單說明一下有關 IGBT 的主要特性，再介紹 IGBT 閘極驅動器 EL3120 在不同的應用需求中常見的電路配置型態。

Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)簡介：

絕緣閘雙極電晶體 (IGBT) 結合了金氧半場效電晶體(MOSFET)和雙極性電晶體 (BJT) 兩者的特性，具有 MOSFET 快速開關與 BJT 高電流導通的性能，此外，IGBT 具有較低的導通壓降及較高的耐壓，電路模型可以簡化為由 MOSFET 作為驅動電晶體的等效電路，如圖 1 所示。圖 2 為 IGBT 常用的代表符號。

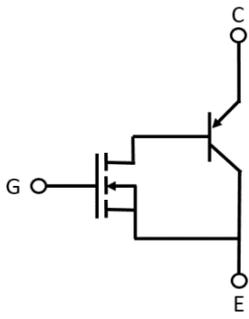


圖. 1 - IGBT 等效電路

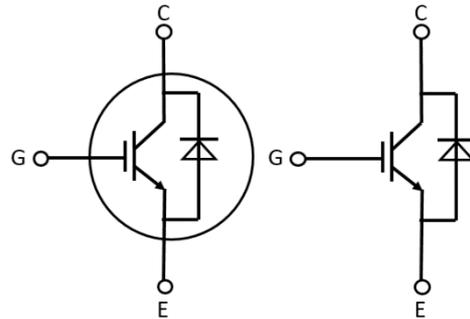


圖. 2 - IGBT 模組代表符號

IGBT 開關電氣特性

導通和關閉的特性決定開關功率元件的性能並連帶影響元件的功率損耗。導通和關閉的速度主要取決於 IGBT 內部的輸入電容 (C_{GE}) 和米勒電容 (C_{GC})。圖 3 為 IGBT 寄生電容示意圖。

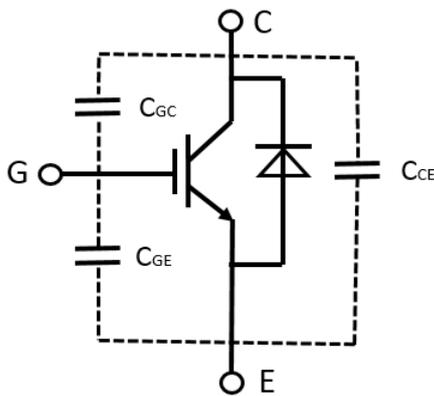


圖. 3 - IGBT 寄生電容

C_{GE} = Input capacitance 輸入電容

C_{GC} = Miller capacitance 米勒電容

C_{CE} = Output capacitance 輸出電容

IGBT 的寄生電容 (表 1)。

一般 IGBT 規格書電容參數	
CAPACITANCE	IGBT
Input	$C_{ies} = C_{GE} + C_{GC}$
Reverse transfer	$C_{res} = C_{GC}$
Output	$C_{oes} = C_{GC} + C_{CE}$

IGBT 在切換到導通狀態過程中，閘極充電電壓會有一段區間變得平坦，稱之為米勒平台，其中米勒電容 (C_{GC}) 會影響米勒平台的時間長短，進而影響 IGBT 開啟與關閉的速度。IGBT 閘極的充電過程如圖 4 所示，閘極充電至額定電壓所需的電荷量為 (Q_g)，在 IGBT 規格書上可得知此參數。

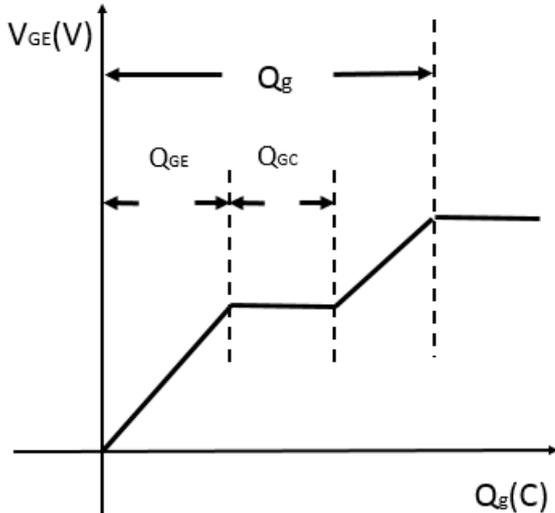


圖.4 閘極電壓充電波形

IGBT 的導通行為如下圖 5 所示。從時間 t_0 到 t_1 ，驅動器開始對閘極(C_{GE}) 開始充電，直到閘極-射極電壓達到 $V_{GE(th)}$ ，在這段時間內 IGBT 不會導通，集極電壓和電流都保持不變，稱為開啟延遲。 t_1 到 t_2 時，閘極電壓持續上升超過 $V_{GE(th)}$ 以上，此時集極電流 I_c 開始上升，當電流達到負載電流後此區間結束，此時由於 V_{CE} 依然維持高電壓，故此區間的切換損失最大，所以在設計時需要考慮 di/dt 斜率的大小以減少切換損失。

在 t_2-t_3 期間，集極電壓開始快速下降，而 IGBT 承載滿載電流，此區間結束後閘極電壓會暫時掛位在同一水平電位。在 t_3-t_4 期間僅米勒電容 C_{GC} 處於充電狀態，稱之為米勒平台，直至 t_4 米勒平台結束。 V_{CE} 降至 $V_{CE(sat)}$ ，IGBT 完全導通。

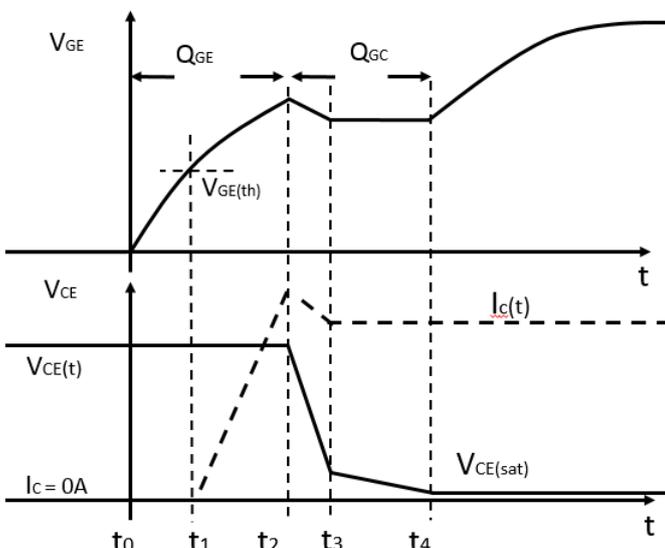


圖.5 IGBT 導通時序圖

IGBT 的關閉特性如下圖 6 所示。時間 t_1 到 t_2 ， V_{GE} 持續下降，直到米勒平台發生時的電壓值。在 t_2 - t_3 期間 I_c 維持恆定， V_{CE} 電壓開始微幅上升，此時由於 C_{GC} 電容產生米勒效應使得 V_{GE} 電壓保持恆定，直至米勒平台結束。在 t_3 - t_4 期間， V_{CE} 電壓迅速增加到最大值，然後集極電流 I_c 開始快速下降，直至電流截止。在 t_4 , $I_c=0A$ ，IGBT 完全關閉。

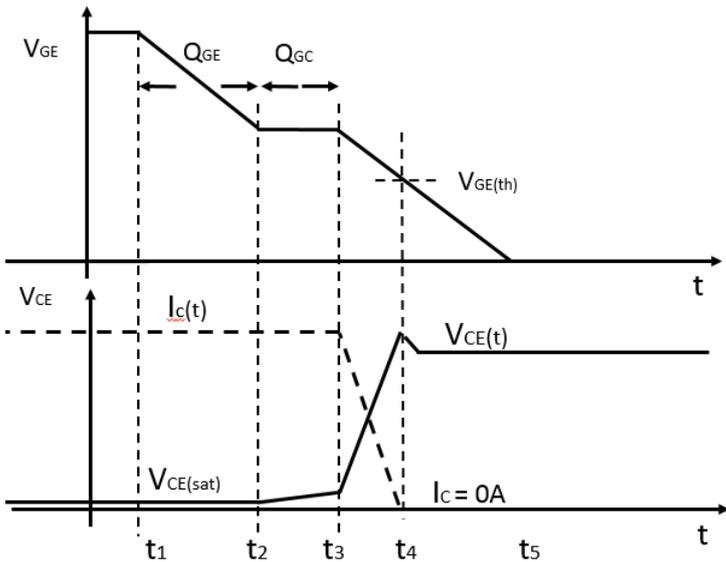


圖. 6 IGBT 關閉時序圖

IGBT 外接的閘極電阻(R_g)可調節閘極電壓上升和下降速率，表現在開啟與關閉轉態期間，集極射極端的 dV_{CE}/dt 斜率，如圖 7 所示， R_g 值越小則 dV_{CE}/dt 及 I_{GC} 越大。

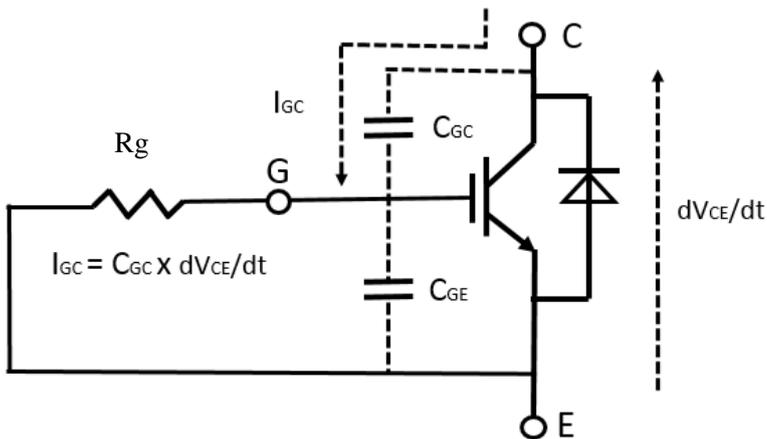


圖. 7 R_g 對 dV_{CE}/dt 的影響

閘極電阻(R_g)對於 IGBT 的動態性能有明顯的影響，較小的 R_g 可以更快地對 IGBT 輸入電容進行充電和放電，進而縮短了開關時間，並且降低了開關損耗，但是較小的 R_g 會導致 IGBT 輸入電容和寄生電感產生振盪，一般 R_g 設計使用在 $10\Omega \sim 30\Omega$ 之間。

IGBT 是電壓驅動元件，需要閘極電壓來使集極與射極導通或關閉，由於 IGBT 輸入電容 (C_{GE}) 較大，因此在關閉時使用負電壓作為驅動，可以確保閘極在零電壓以下，抵抗米勒效應對閘極的干擾，防止閘極重新啟動，圖 8 顯示為具有負電壓的閘極驅動電路。

當 IGBT 截止時，集極電壓會快速上升，會在閘極產生較大的電壓，因此將齊納二極體反接到 IGBT 的閘極與射極時，可以防止閘極上遭到過電壓而損壞（通過钳位限制閘極的電壓），防止 V_{GE} 被擊穿。

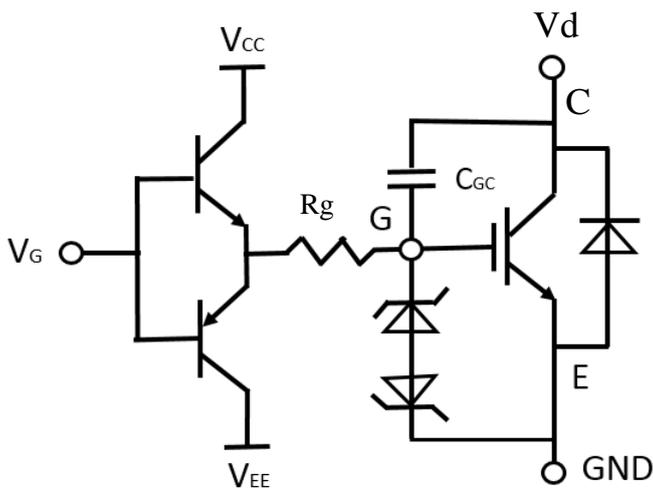


圖.8 具負電壓的 IGBT 閘極驅動電路

EL3120 (IGBT Gate Driver) 驅動器介紹：

EL3120 是 8 PIN 封裝的 IGBT GATE DRIVER，最大驅動電流為 2.5A，具有高速驅動及低功耗的特性，擁有 $\pm 25KV$ 共模雜訊抑制能力 (CMTI)，非常適合用於 IGBT 的驅動電路。

閘極驅動器欠壓鎖定 (UVLO)

EL3120 驅動器具有欠壓鎖定 (UVLO) 功能，可以確保 EL3120 電源電壓過低的情況下停止輸出 IGBT 閘極的控制訊號，避免 EL3120 輸出電壓低於 IGBT 閘極最小驅動電壓 $V_{G(th)}$ ，導致工作模式轉移到線性區造成高功耗的情況，提高驅動電路的安全性。

驅動器(IGBT Gate driver: EL3120)功率損耗計算

驅動器工作時會發熱，溫度上升影響其穩定性，必須考慮散熱問題，可依使用狀況進行散熱設計。驅動器功率消耗如圖 9 所示分為三部分，第一部分為輸入的功耗 $P_{Emitter}$ ，由發射器造成，第二部分為驅動器本身耗電(靜態電流) $P_{Internal}$ ，第三部分為驅動器開關時內部電阻造成的功耗 P_{Output} ，以下為計算式。

閘極驅動器總功耗為：

$$P_{(tot)} = P_{Emitter} + P_{Internal} + P_{Output}$$

驅動發射器的功耗為：

$$P_{Emitter} = I_F \times V_F \times D$$

D : maximum LED duty cycle

驅動器內部電路的功耗為：

$$P_{Internal} = I_{CC} \times (V_{CC} - V_{EE})$$

I_{CC} : 驅動器自身耗電(靜態電流)

驅動器輸出功耗為：

$$P_{D(On)} = \frac{R_{OH} \times V_{GE} \times Qg \times f_{sw}}{2(R_{OH} + Rg + R_{Gint})}$$

$$P_{D(Off)} = \frac{R_{OL} \times V_{GE} \times Qg \times f_{sw}}{2(R_{OL} + Rg + R_{Gint})}$$

$$P_{Output} = P_{D(On)} + P_{D(Off)}$$

R_{OH} : 驅動器內部 High side MOSFET 導通電阻

R_{OL} : 驅動器內部 Low side MOSFET 導通電阻

R_{Gint} : IGBT 內部閘極電阻

假設 $R_{OH} \approx R_{OL}$ ，則

$$P_{Output} = \frac{R_{OH} \times V_{GE} \times Qg \times f_{sw}}{R_{OH} + Rg + R_{Gint}}$$

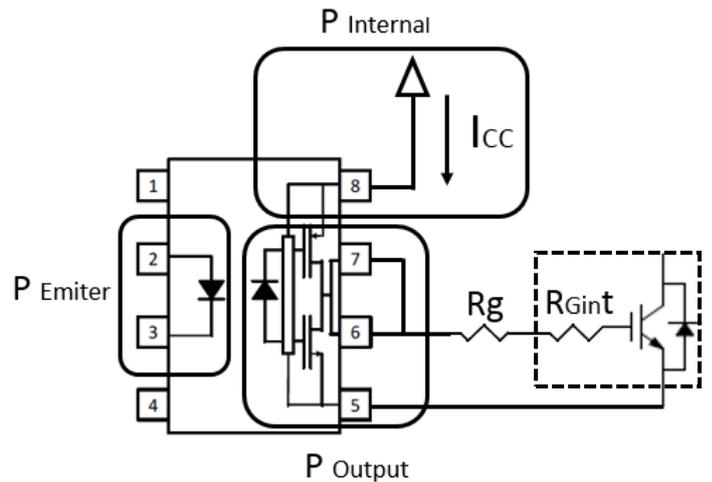


圖. 9-1 驅動器功耗示意圖

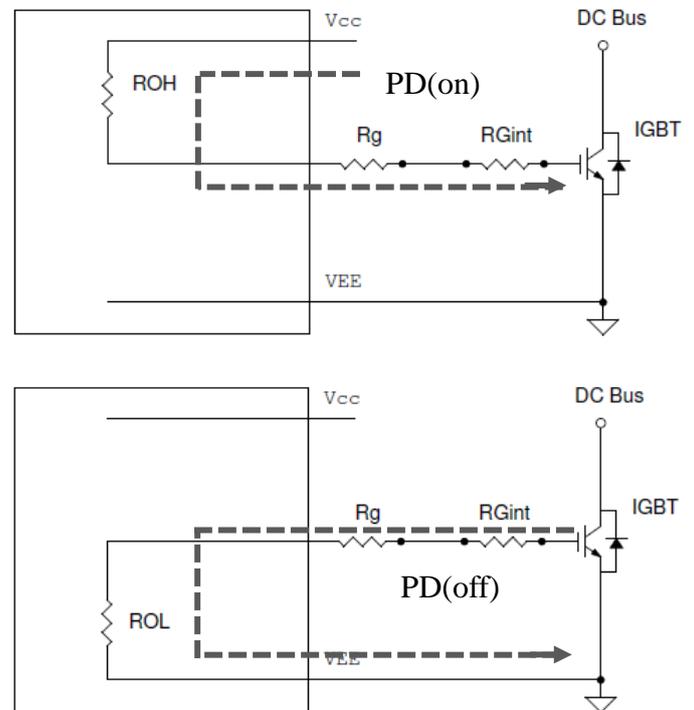


圖. 9-2 輸出功耗示意圖

計算功率消耗是為了避免驅動器操作時超出額定功耗，如果操作超出額定功耗，驅動器容易因高溫造成周邊電路損毀，可以利用空氣對流及加大 PCB 鋪銅面積來增加驅動器的散熱能力。

IGBT 驅動電路計算範例

以下為實際應用案例，EL3120 等效電路如圖 10 所示，其內部使用的 MOSFET 具有較低的導通阻抗(R_{OH}/R_{OL})，EL3120 可以使用或不使用負電壓作為關閉 IGBT 的驅動，在不使用負電壓時，其關閉時候的閘極電壓 V_{OL} 小於 0.5V，可以確保 IGBT 不會因米勒平台效應導致 IGBT 重新啟動，造成短路。

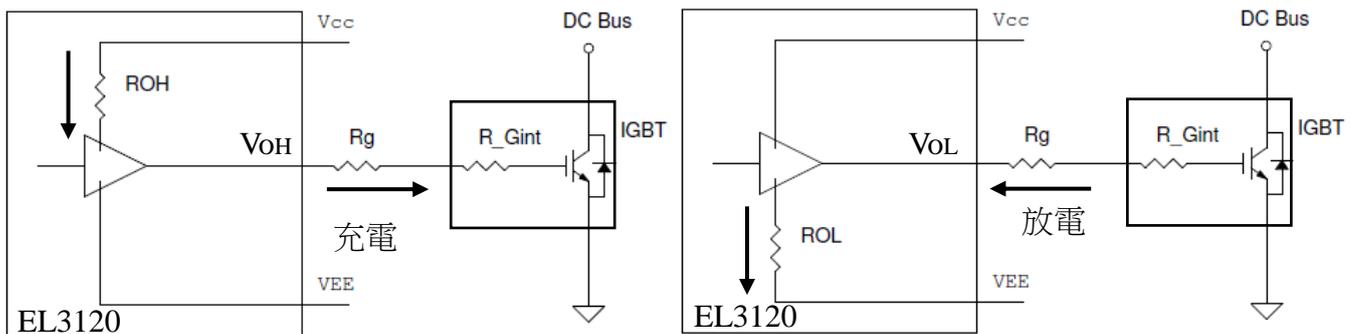


圖.10 IGBT 開關時之等效電路

IGBT 內部閘極電阻為(R_{Gint})，當 EL3120 輸出處於低準位時，此時 IGBT 閘極對地的路徑為 $R_g + R_{OL} + R_{Gint}$ ，若 $R_g + R_{OL} + R_{Gint}$ 越低，則 IGBT 閘極越不容易受米勒效應影響。閘極的放電路徑越長產生的寄生電感及電阻也越大，容易受雜訊干擾影響性能，故建議盡可能縮短 PCB Layout 路徑。

計算驅動器功率損耗時，須求得下列數值。

- (一) 驅動器內 R_{OL} 、 R_{OH} 。
- (二) 閘極電阻 (R_g) 電阻值。

驅動器及 IGBT 已知參數列表如下:

EL3120 參數

項目	單位	說明
V_{CC}	18V	電源正電壓
V_{EE}	-6V	電源負電壓
I_{CC}	3.2mA	消耗電流 (待機)
I_{O_peak}	2.5A	驅動最大電流值
I_F	10mA	輸入 LED 最大電流
V_F	1.4V	輸入 LED 導通電壓
Duty	60%	PWM 佔空比
f_{sw}	10KHz	切換頻率 (目前使用)

IGBT 參數 (FF150R12ME3G)

項目	單位	說明
Qg	1.4uC	總充電荷量
V _{CES}	1200V	集極-射極最大耐壓
R _{Gint}	1.3Ω	閘極內部電阻

(一) 計算驅動器內 RoL、RoH 阻值

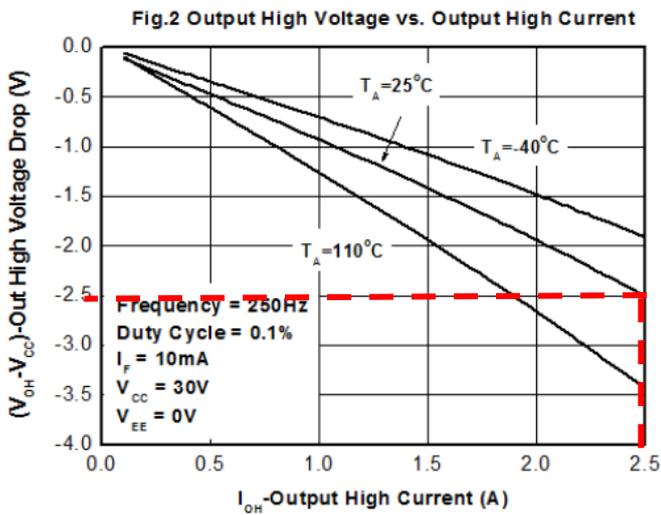


圖.11 輸出 High 電壓與電流

驅動器內 RoH 在峰值電流 2.5A 時:

$$RoH = 2.5V \div 2.5A = 1\Omega$$

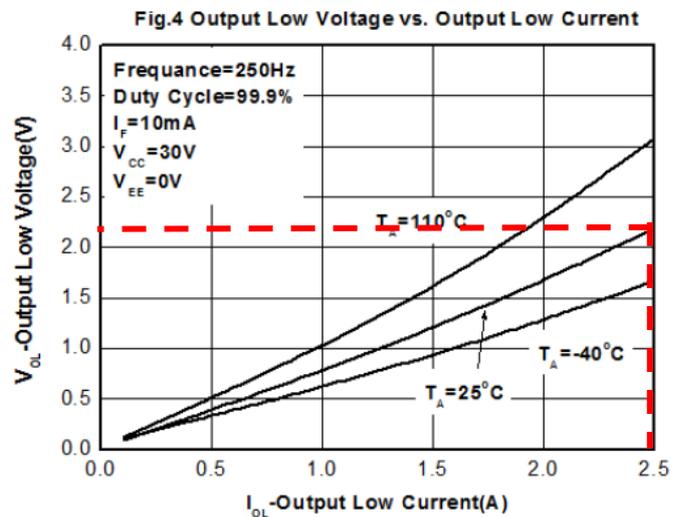


圖.12 輸出 Low 電壓與電流

驅動器內 RoL 在峰值電流 2.5A 時:

$$RoL = 2.2V \div 2.5A = 0.88\Omega \approx 1\Omega$$

(二) 計算驅動時間極電阻 (R_g) 最小阻值。

根據 I_{OL} 峰值規範計算最小 R_g ，圖 13 中為 IGBT 和 R_g 簡單的等效電路。

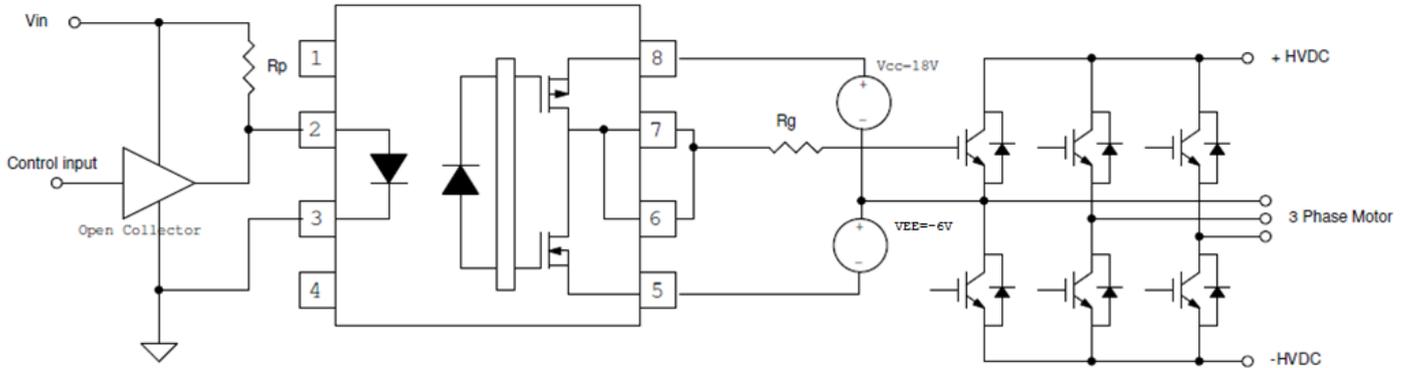


圖.13 具負壓 IGBT 應用電路

$$R_{OL} + R_g + R_{Gint} > \frac{V_{CC}-V_{EE}}{I_{g_peak}} = \frac{18-(-6)}{2.5A} = 9.6 \ \Omega$$

$$R_g > 9.6 - 1 - 1.3 = 7.3 \ \Omega$$

式子中 I_g 以峰值電流 2.5A 計算 R_g 最小值，若不使用負電源時，式子中的 V_{EE} 則為 0V。若 R_g 比計算值小時，驅動時可能會出現不穩定狀況，故建議比計算值稍大。由於效率及 EMI 往往相互關聯，IGBT 啟動越快，造成的切換損失越小，但往往 dV/dt 越大，造成 EMI 的干擾也越大，因此可藉由增加 R_g 的值來做調整，以便滿足 EMI 及效率的需求。

驅動器功率損耗

在導通和關閉 IGBT 的過程中，功耗會分別消耗在驅動器、閘極和驅動的路徑。其功率消耗包括 LED 發射的功耗(emitter)，驅動器內部的功耗(internal)，以及輸出驅動的功耗(output)。

驅動器的總消耗功耗計算如下：

$$P_{(tot)} = P(\text{emitter}) + P(\text{internal}) + P(\text{output})$$

$$P_{(tot)} = (I_F \times V_F \times D) + (I_{CC} \times \Delta V) + \left(\frac{R_{OH} \times V_{GE} \times Q_g \times f_{sw}}{R_{OH} + R_g + R_{Gint}} \right)$$

$$\begin{aligned} P(\text{emitter}) &= I_F \times V_F \times D \\ &= 10\text{mA} \times 1.8\text{V} \times 0.6 \\ &= 10.8 \text{ mW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(\text{internal}) &= I_{cc} \times \Delta V \\ &= 3.2\text{mA} \times (18\text{V} - (-6\text{V})) \\ &= 76.8 \text{ mW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(\text{output}) &= \frac{R_{OH} \times V_{GE} \times Q_g \times f_{sw}}{R_{OH} + R_g + R_{Gint}} \\ &= \left(\frac{1 \times (18 - (-6)) \times 1.4\mu\text{F} \times 10\text{K}}{1 + 7.3 + 1.3} \right) \\ &= 35\text{mW} \end{aligned}$$

$$P(\text{tot}) = 10.8\text{mW} + 76.8\text{mW} + 35\text{mW} = 122.6 \text{ mW}$$

驅動器的總功耗為 122.6mW (小於規格書 300mW)

以上為 IGBT 的基本特性介紹及計算案例，在許多應用中 IGBT 一般作為馬達的驅動元件，因此需要使用光耦驅動器作為隔離器件，以提高雜訊抑制能力和安全性。

常用應用電路架構：

一般的 IGBT 驅動線路架構有以下幾種。

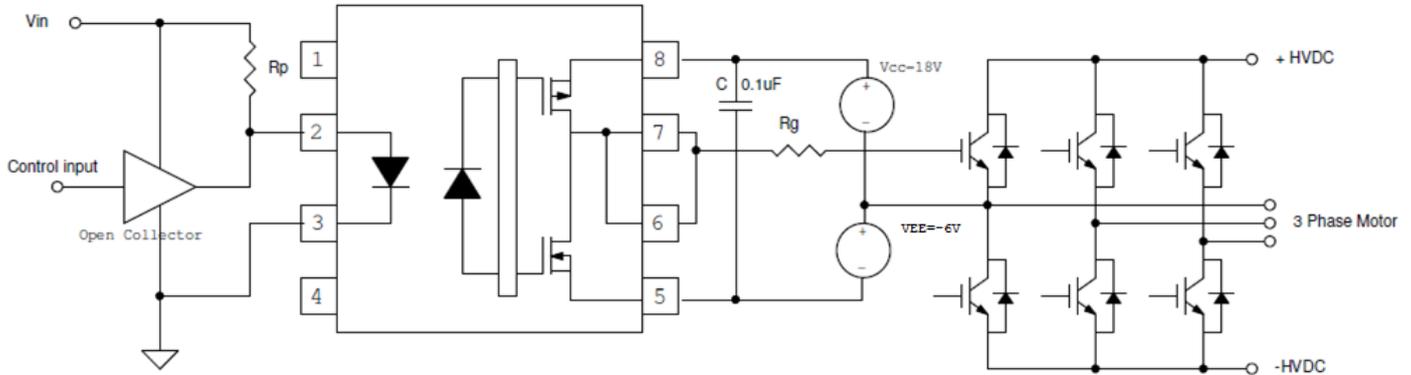


圖.14 具負壓的 IGBT 應用電路

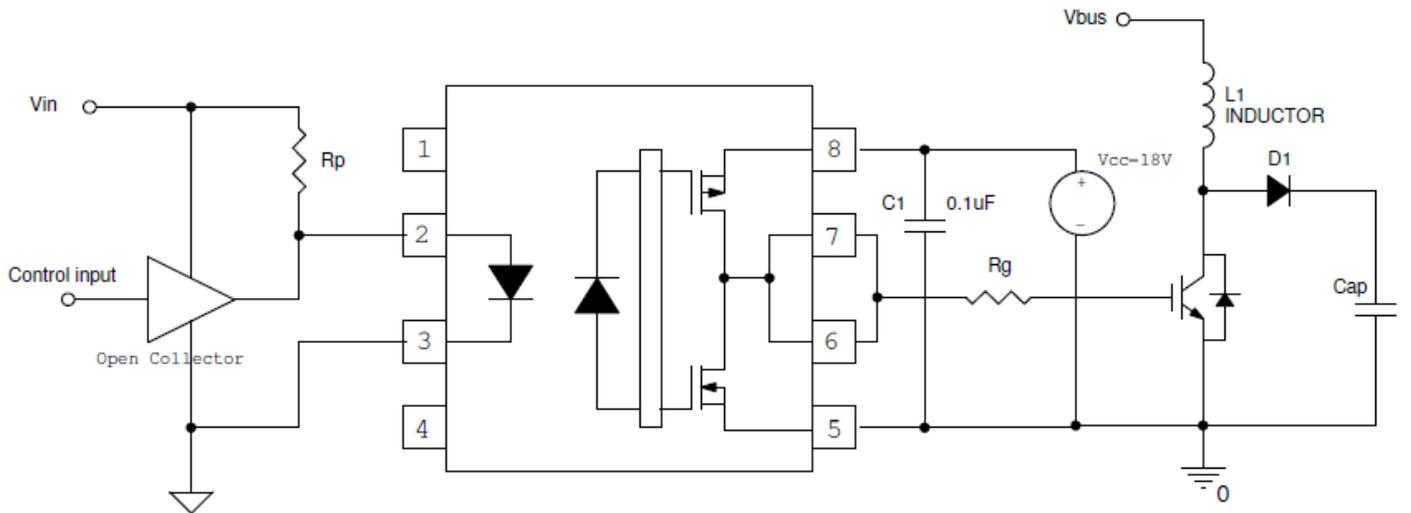


圖.15 升壓型轉換器應用電路

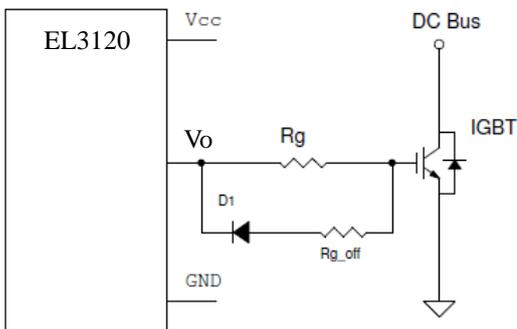


圖.16 IGBT 米勒柙位電路(一)

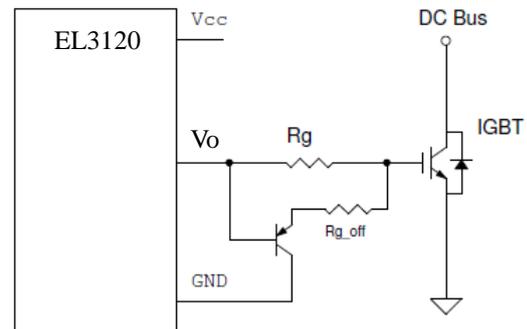


圖.17 IGBT 米勒柙位電路(二)

本應用手冊資訊僅提供客戶設計參考，實際使用請客戶自行驗證，若有其他問題請與億光電子聯繫取得進一步技術支援。