



# HT32F65432A\_MCU Board 硬體說明

版本：V1.00 日期：2024-05-17

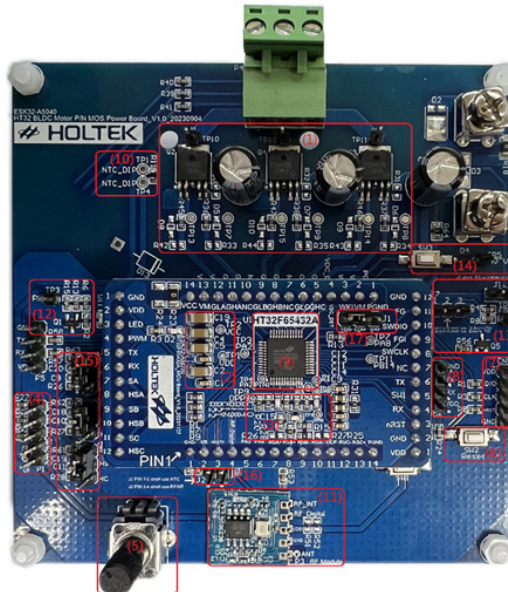
[www.holtek.com](http://www.holtek.com)

## 目錄

<b>1. 簡介 .....</b>	<b>3</b>
<b>2. 電路原理圖 .....</b>	<b>6</b>
2-1 HT32F65432A 周邊組件參考電路 .....	6
2-2 逆變器電路 .....	7
2-3 過電流保護電路與電流偵測線路 .....	8
2-4 MOSFET 溫度回授電路 .....	8
2-5 直流鏈電壓回授電路 .....	9
2-6 霍爾感測器回授電路 .....	9
2-7 VR 可變電阻電路 .....	9
2-8 無感測器與霍爾感測器 Jump 設定 .....	10
2-9 燒錄介面與馬達平台通訊連線方式 .....	11
2-10 VCC 降壓電阻 .....	13
2-11 反電動勢偵測電路 .....	13
2-12 RF 接收模組 .....	14
2-13 MCU 待機零功耗與喚醒 MCU 功能 .....	14
2-14 FG 轉速功能 .....	15
2-15 PWM 命令功能 .....	15
2-16 MCU 腳位功能定義 .....	16
<b>3. PCB Layout .....</b>	<b>17</b>
<b>4. BOM List .....</b>	<b>19</b>

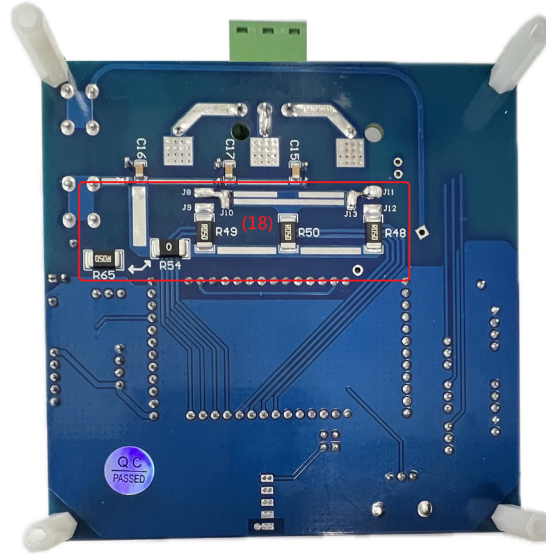
## 1. 簡介

HT32F65432A\_MCU Board 與 HT32 BLDC Motor P/N MOS Power Board 硬體說明，如下圖所示。MOSFET 逆變器，如圖第 (1) 部分。VM 與 VCC 電容與 5V LDO 輸出，如圖第 (2) 部分。OPA 差分放大器電流取樣電路，如圖第 (3) 部分。霍爾感測器介面，如圖第 (4) 部分。VR 可變電阻，如圖第 (5) 部分。Reset 按鈕，如圖第 (6) 部分。SWD 燒錄介面，如圖第 (7) 部分。馬達平台通訊介面，如圖第 (8) 部分。HT32F65432A IC 本體，如圖第 (9) 部分。MOSFET 溫度回授電路，如圖第 (10) 部分。RF 接收模組 (預設 NC)，如圖第 (11) 部分。接收外部 PWM 命令訊號電路，如圖第 (12) 部分。FG 轉速訊號電路，如圖第 (13) 部分。MCU 休眠喚醒電路，如圖第 (14) 部分。馬達霍爾感測器與馬達無感測功能選擇的跳線帽，如圖第 (15) 部分。NTC 與 RF 功能選擇的跳線帽，如圖第 (16) 部分。MCU 休眠模式功能選擇的跳線帽，硬體預設工作模式，如圖第 (17) 部分。

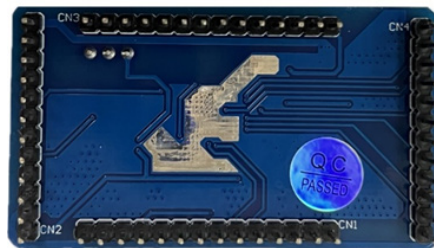


直流無刷馬達開發平台 HT32F65432A\_MCU Board  
與 HT32 BLDC Motor P/N MOS Power Board 正面

HT32 BLDC Motor P/N MOS Power Board 硬體說明，如下圖所示。J8 與 J10 短路；J11 與 J13 短路；R54 為  $0\Omega$ ，即是 HT32F65432A 單電阻接法，如圖第 (18) 部分。



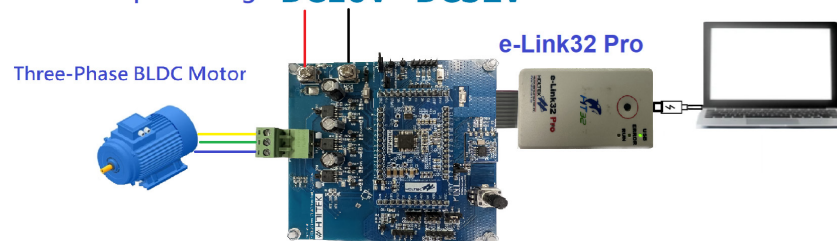
直流無刷馬達開發平台 HT32 BLDC Motor P/N MOS Power Board 背面



直流無刷馬達開發平台 HT32F65432A\_MCU Board 背面

HT32F65432A\_MCU Board 開發環境，如下圖所示。使用 PC USB Port 透過 Mini USB 線連接至 e-Link32 Pro，再透過 e-Link32 Pro 連接至 HT32F65432A\_MCU Board 與直流無刷馬達開發平台做通訊。其輸入電源範圍為 DC 10V~32V。

Input Voltage: **DC10V~DC32V**



HT32F65432A\_MCU Board 開發環境

### 特色

- 輸入電壓：DC 10V~32V
- 最大直流 (DC) 總線電流：2A
- 最大馬達相電流：±6.667A
- 相電流採樣電阻 (R\_Shunt)：0.05Ω/2512/1%/2W
- 直流鏈電壓分壓比：1/8.00
- 柵極驅動信號極性：
  - (1) 下臂導通極性：低電平
  - (2) 上臂導通極性：高電平

如上述 HT32F65432A\_MCU Board 的最大馬達相電流規格為 ±6.667A，下圖為相電流取樣 OPA 放大設定，其硬體預設參數如下：

(1) HT32 BLDC Motor P/N MOS Power Board 的 R48、R49、R50 組件規格為 0.05Ω/2512/1%/2W。

(2) HT32F65432A\_MCU Board 的 R15、R20 組件規格為 180Ω。

HT32F65432A\_MCU Board 的 R18、R19 組件規格為 820Ω。

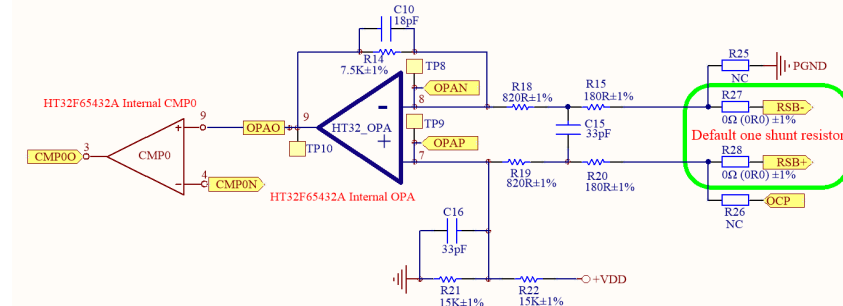
HT32F65432A\_MCU Board 的 R14 組件規格為 7.5KΩ。

HT32F65432A\_MCU Board 的 R21、R22 組件規格為 15KΩ。

而其硬體參數下，馬達可操作的最大相電流為：

$$I_{\max} = \frac{2.5V}{(R_{\text{shunt}} \times \text{OPA Gain})} = \frac{2.5V}{0.05\Omega \times 7.5} = 6.667A$$

在設計放大倍率及 R-Shunt 時，需注意馬達操作相電流範圍，不可大於馬達相電流最大取樣值，且若馬達操作相電流範圍設定過大，會影響電流取樣的解析度。



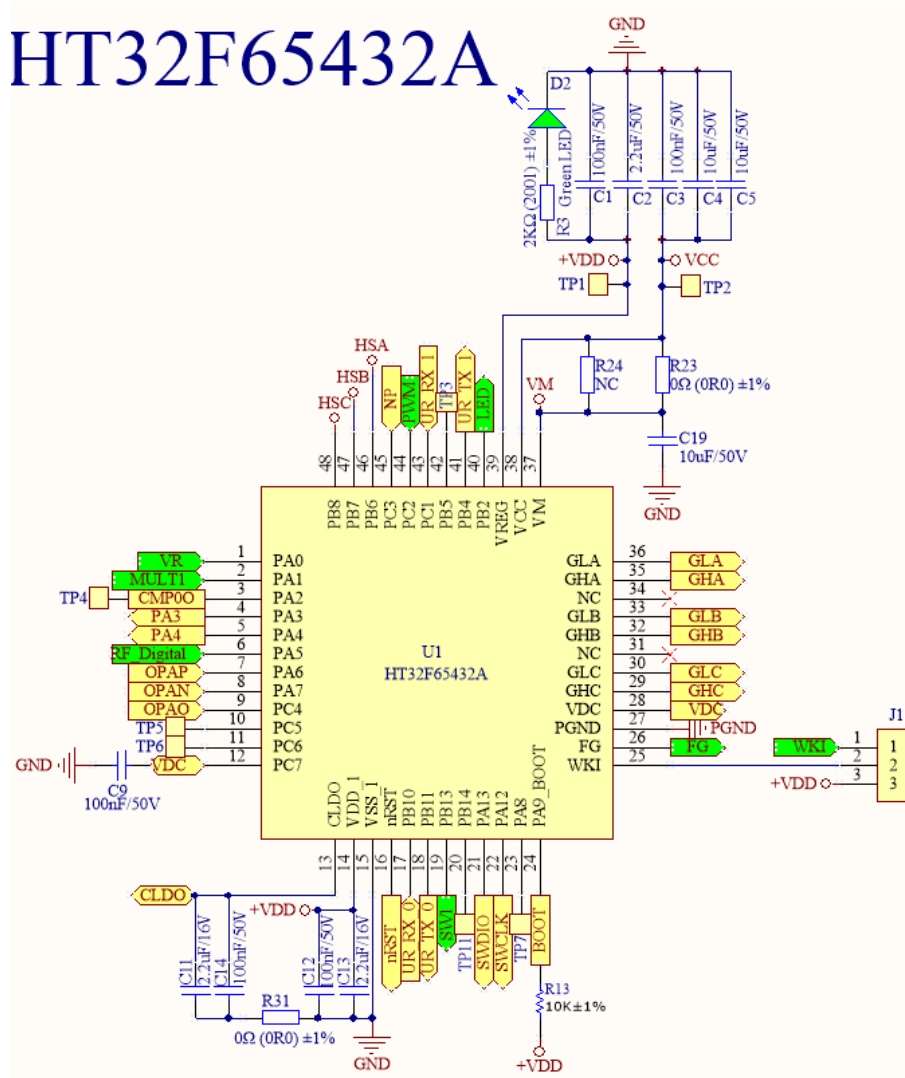
相電流取樣 OPA 放大設定

## 2. 電路原理圖

此章節將針對 HT32F65432A\_MCU Board 的硬體電路搭配實際電路原理圖做解說，詳如下述第 2-1~2-16 節。

### 2-1 HT32F65432A 周邊組件參考電路

下圖為 HT32F65432A 周邊組件參考電路，採用 P-N 驅動器，內建 12V 閘級鉗位電壓，內建 5V LDO 供給 MCU 電路電源，電流驅動能力源極 350mA 與汲極 700mA，內建 OTP 保護、VCC 欠壓保護、5V LDO 欠壓保護。



HT32F65432A 周邊組件參考電路

## 2-2 逆變器電路

下圖為逆變器電路，其開關組件型號為 P2204ND5G，規格如下第一表所示，MOSFET 驅動能力的強弱可透過閘極電阻與二極體調整上升與下降時間。而 Shunt Resistor 的部分，以回授馬達相電流訊號透過內部 OPA 放大後使 MCU 做 FOC 閉迴路控制，其硬體預設值為 0.05Ω/2512/1%/2W，使用者欲做更換其他阻值時需注意電阻的額定功率為 2W 以上。

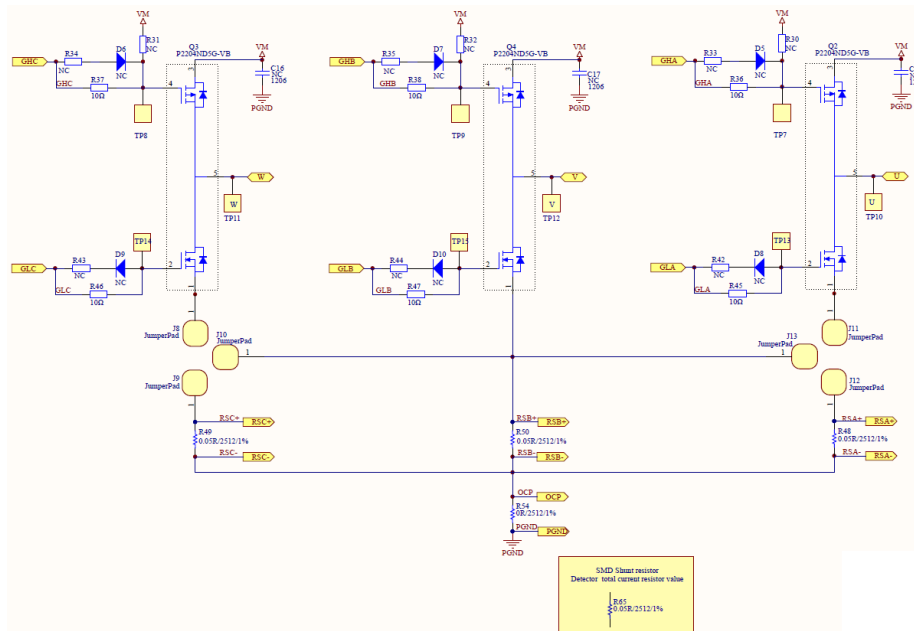
因 HT32F65432A 是單電阻控制 MCU，所以分流電阻需要將 J8 與 J10 短路；J11 與 J13 短路；R54 為 0Ω，即是 HT32F65432A 單電阻接法。因上板 MCU 與下板的電流採樣電阻跳線設定會有關係，所以出廠預設將 J8、J9、J10、J11、J12、J13 跳線移除，使用者根據上板選用的 MCU 再決定下板的電流採樣電阻跳線設定，可參考下第 2 表。

項目	N-ch	P-ch
Vds	+40V	-40V
Rds(on).max @ VGS=10V	14mΩ	14mΩ
Id	50A	-50A
Qg	310nC	420nC

P2204ND5G 規格表

上板 MCU	下板電流採樣電阻跳線配置	總線過電流電阻
HT32F65x32A 單電阻控制 MCU	J8 與 J10 短路 & J11 與 J13 短路	R54=0Ω (預設)
HT32F65x40A 雙電阻控制 MCU	J8 與 J9 短路 & J11 與 J12 短路	R54=0Ω (預設)
HT32F66x46A 三電阻控制 MCU	J8 與 J9 短路 & J11 與 J12 短路	R54=50mΩ (與 R65 交換)

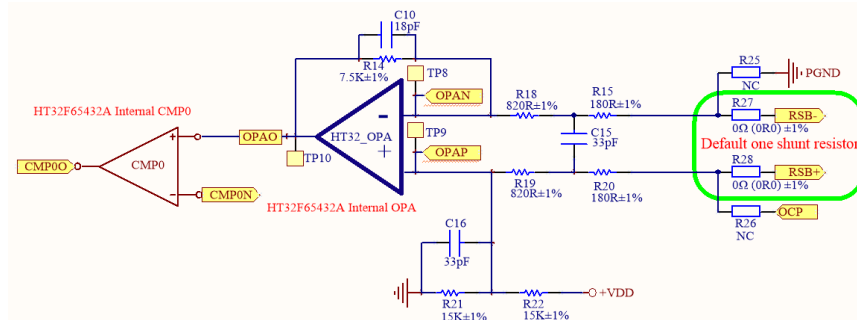
下板電流採樣電阻跳線配置表



逆變器電路

### 2-3 過電流保護電路與電流偵測線路

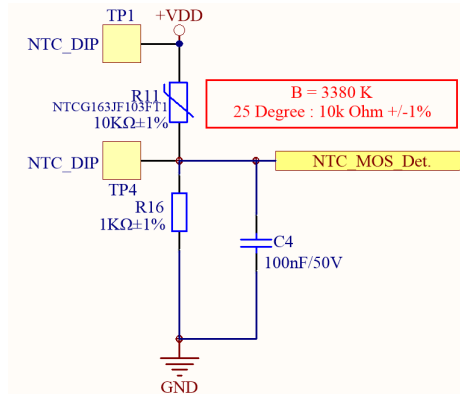
下圖為過電流保護電路與電流偵測線路，將總線的 R-Shunt 上的電壓經過低通濾波器進入內部 OPA，內部的 DAC 過電流閾值與 OPA 輸出做比較，達到過電流保護功能。



過電流保護電路與電流偵測線路

### 2-4 MOSFET 溫度回授電路

下圖為 MOSFET 溫度回授電路，其 NTC 型號為 NTCG163JF103FT1，屬負電阻溫度係數，而其 B 值為 3380K±1%。透過 MCU 的 ADC 讀值，可推算出此時 NTC 的電阻值，再透過其 B 值可估算出目前 MOSFET 的溫度，R11 封裝是 SMD 0603，如有需要溫度功能且 NTC 需要擺放在 MOSFET 熱源附近，可將 R11 SMD 移除，換成插件式 NTC 電阻，可透過 NTC 本身引腳，讓 NTC 更靠近熱源，NTC 引腳可以焊接至 NTC\_DIP 貫孔。



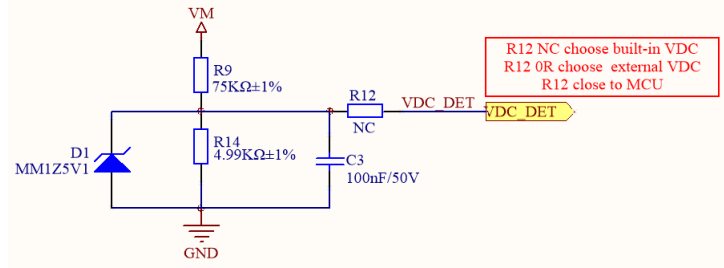
MOSFET 溫度回授電路



實際組件佈局與 NTC\_DIP 位置

## 2-5 直流鏈電壓回授電路

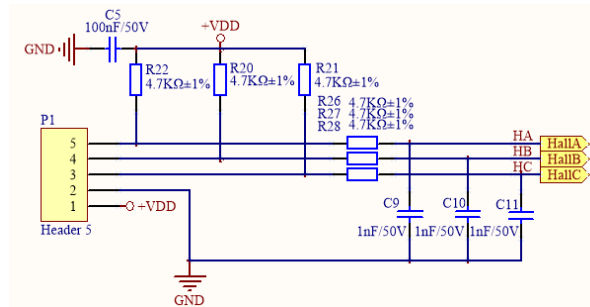
下圖為直流鏈電壓回授電路，其 VDC\_DET 回授訊號為實際直流鏈電壓的 1/16。透過 MCU 的讀值，搭配硬體的縮小倍率，可計算出當前的直流鏈電壓值。因 HT32F65432A 內建直流鏈電壓回授電路，固可以忽略此外掛線路，如使用內部回授訊號為實際直流鏈電壓的 1/8。



直流鏈電壓回授電路

## 2-6 霍爾感測器回授電路

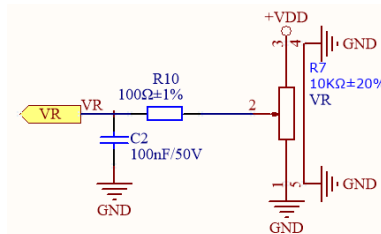
下圖為霍爾感測器回授電路，如馬達帶有霍爾感測器可以將 3 個霍爾訊號接到 P1 排針上 pin3~pin5，會經過上拉電阻將訊號上拉至 +VDD，再經過低通濾波器進入 MCU 做換相訊號處理。



霍爾感測器回授電路

## 2-7 VR 可變電阻電路

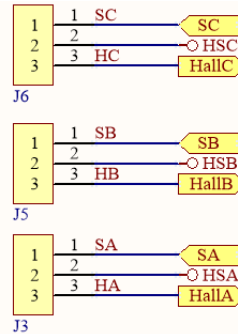
下圖為 VR 可變電阻電路，將 VR 中間分壓電壓經過低通濾波器傳送至 MCU ADC，實際應用上可當作馬達轉速的命令，達到人機界面的功能。



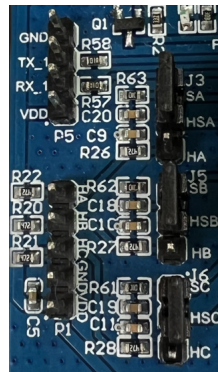
VR 可變電阻電路

## 2-8 無感測器與霍爾感測器 Jump 設定

下圖為無感測器與霍爾感測器 Jump 設定，當選擇霍爾訊號 HallA、HallB、HallC 時，可透過外部 J3、J5、J6 三組 Jump 將 pin2 與 pin3 短路，如選擇無感訊號 SA、SB、SC 透過外部 J3、J5、J6 三組 Jump 將 pin1 與 pin2 短路，硬體預設為無感測器。



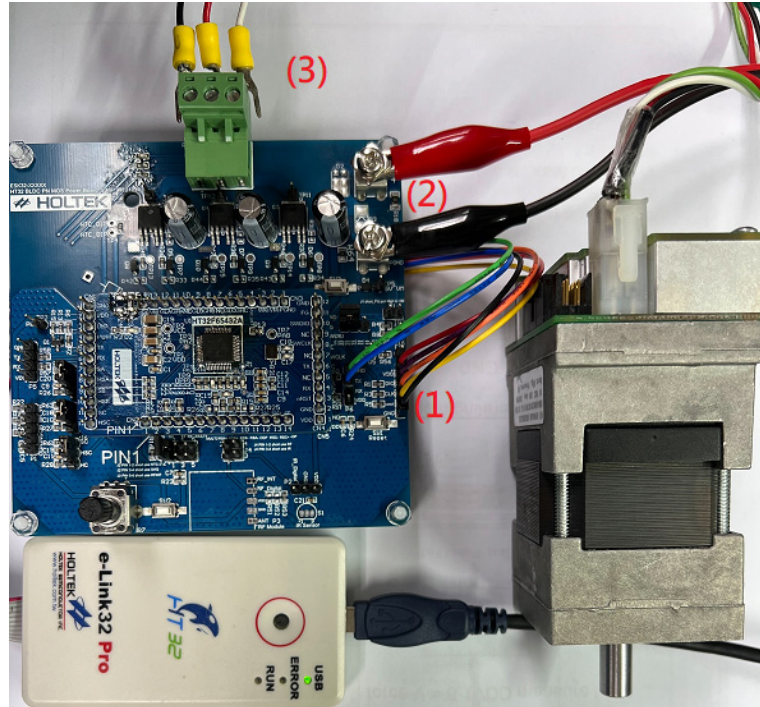
無感測器與霍爾感測器 Jump 設定



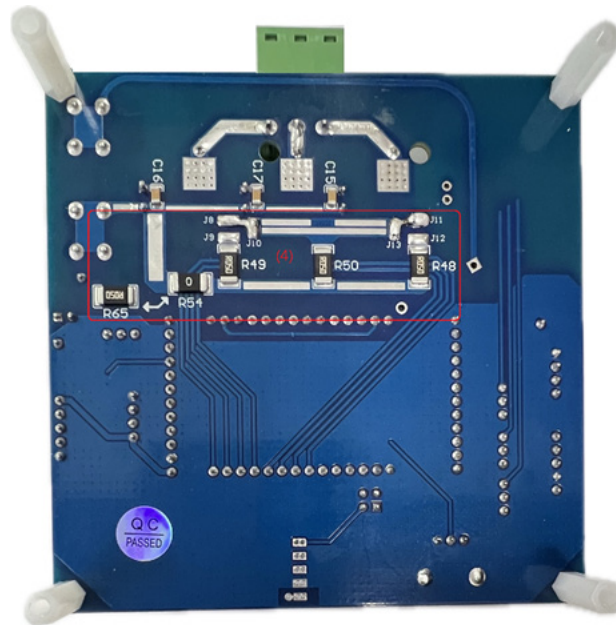
實際組件佈局與 J3、J5、J6 Jump 硬體預設

## 2-9 燒錄介面與馬達平台通訊連線方式

先檢查 HT32 BLDC Motor P/N MOS Power Board 的硬體接線前置設定是否正常。如下方兩個圖，總共有 4 點需檢查：(1) e-Link32 Pro 燒錄器接線；(2) 輸入電源線；(3) 馬連接線。(4) 電流採樣電阻。如下方第二個圖將 J8-J10 短路與 J11-J13 短路與 R54 為  $0\Omega$ ，如 MCU 有總線過電流保護機制，須將 R54 阻值  $0\Omega$  換成  $50m\Omega$ ，可與 R65 互換電阻。

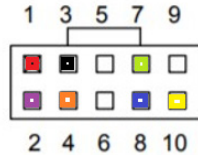


檢查 HT32 BLDC Motor P/N MOS Power Board 硬體接線前置設定



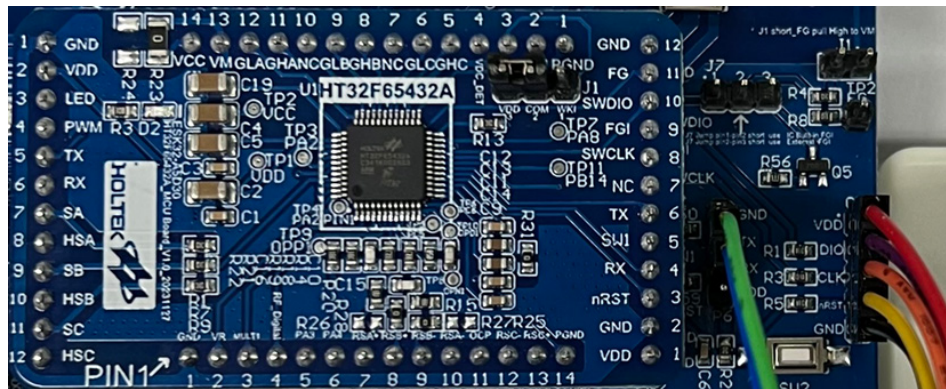
檢查 HT32 BLDC Motor P/N MOS Power Board 電流採樣電阻配置設定

如上第一個圖所示，將方形馬達的三相線（黑、紅、白）分別連接至 HT32 BLDC Motor P/N MOS Power Board 的端子（U、V、W），再將 Mini USB 傳輸線連接至 PC USB port，接續將 e-Link32 Pro 輸出 port 透過排針轉成杜邦線連接至 HT32 BLDC Motor P/N MOS Power Board 的 CN5 排針上，如下三個圖（CN5 由下至上排序為 5V 紅、SWDIO 紫、SWCLK 橙、nRST 黃、GND 黑與 e-Link32 Pro 輸出 port pin8 VCOM\_TXD 與底板 P6 排針\_USR\_RX 藍、e-Link32 Pro 輸出 port pin7 VCOM\_RXD 與底板 P6 排針\_USR\_TX 綠），最後將 24V 電源線接上 DCIN 與 PGND 螺絲端子，即可完成硬體接線前置設定。

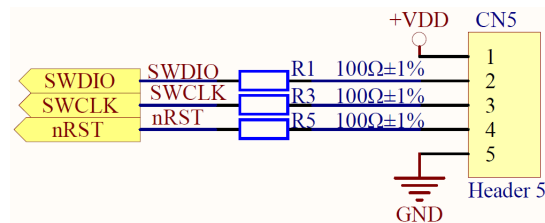


Pin#	Description	Pin#	Description
1	5V	2	SWDIO
3	GND	4	SWCLK
5	GND	6	Reserved
7	NC (VCOM_RXD <sup>(Note)</sup> )	8	NC (VCOM_TXD <sup>(Note)</sup> )
9	GND	10	Reset

e-Link32 Pro 燒錄器出線定義



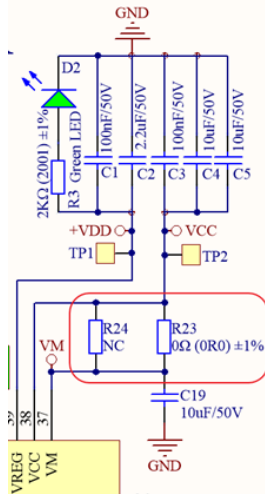
HT32F65432A\_MCU Board 與 HT32 BLDC Motor P/N MOS Power Board 燒錄排線顏色參考圖



CN5 腳位定義

## 2-10 VCC 降壓電阻

如下圖所示，硬體預設 R24 為 NC 與 R23 為 0Ω，電阻封裝為 1206 樣式，如輸入電壓超過 24V 以上建議 R23 與 R24 調整適當的阻值，可使 IC 內部 5V LDO 的輸入電壓變小，正常操作下 VCC 耗電流約 35mA，利用歐姆定律算出電阻跨壓，建議 VCC 操作 12V~15V，IC 溫度可以控制在合理的範圍內。

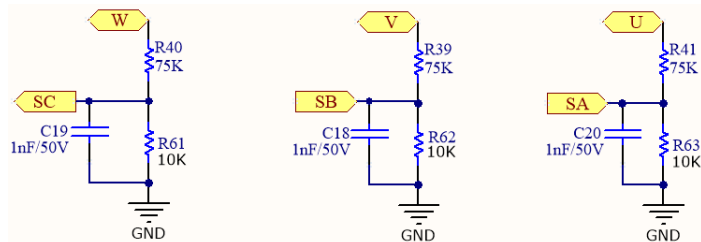


R23 與 R24 降壓電阻

## 2-11 反電動勢偵測電路

如下圖所示，為反電動勢偵測電路，主要用來偵測馬達相電壓大小，建議分壓後電壓不要超過 4V 即可，分壓點對地電阻 R61、R62、R63 固定是 10KΩ，假設輸入最高電壓為 32V，分壓點對相電壓的電阻為 75KΩ，可算出分壓點為：

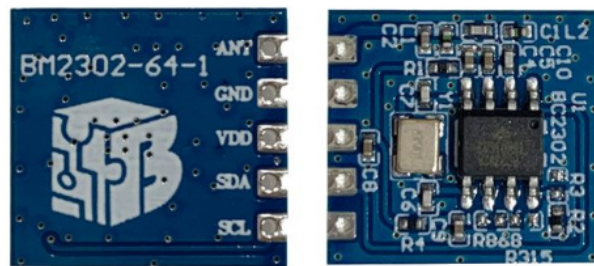
$$32V \times \frac{10K\Omega}{10K\Omega + 75K\Omega} = 3.76V$$



反電動勢偵測電路

### 2-12 RF 接收模組

如下圖所示，為 433MHz 超外差 OOK 接收模組，型號為 BM2302-64-1，如有遠距離遙控需求，可在倍創網路商城購買此模組，硬體預設不上件 NC。



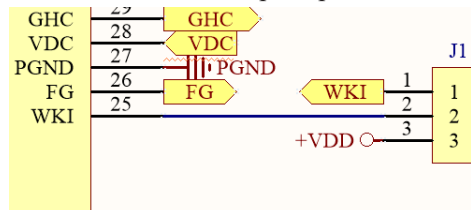
back view

front view

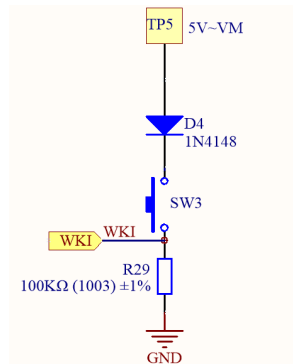
RF 接收模組

### 2-13 MCU 待機零功耗與喚醒 MCU 功能

如下第一個圖為 J1 切換功能跳帽圖，如 MCU 有待機零功耗需求，須把上板 MCU Board 的 J1 排針 pin1-pin2 用跳帽短路達到待機零功耗功能，如下第二個圖，下板 TP5 可以透過杜邦線將 5V~VM 電壓引入，再透過 SW3 按鈕將電壓傳至上板 HT32F65432A\_MCU Board 達到喚醒 MCU 功能，如無省電模式可將上板 HT32F65432A\_MCU Board 的 J1 排針 pin2-pin3 用跳帽短路。



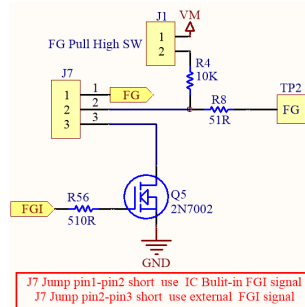
J1 切換功能跳帽圖



喚醒功能

## 2-14 FG 轉速功能

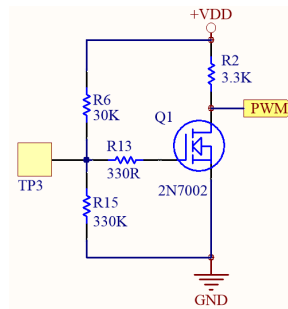
下圖為 FG 轉速功能，透過下板 J7 排針 pin1-pin2 用跳帽短路，可使用 HT32F65432A 內建的 FG 功能無須外部零件，因內部電晶體架構為開汲極，可以將 J1 排針用跳帽短路，使得 FG 輸出電壓準位上拉至 VM。



FG 轉速功能

## 2-15 PWM 命令功能

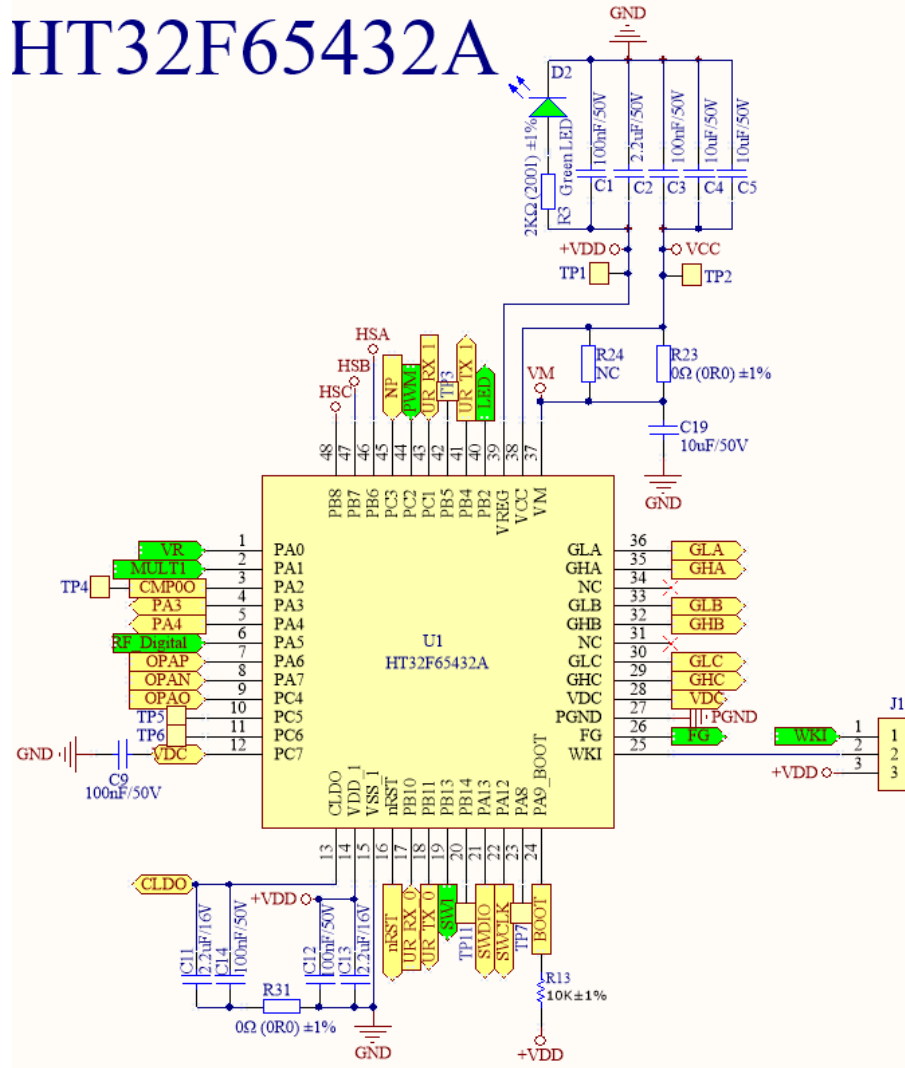
下圖為 PWM 命令功能，將外部 PWM 命令接至 TP3 排針，利用 Q1 MOSFET 將 PWM 訊號反相輸出，即可得到反相的 PWM 命令訊號。



PWM 命令功能

## 2-16 MCU 腳位功能定義

下圖為 HT32F65432A 腳位電路圖，MCU 腳位功能定義可參考下表。



HT32F65432A 腳位電路圖

PA0 (VR)	PA1 (RF INT & NTC)	PA5 (RF Digital)
PB10 (UR_RX)	PB11 (UR_TX)	PB13 (SW1)
PB2 (LED)	PB4 (UR_TX_1)	PC1 (UR_RX_1)
PC2 (PWM)	PC3 (NP)	PB6 (HSA)
PB7 (HSB)	PB8 (HSC)	

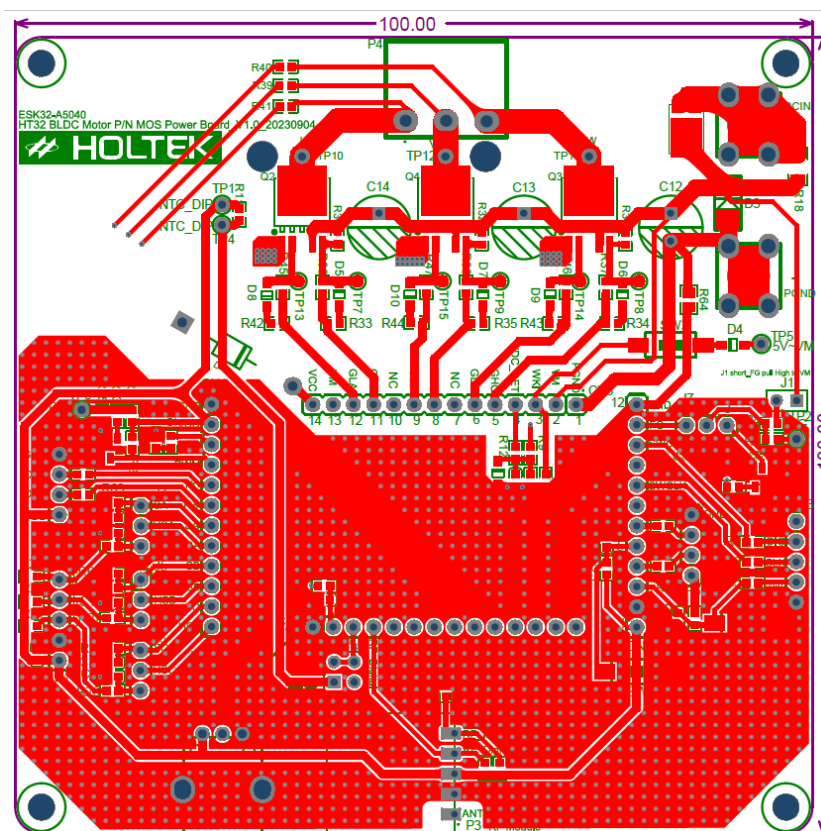
MCU 腳位功能定義表

### 3. PCB Layout

下方兩個圖為 HT32 BLDC Motor P/N MOS Power Board 的 PCB Layout，其詳細規格如下表所示。

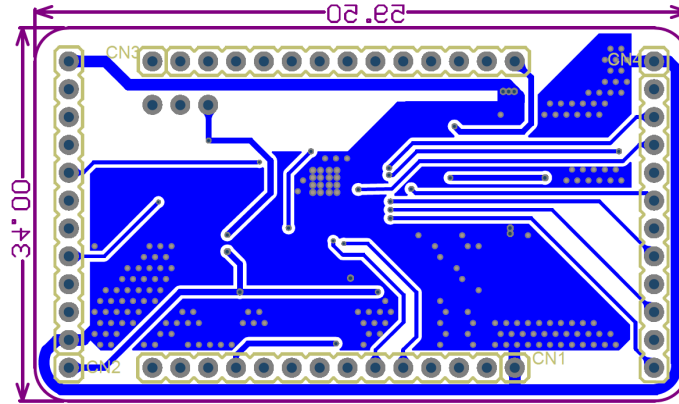
電路板之長 × 寬	100×100 (mm)
電路板厚	1.6 (mm)
Layer 層數	2 (層)
銅箔厚度	2 (Oz)
電路板材	FR-4
防焊層顏色	藍色

HT32 BLDC Motor P/N MOS Power Board 電路板之規格表



HT32 BLDC Motor P/N MOS Power Board\_Top Layer





HT32F65432A\_MCU Board\_Bottom Layer

## 4. BOM List

下表為 HT32 BLDC Motor P/N MOS Power Board 的 BOM List，此為單套電路板所需的全部組件。

注釋	說明	組件標號	數量	組件封裝
100nF±10% 50V X7R	貼片電容	C2, C3, C4, C5, C6, C7	6	0603
1nF±5% 50V X7R	貼片電容	C9, C10, C11, C18, C19, C20	6	0603
100nF±10% 100V X7R	貼片電容	C15, C16, C17	3	1206
5.1V±5% 0.5W, MM1Z5V1	貼片齊納二極體	D1	1	SOD-123
1N4148	貼片二極體	D4	1	SOD-123
貼片紅光二極體, 普亮	貼片 LED	D11	1	0603
UK-B0240G25-SP25Y	貼片按鈕	SW1, SW2, SW3	3	SMD
2N7002	貼片 N-ch MOSFET	Q1, Q5	2	SOT-23
P2204ND5G-VB	貼片 PN MOSFET	Q2, Q3, Q4	3	TO-252-4
51Ω±1%	貼片電阻	R8	1	0603
100KΩ±1%	貼片電阻	R23, R24, R29	3	0603
100Ω±1%	貼片電阻	R1, R3, R5, R10, R57, R58, R59, R60	8	0603
0Ω	貼片電阻	R18	1	1206
10KΩ±1%	貼片電阻	R4, R61, R62, R63	4	0603
75KΩ±1%	貼片電阻	R9, R39, R40, R41	4	0603
0Ω	貼片電阻	R64	1	0805
2KΩ±1%	貼片電阻	R55	1	0603
3.3KΩ±1%	貼片電阻	R2	1	0603
1KΩ±1%	貼片電阻	R16, R53	1	0603
50mΩ±1%	貼片電阻	R48, R49, R50, R65	4	2512
30KΩ±1%	貼片電阻	R6	1	0603

注釋	說明	組件標號	數量	組件封裝
330Ω±1%	貼片電阻	R13	1	0603
330KΩ±1%	貼片電阻	R15	1	0603
10Ω±1%	貼片電阻	R36, R37, R38, R45, R46, R47	6	0603
4.7KΩ±1%	貼片電阻	R20, R21, R22, R26, R27, R28	6	0603
510Ω±1%	貼片電阻	R56	1	0603
4.99KΩ±1%	貼片電阻	R14	1	0603
10KΩ±1%	貼片 NTC 負電阻	R11	1	0603
( 1Pin, 180 度 )	單排排針	TP2, TP3, TP5, TP10, TP11, TP12	6	HEADER_1X1P
P=2.54mm, 2Pin, 180 度	單排排針	J1	1	HEADER_1X2P
P=2.54mm, 3Pin, 180 度	單排排針	J3, J5, J6, J7	4	HEADER_1X3P
P=2.54mm, 4Pin, 180 度	單排排針	P5, P6	2	HEADER_1X4P
P=2.54mm, 5Pin, 180 度	單排排針	CN5, P1	2	HEADER_1X5P
P=2.54mm, 12Pin, 180 度	單排排針	CN2, CN4	2	HEADER_1X12P
P=2.54mm, 14Pin, 180 度	單排排針	CN1, CN3	2	HEADER_1X14P
P=2.54mm, 4Pin, 180 度	雙排排針	J2	1	HEADER_2X2P
螺絲座 +M4 螺絲	螺絲座 +M4 螺絲	DCIN, PGND	2	插件
100μF/63V 63ZLH100MEFC8X16	直插鋁電解電容	C12, C13, C14	3	CEC 8X16H_P3.5
( P=2.54mm, 3Pin, 90 度 )	拔插式接線端子	P4	1	DIP3W-5.08
10KΩ±20% RK09K1130A5R	直插可變電阻	R7	1	插件
跳帽	黑色跳帽		3	Pitch=2.54mm
0Ω	貼片電阻	R54	1	2512

### HT32 BLDC Motor P/N MOS Power Board\_BOM List

下表為 HT32F65432A\_MCU Board 的 BOM List，此為單套電路板所需的全部組件。

注釋	說明	組件標號	數量	組件封裝
HT32F65432A	32-bit MCU	U1	1	LQFP48_EP PAD
100nF±10% 50V X7R	貼片電容	C1, C3, C9, C12, C14	5	0603
2.2μF±10% 50V X7R	貼片電容	C2	1	1206
10μF±10% 50V X7R	貼片電容	C4, C5, C19	3	1206
18pF±5% 50V NP0	貼片電容	C10	1	0603
2.2μF±10% 16V X7R	貼片電容	C11, C13	2	0603
33pF±5% 50V NP0	貼片電容	C15, C16	2	0603
綠光二極體	貼片 LED	D2	1	0603
15KΩ±1%	貼片電阻	R21, R22	2	0603
0Ω	貼片電阻	R23	1	1206
10KΩ±1%	貼片電阻	R1, R7, R9, R13	4	0603
0Ω	貼片電阻	R27, R28, R31	3	0603

注釋	說明	組件標號	數量	組件封裝
2K $\Omega$ ±1%	貼片電阻	R3	1	0603
180 $\Omega$ ±1%	貼片電阻	R15, R20	2	0603
820 $\Omega$ ±1%	貼片電阻	R18, R19	2	0603
7.5K $\Omega$ ±1%	貼片電阻	R14	1	0603
P=2.54mm, 12Pin, 180度	單排排針	CN1, CN4	2	HEADER_1X12P
P=2.54mm, 14Pin, 180度	單排排針	CN2, CN3	2	HEADER_1X14P
P=2.54mm, 3Pin, 180度	單排排針	J1	1	HEADER_1X3P
跳帽	黑色跳帽		1	Pitch=2.54mm

HT32F65432A\_MCU Board\_BOM List

Copyright© 2024 by HOLTEK SEMICONDUCTOR INC. All Rights Reserved.

本文件出版時 HOLTEK 已針對所載資訊為合理注意，但不保證資訊準確無誤。文中提到的資訊僅是提供作為參考，且可能被更新取代。HOLTEK 不擔保任何明示、默示或法定的，包括但不限於適合商品化、令人滿意的品質、規格、特性、功能與特定用途、不侵害第三人權利等保證責任。HOLTEK 就文中提到的資訊及該資訊之應用，不承擔任何法律責任。此外，HOLTEK 並不推薦將 HOLTEK 的產品使用在會因故障或其他原因而可能會對人身安全造成危害的地方。HOLTEK 特此聲明，不授權將產品使用於救生、維生或安全關鍵零組件。在救生 / 維生或安全應用中使用 HOLTEK 產品的風險完全由買方承擔，如因該等使用導致 HOLTEK 遭受損害、索賠、訴訟或產生費用，買方同意出面進行辯護、賠償並使 HOLTEK 免受損害。HOLTEK ( 及其授權方，如適用 ) 擁有本文件所提供資訊 ( 包括但不限於內容、資料、示例、材料、圖形、商標 ) 的智慧財產權，且該資訊受著作權法和其他智慧財產權法的保護。HOLTEK 在此並未明示或暗示授予任何智慧財產權。HOLTEK 擁有不事先通知而修改本文件所載資訊的權利。如欲取得最新的資訊，請與我們聯繫。