
第3章

控制端子的详细说明

内容	页码
1.下臂电源端子 V_{CCH} , V_{CCL} 和COM	3-2
2.上臂电源端子VB (U,V,W)	3-6
3.内部BSD (自举二极管) 功能	3-9
4.控制信号输入端子 IN (HU,HV,HW) ,IN (LU,LV,LW)	3-13
5.过电流保护输入IS	3-16
6.故障状态输出VFO.....	3-17
7.温度传感器输出TEMP	3-18
8.过温保护	3-20

1. 上下臂控制电源端子 V_{CCH} , V_{CCL} 和COM

1.1 上臂和下臂控制电源端子 V_{CCH} , V_{CCL} 的电压范围

通常情况下，此IPM的控制和门极驱动电源为由 V_{CCH} 、 V_{CCL} 和COM端子相连的15V直流电源提供。正常工作时的电压范围为 $15V \pm 10\%$ 。

表格3-1说明的是各种控制电源电压下IPM的特性。应利用低阻抗电解电容和高频去耦电容连接于端子最近处对控制电源进行充分的滤波。

电源的高频噪音可能导致内部控制IC误操作，并发出错误的故障信号。为避免此类问题，应将电源的最大波动控制在 $\pm 1V/\mu s$ 以内。

由于COM端子电位与 $N(*)^1$ 电源端子处的电位不同。所有控制电路和逆变器电路的基准电位都是COM端子电位，而非 $N(*)^1$ 端子，这一点很重要。如果电路连接错误，分流电阻会有电流流过，过电流保护功能有误动作的可能性。通常，最好的做法是将COM端子作为PCB布局中的地。

主控制电源连接至自举电路，为上臂门极驱动建立浮动电源。

当上臂控制电源电压 (V_{CCH}) 下降至 V_{CCH} UV (欠电压跳闸保护电压) 以下，则尽管存在输入信号，但仅此触发通道的上臂IGBT处于关断状态。

当下臂控制电源电压 (V_{CCL}) 下降至 V_{CCL} UV (欠电压跳闸保护电压) 以下，则尽管存在输入信号，所有相的下臂IGBT均处于关断状态。

表.3-1 上下臂控制电源电压 V_{CCH} , V_{CCL} 各范围段的工作状态

控制电压范围[V]	工作状态
0 ~ 4	IPM没有工作。欠电压保护(UV)和故障输出不工作。主端子P-N电压的 dV/dt 噪音可能会触发IGBT误动作。
4 ~ 13	IPM开始工作，进入欠电压保护(UV)状态。即使存在输入信号也不会开关动作，产生故障输出信号VFO。
13 ~ 13.5	欠电压保护复位。IGBT根据门极输入信号来进行开关动作。驱动电压低于推荐范围，所以导通损耗和开关损耗将大于正常状态时的损耗。在 $VB(*)^2$ 初始充电后 $VB(*)$ 达到 $V_{B(ON)}$ 之前，上臂IGBT将无法工作。
13.5 ~ 16.5	正常运行。这是推荐的工作条件。
16.5 ~ 20	IPM仍然在开关工作。因为驱动电压高于推荐的范围，IGBT开关的更快，会增加系统噪音。而且即使设计了合理的过电流保护，但短路电流峰值会非常大甚至可能会导致IPM被破坏。
20以上	此IPM的控制电路可能被损坏。必要时，建议在每对控制电源端子之间插入稳压二极管。

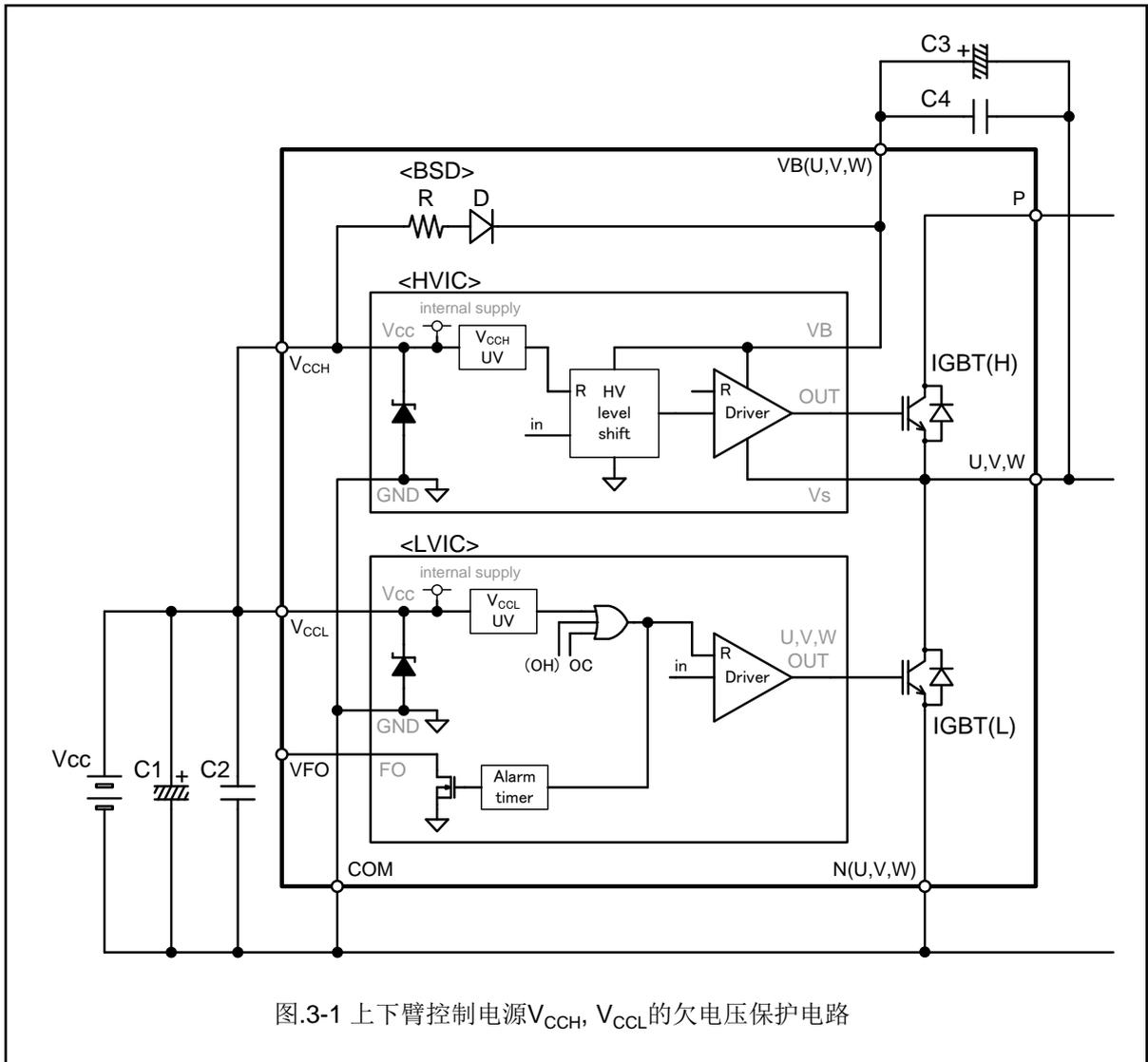
1 $N()$: N(U), N(V), N(W)

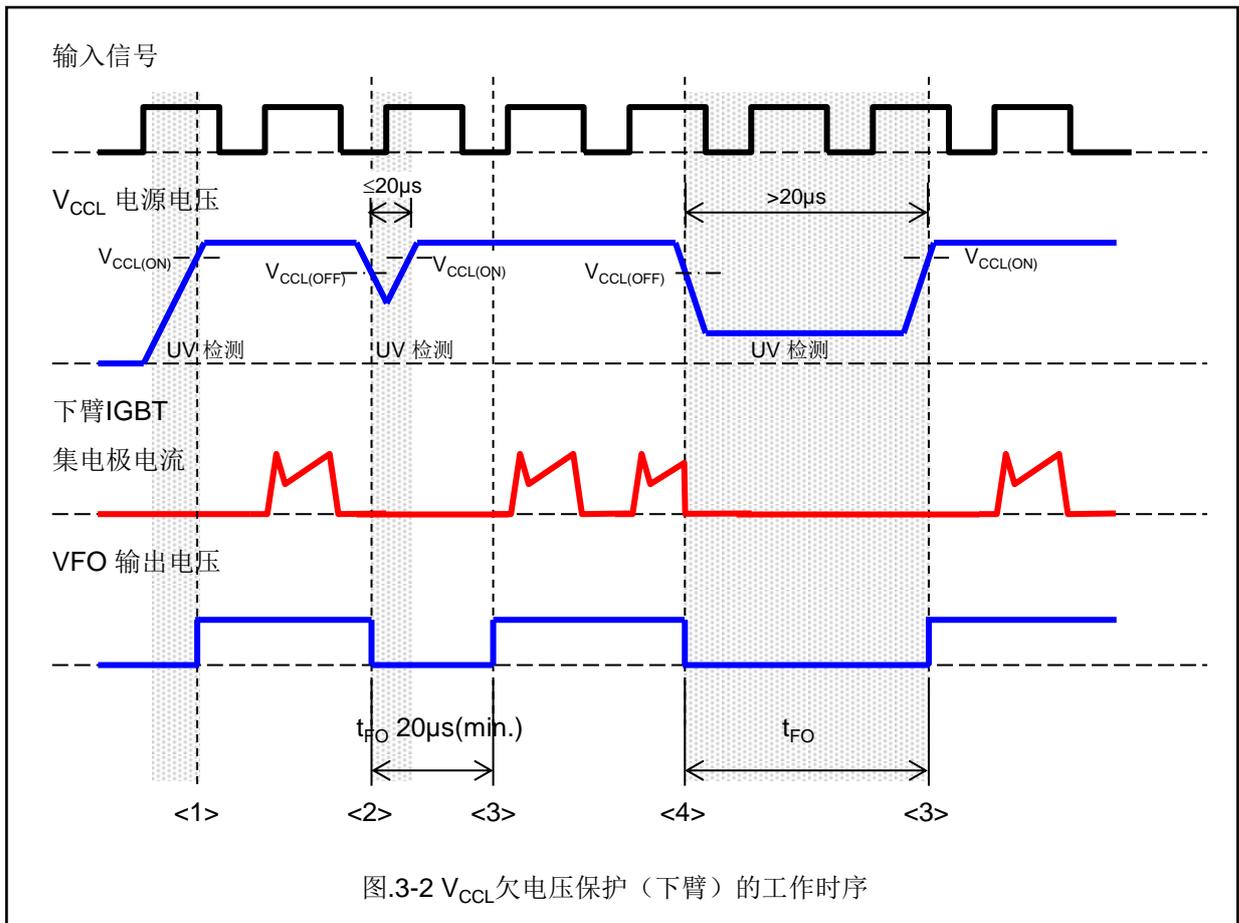
2 $VB()$: $VB(U)-U, VB(V)-V, VB(W)-W$

1.2 上下臂控制电源 V_{CCH} , V_{CCL} 的欠电压保护功能

图.3-1显示的是上下臂控制电源 (V_{CCH} , V_{CCL}) 的欠电压保护电路示意图, 图.3-2和图.3-3显示的是 V_{CCH} 和 V_{CCL} 的欠电压保护动作的工作时序。

如图.3-1所示有二极管分别连接在 V_{CCH} 和COM端子之间, V_{CCL} 和COM端子之间。这类二极管是为了在浪涌电压冲击时保护IPM而内置的, 不得将其视为电压钳位二极管使用, 以免IPM产生重大问题和破坏。





<1>当 V_{CCL} 低于 $V_{CCL(ON)}$ 时，所有相的下臂IGBT均处于关断状态。

V_{CCL} 上升到 $V_{CCL(ON)}$ 以上后，故障输出VFO被激活（低电平跳至高电平）。

此时，下臂的IGBT根据随后的输入信号开始进行开关动作。

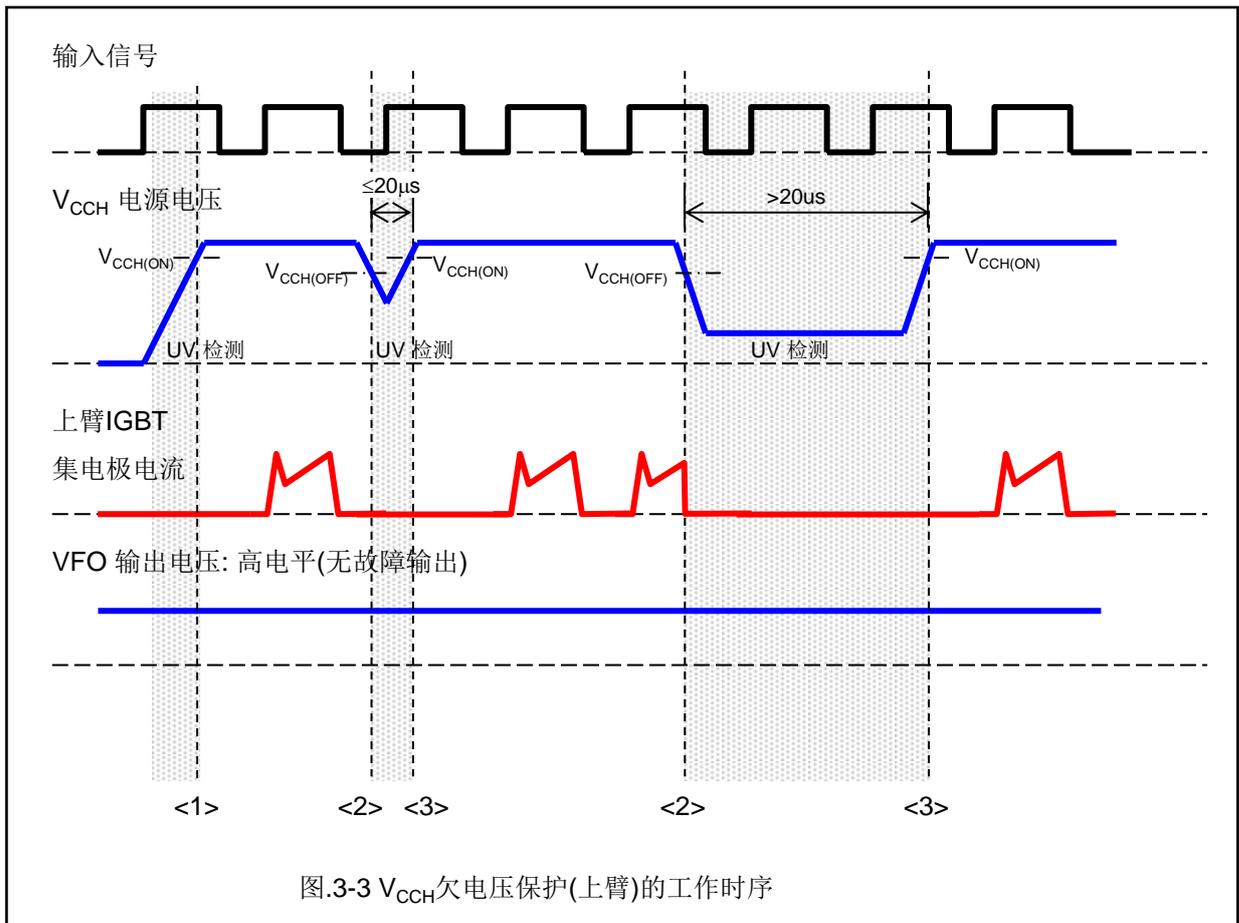
<2>当 V_{CCL} 下降至 $V_{CCL(OFF)}$ 以下时，故障输出VFO被激活，且所有相的下臂IGBT仍保持为关断状态。

电压跌落时间小于 $20\mu s$ 时，因为故障输出脉冲宽度最小值 $t_{FO}=20\mu s(\min)$ ，忽略这段时间内的输入信号，所有相的下臂IGBT处于关断状态。

<3>在 t_{FO} 后，当 V_{CCL} 高于 $V_{CCL(ON)}$ 时，对欠电压保护动作(UV)进行复位，且故障输出VFO被同时复位。

此时，下臂的IGBT根据随后的输入信号再次进行开关动作。

<4>当电压跌落时间超过 t_{FO} 时，输出同等时间宽度的故障输出脉宽，这段时间所有相的下臂IGBT处于关断状态。



<1>当 V_{CCH} 低于 $V_{CCH(ON)}$ 时，所有上臂IGBT均处于关断状态。当 V_{CCH} 超过 $V_{CCH(ON)}$ 时，上臂的IGBT根据随后的输入信号开始进行开关动作。

故障输出电压VFO不变化（高电平），不取决于 V_{CCH} 。

<2>当 V_{CCH} 下降至 $V_{CCH(OFF)}$ 以下时，所有上臂IGBT处于关断状态。但故障输出VFO仍保持高电平。

<3>欠电压保护动作(UV)复位后，上臂的IGBT根据随后的输入信号再次进行开关动作。

2. 上臂驱动电源端子VB(U,V,W)

2.1 上臂IGBT驱动电源端子VB(U,V,W)的偏置电压范围

VB(*)是VB(U,V,W) 电压和U,V,W之间的电压差，在IPM内部给HVIC供电。电源范围必须为13.0~18.5V，以确保HVIC可完全驱动上臂IGBT。IPM内置VB(*)的欠电压保护动作(UV)功能，以确保如果VB(*)电压下降至规定电压以下，上臂IGBT将无法驱动。该功能可以防止IGBT在高功耗模式下工作。应注意，VB(*)的欠电压保护动作(UV)关断IGBT的功能仅对上臂有效。且此时不会有故障输出。

使用自举电路时，上臂IGBT驱动电源可由一个公共的上下臂控制电源组成。而传统的IGBT上臂驱动需要三个独立的浮地电源提供电力。

上臂驱动电源是通过开通下臂IGBT进行充电或利用续流电流流下臂FWD的瞬间进行充电。表格3-2描述的是多种控制电源条件下的IPM的特性。应利用直接连接在端子上的低阻抗电解电容和的高频去耦电容对控制电源进行充分的滤波，因为电源的高频噪音可能导致IPM误动作。

上臂驱动电源电压（VB(U)-U,VB(V)-V和VB(W)-W）降至欠电压保护动作(UV)电平以下时，尽管存在输入信号，但仅此触发通道的上臂IGBT处于关断状态。

表.3-2 各上臂驱动电源电压VB(*)各范围段的工作状态

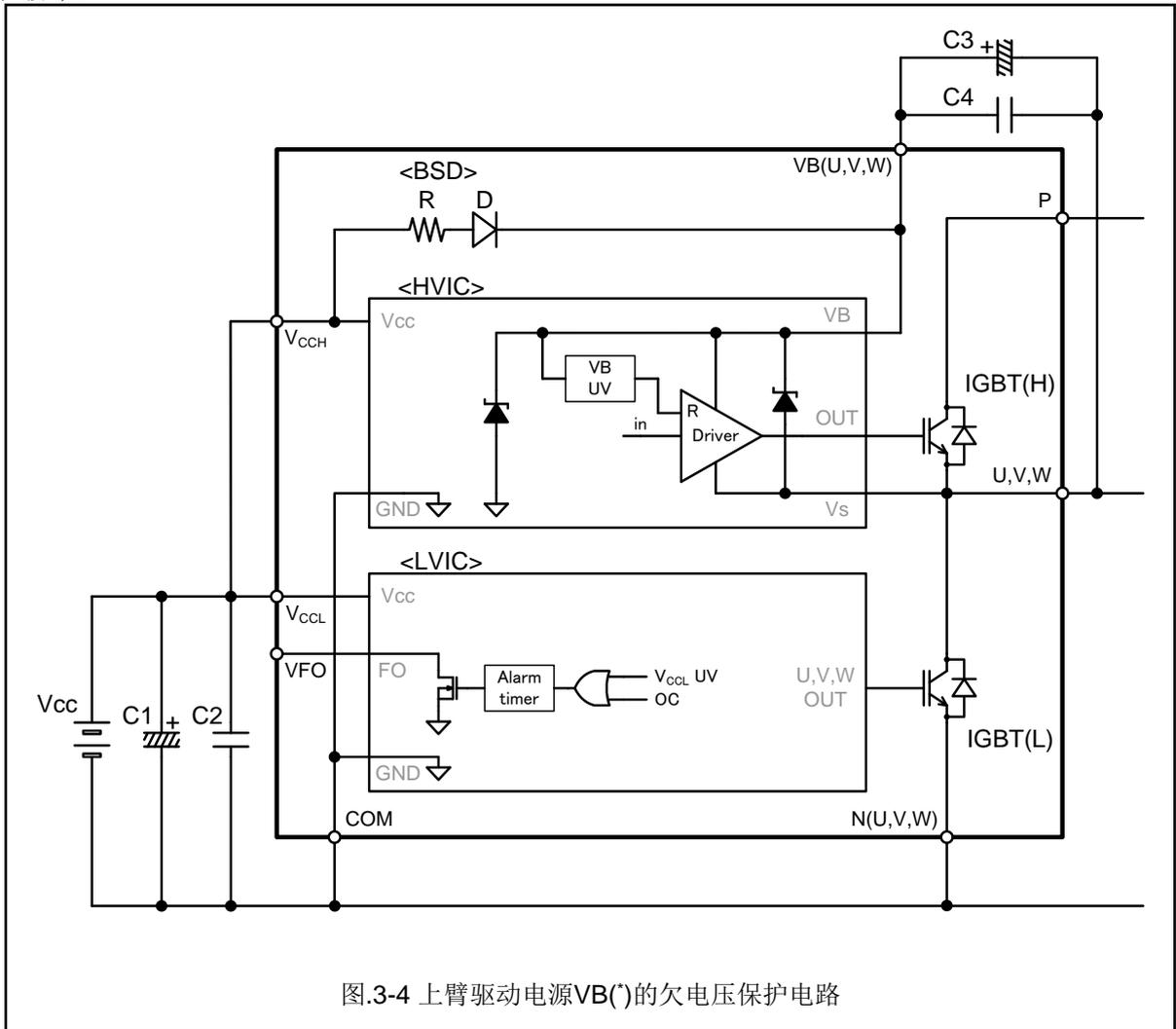
上臂驱动电压范围[V]	工作状态
0 ~ 4	IPM没有工作。欠电压保护(UV)和故障输出不工作。主端子P-N电压的dV/dt噪音可能会触发IGBT误动作。
4 ~ 12.5	IPM开始工作，进入欠电压保护(UV)状态。即使存在输入信号也不会开关动作。
12.5 ~ 13	欠电压保护复位。上臂IGBT根据门级输入信号来进行开关动作。上臂驱动电压低于推荐范围，所以导通损耗和开关损耗将大于正常状态时的损耗。
13 ~ 18.5	正常运行。这是推荐的工作条件。
18.5 ~ 20	上臂IGBT仍然在开关工作。因为驱动电压高于推荐的范围，IGBT开关的更快，会增加系统噪音。而且即使设计了合理的过电流保护，但短路电流峰值会非常大甚至可能会导致IPM被破坏。
20以上	此IPM的控制电路可能被损坏。必要时，建议在每对控制电源端子之间插入稳压二极管。

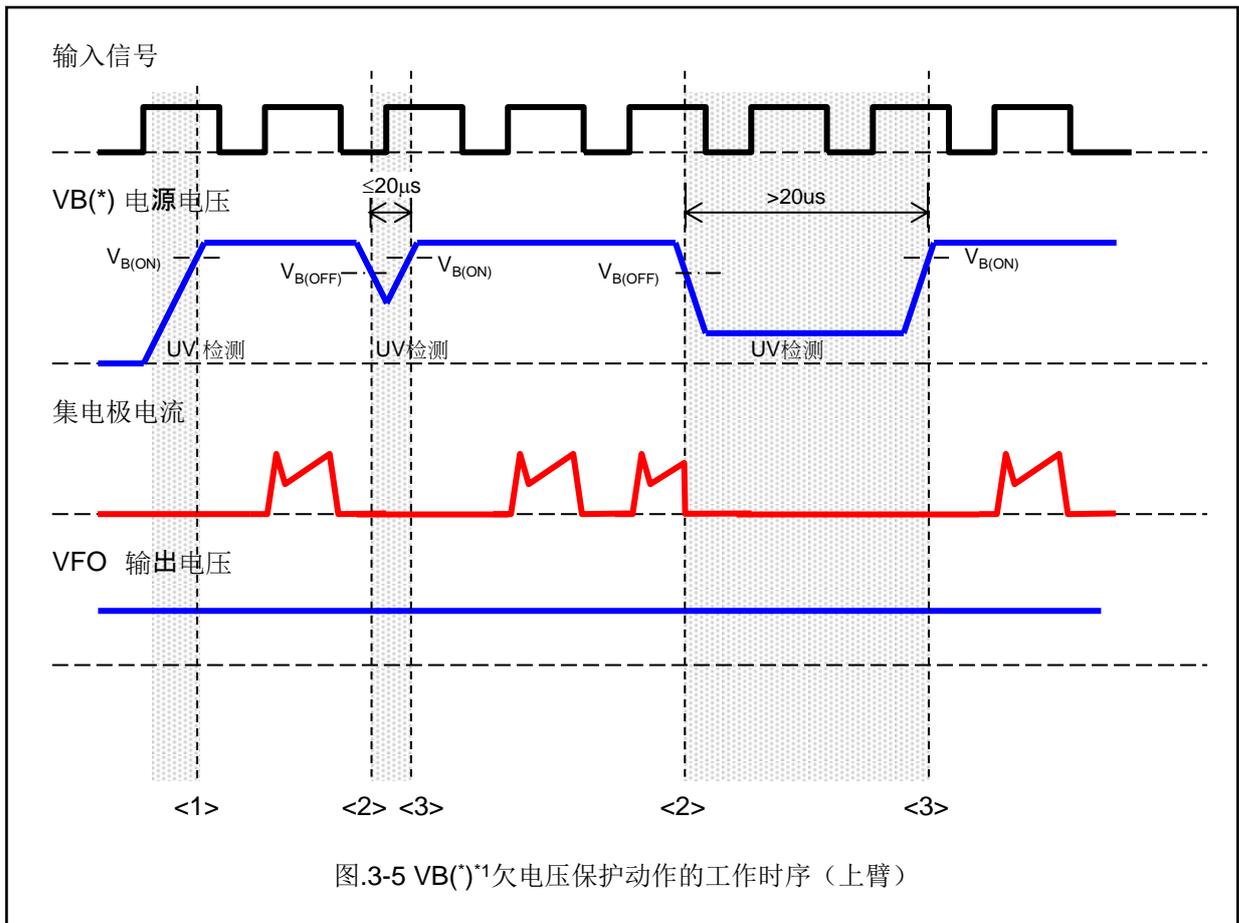
2.2 上臂驱动电源端子VB(U,V,W)的欠电压保护功能

图.3-4显示的是上臂控制电源(VB(U)-U,VB(V)-V和VB(W)-W)的欠电压保护电路示意图。

图.3-5显示的是VB(U)-U,VB(V)-V和VB(W)-W 的欠电压保护动作时的工作时序。

如图.3-4所示有二极管分别连接至VB(U,V,W)与U,V,W之间和VB(U,V,W)与COM端子之间。这类二极管是为了在浪涌电压冲击时保护IPM而内置的，不得将其视为电压钳位二极管使用，以免IPM产生重大问题和破坏。





<1> $VB(*)$ 低于 $V_{B(ON)}$ 时，上臂 IGBT 处于关断状态。 $VB(*)$ 高于 $V_{B(ON)}$ 时，上臂的 IGBT 根据随后的输入信号开始进行开关动作。

故障输出电压 VFO 不变化（高电平），不取决于 $VB(*)$ 。

<2> 当 $VB(*)$ 降至 $V_{B(OFF)}$ 以下时，上臂 IGBT 仍处于关断状态。

但故障输出 VFO 保持高电平。

<3> 欠电压保护 (UV) 复位后，上臂的 IGBT 根据随后的输入信号再次进行开关动作。

1 $VB()$: $VB(U)-U, VB(V)-V, VB(W)-W$

3.内部BSD（自举二极管）的功能

产生VB(*)上臂驱动电源的方法有很多，其中之一便是这里所述的自举电路。此方法的优点是简单便宜。但是占空比和导通时间受到自举电容充放电要求的限制。如图.3-6、图.3-8和图.3-11所示的电流路径，自举电路由一个带电阻的内置自举二极管和一个外部电容构成。

3.1 逆变器运行时自举电容的充电和放电

自举电容(C)的充电操作时序

<时序(图.3-7) : 下臂IGBT开通(图.3-6)>

下臂IGBT处于开通状态时，利用以下公式计算自举电容上的充电电压Vc(t1)。

$$V_c(t_1) = V_{CC} - V_F - V_{CE(sat)} - I_b \cdot R \quad \dots\dots \text{瞬态}$$

$$V_c(t_1) \approx V_{CC} \quad \dots\dots \text{稳态}$$

V_F : 自举电路二极管的正向电压 (D)

V_{CE(sat)} : 下臂IGBT的饱和电压

R : 自举电路电阻(R)

I_b : 自举电路的充电电流

下臂IGBT关断后电机电流将通过上臂FWD的续流路径。一旦V_S的电位升高到V_{CC}以上时，对C的充电停止，上臂驱动电路消耗了电流，自举电容的电压开始逐步缓慢下降。

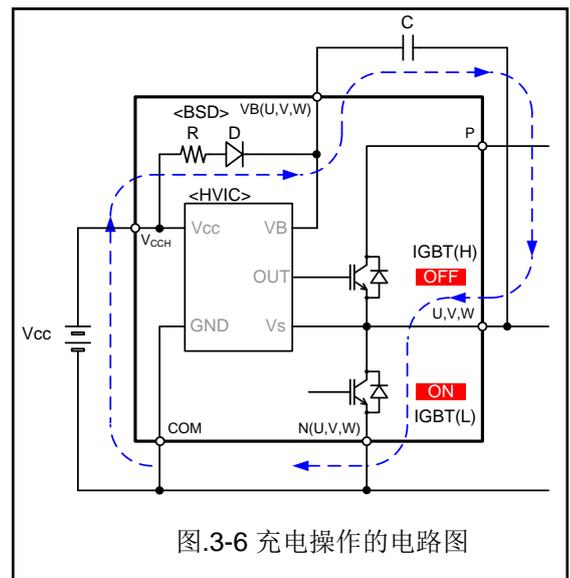


图.3-6 充电操作的电路图

1 VB() : VB(U)-U,VB(V)-V,VB(W)-W

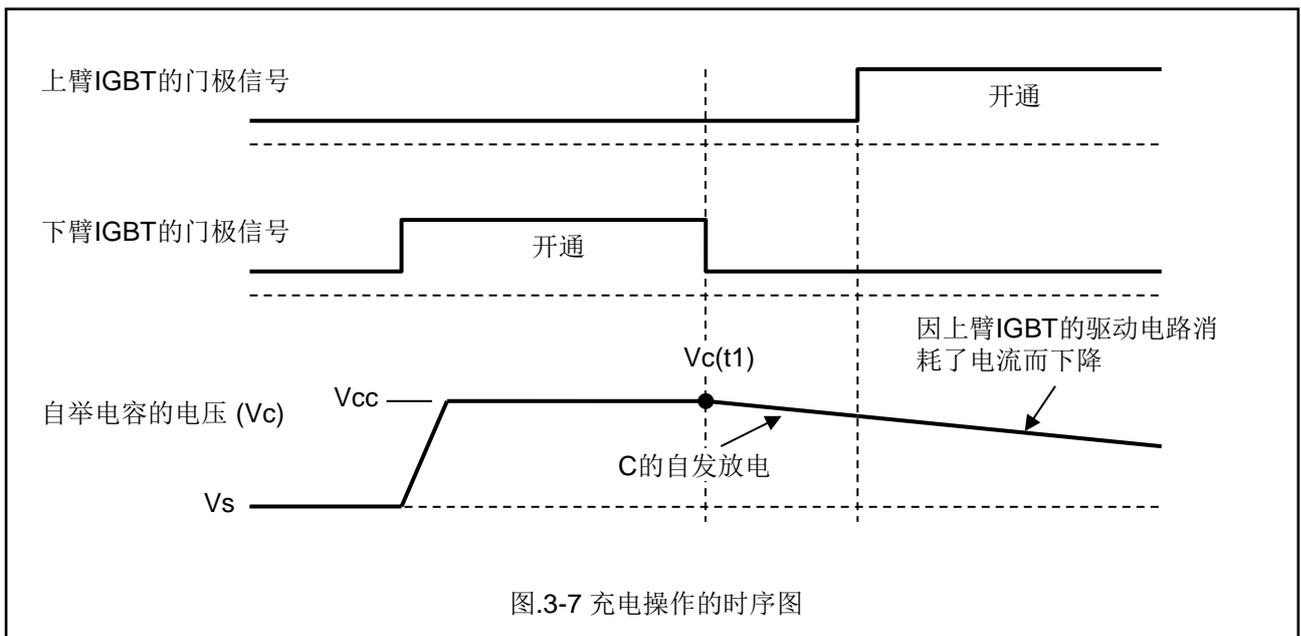


图.3-7 充电操作的时序图

<时序(图.3-9)：下臂IGBT关断，下臂FWD开通（流过续流电流）(图.3-8)>

下臂IGBT关断，下臂FWD开通时，意味着续流电流通过下臂FWD，自举电容上的电压 $V_c(t2)$ 计算如下：

$$V_c(t2) = V_{CC} - V_F + V_{F(FWD)} - I_b \cdot R \dots \dots \dots \text{暂态}$$

$$V_c(t2) \approx V_{CC} \dots \dots \dots \text{稳态}$$

V_F : 自举电路二极管的正向电压(D)

$V_{F(FWD)}$: 下臂FWD的正向电压

R : 自举电路电阻(R)

I_b : 自举电路的充电电流

下臂IGBT和上臂IGBT均为关断时，续流电流持续通过下臂FWD的续流路径。

因此 V_S 的电位降至FWD的 $-V_F$ 时，然后自举电容进行再次充电恢复到设定的电位。当上臂IGBT开通， V_S 的电位升至 V_{CC} 以上时，向自举电容的充电停止，驱动电路消耗了电流，自举电容的电压开始逐步缓慢下降。

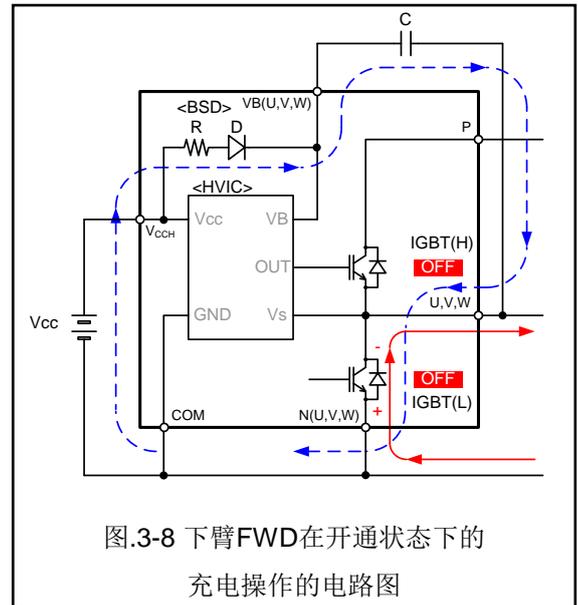


图.3-8 下臂FWD在开通状态下的充电操作的电路图

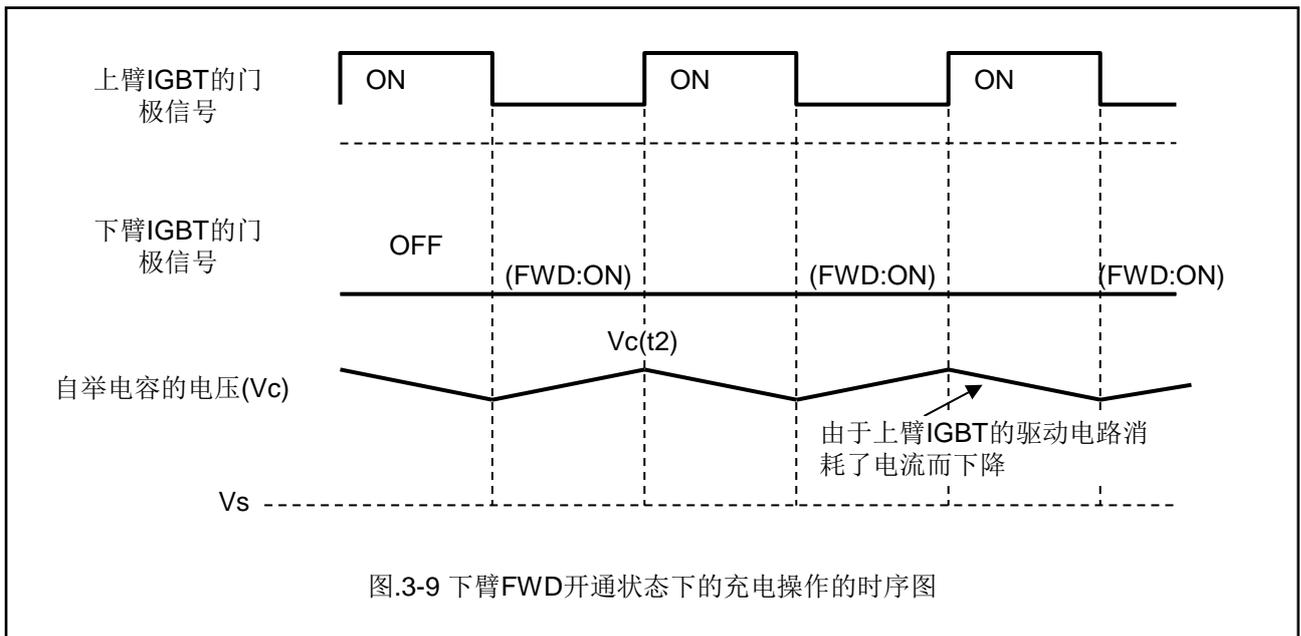


图.3-9 下臂FWD开通状态下的充电操作的时序图

3.2 设置自举电容的最小开通/关断脉冲宽度

自举电容的参数的计算方式为:

$$C = I_b \cdot \frac{t_1}{dV}$$

- * t_1 :上臂IGBT的最大开通脉冲宽度
- * I_b :上臂的驱动电流 (取决于温度和频率特性)
- * dV :允许的放电电压。(见图.3-10)

计算出的电容应加上一定的裕量。自举电容一般为计算值的2到3倍。

下臂IGBT推荐的最小开通脉冲宽度(t_2)基本为能完全将在开通期间的放电电压(dV)的能量再次充满的 $C \cdot R$ 时间常数。

但是,如果是上臂IGBT开关工作,下臂FWD开通时的充电模式(时序图.3-10)),最小开通脉冲宽度(t_2)就该为能在上臂IGBT关断阶段将开通阶段消耗的电力再次充满的时间常数。

最小脉宽是,在下臂IGBT的最小开通脉宽或上臂IGBT的最小关断脉冲中最短的。

$$t_2 \geq \frac{R \cdot C \cdot dV}{V_{cc} - V_{b(\min)}}$$

- * R :自举电路二极管的串联电阻 ΔR_F (BSD)
- * C :自举电容
- * dV :允许的放电电压
- * V_{cc} :上下臂控制电源的电压(例如15V)
- * $V_{b(\min)}$:上臂IGBT驱动电源的最小电压 (在欠电压保护复位电压上增加一定裕量,例如14V)

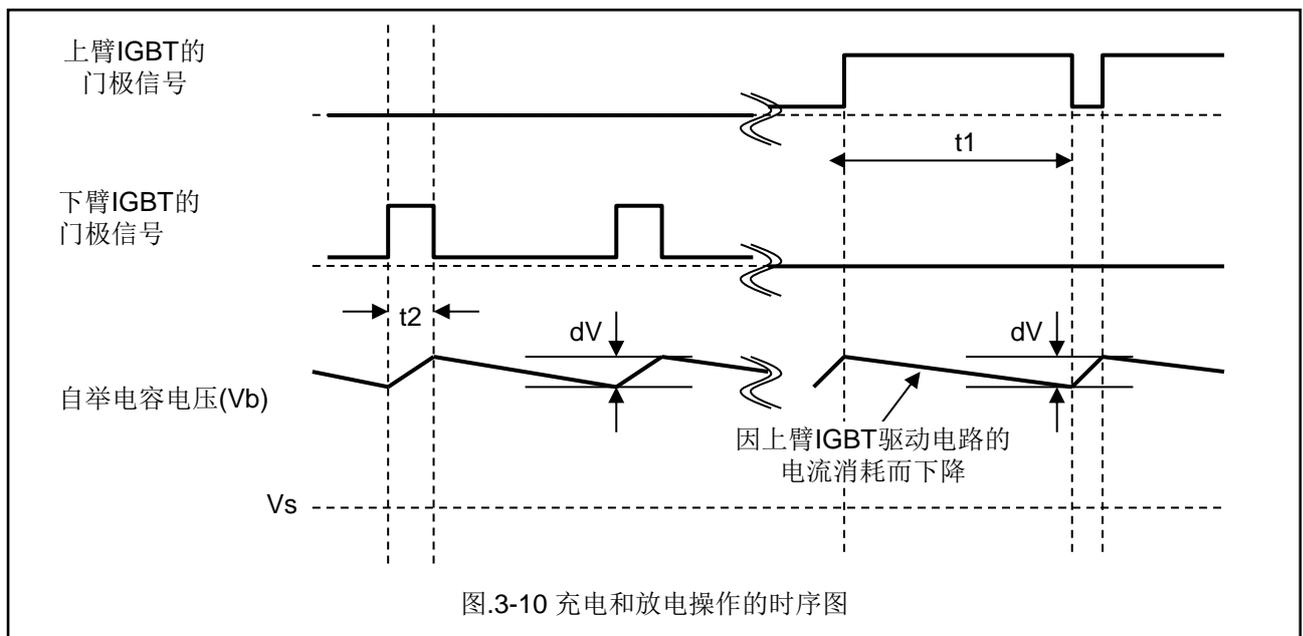
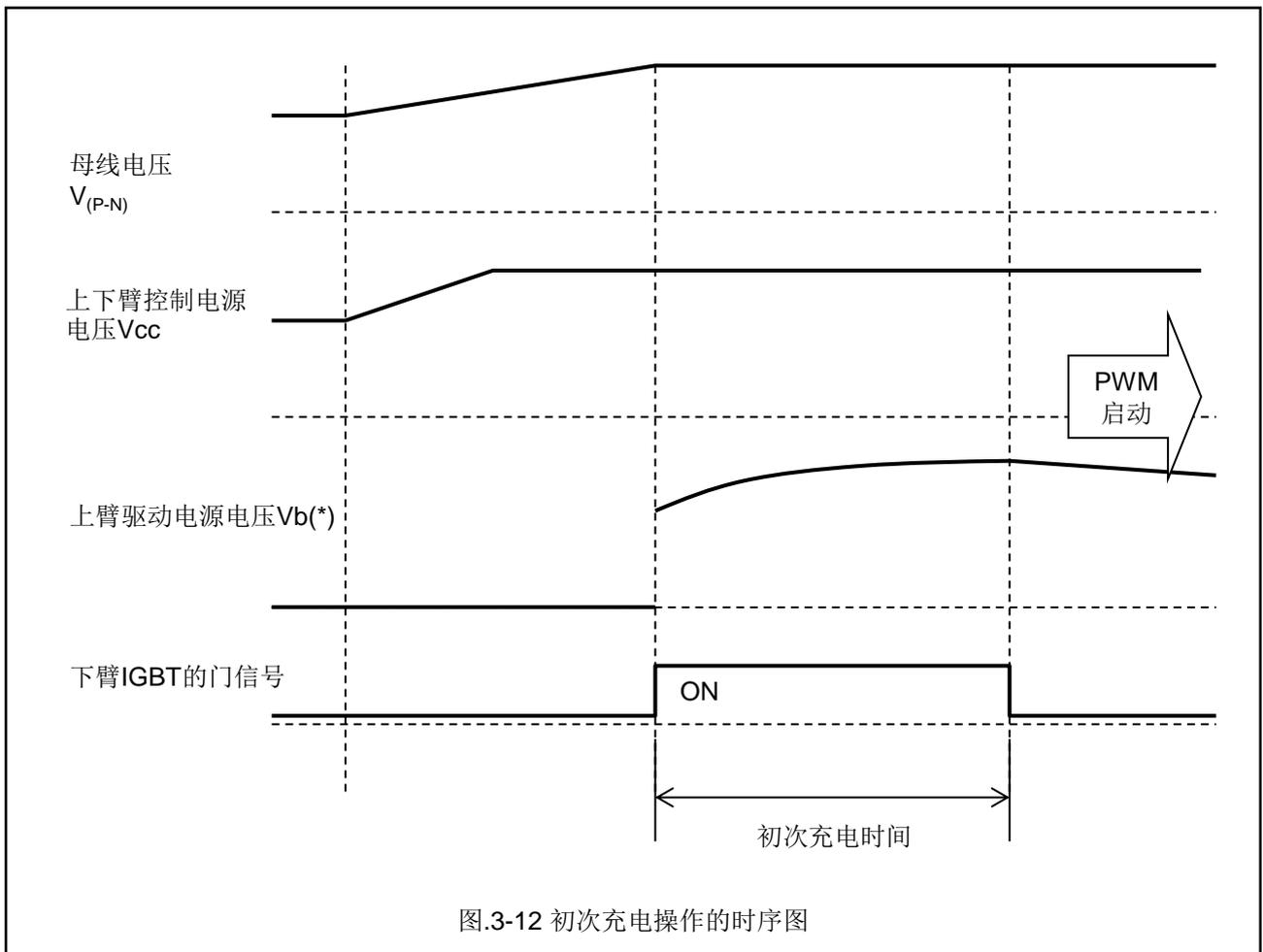
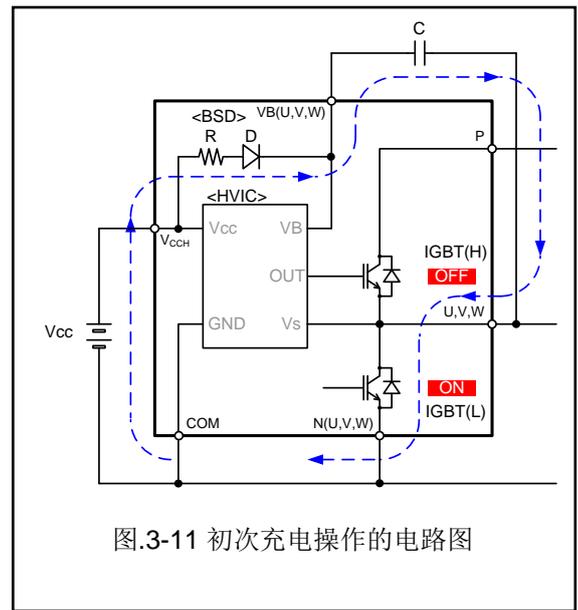


图.3-10 充电和放电操作的时序图

3.3 初次充电时自举电容的设置

启动逆变器前需对自举电容初次充电。
脉冲宽度或脉冲数应足够使自举电容完全充满。
比如说电容为10μF的自举电路的充电时间约为2ms，
以供参考。

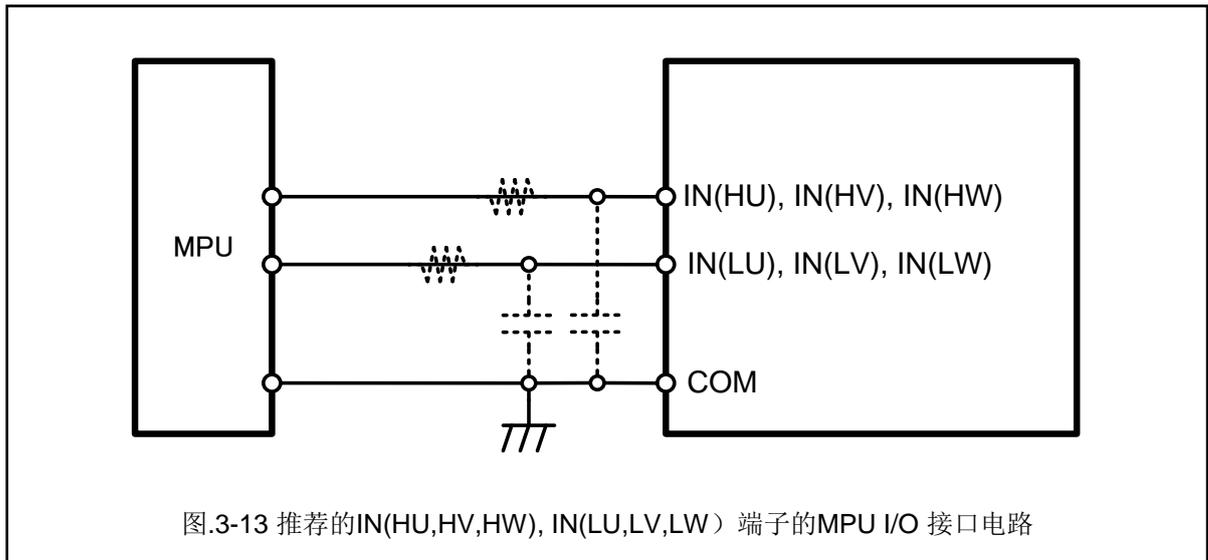


4. 输入端子IN(HU,HV,HW), IN(LU,LV,LW)

4.1 输入端子连接

图.3-13显示为MPU与IPM之间的输入接口电路。此外，输入端子也可直接连接至MPU。输入端子内置下拉电阻，无需外部下拉电阻，输入逻辑是高电平有效，没有必要内置上拉电阻。

信号线如果比较长会更容易受到噪音干扰，请用RC滤波电路去噪(图.3-13中用虚线表示的部分)。RC的值可根据应用中的PWM控制方式及PCB布局中的布线阻抗来调整。



4.2 输入端子电路

此IPM的输入逻辑为高电平有效。这样就避免了在启动或停止操作过程中控制电源和输入信号之间的时序限制。因此，系统可自动防止故障。另外，下拉电阻内置于每个输入端子内（见图.3-14）。因此无需外部下拉电阻，从而减少了所需的外部元件。除此之外，利用低输入信号阈值电压可直接连接至一个3.3V电源的MPU。

MPU输出与IPM的输入之间使用外部滤波电阻时，如图.3-14所示，需要考虑输入端子的下拉电阻，请注意输入端子的信号电压需要在阈值电压以上。

如图.3-14所示有二极管分别连接在 V_{CC} 和IN(HU, HV, HW, LU, LV, LW) 之间及 IN(HU, HV, HW, LU, LV, LW) 和COM 端子之间。这类二极管是为了在浪涌电压冲击时保护IPM而内置的，不得将其视为电压钳位二极管使用，以免IPM产生重大问题和破坏。

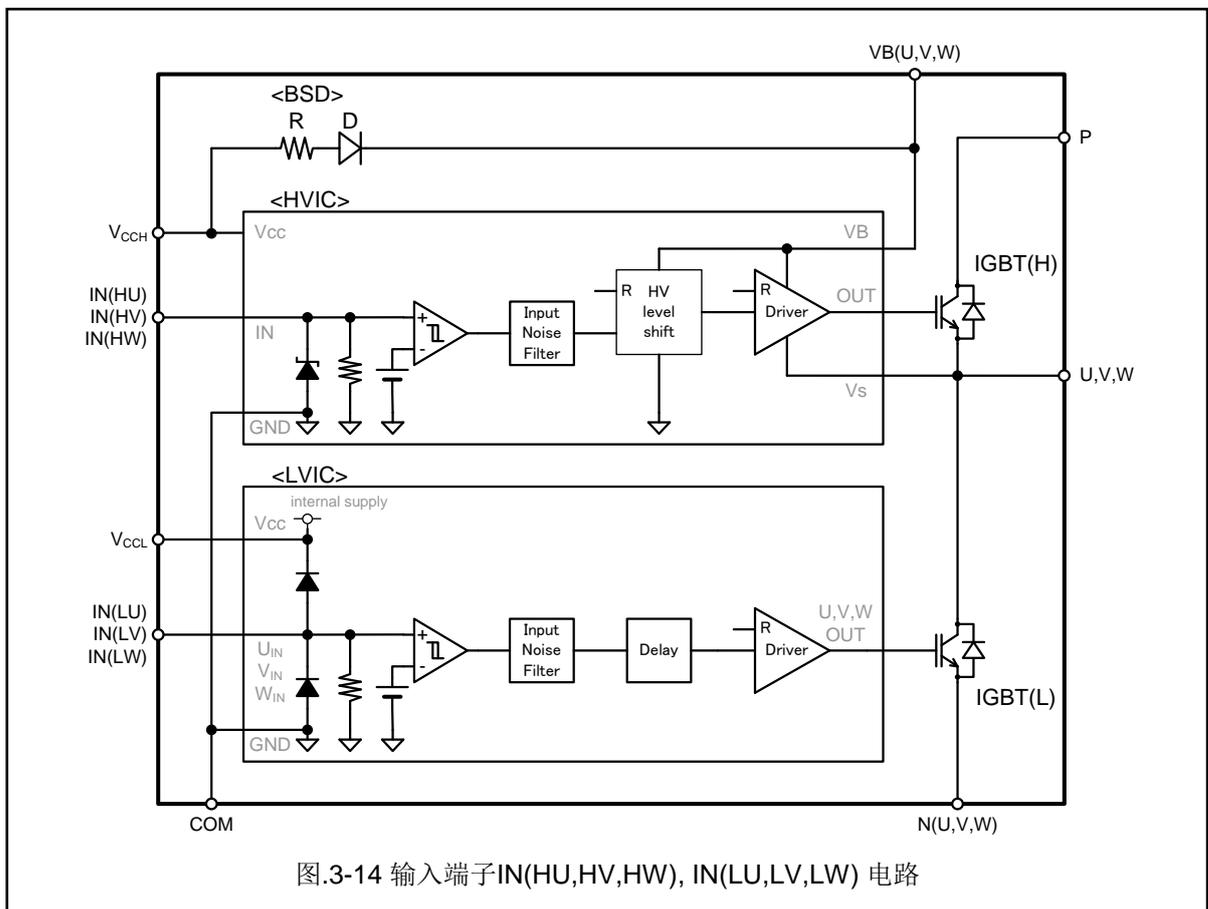


图.3-14 输入端子IN(HU,HV,HW), IN(LU,LV,LW) 电路

4.3 IGBT驱动状态与输入控制信号脉冲宽度

$t_{IN(ON)}$ 是IGBT从无任何误动作关断变为开通所需的最小控制信号脉冲宽度， $t_{IN(OFF)}$ 是IGBT从无任何误动作开通变为关断所需的最小控制信号脉冲宽度。图.3-15和图.3-16所示为各种控制信号脉宽下IGBT的驱动状态。

状态A: 即使输入控制信号的开通脉宽小于 $t_{IN(ON)}$ 的最小值时，IGBT也可能开通。

此外，小于 $t_{IN(ON)}$ 的最小值时，U-COM，V-COM，W-COM端子之间印加了-5V以下的电压的时，可能存在由于误动作没有关断的情况。

状态B: 正常工作状态下，IGBT在线性领域工作。

状态C: 即使输入控制信号的关断脉宽小于 $t_{IN(OFF)}$ 的最小值时，IGBT也可能关断。

此外，小于 $t_{IN(OFF)}$ 的最小值时，U-COM，V-COM，W-COM端子之间印加了-5V以下的电压的时，可能存在由于误动作没有开通的情况。

状态D: 正常状态下，IGBT完全关断。

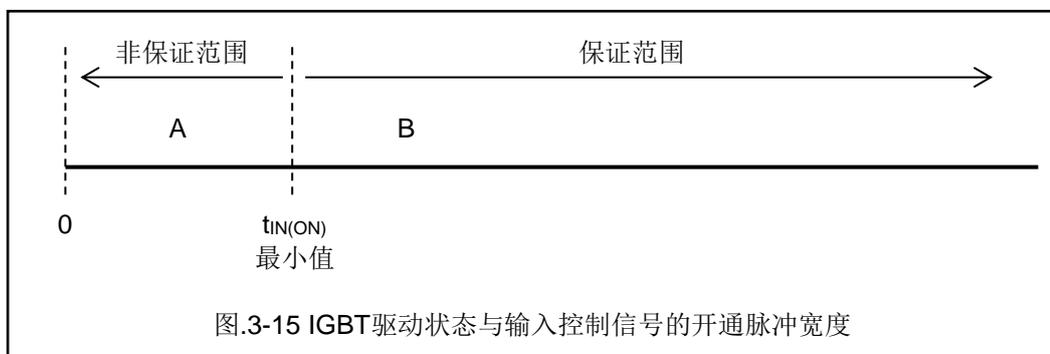


图.3-15 IGBT驱动状态与输入控制信号的开通脉冲宽度

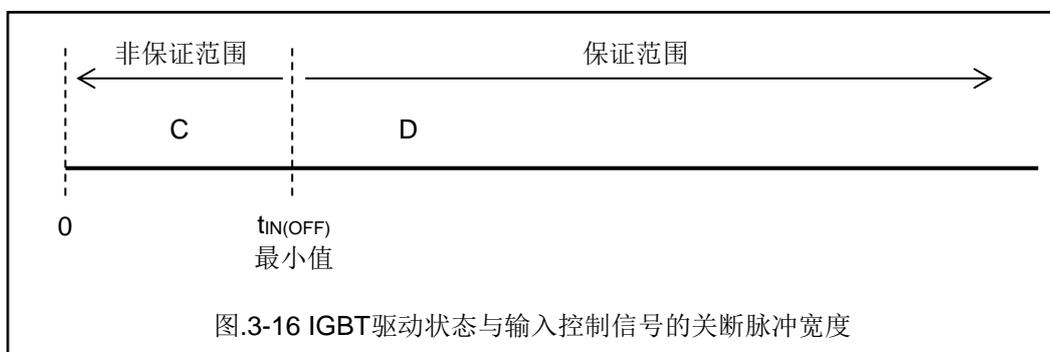


图.3-16 IGBT驱动状态与输入控制信号的关断脉冲宽度

5. 过电流保护检测端子IS

过电流保护(OC)功能是通过检测IS端子上N(*)^{*1}和COM端子间连接得外部分路电阻上的电压，输出故障输出以及对下臂IGBT进行关断的保护功能。

图.3-17显示的是过电流检测输入IS端子的电路方框图，图.3-18显示的是过电流保护的工作时序。

为防止由于正常开关噪声或续流电流造成的IPM误操作，需在IS端安装一个外部RC滤波器（时间常数大约为1.5μs）。另外，IPM和分流电阻之间的连线越短越好。

如图.3-17所示IPM中有二极管分别连接在V_{CCL}和IS之间及IS和COM端子之间。这类二极管是为了在浪涌电压冲击时保护IPM而内置的，不得将其视为电压钳位二极管使用，以免IPM产生重大问题和破坏。

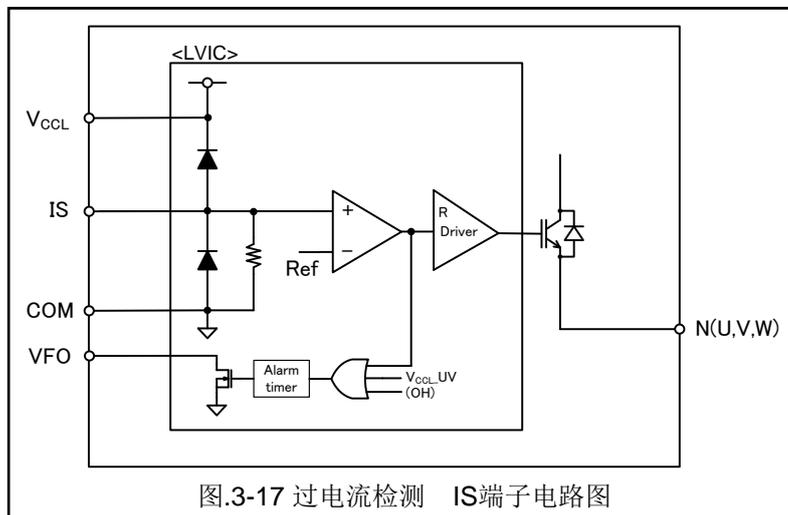


图.3-17 过电流检测 IS端子电路图

1 N() : N(U), N(V), N(W)

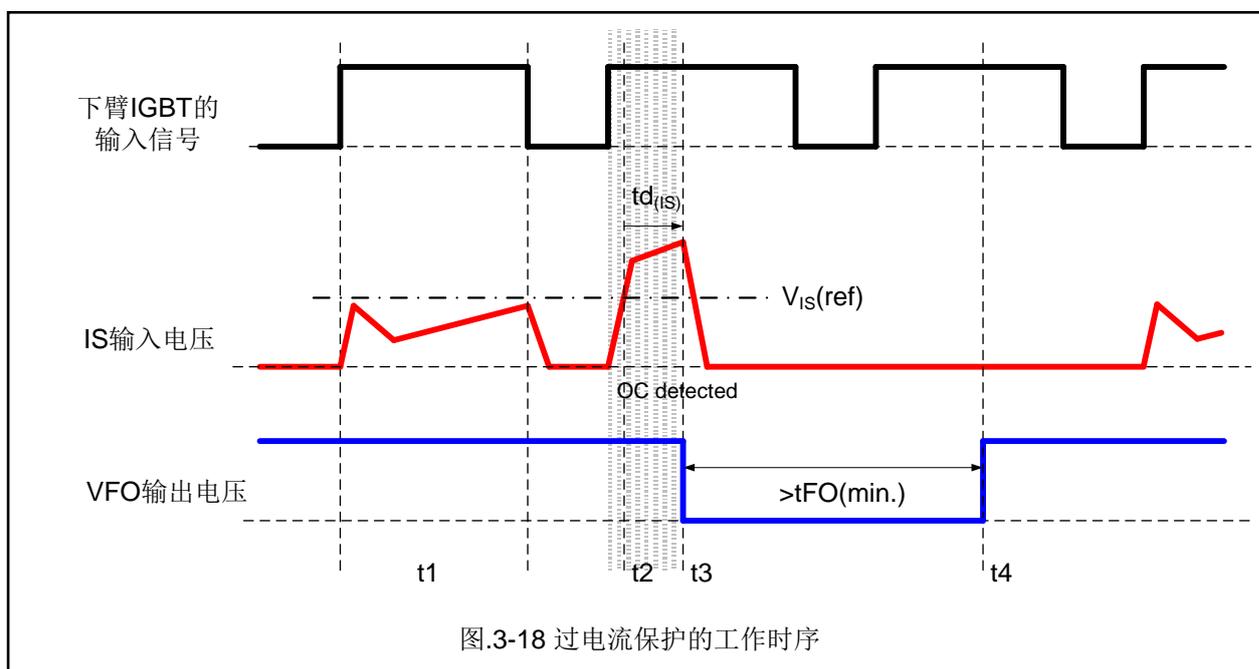


图.3-18 过电流保护的工作时序

t1 : IS输入电压不超过V_{IS(ref)}，同时下臂IGBT的正常开关。

t2 : IS输入电压超过V_{IS(ref)}时，检测到过电流。

t3 : 故障状态输出电压VFO在经过了过电流保护延迟时间td_(IS)之后输出信号，同时所有相的下臂IGBT被关断。

td_(IS)是过电流被检测出开始到故障输出被激活为止的空白时间。

t4 : 经过故障输出脉冲宽度t_{FO}之后，过电流保护状态被重置。根据随后的输入信号再次进行开关动作。

6. 故障状态输出VFO

如图.3-19所示，故障状态输出VFO端子可以与MPU直接相连。VFO端子为开漏结构，因此此端子应使用一个大约10kΩ的外部电阻上拉至5V或3.3V的逻辑控制直流电源，建议在MPU和VFO端子之间加一个旁路电容C1和大于5K的浪涌电流限制电阻R1。这些信号之间的连线越短越好。

故障状态输出VFO功能可以被V_{CCL}的欠电压保护(UV)，过电流保护(OC)和过热保护(OH)激活。(过热保护只有“6MBP15VRB060-50”，“6MBP15VRC060-50”才有内置。)

如图.3-19所示IPM中有二极管分别连接在V_{CCL}和VFO之间以及VFO和COM端子之间连接。这类二极管是为了在浪涌电压冲击时保护IPM而内置的，不得将其视为电压钳位二极管使用，以免IPM产生重大问题和破坏。

图.3-20显示为故障状态下VFO端子的电压-电流特性。图.3-19所示为IFO为VFO端子的漏电流。

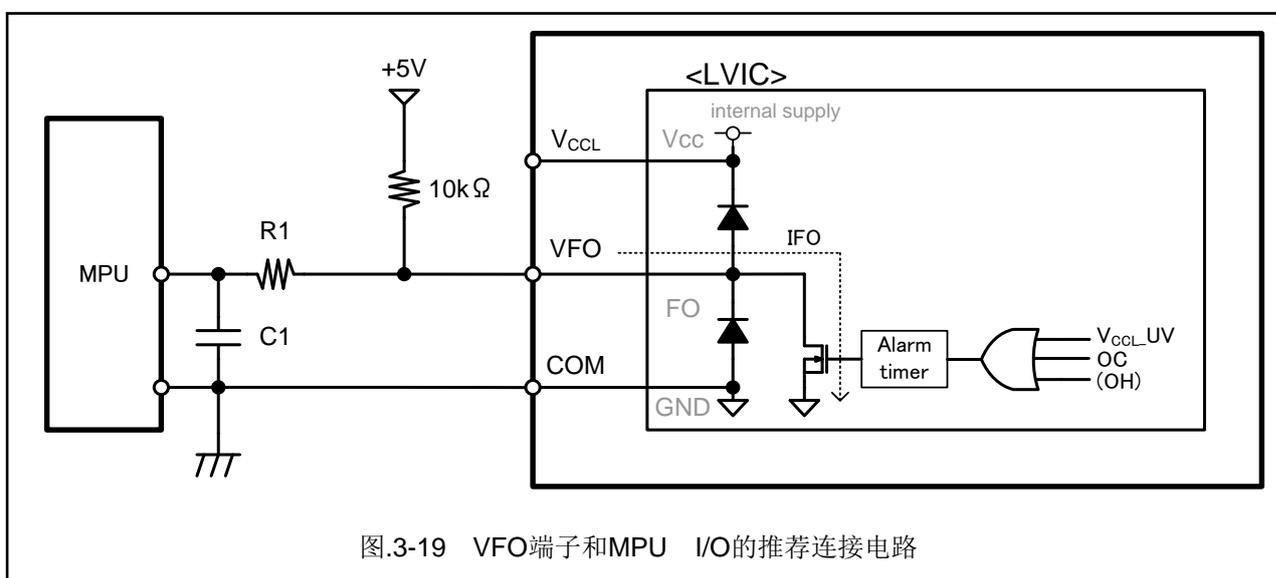


图.3-19 VFO端子和MPU I/O的推荐连接电路

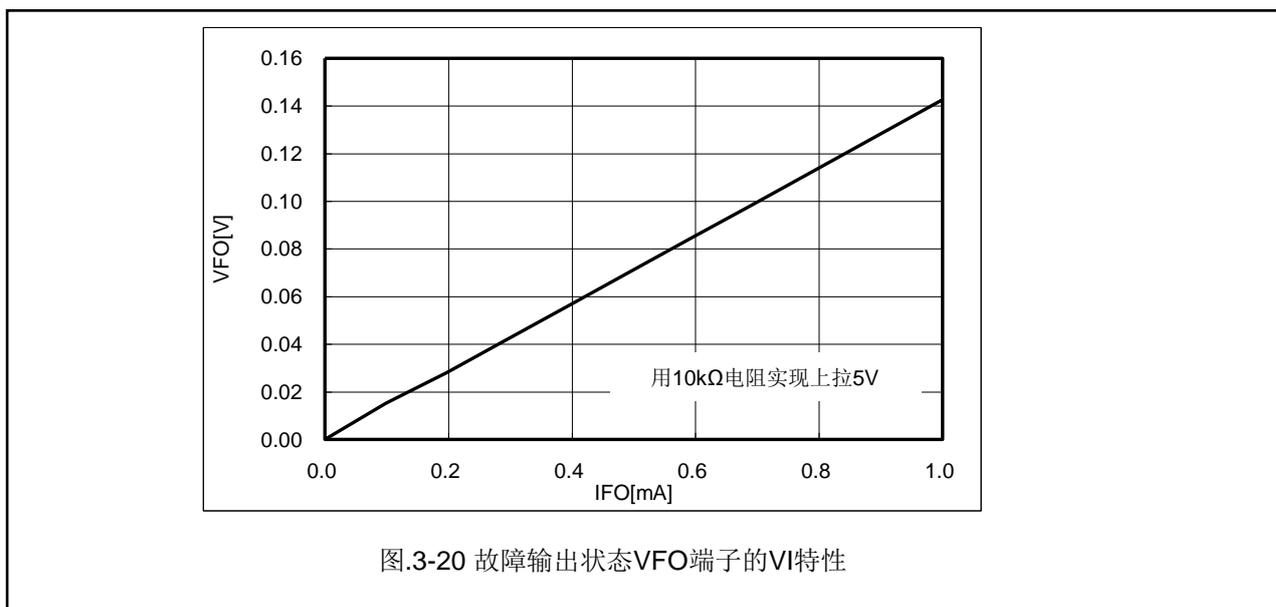


图.3-20 故障输出状态VFO端子的VI特性

7.温度传感器输出TEMP

此功能仅适用于"6MBP15VRA060-50", "6MBP15VRC060-50", "6MBP15VRD060-50"。

图.3-21所示为温度传感器输出TEMP端子可以与MPU直接连接。建议在MPU和TEMP端子之间加上旁路电容和大于10K的浪涌电流限制电阻。这些信号之间的连线越短越好。

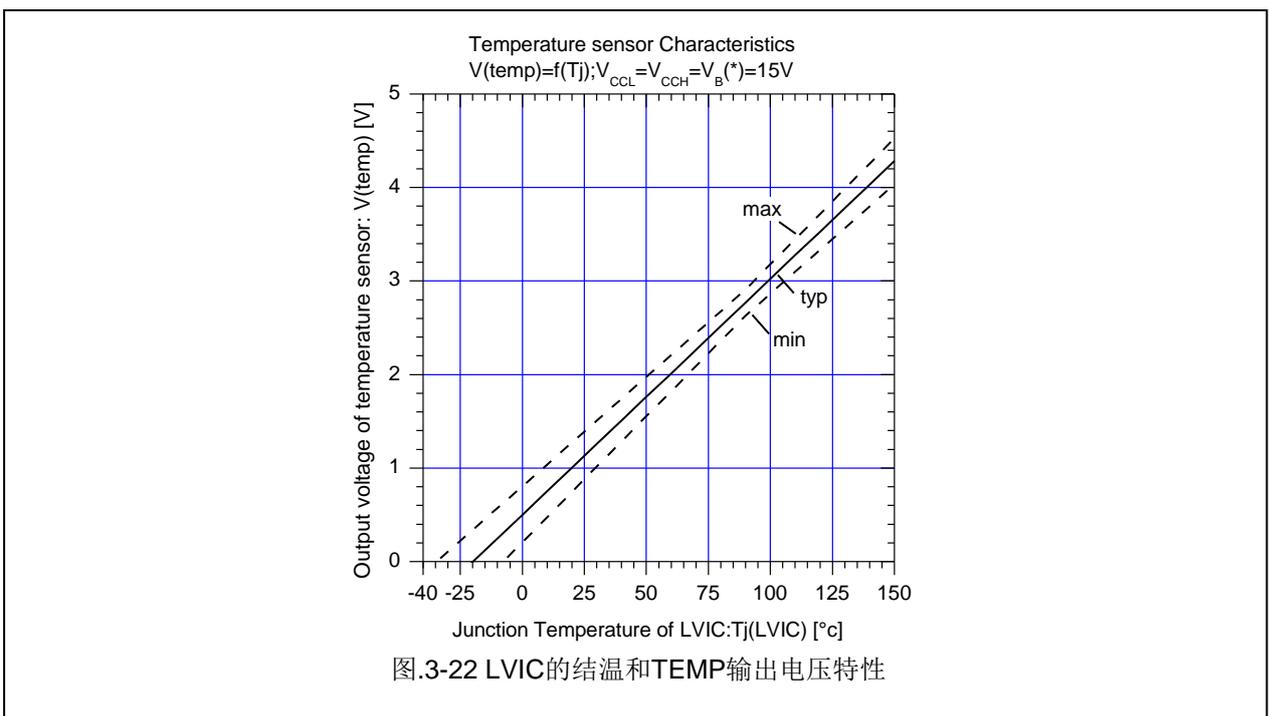
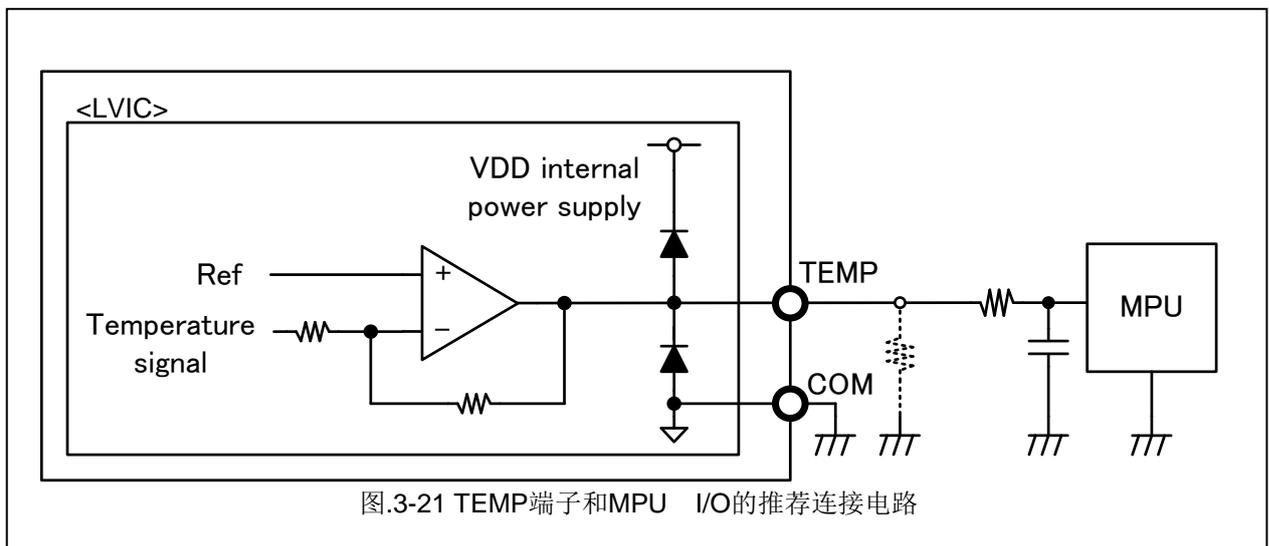
IPM内置温度传感器，根据LVIC的结温输出模拟电压。此功能，并非用来保护IPM为目的，不会输出故障状态。但是，"6MBP15VRC060-50"内置过热保护功能，温度如超过TcOH设定，会因过热保护激活故障输出状态。

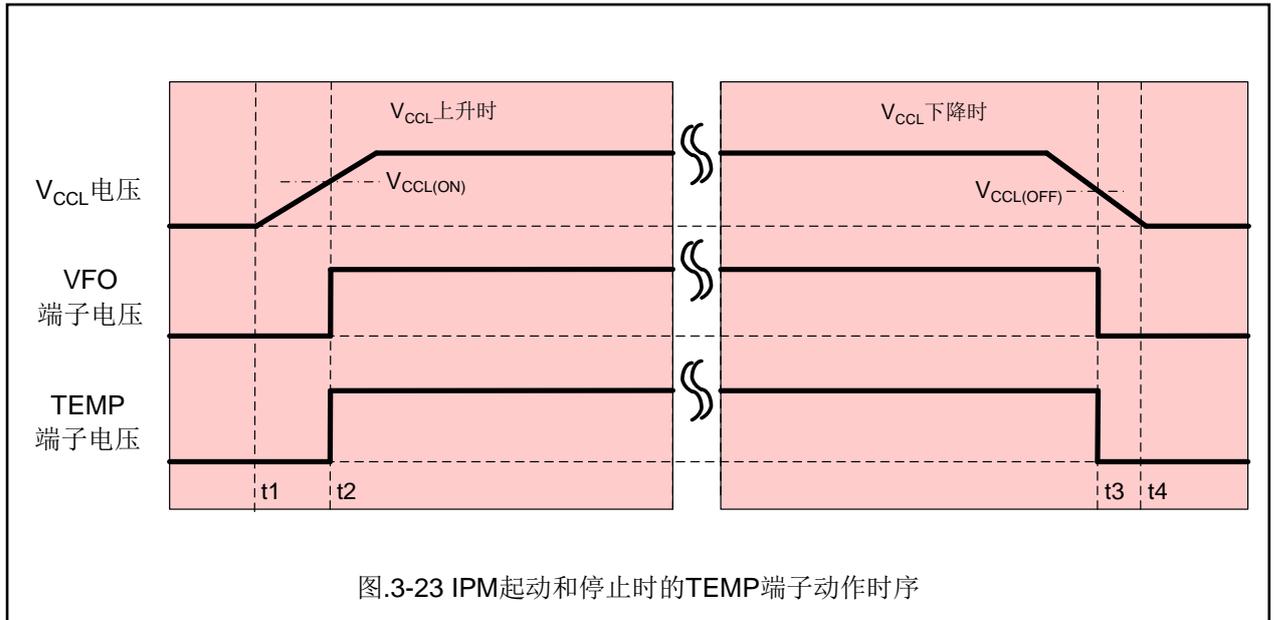
如图.3-20所示IPM中有二极管连接在TEMP和COM端子之间。这类二极管是为了在浪涌电压冲击时保护IPM而内置的，不得将其视为电压钳位二极管使用，以免IPM产生重大问题和破坏。

图.3-22所示为LVIC的结温与TEMP端子的输出电压的特性。

MPU的电源电压为3.3V时，请在TEMP端子上连接齐纳二极管进行电压钳位。

图.3-23所示为在电源升高和下降时的TEMP端子的工作时序。





t1-t2 : V_{CCL} 超过 $V_{CCL(ON)}$ 时, TEMP 端子的温度输出功能被激活。 V_{CCL} 未超过 $V_{CCL(ON)}$ 时, TEMP 端子电压几乎为 0V。

t2-t3 : TEMP 端子电压跟随 LVIC 的结温的上升而升高。

t3-t4 : 当 V_{CCL} 小于 $V_{CCL(OFF)}$ 以下时, TEMP 端子的温度输出功能被复位。TEMP 端子电压输出几乎为 0V。

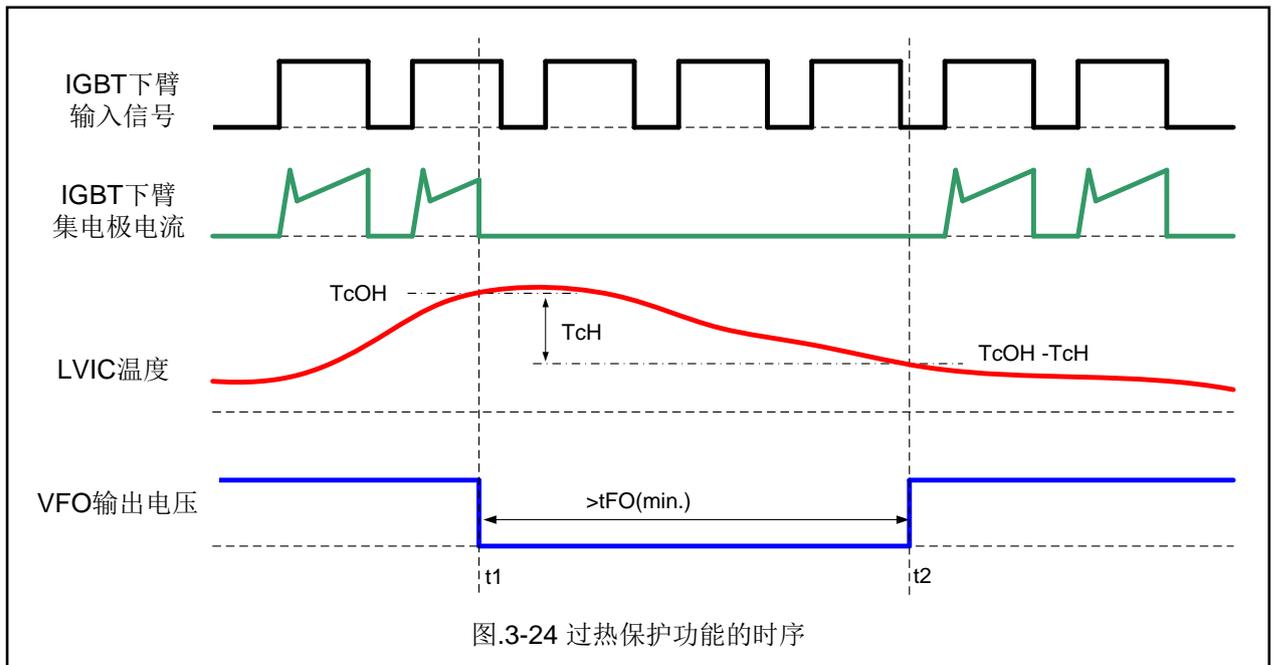
8. 过温保护

本功能仅适用于“6MBP15VRB060-50”“6MBP15VRC060-50”。

通过监测LVIC的结温来实施过温保护功能。

TcOH传感器的位置如图.2-2所示。

如图.3-24所示，当LVIC的结温超过TcOH时，IPM将关断所有相的下臂IGBT。LVIC的结温降至（TcOH-TcH)以下时，过热保护状态被复位。



t1 : LVIC的结温超过过温保护(OH)温度TcOH时，故障状态被激活，所有相的下臂IGBT被关断。

t2 : 当LVIC的结温降至TcOH-TcH以下且经过了 t_{FO} 时间后，过热保护状态和故障状态输出被复位，根据随后的输入信号下臂IGBT再次进行开关动作。TcH为过热保护的滞后温度。