

## 变频器维修之 PC923、PC929 驱动电路的检修

对逆变功率电路的修复是在确认 CPU 主板和驱动电路正常的前提下进行的，否则对 IGBT 模块的盲目更换不但毫无意义，而且可能会造成直接的经济损失；对驱动电路的修复是在 CPU 主板能正常输出六路脉冲信号的前提下进行的，否则对驱动电路的修复不但无意义，而且给检测带来了一定的难度。CPU 主板的正常，为我们修复各种故障，提供了有效的监控和提示的作用，使我们能根据操作显示面板上故障代码的提示，有针对性地检查故障电路。

但变频器完善的各种检测和保护功能，在变频器正常运行时是非常必要的，在我们进行局部电路故障的维修时——总得使机器脱离开整机连接的状态，来进行检修吧，会引发相关保护电路的起控，而使变频器进入故障锁定状态，停止了对比如对六路脉冲信号的输出，使我们无法（或比较困难）检测该信号通路如驱动电路是否能正常地对 CPU 电路来的六路脉冲信号进行传输和放大。

驱动电路的工作状态的正常，只有一个标准：能正常地传输和放大六路驱动脉冲。输出的六路驱动脉冲具有符合要求的电压幅度和电流供给能力。静态（待机）下的工作点检测，往往不能得出准确的结论。得想法让电路处于动态工作中，一是采取相应措施，屏蔽掉变频器的相关故障检测功能，二是用某种方法验证驱动电路的输出能力，确认驱动电路输出的六路逆变脉冲信号，是完全符合要求的，于是对驱动电路的修复才能画上一个圆满的句号。

对驱动电路的检修，一定程度上决定了整机检修的成败。故障变频器无论表现出何种故障，最后的修复总是表现驱动电路六路驱动脉冲的正常输出！六路脉冲输出信号都有，但有缺陷，轻者机器不能正常工作，重者将有可能使逆变模块损坏，对驱动电路的检修，小心不为过！

### 一、驱动电路（由 PC923、PC929 组合）的构成和电路原理：

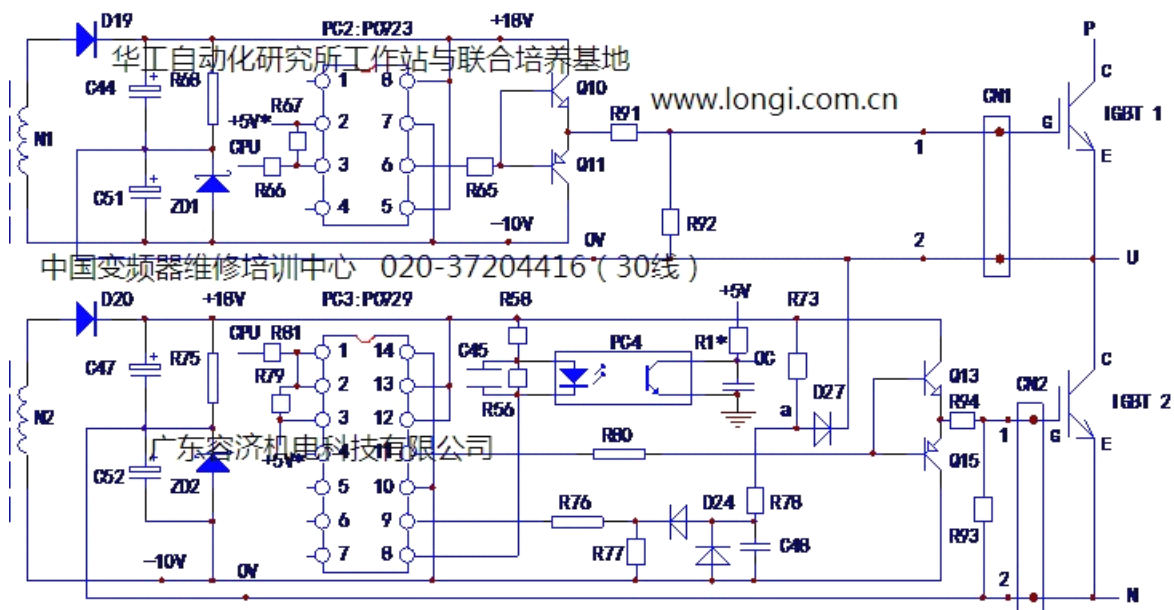


图 4. 9 由 PC923、929 构成的驱动电路

上图为东元 7200MA 变频器 U 相的驱动电路图。15kW 以下的驱动电路，则由 PC923、PC929 经栅极电阻直接驱动 IGBT，中、大功率变频器，则由后置放大器将驱动 IC 输出的驱动脉冲进行电流放大后，再输入 IGBT 的 G、E 极。

驱动电路的电源电路，是故障检测的一个重要环节。不但要求其输出电压范围满足正常要求，而且要求其具有足够的电流（功率）输出能力——带负载能力。每一相的上、下 IGBT 驱动电路，因 IGBT 的触发回路不存在共电位点，驱动电路也需要相互隔离的供电电源。由开关电源电路中的开关变压器 N1 绕组输出的交流电压，经整流滤波成直流电压后，又由 R68、ZD1（10V 稳压管）简单稳压电路处理成正 18V 和负 10V 两路电源，供给驱动电路。电源的 0V（零电位点）线接入了 IGBT 和 E 极，驱动 IC 的 7、8 脚则接入了 28V 的电源电压。

光电耦合器的输入、输入侧应有独立的供电电源，以形成输入电流和输出电流的通路。PC2 的 2、3 脚输入电流为 +5V\* 提供。此处供电标记为 +5V\*，是为了和开关电源电路输出的 +5V 相区分。+5V\* 供电电路见下图图 4.10。该电路可看作一简单的动态恒流源电路，R179 为稳压管 ZD7 的限流电阻，稳压管的击穿电压值为 3.5V 左右。基极电流回路中稳压电路的接入，使流过 Q8 发射结的  $I_b$  维持一恒定值，进而使动态  $I_c$  也近似为恒定值。忽略 Q8 的导能压降，电路的静态输出电压为 +5V，但动态输出电压值取决于所接负载电路的“动态电阻值”，而动态输出电流总是接近于恒定的，这就使得驱动电路内部发光二极管能维持一个较为恒定的光通量，从而使传输脉冲信号的“陡峭度”比较理想，使传输特性大为改善。

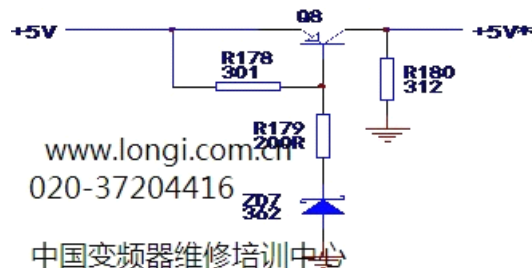


图 4.10 驱动光耦输入侧供电电路

电路工作原理简述（请参见图 4.5 的 PC923、PC925 内部电路）：

由 CPU 主板来的脉冲信号，经 R66 加到 PC2 的 3 脚，在输入信号低电平期间，PC2 形成由 +5V\*、PC2 的 2、3 脚内部发光二极管、信号源电路到地的输入电流通路，PC2 内部输出电路的 V1 三极管导通，PC2 的 6 脚输出高电平信号（18V 峰值），经 R65 为驱动后置放大电路的 Q10 提供正向偏流，Q10 的导通将正供电电压经栅极电阻 R91 引入到 IGBT 的 G 极，IGBT 开通；在输入信号的高电平期间，PC2 的 3 脚也为 +5V 高电平，因而无输入电流通路，PC2 内部输出电路的 V2 三极管导通，6 脚转为负压输出（10V 峰值），也经 R65 为驱动后置放大电路的 Q11 提供了正向偏流，Q11 的导通将供电的负 10V 电压——IGBT 的截止电压经栅极电阻 R91 引入到 IGBT 的 G 极，IGBT 关断。在待机状态，PC2 的 3 脚输入信号一直维持在 +5V 高电平状态，则驱动电路一直输出 -10V 的截止电压，加到 CN1 触发端子上，IGBT 一直维持于可靠的截止状态上。

因 IGBT 栅-射极间结电容的存在，对其开通和截止的控制过程，实质上是对 IGBT 栅-

射极间结电容进行充、放电的过程，这个充、放电过程形成了一定的峰值电流，故功率较大的 IGBT 模块须由 Q10、Q11 组成的互补式电路跟随放大器来驱动。

PC929 驱动 IC 是兼有对驱动脉冲隔离放大和模块故障检测双重“身份”的。由 CPU 主板来的脉冲信号从 1/2、3 脚输入到 PC923 内部的光电耦合器，从 11 脚输出后，经 Q13、Q15 两级互补式电压跟随器的功率放大后，引入 IGBT2 的 G 极。此为驱动脉冲的信号传输电路；PC929 的 9 脚为模块故障检测信号输入脚。正常工作状态下，PC923 的 11 脚输出正的激励脉冲电压，使 Q13 导通，Q15 截止。Q13 的导通，将正偏压加到 IGBT2 的 G 极上，IGBT2 进入饱和开通状态。忽略 IGBT 导通管压降的话，IGBT2 的导通即将 U 输出端与负直流供电端 N 短接起来，提供输出交流电压的负半波通路，在导通期间，只要变频器是在额定电流以内运行，IGBT2 的正常管压降应在 3V 以下。

PC929 的 9 脚内部电路与外接 R76、R77、D24、R73、D27 等元件构成了 IGBT 管压降检测电路，二极管 D27 和负极接入了 IGBT2 的 C 极。PC929 在发送激励脉冲的同时，内部模块检测电路与外电路配合，检测 IGBT2 的管压降，当 IGBT2 正常开通期间，忽略 IGBT2 的导通压降，U 点电压与 N 点电压应是等电位的，N 点与该路驱动电源的零电位点为同一条线。可以看到，D27 的正向导通将 a 点电压也嵌位为零电位点，即 PC929 的 9 脚无故障信号输入，IGBT 模块 OC 信号输出 8 脚为高电平状态。当变频器的负载电路异常或 IGBT2 管子故障时，虽有激励偏压加到 IGBT2 的 G 极，但严重过流状态（或管子已经开路性损坏），使 IGBT2 的管压降超过 7V 或更大，U、N 之间高电压差使 D27 于反偏截止，此时 a 点电压是由 R73 引入的、经 R78、D24、R77 分压的高于 7V 的电压值，经 R76 输入到 PC929 的 9 脚。PC929 内部 IGBT 保护电路起控，对 IGBT 进行强行软关断动作，同时控制 8 脚内部三极管导通，进而提供了 PC4 光电耦合器的输入电流，于是 PC4 将低电平的模块 OC 信号报与 CPU，变频器实施 OC 故障保护停机动作。

IGBT 模块管压降检测电路中的 D24 二极管和 C48 组成消噪电路，以避免负噪声干扰引起误码保护动作。

让我们看一下驱动电路中 R91、R92 的作用，实际电路中，这四只电阻因模块损坏带来的强电压冲击下，造成开路、短路和阻值变大的情况比比皆是，它在电路中究竟起到什么样的作用呢？

R91 将驱动脉冲引入到 IGBT 管子的 G 极，表面看来，这是一只限流电阻，限制流入 IGBT 管子的驱动（充电）电流，因管子的开通速度越快越好，开通时间越短越好，电阻的阻值就不能太大，以避免与 IGBT 管子的输入结电容形成一个较大时间常数的延时电路，这是不希望出现的。但过激励也会导致 IGBT 的损坏。此电阻多为  $\Omega$  级功率电阻，随变频器功率的增加其阻值而减小。此电阻还有一个“真名”，叫栅极补偿电阻，因为 IGBT 管子的触发引线有一定长度，触发脉冲又是数千赫兹的高频信号，所以有一定的引线电感存在，而引线电感会引起触发脉冲的畸变，产生“电压过冲”现象，严重时会造成 IGBT 管子的误开通而造成损坏。接入 R82 可对引线电感有所补偿，尽量使引线呈现电阻特性而不是电感特性，有效缓解引线电感造成的电压过冲现象。

R92 并接于 IGBT 管子的 G、E 极间，第一个好处就是，将 IGBT 管子输入端的高阻状态变为低阻状态。我们新购得的 IGBT 逆变模块，出厂前是用短路线将 G、E 极短接的，这

样万一有异常电压（如静电）加到 G、E 极时，短路线将很快将此一异常电压吸收，而避免了 IGBT 管子因输入端子遭受冲击而损坏。电路中并联 R92 也有同样的用处，在一定程度上将输入的“差分电压”变为了“共模电压”，消解了异常输入电压的冲击作用；R92 对瞬态干扰有一定的作用，又可称之为“消噪电阻”；R92 并接于 IGBT 管子的 G、E 极间，与 IGBT 的 G、E 结电容相并联，此电阻又被称为“旁路电阻”，将瞬态干扰造成的对 G、E 结电容的充电电流“旁路掉”，以避免其误开通。R92 又形成了 IGBT 管子输入结电容的电荷泄放通路，能提高电荷的泄放速度，对于只采用单电压供电（无负供电电压）的驱动电路，此电阻的作用尤其重要。

## 二、驱动电路的故障特征：

1、变频器上电显示正常，接受启动信号，即跳 OC（过电流）、SC（短路）故障代码。

故障原因：

A、逆变模块有开路性损坏，先是击穿短路，炸裂后开路，或 G、E 间内部损坏，虽有触发信号引入，但 IGBT 不能正常开通，驱动电路的 IGBT 管压降检测到异常大的导通压降，报出 OC 故障。

B、驱动电路本身故障。a、无激励脉冲加到 IGBT 的触发端子，一是从 CPU 主板来的脉冲信号未能正常输入到驱动电路的输入端。二是驱动电路有元件损坏，阻断了脉冲信号的传输；b、驱动电路不能输出正常的驱动脉冲，多为电流输出能力不足。一是驱动 IC 的后置放大器低效，元件变值等。二是驱动供电不良，不能达到足够的电压幅值和输出足够的驱动电流，使 IGBT 不能被良好开通或处于导通与截止的临界点上，IGBT 管压降检测电路检测到大于 7V 的管压降信号而报出 OC 故障。

2、接受启动信号，即跳 GF（接地故障）。变频器说明书中对接地故障的定义是，当负载电流大于额定电流的 0.5 倍左右时，即判断为 GF 故障。其实 GF 也是 OC 故障的一个别名。在报警层次上有所不同。GF 故障在启动初始阶段报出。

3、上电，变频器未接受启动信号，变频器在系统自检结束后，即报出 OC 故障。故障原因：

A、变频器的三相输出电流检测电路损坏，误报过流故障，如电流互感器内部电路损坏，误报出严重过流故障；

B、驱动电路的 OC 信号报警电路损坏，如 PC929 的 8 脚内部 DMOS 三极管短路，也会误报 OC 信号。

4、变频器上电后，既不跳 OC、SC 等故障代码，也拒绝所有操作，出现类似于程序进入死循环的“死机”现象，先不要轻易判断为 CPU 故障，可能为变频器上电检测到有 OC 信号输出，出于保护目的，故拒绝所有操作，以免造成人为的故障扩大。

5、变频器上电，操作显示正常，启动后能在操作面板上监控到输出频率数值上升的现象，但 U、V、W 输出端子无电压输出，变频器也不报出 OC 故障，好像是“运行正常”。

故障原因为驱动 IC 输入侧的+5V\*供电电源丢失，六路驱动 IC 都无脉冲信号输入，驱动电路处于“待机”状态，IGBT 管压降检测电路在“休息中”，并不向 CPU 返回 OC 信号。

6、变频器空载或轻载运行正常，但带上一定负载后，出现电机振动、输出电压偏相、频跳 OC 故障等。

故障原因：A、驱动电路的供电电源电流（功率）输出能力不足；B、驱动 IC 或驱动 IC 后置放大器低效，输出内阻变大，使驱动脉冲的电压幅度或电流幅度不足；C、IGBT 低效，导通内阻变大，导通管压降增大。

三、PC923、PC929 驱动电路的检修方法：

本节检修，是指在脱开变频器主电路后的，对电源/驱动板的单独上电检修，整机连接条件下，可不敢对驱动电路这么动手啊，别说逆变电路有六只 IGBT，有六十只 IGBT 也不够“报销”的。

1、静态检测：

电路处于静止状态时，相对于+5V 供电的地端，PC2 的 2、3 脚电压都为 5V，直接测量 2、3 脚之间电压差为 0V；以驱动电源的 0V 为 0 电位参考点，CN1 触发引线端子的 1 线应为-10V。PC923、PC929 的脉冲输出脚和后置放大器的中点电压都为-10V。

检测 CN1 端子的 1 线为 0V，故障原因为 A、驱动电源稳压二极管击穿短路；B、栅极电阻 R91 开路。

检测 CN1 端子的 1 线为+18V 左右，故障原因为 A、PC2 的后置放大电路中的 Q10 短路；B、PC2 内部输出电路中的 V1 短路；C、检查 PC2 的 2、3 脚如有电压输入，如 1、2V，故障原因为前级信号电路故障，使 PC2 形成了输入电流的通路。

2、动态检测：

电路静态时测得 CN1 端子 1 线上有正常的-10V 截止电压，及测量各静态工作点基本正常（其实各检测点都表现为供电电压），要进一步检查动态——对脉冲信号的传输能力，验证电路确无故障或使隐蔽故障暴露出来。

但接着碰到了麻烦事，因为在检修中电源/驱动板与主电路已经脱开，CN1、CN2 触发端子是空置的，并未接入 IGBT，而且在未查明驱动电路是否工作正常之前，也是绝不允许在 IGBT 接入 530V 直流供电的情况下，连接驱动电路并检查驱动电路的故障的。

因为 IGBT 的脱开，驱动电路输出的脉冲无论正常与否，只要按一下操作面板的起动（FWD）或运行（RUN）按键，操作显示面板即跳出 OC 故障。原因在于驱动芯片 PC929 在脉冲信号传输期间，PC929 的 9 脚内部电路与外部元件构成的 IGBT 管压降检测电路，因 IGBT 的未接入（相当于开路），而检测到极大的管压降信号，而向 CPU 报出 OC 信号，CPU 采取了停机保护措施。必须采取相应手段，屏蔽掉驱动电路对 IGBT 管压降检测功能，令 CPU 正常发送六路脉冲，以利驱动电路的进一步检修。看下图电路——PC929 驱动电路的 IGBT 管压降检测等效电路图：

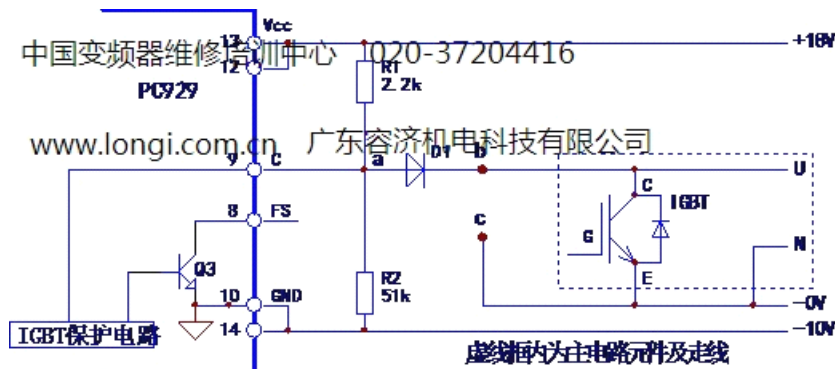


图 4. 11 IGBT 管压降检测等效电路图

如果把 IGBT 看作一只开关的话，则在正向激励脉冲作用期间，这只开关是闭合状态的，b 点电压也为 0V，嵌位二极管 D1 正向导通，将 a 点电压嵌位为 0V，PC929 的 9 脚因输入低电平信号，IGBT 保护电路不起控，驱动电路正常传输脉冲信号；当 IGBT 开路性损坏或检修中脱离主电路后，同样在正向激励脉冲作用期间，D1 反偏截止（在与主电路连接状态下）或因脱离主电路呈开路状态，则 a 点电压则上升为 R1 与 R2 对+18V 和-10V 的分压值，从两只电阻的阻值可看出，a 点电压上升为近 17V，PC929 的 9 脚内部 IGBT 保护电路起控，Q3 导通，由 8 脚输出 OC 信号，经光耦器件输入 CPU，CPU 报出 OC 故障，并停止了脉冲信号的输出。

如果单纯将 OC 信号切断，如将图 4、9 中的 PC4 开路或短接 PC2 的 1、2 脚，以中断 OC 信号的输出，固然可以令 CPU 不停止脉冲信号的输出，但 PC929 中 IGBT 保护电路还处于起控状态，PC929 仍无法正常输出驱动脉冲信号。正确的做法是：短接上图 b、c 点，即将 D1 的负极与 0V 供电引出线短接，人为造成“IGBT 的正常导通状态”，“糊弄”一下 IGBT 管压降检测电路，使之在激励脉冲作用期间，能一直检测到 IGBT 的“正常状态”，内部保护电路不起控。

在检修所有变频器的驱动电路板时，只有驱动电路本身有 IGBT（管压降检测）保护电路，我们都可以找出上图电路中的 b、c 点并予以短接，就可以将驱动电路 OC 故障的报警功能屏蔽掉，对驱动电路进行脉冲传输状态的检查了。

好了，短接 b、c 点，按动操作显示面板上的起动和停止按键，配合对输出脉冲电压的测量，驱动电路的隐蔽故障，便一一暴露无遗了。

驱动电路动、静态电压变化是如此明显，无论用指针式万用表或数字式万用表、用直流电压档或交流电压档、直流电流档或交流电流档，都能测出明显的变化。以至于我们不必采用示波器，也能准确判断出驱动电路对脉冲信号的传输情况。测量数据如下表：

输入信号电压	直流电压档/停止	直流电压档/启动	交流电压档/停止	交流电压档/启动
PC923 的 2、3 脚之间	0V	约 0. 2V	0V	约 0. 4V
输出信号电压				
CN1 端子/2 线为 0V	-10V	约+4V	0V	约 16V

注 1：指针表的交流电压档，也能显示偏大的直流电压值，故在停机状态，仍显示一定电压值，但在启动状态，表笔马上反向指示。说明指针表的交流电压档，虽能测出信号电压的峰值，但仍能指示出电压的极性。用数字表，则能得出如上表的数据。

注 2：当驱动供电电压为+15V 和-7. 5V 时，检测得出的输出侧的电压值也相应降低。

注 3：因电路元器件的离散性、各路驱动电源电压的差异、和不同型号变频器 PWM (SPWM) 脉冲波形的差异，测量所得出的动态电压值也会有较大的差异。如从触发端子测得交流电压

值，其峰值往往大致接近供电电压值，一般只要满足在 13V 以上，IGBT 就能可靠工作，六路脉冲电压的幅度也有所差异。所以即使同一种采用同一种驱动 IC 的不同型号的变频器，也可以测得不一样结果。我们不必从数值的精确度上太过讲究，可完全从动、静态电压值、电压极性的明显变化上，判断出驱动电路的工作状态。

每一路驱动电路，都可以直接从驱动 IC 的两个输入脚检测输入信号，和从驱动信号的输出端子检测输出信号。

A 若输入信号电压为零，则往前检测从 CPU 至驱动 IC 的信号传输电路；若有输入信号，CN1、CN2 的输出信号端子则可能有以下几种情况：

B、仍为-10V 的固定负压。测 PC923 的 6 脚，也为-10V，驱动 IC 内部 V2 击穿，代换；测 PC923 的 6 脚有 4V 左右的正电压，故障为驱动 IC 后置放大器的 Q11 短路，更换。

C、输出脉冲信号电压偏低。

a、用 50V 交流档测 PC923 的 6 脚电压，如过低，如仅为 10V，对比测量一下 PC929 的输入 2、3 脚电压，如偏低，则往前检测从 CPU 至驱动 IC 的信号传输电路；如正常，故障可能为 PC923 内部输出电路的 V1 低效，代换 PC923；

b、检测 PC923 的 6 脚交流电压值，达 15V 以上（+15V 供电下，13V 以上即为正常值），故障原因为 R65、R91 有阻值变大现象，更换。或 Q11 低效，更换。

以上检查，只是检测出驱动电路输出的脉冲电压幅度没有问题，但下一个驱动电路无问题的结论还为时过早，一般还需验证驱动电路的电流（功率输出能力）。