

变频器维修之驱动电路常用 IC 原理和维修分析

变频器驱动电路中常用 IC，共有为数不多的几种。可以设想一下，变频器电路的通用电路，必定是主电路（包括三相整流电路和三相逆变电路）和驱动电路，即便是型号的功率级别不同的变频器，驱动电路却往往采用了同一型号的驱动 IC，甚至于驱动电路的结构和布局，是非常类似的和接近的。

早期的和小功率的变频器机种，经常采用 TLP250、A3120（HCPL3120）驱动 IC，内部电路简单，不含 IGBT 保护电路；以后被大量广泛采用的是 PC923、PC929 的组合驱动电路，往往上三臂 IGBT 采用 PC923 驱动，而下三臂 IGBT 则采用 PC929 驱动。PC929 内含 IGBT 检测保护电路等；智能化程度比较高的专用驱动芯片 A316J，也在大量机型中被采用。

通过熟悉驱动 IC 的引脚功能和掌握相关的检测方法，达到对驱动电路进行故障判断与检测的能力，以及能对不同型号的驱动 IC 应急进行代换与修复。

一、TLP250 和 HCPL3120 驱动 IC：

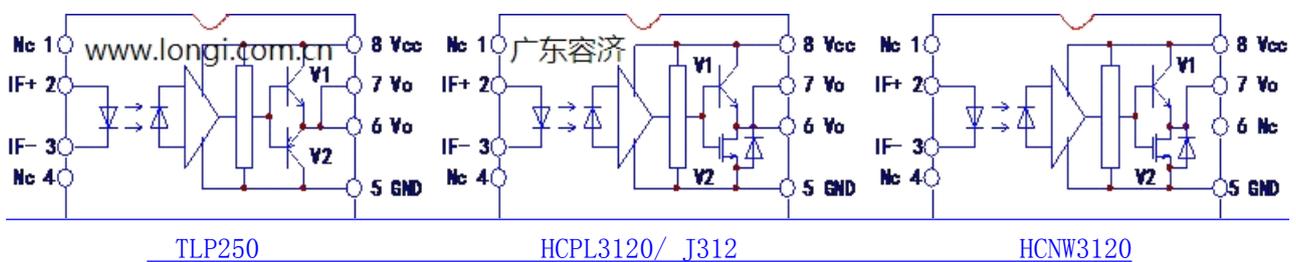


图 1 三种驱动 IC 的功能电路图

TLP250：输入 IF 电流阈值 5mA，电源电压 10~35V，输出电流 ±0.5A，隔离电压 2500V，开通/关断时间 (t_{PLH}/t_{PHL}) 0.5μs。可直接驱动 50A/1200V 的 IGBT 模块，在小功率变频器驱动电路中，和早期变频器产品中被普遍采用。

HCNW3120（A3120）：与 HCPL3120、HCPLJ312 内部电路结构相同，只是因选材和工艺的不同，后者的电隔离能力低于前者。输入 IF 电流阈值 2.5mA，电源电压 15~30V，输出电流 ±2A，隔离电压 1414V，可直接驱动 150A/1200V 的 IGBT 模块。

三种驱动 IC 的引脚功能基本一致，小功率机型中可用 TLP250 直接代换另两种 HCNW3120 和 HCPL3120，大多数情况下 TLP250、HCNW3120 可以互换，虽然它们的个别参数和内部电路有所差异，如 TLP250 的电流输出能力较低，但在变频器中功率机型中，驱动 IC 往往有后置放大器，对驱动 IC 的电流输出能力就不是太挑剔了。

驱动 IC 实质上都为光耦合器件，具有优良的电气隔离特性。输入侧内部电路为一只发光二极管，有明显的正、反向电阻特性。用指针式万用表 ×1k 档测量，2、3 脚正向电阻约为 100kΩ 左右，反向电阻无穷大；用 ×10k 档测量，正向电阻约为 25kΩ 左右，反向电阻也为无穷大。当然 2、3 脚与输出侧各引脚电阻，都是无穷大的。5、6 脚和 5、8 脚之间，均有鲜明的正、反向电阻，当 5 脚搭红表笔时，有 10kΩ/30 kΩ 的电阻值，5 脚接黑表笔时，电阻值接近于无穷大。因选材、工艺和封装型式不同和测量

仪表的选型不同,得出的测量数值会有一些的差异。TLP250 的输出电路采用互补式电压跟随器输出电路, V1、V2 均为双极型器件三极管。而 HCPL3120 的输出电路 V2 采用了 DMOS 三极管,两种芯片的输出侧电阻值有所差异。在上电检测中,从驱动 IC 的电路结构中可得出如下结论:当 2、3 脚输入电流通路接通时, TLP250 内部 V1 导通, 6、7 脚则与 8 脚电压相近或相等;当 2、3 脚输入电流为零时, TLP250 内部 V2 导通, 6、7 脚则与 5 脚电位相近或相等。这即是对 TLP250 好坏进行判断的依据。

TLP250 在线测量:

因机型不同,外围电路的数值不尽相同,所以测量得出的在线电阻值的参考意义不大。在供电状态下,可方便测出 TLP250 的好坏情况。驱动电路的带电检测,须在单独检修驱动电路的情况下或已将逆变功率电路的供电切除的情况下进行!严禁在整机运行状态下,直接下笔测量驱动电路——由表笔引入的干扰信号会误触通 IGBT,造成严重损坏!在脱开逆变电路或切断逆变电路供电的情况下,和 CPU 主板能输出正常六路驱动脉冲的情况下,可以在线检测驱动 IC 的工作状态。

在变频器的控制线路处于停机状态时,测量 2、3 脚电压应为 0V,测量 5、6 脚电压应为 0V;操作变频器的操作显示面板,使之处于启动运行状态,测量 2、3 脚应有 0.6V 左右的正向电压值,此时测量 5、6 脚之间应有 2—4V 左右的电压输出。说明 TLP250 是好的。2、3 脚输入电压有变化,但输出脚无电压变化,或输出脚一直保持一个固定不变的高电平或低电平,说明 TLP250 损坏。

当然,也可用外加电源串联限流电阻提供 TLP250 的输入电流,检测输出脚的电压变化,来检测判断 TLP250 的好坏。上述检测方法同样适用于 HCNW3120 等的检测。

二、PC923、PC929 驱动 IC:

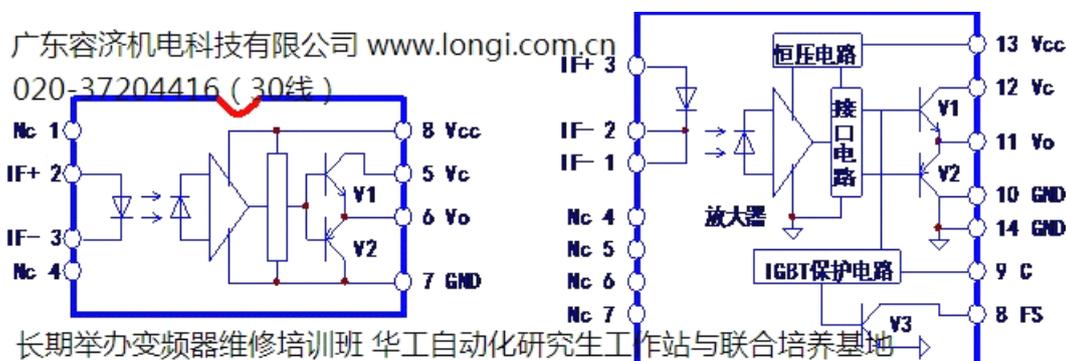


图2 配对应用的驱动 IC: PC923 (8 引脚)、PC929 (14 引脚)

两片驱动 IC 经常成对出现,成为驱动电路的一个经典组合模式。PC923 用于上三臂 IGBT 管子的驱动,PC929 则用于驱动下三臂 IGBT 管子,并同时承担对 IGBT 导通管压降的检测,对 IGBT 实施过流保护和输出 OC 报警信号的任务。PC929 与普通驱动 IC 的不同,在于内部含有 IGBT 保护电路和 OC 信号输出电路,将驱动和保护功能集成于一体。

PC923 的相关参数:输入 IF 电流值 5~20mA,电源电压 15~35V,输出峰值电流 $\pm 0.4A$,隔离电压 5000V,开通/关断时间 (t_{PLH}/t_{PHL}) 0.5 μs 。可直接驱动 50A/1200V 以下的小功率 IGBT 模块。PC923 的电路结构同 TLP250 等相近,但输出引脚不太一样。5、8 脚之间可接入限流电阻,限制输出电流以保护

内部 V1、V2 三极管。常规应用，是将 5、8 脚直接短接，接入供电电源的正极。如果将输出侧引线改动一下，也可以与 TLP520、A3120 等互为代换。其上电检测方法也同于 TLP250，在此不予赘述。

PC929 的相关参数与 PC923 相接近，在电路结构上要复杂一些。1、2 脚为内部发光二极管阴极，3 脚为发光管阳极，1、3 脚构成了信号输入端。4、5、6、7 脚为空端子。输入信号经内部光电耦合器、放大器隔离处理后经接口电路输入到推挽式输出电路。10、14 脚为输出侧供电负端，13 脚为输出侧供电正端，12 脚为输出级供电端，一般应用中将 13、12 脚短接。11 脚为驱动信号输出端，经栅极电阻接 IGBT 或后置功率放大电路。PC929 的 9 脚为 IGBT 管压降信号检测脚，9、10 脚经外电路并联于 IGBT 的 C、E 极上。IGBT 在额定电流下的正常管压降仅为 3V 左右。异常管压降的产生表征了 IGBT 运行在危险的过流状态下。PC929 的 8 脚为 IGBT 管子的 OC（过载、过流、短路）信号输出脚，由外接光耦合器将故障信号返回 CPU。

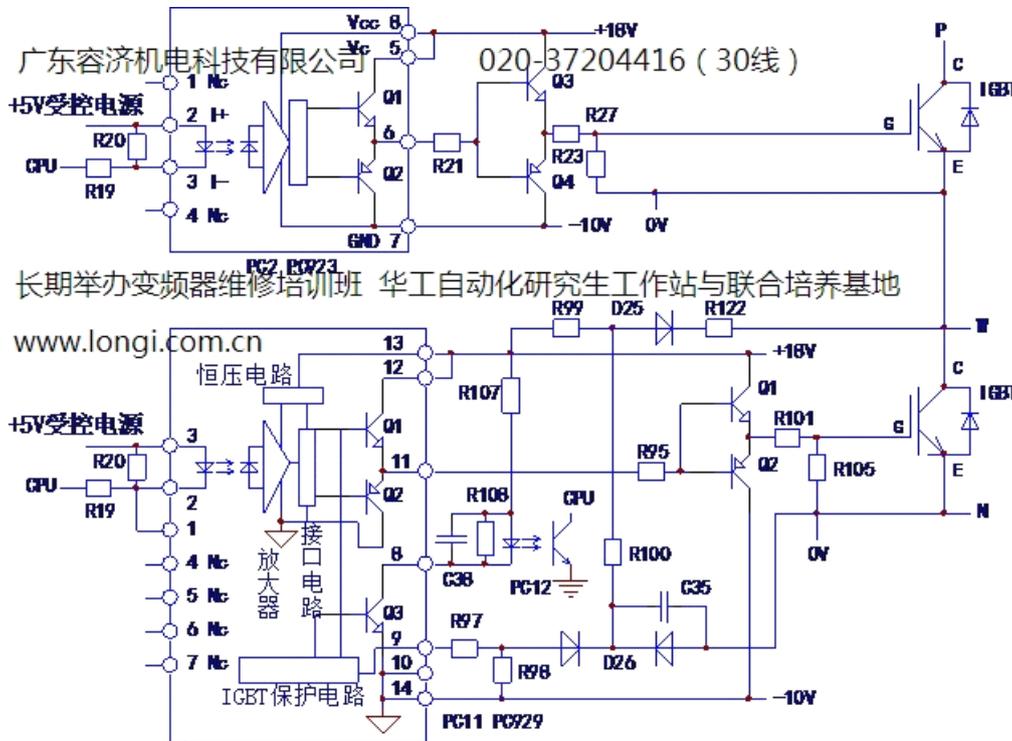


图 3 PC923、PC929 与后置放大器构成的 U 相驱动电路

PC929 内部 IGBT 保护电路的动作过程：在正常状态下，变频器无论处于待机或运行状态，2、3 脚输入脉冲信号电流，11 脚相继产生+15V 和-7.5V 的输出驱动电压信号。此时 PC929 的 8 (FS) 脚一直为高电平状态；当所驱动的 IGBT 管子流过异常电流时（如 2 倍以上额定电流），IGBT 的导通管压降迅速上升，使 9 脚电压到达故障报警阈值（7V），PC929 内部的 IGBT 保护电路起控，11 脚输出的正向激励电压降低，使 IGBT 的导通电流下降，同时控制 8 脚内部的三极管 Q3 导通，输出一个低电平的 OC 故障信号，经外接光耦合器送入 CPU，CPU 据过流情况实施保护停机等动作。

表 1 PC923、PC929 输出侧的各脚电阻值 (kΩ)

PC923	2、3 脚	5 脚搭红表	5、6 脚	5、7 脚	5、8 脚	
-------	-------	--------	-------	-------	-------	--

		笔					
	正向电阻 10		34	8.5	70		
	反向∞	5 脚搭红黑笔	∞	∞	∞		

PC929	3、2 脚	10 脚搭红笔	10、8 脚	10、9 脚	10、11 脚	10、12 脚	10、13 脚
	正向 25		∞	55	10	∞	20
	反向∞	10 脚搭黑笔	13	13	12	11	10

在单独维修电源/驱动板的上电检测中，因 PC929 的 9、10 脚与 IGBT 模块脱离，一接受运行信号，8 脚即报出 OC 故障信号，11 脚输出脉冲电压也被内部 IGBT 保护电路所嵌制，致使无法测出 PC929 的工作状态。需采取相应措施，解除 PC929 的管压降检测功能，强制电路正常工作，达到方便检测的目的。

三、智能型驱动 IC——HCPL-316J (A316J):

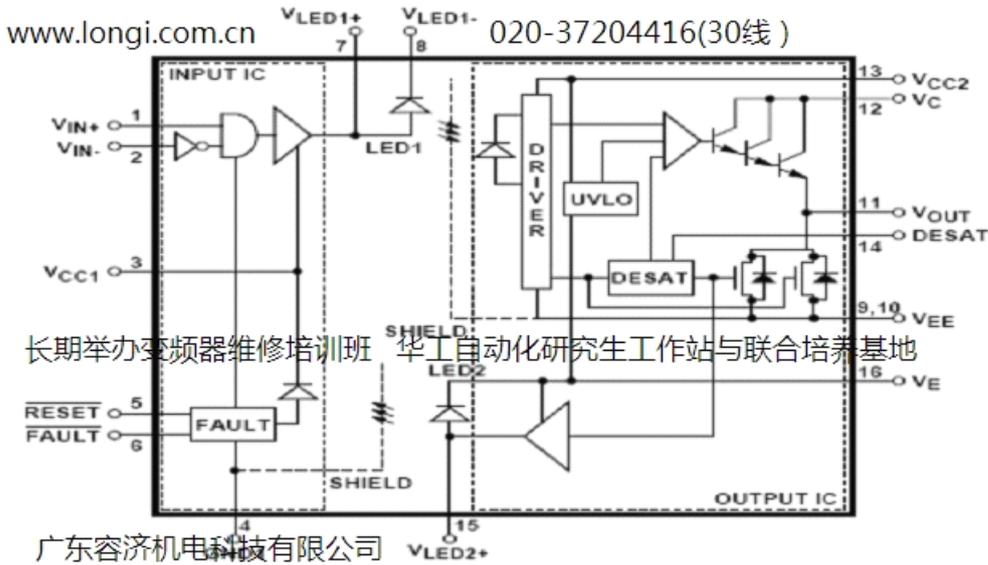


图 4 HCPL-316J 内部结构框图及引脚功能图

长期举办变频器维修培训班 华工自动化研究生工作站与联合培养基地

020-37204416 (30线) www.longji.com.cn

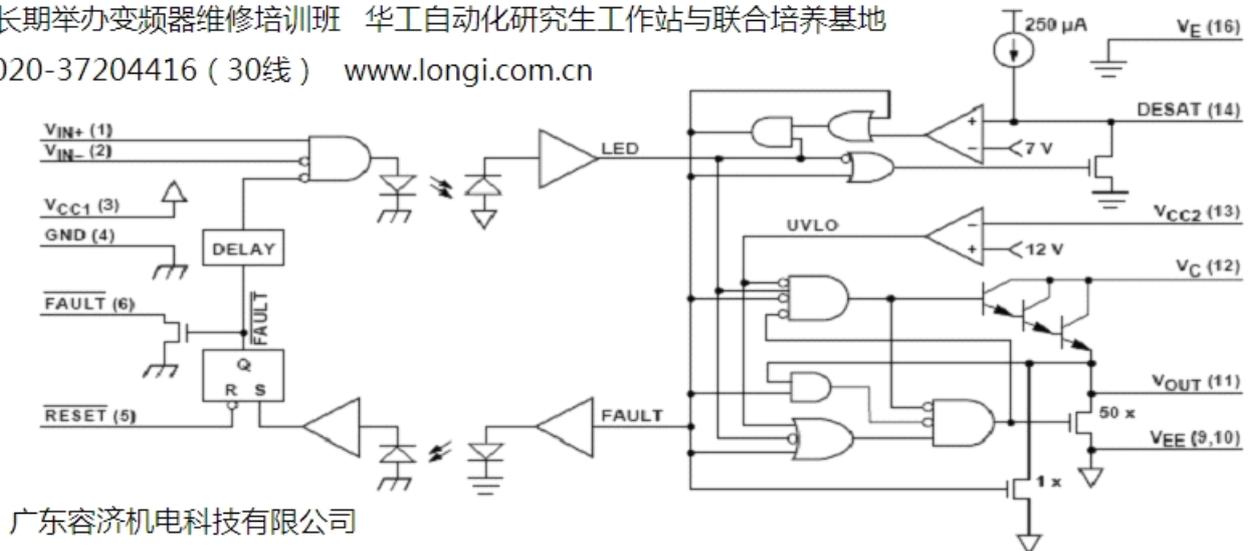


图 5 HCPL-316J 内部电路原理图

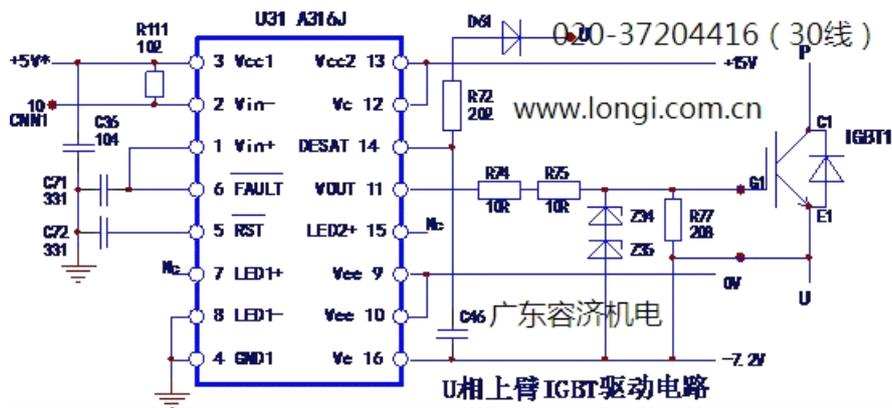


图 6 由 HCPL-316J 构成的驱动电路

图 4 和图 5 分别为 A316J 的内部结构图和原理图。A316J 的输出电流值达 2.5A，可直接驱动 150A/1200V 的 IGBT。作为一种专用驱动芯片，其各项功能已接近完善，外围附属电路相对简洁。输入侧内部电路为数字门电路，阻抗较高，不必取用大的信号源电流。内含欠电压封锁输出电路和 IGBT 保护电路；内含输入脉冲信号和输出 OC 信号的两路光电耦合器；具有故障时封锁驱动脉冲和故障复位控制功能，与 CPU 配合，可实现自动停机、自动复位等控制。

如图 4 和图 5，A316J 内部以两只光耦合器的光传输通道为分界点，分出了输入侧电路和输出侧电路。1、2 为 V_{IN+} 、 V_{IN-} 正/负信号输入端，LED1 与相关输入侧、输出侧电路构成了脉冲信号传输电路。输入信号经门电路由发光管 LED1（光耦合器）传输至输出侧电路。输出侧接受到的光信号再经受控放大电路，进行功率放大后由 11 脚输出，驱动 IGBT 模块。LED1 的阳极和阴极分别由 7、8 脚引出，便于外接故障保护电路，以切断脉冲信号的传输。但常规应用中，一般是将 7 脚悬空，8 脚直接接输入侧信号（电源）地，构成了信号直通回路。

内部输出级电路为推挽式输出电路，由复合放大器保障大电流输出能力。实际电路中，控制电路的供电端子 13 脚与输出级放大器的供电端子 12 脚也是短接的，接入驱动电路供电电源的正极，9、10 脚接入供电负极，电源电压范围为 15~30V。

驱动电路对 IGBT 的过载保护，并非是通过电流采样——串联电流采样电阻或采用电流互感器来进行的，而是由 IGBT 的通态管压降，来判断 IGBT 是否出处于过流状态。在额定电流以下运行时，IGBT 管压降不大于 3V，当运行电流达到 IGBT 的两倍时，管压降会上升到 7V 以上。应该实施保护停机了。

LED2（光电耦合器）与输入、输出侧相关电路构成了 IGBT 管压降检测电路、IGBT 模块的 OC 信号报警电路和故障复位电路。14 脚为 IGBT 管压降信号（IGBT 过电流检测信号）输入脚，14、16 脚经外接元件并联于 IGBT 的 C、E 极上。正常工作状态下，IGBT 保护电路不动作，LED2 为截止状态，输入侧内部 RS 触发器的输出 Q 端保持低电平，对 LED1 的信号输入通路不起控制作用，同时 6 脚内部 DMOS 管因无工作偏压处于截止状态，6 脚（模块 OC 信号输出脚）为高阻态（高电平），电路正常工作；当负载过重或驱动电路本身故障或 IGBT 有开路性损坏时，14 脚检测到 IGBT 导通期间的管压降达 7V 以上时，内部 IGBT 保护电路起控，11 脚内部功率输出电路被先行封锁，LED2 导通，RS 触发器 Q 端变为高电压，脉冲信号

输入门电路被封锁，同时 6 脚内部 DMOS 管子导通，将低电平的 OC 信号输入 CPU 或前级故障信号处理电路。当 RS 触发器被触发后，将维持故障锁定状态，LED1 的传输通路被切断，驱动信号无输出。直到 AJ316 的 5 脚（复位信号输入脚）接受一个外来（该信号常用 CPU 输出）低电平的复位信号时，RS 触发器状态复位，LDE1 等电路构成的脉冲信号传输通道，才又重新开通。15 脚在 OC 故障信号输出时为高电平，也可配合外接电路进行故障报警等，一般电路中，15 脚也被空置未用。

OC 故障信号、供电电源欠电压信号和脉冲输入信号，决定着 AJ316 的输出状态。输出推挽电路具有互锁功能，确保上、下管子不会同时导通。当供电电压低落到 12V 以下时，为避免 IGBT 欠激励而导致电路故障，内部欠电压电路保护电路起控，推挽输出电路的 DMOS 下管被强制导通，将驱动脉冲输出端下拉为低电平，IGBT 被截止；在脉冲输入信号有效期间，IGBT 保护电路检测到 IGBT 的管压降异常上升时，则保护电路起控，推挽输出电路的上部达林顿管被关断，并由 RS 触发器实施了故障锁定。同时推挽输出电路下管中并联的 DMOS 管子中放大倍数小的管子先行导通，经外接触发回路将 IGBT 的 G、E 结电容所储存的电荷进行缓慢释放，使 IGBT 软关断，避免由主电路的分布电感形成过大的 Ldi/dt ，易使 IGBT 超出安全工作区而损坏。

对 A316J 驱动 IC 的测量判断见下表。

表 2 A316J 的各脚电阻值（MF47 型表×1k 档测量）

输入侧引脚	1	2	3	5	6	7	8
4 脚搭红笔	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
4 脚搭黑笔	43	43	7	42	9	10	∞
输出侧引脚	10	11	12	13	14	15	16
9 脚搭红笔	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞
9 脚搭黑笔	0	8	8	8	9	10	9

广东容济机电科技有限公司（原为“广东容济自动化设备有限公司”）从事工控技术服务行业多年，被誉为“工控界的黄埔军校”，培养出大量资深的电子电气工程师，在工控行业影响深远。高级技工及工程师占从业人员的三分之二以上，拥有雄厚的技术力量。

公司以“做最优秀的工控技术服务商”为市场目标。服务内容包括自动化产品的销售与维修，电子产品开发，工厂设备定期维护，工控技术培训，自动化系统的设计、安装和调试，单机设备自动化联线等七大部分。

从 2010 年 7 月份开始，广东容济联合华南理工大学自动化科学与工程学院，进行校企合作，强强联合，共同打造自动化专业的研究生培养基地（以下称“基地”），建立长期性的自动化研究生工作站。研究课题包括：工控产品芯片级维修，伺服马达编码器替代研究，工控维修连锁经营技术管理，工控项目现场管理，工控改造项目技术研究，自动化成套项目研发，机车电子数字点火研究，内燃机管理系统研发，电动车智能控制器开发，摩托车混合动力研发，摩托车涡轮增压控制器研发。

从 2010 年 10 月开始，广东容济机电科技有限公司通过与百度官方合作，共建了百度知道开放平台——容济知道，成为工业自动化行业第一家专业解答工控技术的交流中心。统计数据显示，百度知道开放平台自诞生以来，已经陆续吸引了上千家网站的申请合作，并且有 700 余家来自各个行业、地方的网站开辟了知道合作频道，累计解决了超过 38 万问题。随着开放平台运作的深化，百度知道致力于消除人们之间的知识鸿沟、推动知识社会到来的宏伟目标正在变成现实。

基地秉承广东容济的技术人才培养精神，全力打造面向市场的研究生人才，结合华工自动化的理论教学，对外开展面对社会招生的维修类技术的培训，目前维修类技术培训已经举办了三十六期，采用广东容济公司出版的《变频器维修技术》为主的教材，重视实践和动手能力的培养，培养出来的学员能够马上胜任工控产品的芯片级维修，市场反应良好。

基地正在研究新的解决方案，以迎接未来汽车、自水处理、橡塑、纤化、线缆、冶金、造纸、印刷、木业、食品、电力、制药、智能楼宇、机械等行业的挑战。基地拥有雄厚的技术实力和丰富的维修经验，目前被Parker SSD传动、西门子、富士、三菱、施耐德、伦茨、ABB、AB、包米勒等国际工控品牌授权为华南地区的维修服务中心。基地是欧陆直流调速器维修服务中心，同时建立了广州变频器维修中心，长期从事变频器维修、伺服系统维修、触摸屏系统维修、数控系统维修等技术服务，基地配有先进的测试仪器，包括多通道示波器、短路跟踪仪、在线测试仪、通讯检测仪、逻辑分析仪和编码器专用检测仪等，建有系列重载测试和通讯检测设备，备有充足的零部件。