
RX62T

REJxxxxxx-1101
第一版 1.00
2012 年 05 月 25

3KW 工业变频器解决方案

简介

本应用笔记介绍了使用 Renesas MCU RX62T 设计 3KW 工业变频器的方法。

目标设备

RX62T

内容

3KW 工业变频器解决方案	1
1. 前言	2
2. 控制板供电电源选择	5
3. 控制板 LED 功能描述	6
4. 功率板简介	7
5. RX62T 结构及外部设备连接图	10
6. 控制 MCU 概述	11
7. 永磁无刷电机模型	12
8. 无传感器 F.O.C.算法	13
9. 软件设计	14
10. 启动程序	17
11. PWM 调制技术	18

1. 前言

1.1 概述

本文档描述了基于 Renesas 电子公司新型 32-bit MCU RX62T 开发的电机控制参考平台。

本参考平台通过使用先进的无传感器磁场定向控制算法来驱动 3 相永磁同步电机（无刷电机）。

本参考平台提供一种使用 3 路分流器来进行相电流测量的低成本解决方案，这样避免了使用昂贵的电流传感器，另外也能使用单路分流器检测电流。

这种控制算法主要应用于压缩机，空调，风扇，工业驱动，洗衣机等。

本参考平台能实现简易的用户应用系统开发，包括 PC 机用户接口。

使用本参考平台，用户可体验一种新的，容易的电机控制方法，用户也能开发并测试自己的解决方案。

1.2 硬件简介

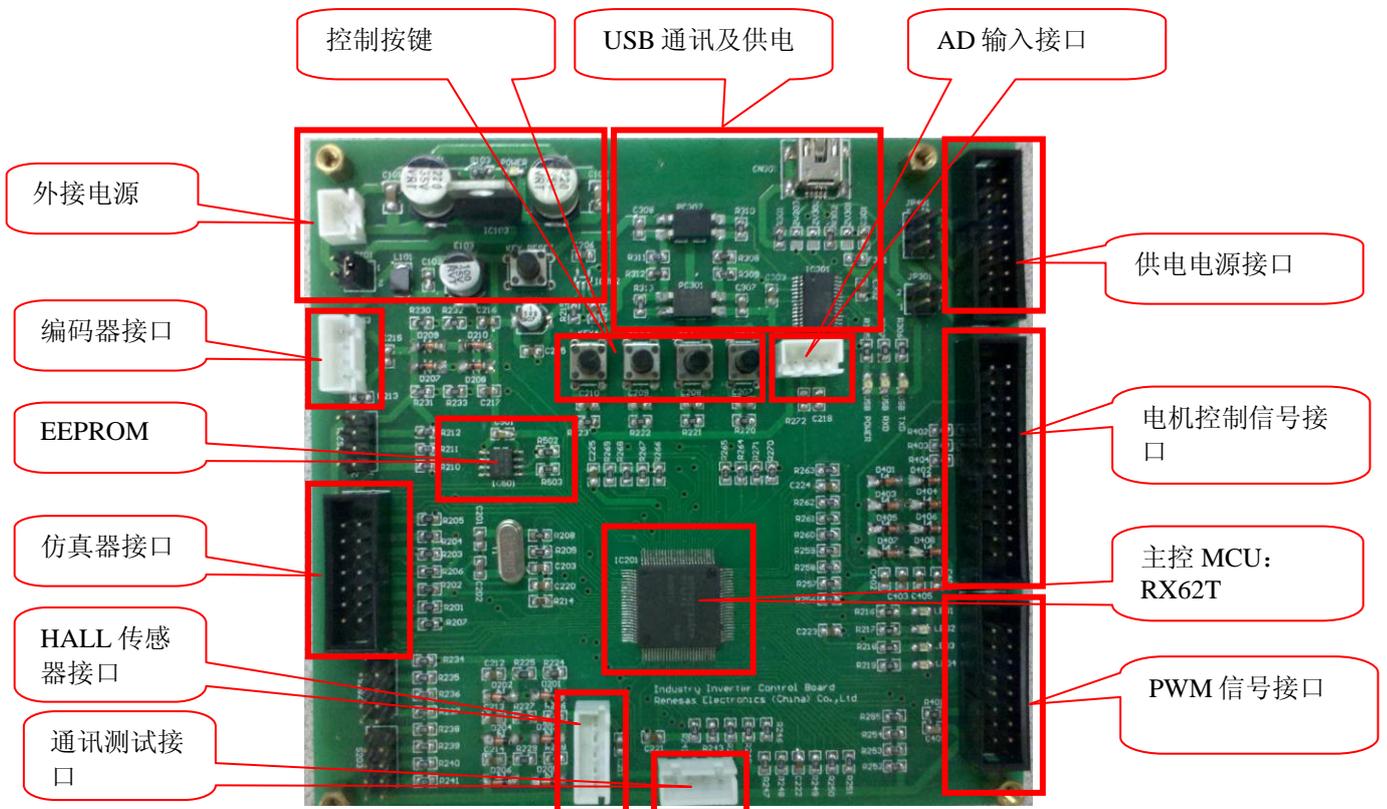
本参考平台是基于 Renesas 电子公司新的 RX 系列微控制器 RX62T 开发的 3KW 工业变频器。

硬件包括两部分：功率板和控制板，并使用一外接 PFC 电源板提供供电电源。

关于 PFC 电源板相关信息请参考相关应用笔记。

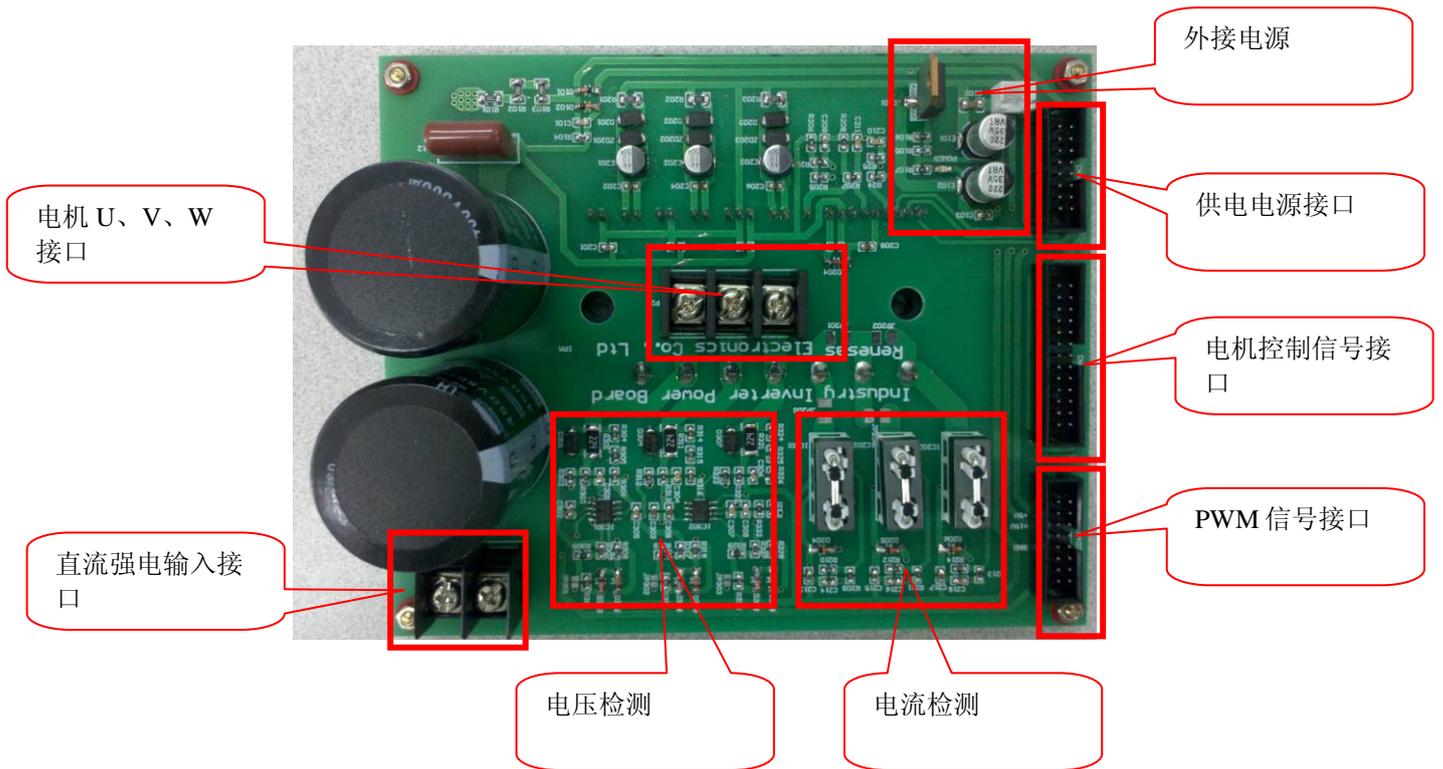
控制板可使用 USB 直接驱动，也可使用外部电源驱动。当使用外部供电时，USB 通讯被光电隔离。

下图为控制板示意图：

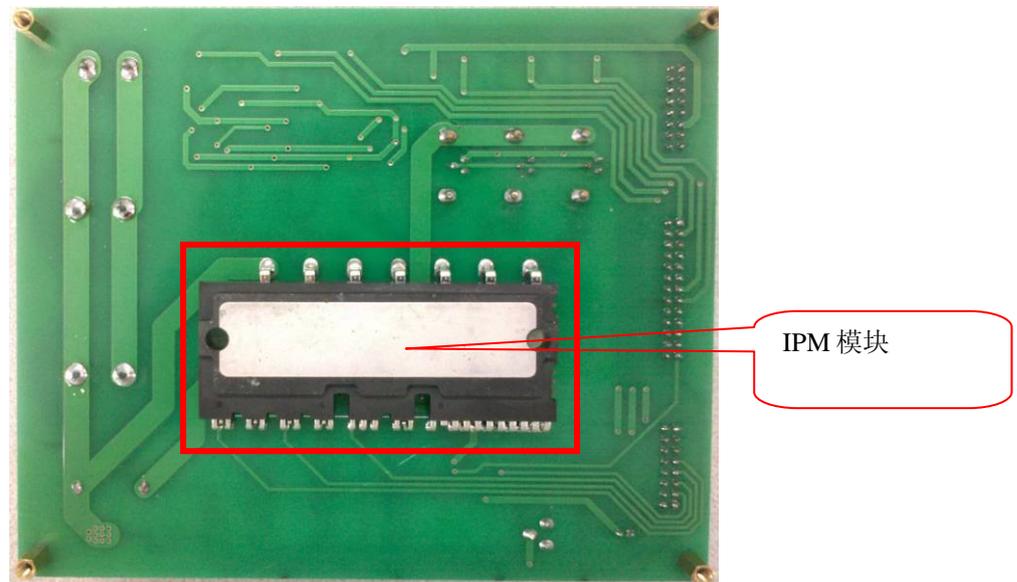


下图为功率板示意图：

(1) 顶视图



(2) 底视图



1.3 使用条件

MCU: RX62T

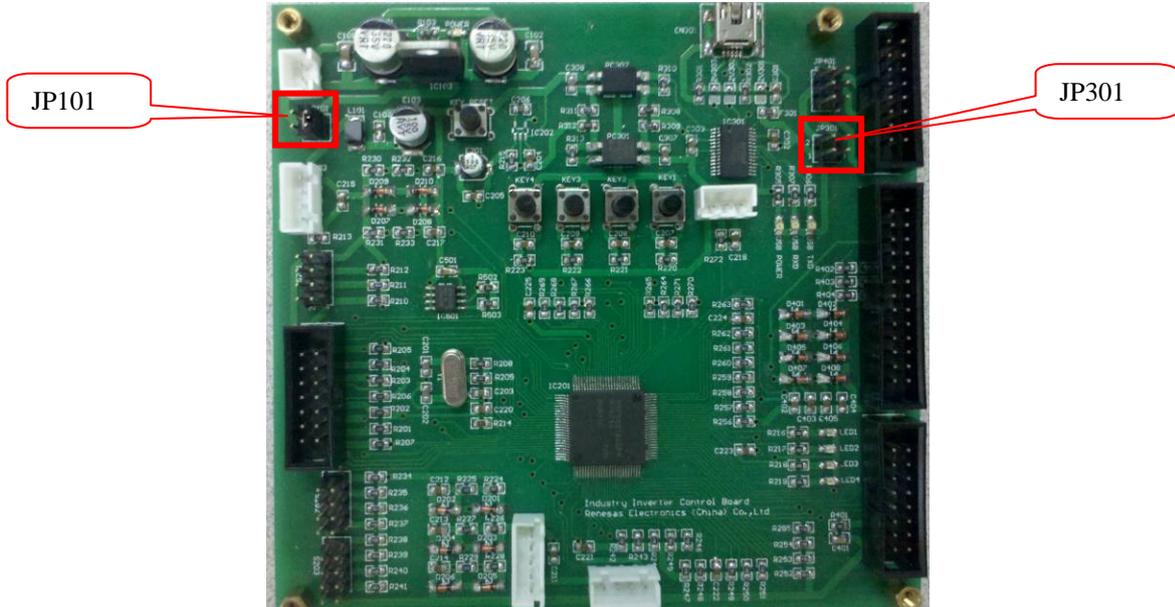
工作频率: 12.5MHz;

编译器和调试环境: High-performance Embedded Workshop

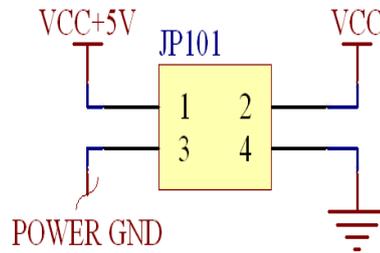
2. 控制板供电电源选择

控制板有两种供电方式：PC USB 直接供电和外接 PFC 电源供电。

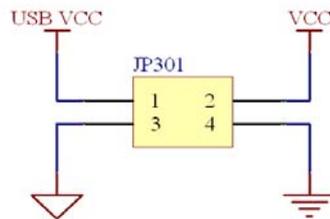
系统通过两组跳线来实现两种供电方式的选择：JP101 和 JP301。



下图为跳线 JP101 的连接示意图，该跳线用来选择使用外部电源供电。



下图为跳线 JP301 的连接示意图，该跳线用来选择使用 PC USB 供电。



两组跳线必须单独使用，保证系统由单一电源供电。

3. 控制板 LED 功能描述

控制板使用 8 个 LED 指示灯用来描述系统的运行状态。各个指示灯的功能描述如下所示：

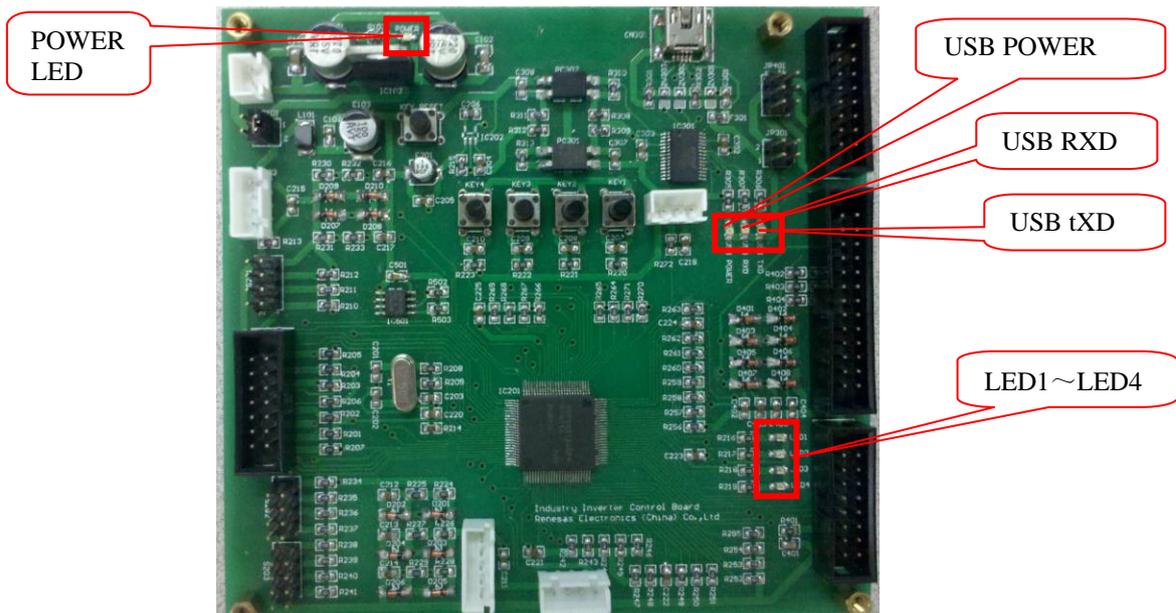
POWER LED: 外接电源供电指示灯，该指示灯指示外接电源的供电状态。

USB POWER: USB 电源供电指示灯，该指示灯指示 USB 电源的供电状态。

USB TXD: USB 发送信号指示灯，该指示灯指示 USB 通讯的发送信号状态。

USB RXD: USB 接收信号指示灯，该指示灯指示 USB 通讯的接收信号状态。

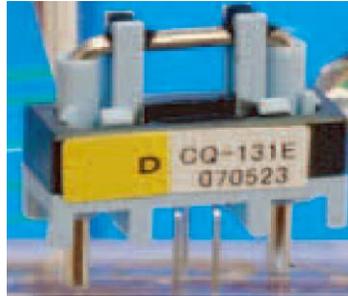
LED1~LED4: 系统运行状态指示灯。



4. 功率板简介

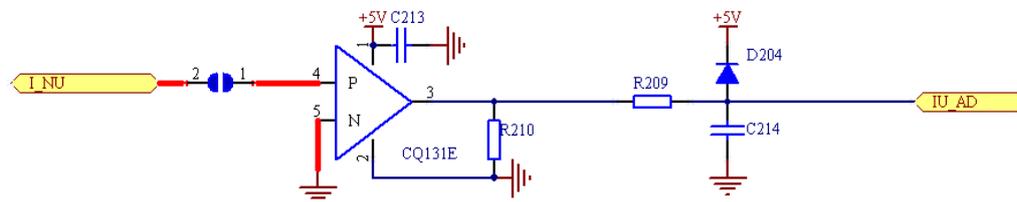
■ 电流检测

系统使用 AsahiKASEI 公司的电流传感器 CQ-131E 进行电流检测。如图所示：



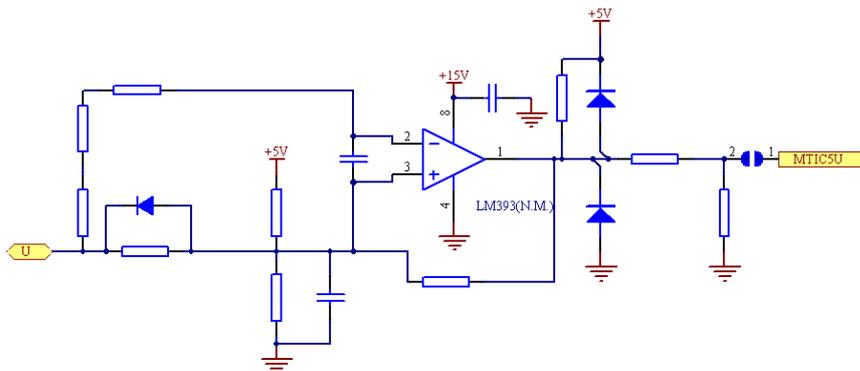
CQ-131E 电流传感器的相关电器特性请参考相关用户手册。

电路连接示意图如下所示：



■ 电压检测

系统使用运算放大器 LM393 进行电压检测，其电路连接示意图如下所示：



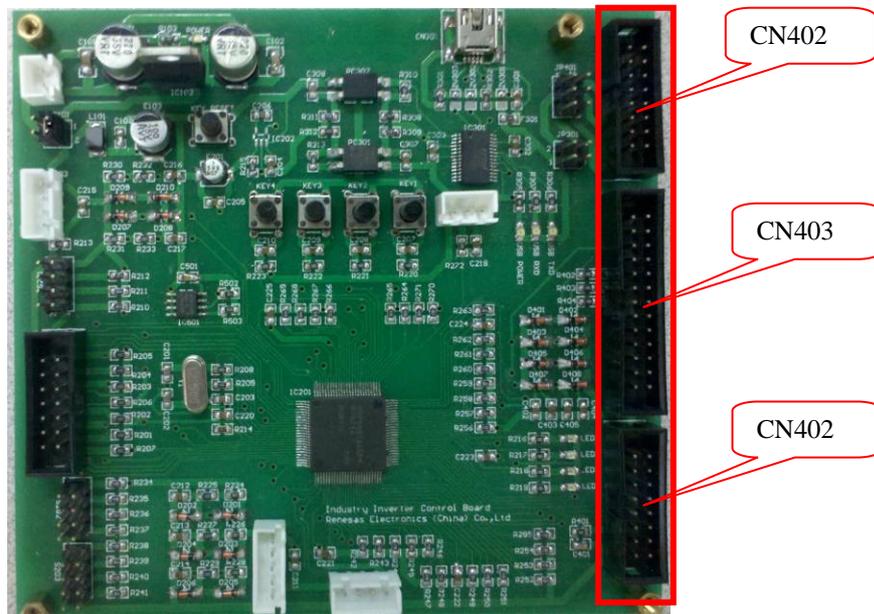
■ 电机控制 DIIPM 模块

系统使用三菱电机的 DIIPM 模块执行电机变频控制。其相关电器特性请参考相关用户手册。

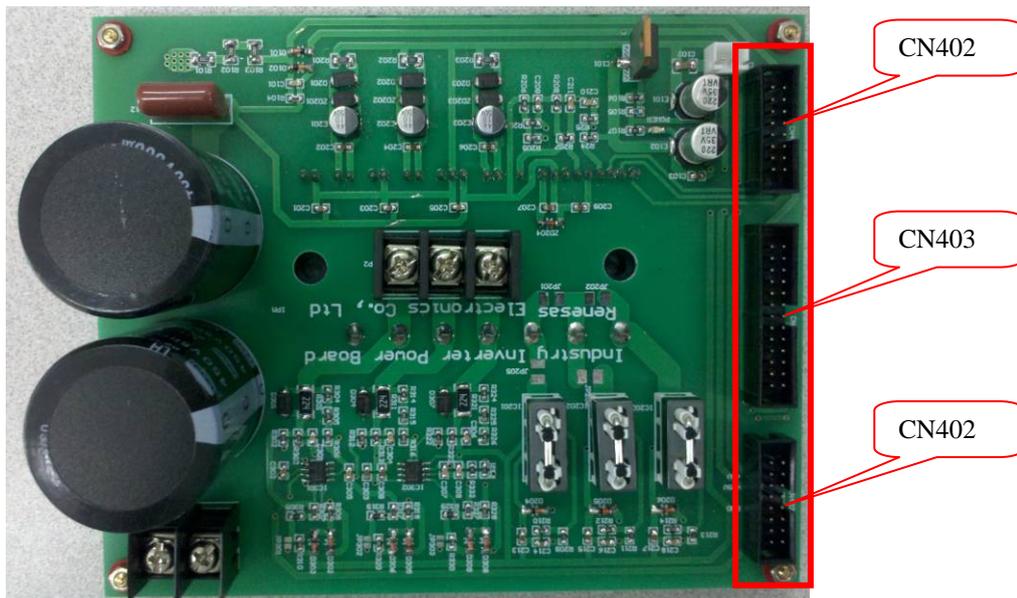
■ 控制板和功率板的连接

系统控制板和功率板通过插座 CN401, CN402 和 CN403 进行连接, 其中 CN401 为 PWM 信号插座, CN402 为供电电源插座, CN403 为控制信号插座。

下图为控制板的连接插座:



下图为功率板的连接插座:



一个 16 引脚的插座 CN401 用于 PWM 驱动信号传递, 这些信号直接连接至 MCU 的输出引脚, 并且没有连接上拉或下拉电阻, 所以必须通过外部设置这些信号线的极性 (如果出现报警情况, 微控制器的输出引脚可设置为高阻状态, 所以外部极性设置是必须的); 这些输出命令都是只有有限电流输出能力的逻辑电平信号,

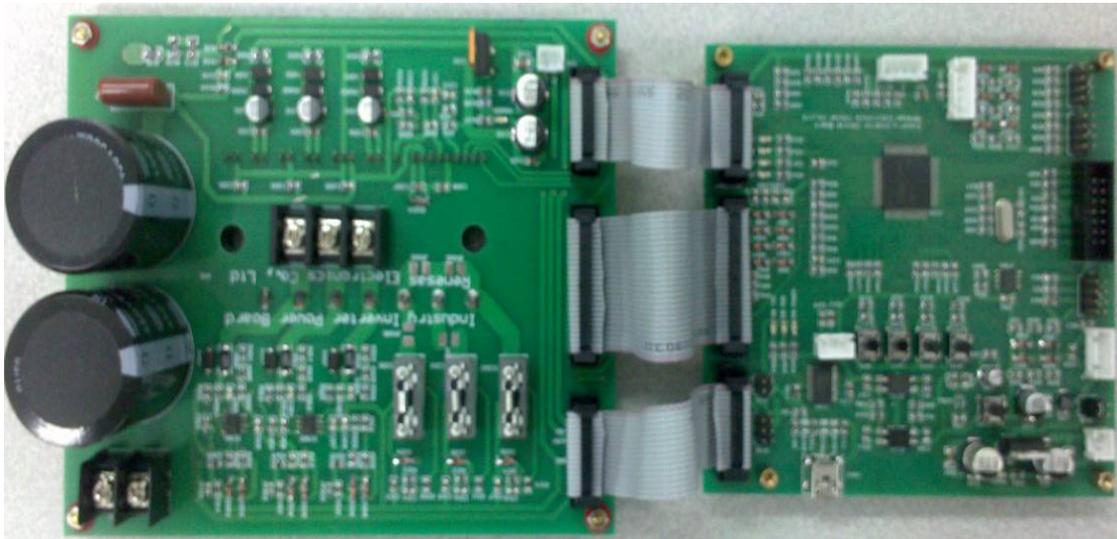
所以必须有外部驱动器。一条单独的信号线被连接到微控制器：这是外部报警信号，被连接至 POE 引脚，该引脚为无极性引脚，所以使能该引脚并且输入中断，则会导致报警产生。这个插座的所有其它空闲引脚都连接到控制板的地电平，这样将使用扁平电缆时产生的交叉影响降至最低。

一个 26 引脚的插座 CN403 用于控制信号的连接，尤其是电流的读取信号和 DC 连接电压的读取信号，这些信号被钳位并滤波，然后直接连接至微控制器的 A/D 转换器的输入引脚，如此，功率板必须处理好这些信号的增益和偏移量。从热传感器来的输入信号必须接上拉电阻。有三路信号必须被注意：它们是来自输出相位的整流信号，这几个信号用于当使用 MTU 的死区时间的硬件补偿时；这几个信号使用直接连接至微控制器供电电源的二极管钳位，所以为避免控制板被损害，这几个信号必须分别串接一个合适的电阻。

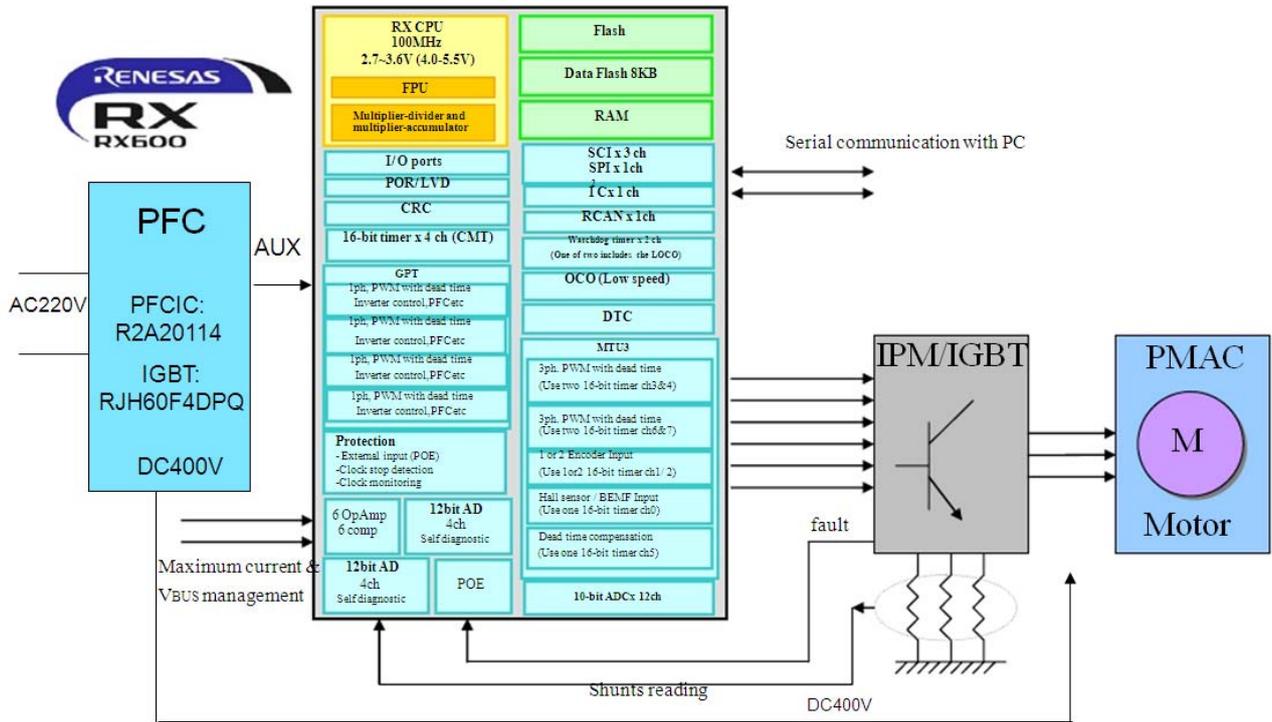
一个 16 引脚的插座 CN402 用于供电电源的供给，通过跳线 JP401 控制两路电源输入：5V 或 15V。

■ 控制板和功率板的连接示例

下图为控制板和功率板的连接示意图：



5. RX62T 结构及外部设备连接图



6. 控制 MCU 概述

RX62T MCU 群是以高速、高性能 RX CPU 为 100MHz 处理器内核的 MCU。

每个处理器的基本指令执行时间为 1 个系统时钟周期。通过使用单精度浮点运算单元和 32 位乘法器和除法器，强化了运算功能。除此之外，通过以字节为单位的可变长指令以及强化寻址方式，提高编码效率。

针对电机控制设备，该 MCU 群包含了以下的外围功能模块：多功能定时器脉冲单元 3（用于电机控制），通用 PWM 定时器，比较匹配定时器，看门狗定时器，独立看门狗定时器，串行通信接口，I2C 总线接口，CAN 模块，串行外围设备接口，LIN 模块，具有 3 通道同步采样功能的 12 位 A/D 转换器，10 位 A/D 转换器。除此之外，针对其它的额外功能，12 位 A/D 转换器包括一个窗口比较器和可编程增益放大器。

以下为关于 RX62T 的简要介绍：

RX600 CPU

- 高速：100MHz 时钟
- 高性能：1.65MIPS/MHz
- 低功耗：仅仅 50mA @100MHz
- 单精度浮点单元 FPU, 柱式位移器，MAC, RMPA
- 256kB Flash/16Kb RAM 至 64kB Flash/8kB RAM
- 零等待访问 Flash 存储器
- 64 引脚至 112 引脚封装选择

功能

- 强化同 MTU3 的 PWM 分辨率，强化同 GPT 的 PWM 功能
- 12 位 A/D 转换器（1us）：4 通道 x 2 单元，10 位 A/D 转换器（1us）：12 通道 x 1 单元
- 每单元 3 路 S/H 电路：3 路分流器控制使能控制
- 用于每单元的双数据寄存器：1 路分流器使能控制
- 可编程增益运算放大器，用于电压监控的窗口比较器
- CAN 可选

片上支持高速操作的大容量 Flash 存储器能极大的缩减系统开发成本。

该系列 MCU 的主要应用领域为：工业设备，家用电器，电机控制设备，功率变换器等。

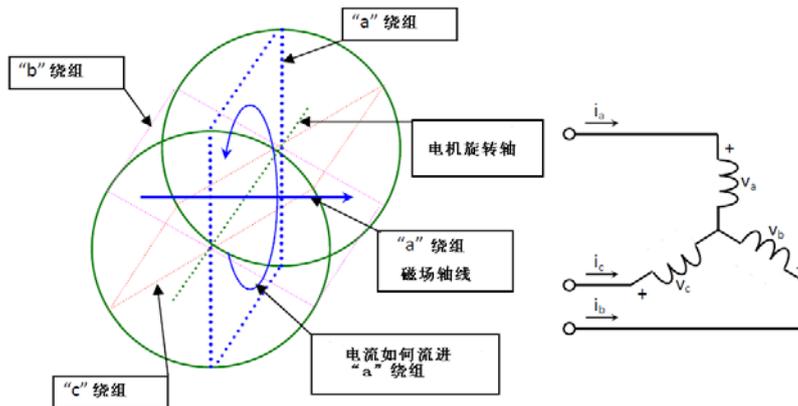
下图为 RX62T 的结构图和每个外设的连接图。

7. 永磁无刷电机模型

同步永磁电机（正弦无刷电机）在工业领域中应用广泛。因为电机效率方面的原因，越来越多的家用电器制造商使用这种无刷电机。

永磁电机由以下几个部件组成：

1. 固定在金属机座内的带铜线绕组的定子；
2. 带永磁体的转子；
3. 带球形轴承的两片机盖，它们使转子和定子结合在一起，并且转子能够在定子内自由转动。



工作原理：

当给电机一个恒定频率的三项正弦电压，则定子绕组内流过正弦电流，这会产生一个旋转磁场。

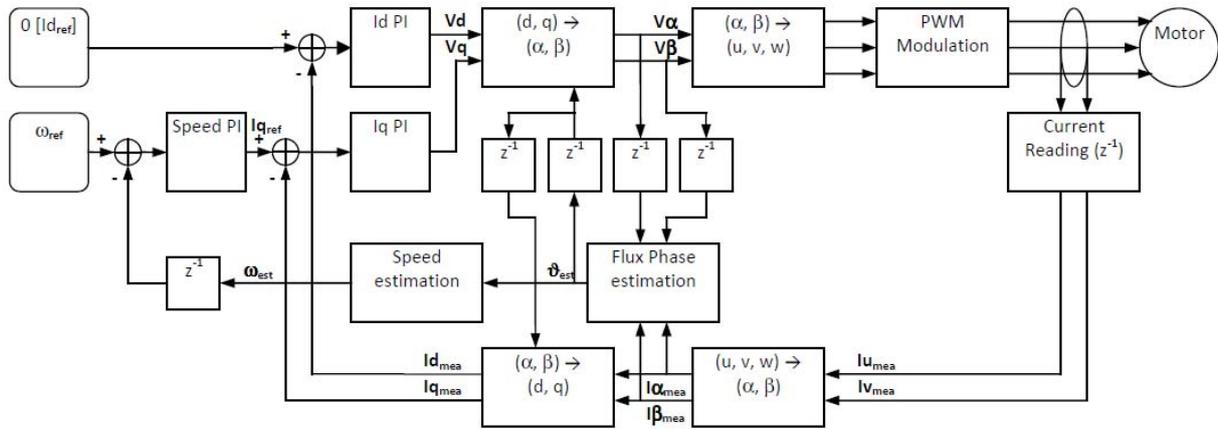
转子内的永磁体趋向于与这个旋转磁场保持一致，这样就使转子以同步速度开始转动。

在驱动这种类型电机的过程中最大的挑战是如何实时知道电机转子的位置，通常使用位置传感器或速度传感器来取得转子的位置。

在本设计方案中，系统使用一路或三路分流器来检测转子的实时位置。

8. 无传感器 F.O.C.算法

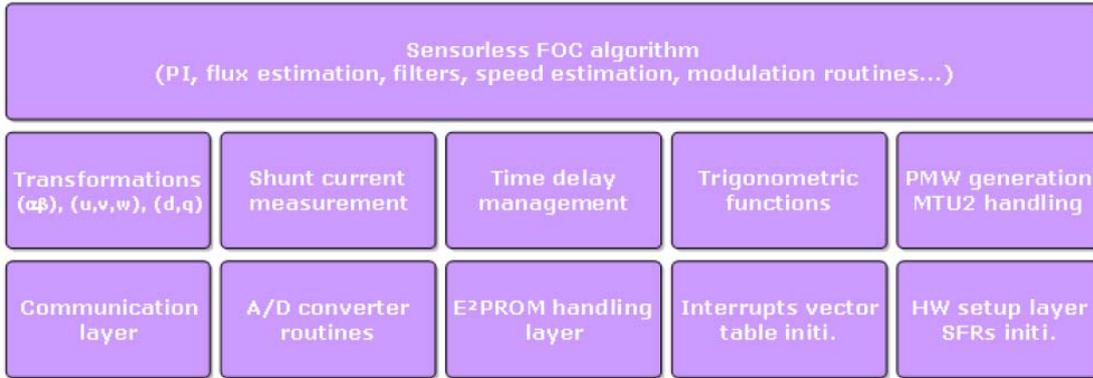
无传感器 F.O.C.算法如下图所示：



三分流器结构和单分流器结构之间唯一的差异是“电流读取”部分，算法的剩余部分保持一致。

9. 软件设计

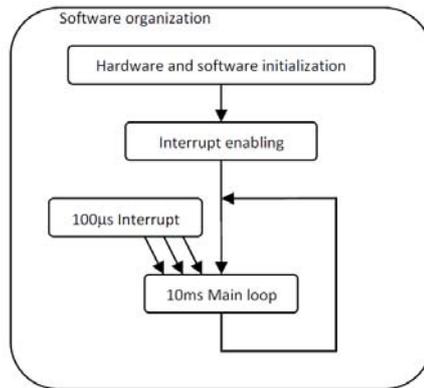
本系统的软件结构图如下所示：

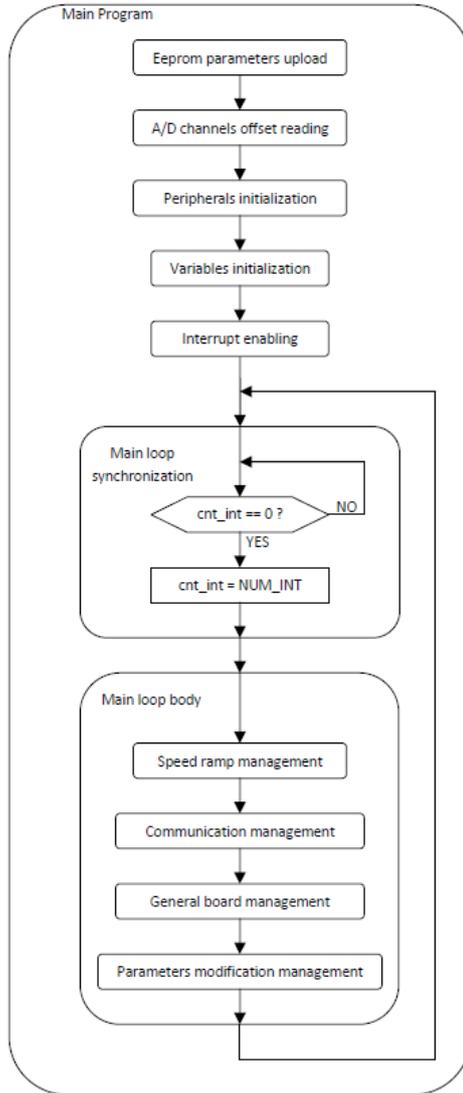


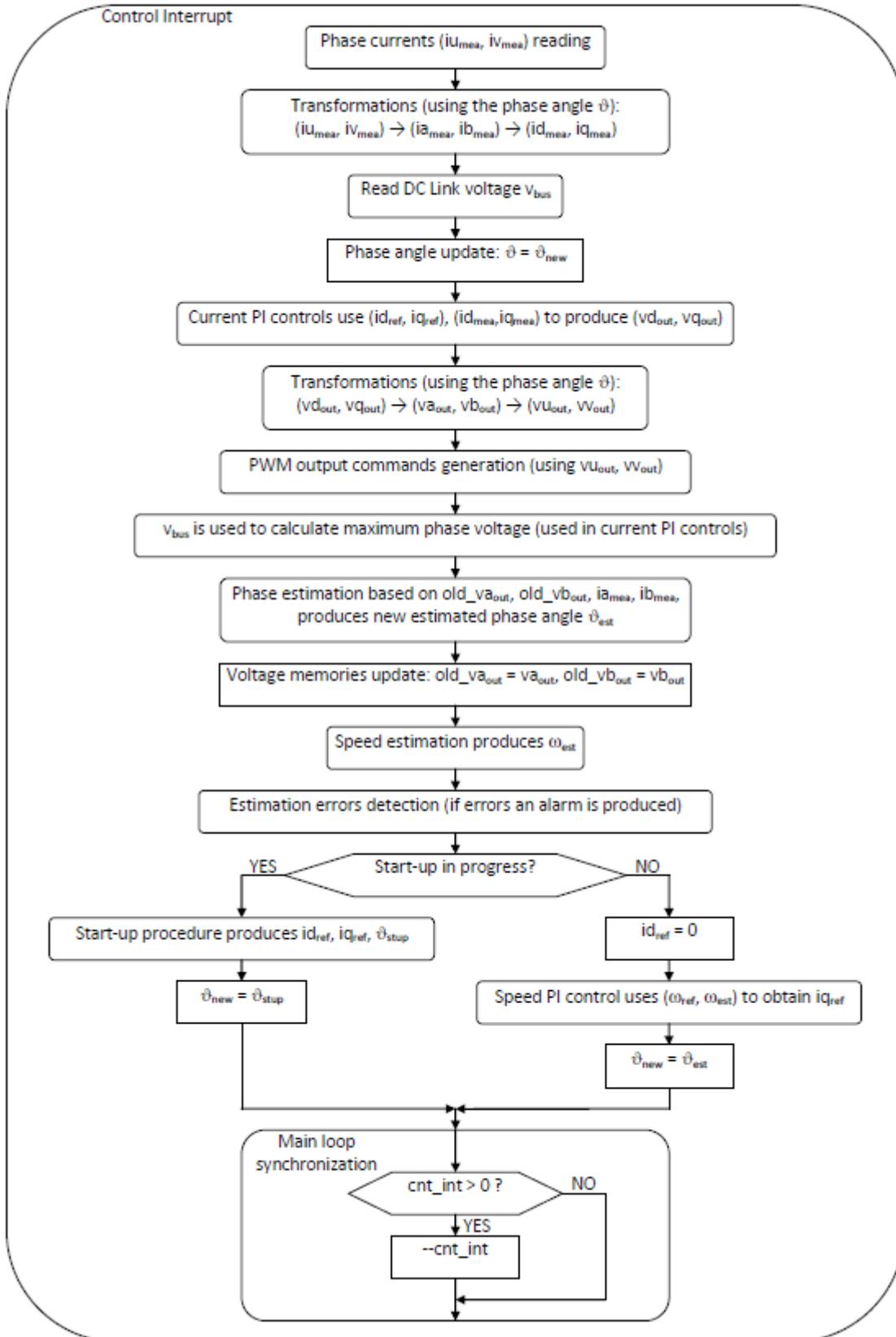
整个软件使用了以下的资源，以下的的数据包括通信接口和 demo 板管理：

1. Flash: <18Kbytes
2. RAM: <3Kbytes

以下的流程图介绍了电机控制部分的软件执行过程：





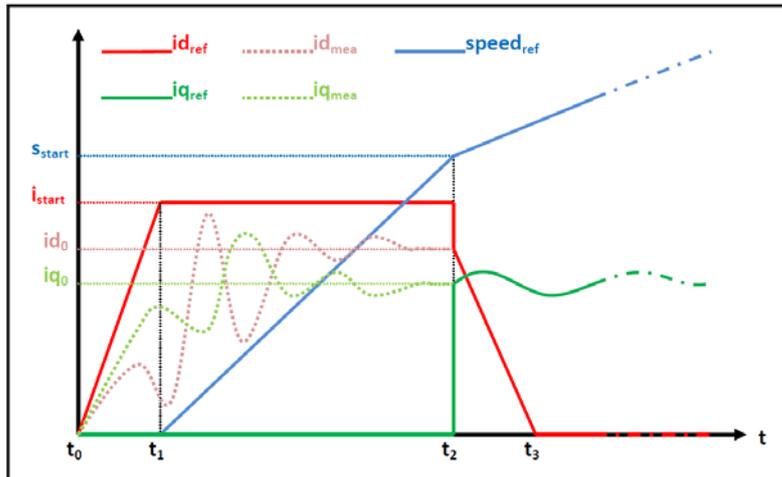


10. 启动程序

当电机处于待机状态时，使用现有的算法是无法检测永磁体磁通量向量的，所以必须使用合适的启动程序。

目前的想法是驱使电机进入前馈状态（比带负载时所需电流大），使电机获得预测算法能正常工作的速度。然后系统能够被调整至预测相位，并且电流能够减低至必须的量级。

以下的曲线图图示了这种方法使用的效果（后缀“ref”表示的是参考值，“mea”表示的是实测值）。



参考上述的曲线图，启动过程描述如下：

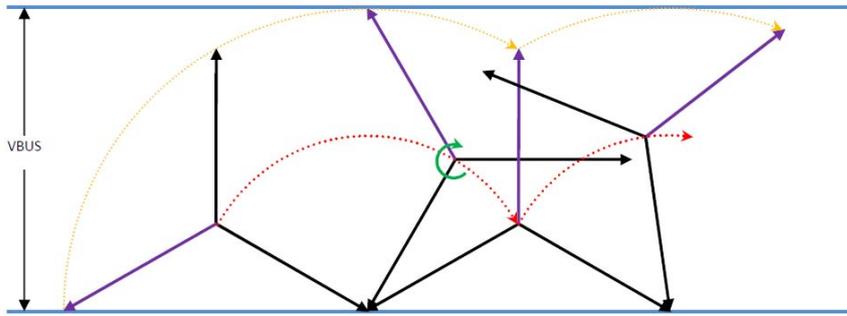
- 在启动时刻 t_0 ，系统相位是未知的。电机也没有施加电流；系统相位由 $\psi_{a=0}$ 任意决定。所有参考值： i_{dref} ， i_{qref} 和 $speed_{ref}$ 都为 0。
- 从时刻 t_0 开始，当 i_{qref} 和 $speed_{ref}$ 保持为 0 时， i_{dref} 以一定的斜率上升直到在时刻 t_1 达到值 i_{start} 。
- 在 $t=t_1$ 时，当 i_{qref} 保持为 0，并且 i_{dref} 保持为值 i_{start} ， $speed_{ref}$ 以一定斜率上升直到 $t=t_2$ 时刻时达到值 S_{start} 。通过 $speed_{ref}$ 的积分可获得系统相位 $\psi_a(t)$ ；同时，相位预测算法开始调整实际系统相位。实际分量可设想为 i_{d0} 和 i_{q0} （通过对 i_{dmea} 和 i_{qmea} 使用低通滤波器可获得这些值）。
- 在 $t=t_2$ 时，相位预测处理可设想为已调整，在这个时刻点，执行执行参考系统变化：基于预测相位 ψ_{est} ，从任意 (d_a, d_a) 参考值到 (d, q) 参考值。
- 在 $t>t_2$ 之后，基于预测相位 ψ_{est} ，可执行常规控制。 $speed$ 参考值以标准斜率上升； i_d 电流参考值以某一斜率下降，直到在时刻 t_3 达到零值；然后它保持为 0；新获得的 i_q 电流参考值作为速度 PI 控制器的输出。

11. PWM 调制技术

在本设计方案中，使用了一种特殊的 PWM 调制技术。使用这种 PWM 调制技术时，加载的电压保证在任意时刻电机的三个相位中有一相与系统地相连接。就其它调制技术而言，这样有利于减低三分之一的功率桥整流。事实上，与系统地相连的相位不需要任何整流，并且下臂常开，上臂常闭。

这种方法基于无中性线连接，我们仅仅关心相位和相位之间的电压，或者是相位之间的电压差，而不是单相的电压等级。这样允许随意的增加或减低任意量级的相电压，增加或减低相电压的量级对所有三个相位来说是相同的。所以，通过这个算法可获得三个相位的电压需求，选取最小的一个并用它去减所有的三个需求。

使用这种方法，施加电压的星形中心不是固定的，一直在移动，如下图所示：



使用这种方法获取的相位和相位之间的电压的最大值（不会使正弦波形失真）等价于 DC 连接电压，就和使用其它方法一样（例如空间向量调制）。