

# 直流无刷电机

## FOC 软件库用户手册

**PUM-1001**



<https://pai-ic.com/>

# 1 简介

目前的行业直流无刷电机运用越来越广泛，其他电机相比，它具有高功率密度、快速动态响应和高效率等优势。彭拜微电子为通用 MCU 芯片提供商，提供各种单片机以实现对所有类型电机的高效、稳健和多功能控制，并且提供必要工具集的参考设计。这将加快新产品的学习速度并缩短新产品的开发周期。

彭拜微电子目前提供基于 M0 通用 MCU 系列以实现直流无刷电机驱动的相关参考方案。

- 基于 PT32x031 通用 MCU 的直流低压 (< 40VDC) 直流无刷电机参考设计
- 基于 PT32x030 通用 MCU 的直流低压 (< 40VDC) 直流无刷电机参考设计
- 提供对应的方波设计的参考代码
- 提供基于 FOC 的软件库。以加快用户方案设计
- 提供基于 PC 端的监控及调试软件
- 目前提供第一版本的软件库及调试工具。后续会陆续更新

## 2 目录

1 简介.....	2
2 目录.....	3
3 直流无刷方波驱动参考设计.....	4
3.1 原理简介.....	4
3.2 MDK 参考代码.....	4
4 直流无刷 FOC 驱动参考设计.....	5
4.1 彭拜微电子 FOC 代码库简介.....	5
4.1.1 Q15 格式来表示定点数，部分用户设置参数也使用 Q15 格式.....	5
4.1.2 评估板固定使用双电阻采样.....	5
4.1.3 包含 FOC 关键算法的几个函数及方法:.....	5
4.2 PC 调试监控工具.....	5
4.3 彭拜微电子 FOC 软件库结构.....	5
4.4 PT-FOC 控制库介绍.....	6
4.4.1 库文件结构.....	6
4.4.2 FOC 相关数据格式详细说明.....	7
4.4.2.1 电机参数数据结构定义（参考图 4.1）.....	7
4.4.2.2 串口通信协议 API 接口定义（参考图 4.1）.....	8
4.4.3 PT-FOC 库使用说明:(参考 PT32x030_TestFoc 工程).....	9
4.4.3.1 测试工程项目文件.....	9
4.4.3.2 必须实现的回调函数接口列表.....	9
4.4.3.3 新建工程.....	10
4.4.4 PC - UART monitor APP 软件介绍.....	12
4.4.4.1 主界面.....	12
4.4.4.2 主波形通道工具栏.....	12
4.4.4.3 同步控制板电机参数栏.....	12
4.4.4.4 设置电机参数：写参数工具栏按钮.....	13
4.4.4.5 电机运行参数设置：可以设置电机启动参数、HFI 参数、PI 参数.....	13
4.4.4.6 电机速度/电压/电流监控，及远程启停控制.....	14

## 3 直流无刷方波驱动参考设计

### 3.1 原理简介

- 采用传统 6 步方波驱动方案
- 一路 PWM 输出控制半桥的上管，下管由 IO 驱动
- 采样未导通相电压，通过比较器或 ADC 采样判断反电动势过零点
- 通过则多函数(Majority Function)滤波，滤除干扰
- 提供参考 PI 速度控制

### 3.2 MDK 参考代码

- 彭拜微电子发布的 PT32x031/PT32x031 的 SDK 包，包含相关参考例程代码。
- 相关参考代码能直接运行于对应的电机开发板

## 4 直流无刷 FOC 驱动参考设计

### 4.1 澎拜微电子 FOC 代码库简介

4.1.1 Q15 格式来表示定点数，部分用户设置参数也使用 Q15 格式

4.1.2 评估板固定使用双电阻采样

4.1.3 包含 FOC 关键算法的几个函数及方法:

- clark 变换/park 变换
- Clark 逆变换/park 逆变换
- PI 控制器
- SVPWM
- 基于滑膜观测器-PLL 电机角度及速度估算算法
- 支持 HFI（高频方波注入）检测电机起始角度
- 开环加速控制

### 4.2 PC 调试监控工具

- APP 软件运行于 PC 端。通过 6 兆波特率的串口与开发板实时通信
- 能同时实时显示 5 路感兴趣的数据波形
- 以图形控件方式显示速度角度电流电压等参数
- 支持 PI 参数在线调试，可以实时查看对应 PI 控制器的数据波形
- 支持与电机驱动板的参数同步
- HFI 调试阶段能实时显示当前转子位置

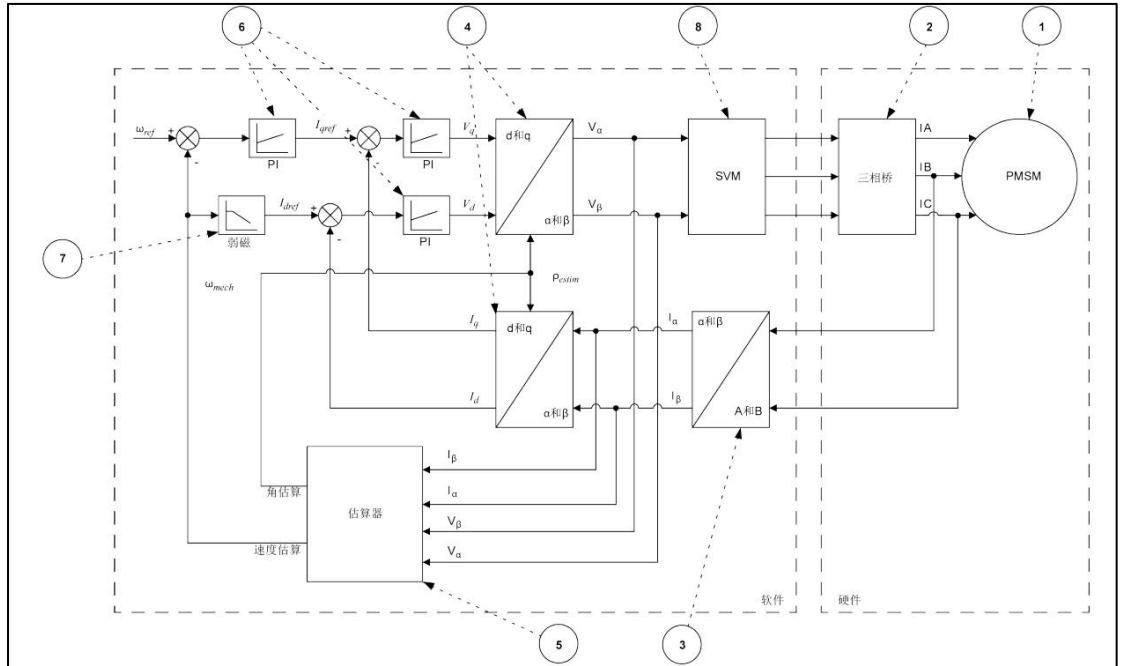
### 4.3 澎拜微电子 FOC 软件库结构

表 4.1 软件库结构

应用层	API 接口	运行库(lib)
1.CPU 初始设置	1.电机参数	1.FOC 相关
2.LIB 库参数设置	2.运行参数	UART 通信波形协议
3.应用代码	3.PC 监控参数	
	4.运行阶段各种回调函数	

### 4.4 PT-FOC 控制库介绍

图 4.1 FOC 框图



#### 4.4.1 库文件结构

表 4.2 库文件结构

文件名	描述
PT32xx_FocLib.lib	驱动库文件
motoTypedef.h	FOC 库文件内部数据格式定义
moto_Function.h	FOC 基本输出函数定义
moto_Manager.h	运行相关函数定义
uart_Protocal.h	串口通信协议 API 函数

## 4.4.2 FOC 相关数据格式详细说明

## 4.4.2.1 电机参数数据结构定义（参考图 4.1）

表 4.3 电机参数数据结构定义

变量名称	描述	变量更新时间点	设置方法
IN_PARAM      mCurrentOffset	用于保存二路相电流静态偏置 AD 值	电机启动自动重新计算	LIB 内部完成
MOTO_STATE_T      motoState;	控制 FOC 运行状态	FOC 周期自动判断	
Moto_Fun_ContrrollLoop MotoContrrollLoop;	FOC 运行入口函数指针	LIB 初始设置一次	
Moto_StateFunctio_n_t*      MotoFunction;	FOC 运行不同状态函数指针	LIB 内部自动切换	
Moto_ReadFunction_CB Moto_ReadCurrent;	ADC 采样函数指针	FOC 每个周期调用	需要实现采样函数。 并设置回调函数
Moto_CurrentProcess_CB CurrentIn_PreProcess;	ADC 采样相电流预处理函数指针	FOC 每个周期调用	LIB 内部完成
Moto_SetSpeedRef_CB Moto_SetSpeedRef;	FOC 运行速度闭环期间，调用以获取速度设置参考值	FOC 每个周期调用	需要实现函数。 并设置回调函数
Moto_PwmOutPut_CB Moto_PwmOutDriver;	PWM 输出更新函数指针	FOC 每个周期调用	需要实现函数。 并设置回调函数
Moto_VqdPost_ProCB Moto_VqdPostProcess;	FOC Vqd 后处理程序	HFI (高频注入调用); FOC 每个周期调用	LIB 内部完成
Moto_SlowToStop_CB Moto_SetSlowToStopRef;	FOC 运行速度闭环期间，停机减速时读取速度设置的参考值	FOC 每个周期调用	需要实现函数。 并设置回调函数
MOTO_INTER_DATA      InterBuff;	FOC 内部寄存器		LIB 内部启动复位
MOTO_CONFIG_DATA      *      mMotoCfg;	电机参数数据		注： 如果需保持参数，一般就这个数据结构就可以
MOTO_RUN_PARAM      * mMotoRunCfg;	FOC 运行工作寄存器		LIB 内部启动复位
uint16_t      eAngleIn;	FOC 输入的电角度 (前次计算的输出)		可设置初始值 /HFI 输出
uint16_t      eAngleOut;	FOC 本次输出的电角度		LIB 内部计算
Phrase_Item      mCurrent;	采样的相电流预处理器的输出 Clark()输入		
Clark_Item      lalphabeta;	Clark()输出/Park()输入		
Park_Item      lqd;	Park()输出		
Park_Item      lqdRef;	lqd 参考值		
Park_Item      Vqd;	Vqd.vq: q 轴 PI 输出 Vqd.vd: d 轴 PI 输出		
Clark_Item      valphabeta;	逆 Park()输出		
Vector3Item      mVoltage;	逆 Clark()输出/SVPWM()输入		

Park_Item	bemfdq;	估算器内部 QD 轴的 BEMF 值	
Clark_Item	bemfAlphaBeta;	估算器内部静止坐标下的 BEMF 值	
PID_Handle_t	pidIq;	QD 轴: q-PI 控制器参数	
PID_Handle_t	pidId;	QD 轴: d-PI 控制器参数	
PID_Handle_t	pidSpeed;	速度-PI 控制器参数	
PID_Handle_t	piHFIPll;	保留	
PID_Handle_t	pidLa;	保留	
CCLimitation_Handle_t	circleLimit;	限幅器参数	
HFI_estim	hsaEstim;	HFI 数据参数	
PWM_OUTPUT	mPwmOutput;	SVPWM()输出	

#### 4.4.2.2 串口通信协议 API 接口定义 (参考图 4.1)

表 4.4 电机参数数据结构定义

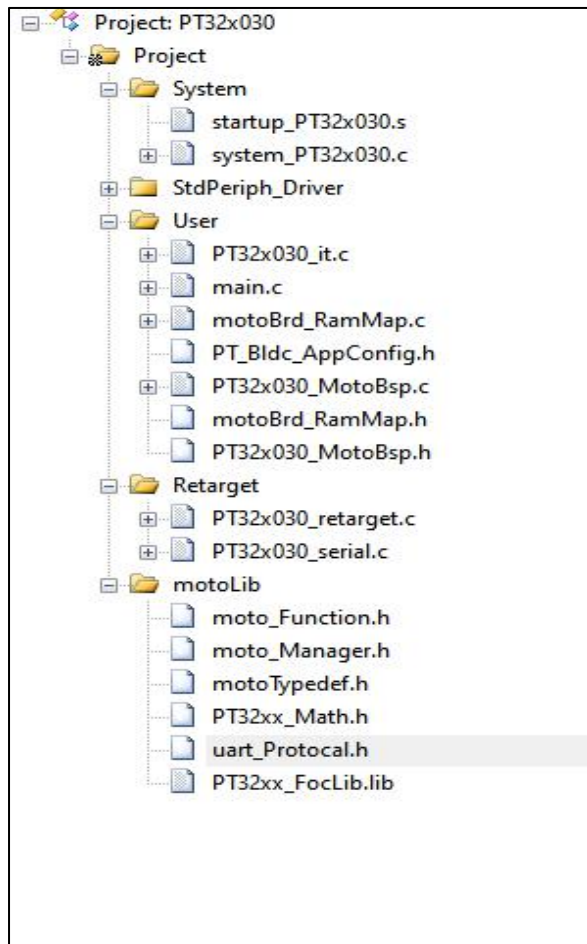
接口名称	描述	设置方法
Void PtUartPro_Init(void * motoHandle)	复位串口协议内部数据结构 (设置默认的 5 个波形数据通道) 输入参数: motoHandle 对应电机参数数据结构	复位运行一次
Void PtUartPro_SetOscope (uint8_t channel,uint8_t * pSrc,uint8_t unit);	设置 5 个数据波形通道的数据源 参数: channel : 0~4 对应 5 路数据波形 pSrc : 数据源地址 uint: 数据源占用的字节数	
Void PtUartPro_Tx_OscopeData(void)	协议数据包发送函数	串口发送中断内调用
Void PtUartPro_TxEnable(uint8_t nStat)	启动一次发送数据, (开启串口发送中断)	FOC 运行周期调用一次
Void PtUartPro_Oscope_SetReg (uint8_t * pSrc,uint8_t unit)	添加一个监控寄存器地址 (目前这个版本 PC app 软件暂时没有实现, 后续更新)	
Void PtUartPro_Process(void)	串口接收到一个数据包后, 调用 PtUartPro_Process(), LIB 库自行处理这个接收的数据包	



### 4.4.3 PT-FOC 库使用说明:(参考 PT32x030\_TestFoc 工程)

#### 4.4.3.1 测试工程项目文件

图 4.2 测试工程项目文件



#### 4.4.3.2 必须实现的回调函数接口列表

表 4.5 必须实现的回调函数接口列表

函数回调接口	说明	注意事项
void Pt32x030_ReadAdcCur_RawData(void * pParam)	ADC 采样回调函数	发行版本已经取消
void Pt32x030_SetPwmOutput(PWM_OUTPUT * pDutyOut)	PWM 更新输出回调函数	FOC 计算结构只给出 3 路互补输出的 PWM 占空比值
int16_t eSpeedCloseLoop_SetReference(void * pParam)	设置参考速度回调函数	电机闭环运行状态下, 速度设置、返回的值直接赋值给 FOC 内环输入参数 IqRef
CB_Result eSpeedToStop_SetReference(void * pParam)	停机参数速度设置 (减速-->停机)	电机停机减速控制-参数速度

## 4.4.3.3 新建工程

- 新建项目，添加 PT32xx\_FocLib.lib 及相关头文件  
表 4.6 添加 PT32xx\_FocLib.lib 及相关头文件

头文件
moto_Function.h
moto_Manager.h
Moto_Typedef.h
PT32xx_Math.h
Uart_Protocol.h
PT32xx_FocLib.lib

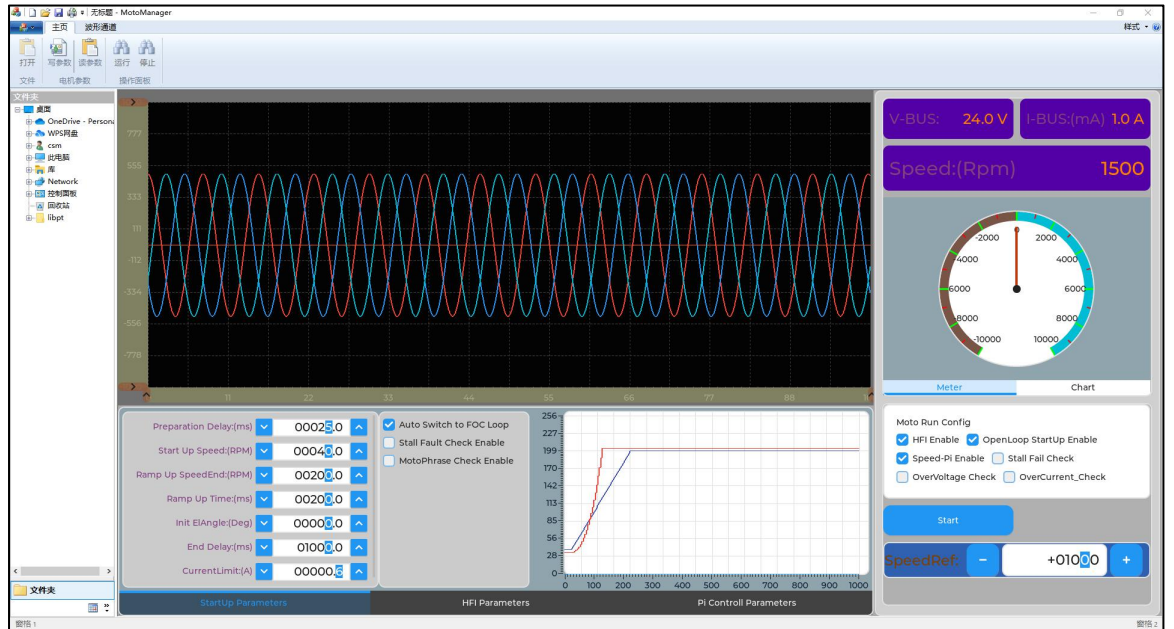
- 串口协议初始化：
  - //串口库数据设置(main.c)
  - PtUartPro\_Init(&mMainMoto);
  
  - //设置使用的串口
  - PtUartPro\_SetOscUartHandle(UART1);
  
  - //MCU 串口模块使能
  - UART\_Config();
- 定义一个电机数据结构实例 (motoBrd\_RamMap.c)
  - //定义一个电机控制实例
  - MOTO\_INSTANCE mMainMoto;
  
  - //用户配置参数定义-对应一个电机实例
  - MOTOR\_USERCFG\_PARM\_T motorParm;
- 设置电机运行缺省参数 (motoBrd\_RamMap.c)
  - void mMotoBrd\_ParamInit(void)
- 设置电机运行相关回调函数 (motoBrd\_RamMap.c)
  - mMotoLib\_CbFunc\_Init()
- 调用 FOC 计算周期(PT32x030\_it.c)
  - //调用对应电机实例的 FOC 主函数
  - mMainMoto.MotoControllLoop(&mMainMoto);
- 定时调用电机状态控制监视(main.c)
  - //每 5 毫秒调用一次
  - PtMoto\_RunTime\_Manager(&mMainMoto)

- 波形监视串口数据收发处理(PT32x030\_it.c)
  - //波形数据发送：在串口中断使能后 FIFO 空时调用
  - PtUartPro\_Tx\_OscopeData();
  
  - //波形数据接收：在 FIFO 接收满状态下读入数据
  - mUart\_Command.uartData[x] = UART1->BR;
  - mUart\_Command.recIndex = 8; //设置接收完成标志
  
- 波形监视串口数据收发处理(main.c)
  - if(mUart\_Command.recIndex == 8)
  - { //调用 FOC 库处理接收到的串口数据包
  - PtUartPro\_Process();
  - }

#### 4.4.4 PC - UART monitor APP 软件介绍

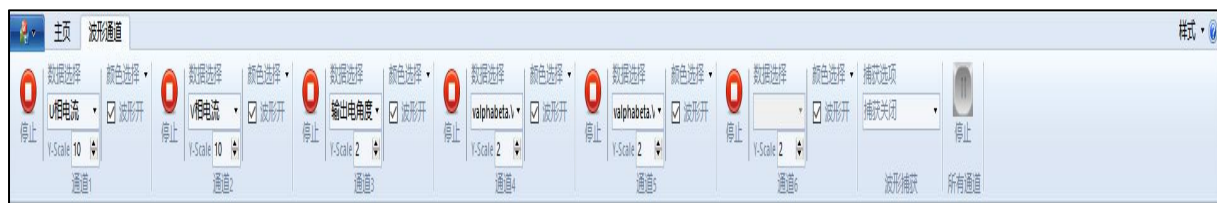
##### 4.4.4.1 主界面

图 4.3 主界面



##### 4.4.4.2 主波形通道工具栏

图 4.4 主波形通道工具栏



- 5 个数据通道可以独立使能或冻结显示
- 每个通道可以独立选择关注的数据源
- 每个通道可以独立设置显示放大倍数

##### 4.4.4.3 同步控制板电机参数栏

图 4.5 同步控制板电机参数栏



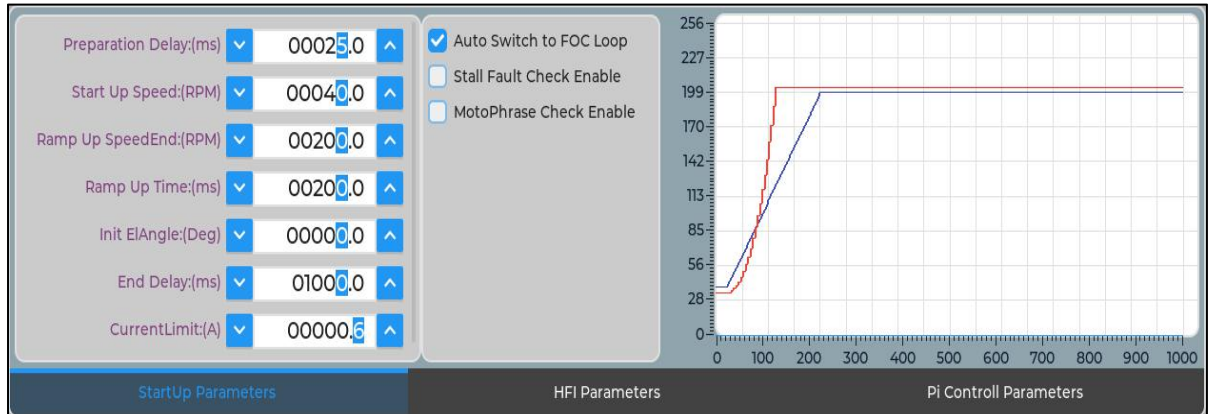
## 4.4.4.4 设置电机参数：写参数工具栏按钮

图 4.6 写参数工具栏按钮



## 4.4.4.5 电机运行参数设置：可以设置电机启动参数、HFI 参数、PI 参数

图 4.7 电机运行参数设置



- 每组参数对应一个波形图标，可以察看运行状态
- 可以冻结指定的步骤，以实现某一个步骤的调试

4.4.4.6 电机速度/电压/电流监控，及远程启停控制

图 4.8 电机速度/电压/电流监控，及远程启停控制

