

EtherCAT 伺服电机控制

使用指南

基于 CiA402 设备协议的对象字典详解与操作教程

MyActuator EtherCAT 伺服驱动器

MyActuator 技术文档

2026 年 4 月 14 日

目录

概述	vi
Chapter: Overview	vi
0.1 文档目的	vi
0.2 支持的运行模式	vii
0.3 EtherCAT 通信架构	vii
CiA402 状态机	ix
Chapter: CiA402 State Machine	ix
0.4 状态机概述	ix
0.5 状态定义	ix
0.6 状态转换命令	x
0.7 标准使能步骤	xii
对象字典总览	xiii
Object Dictionary Overview	xiii
0.8 对象字典分类	xiii
0.9 对象字典完整列表	xiii
CiA402 标准对象字典详解	xvii
0.10 控制字 — Control Word (0x6040)	xvii
0.11 状态字 — Status Word (0x6041)	xviii
0.12 运行模式 — Modes of Operation (0x6060)	xix
0.13 运行模式显示 — Modes of Operation Display (0x6061)	xx
0.14 目标位置 — Target Position (0x607A)	xx
0.15 目标速度 — Target Velocity (0x60FF)	xxi
0.16 目标力矩 — Target Torque (0x6071)	xxi
0.17 实际反馈对象	xxii
0.17.1 实际位置 — Position Actual Value (0x6064)	xxii

0.17.2 实际速度 — Velocity Actual Value (0x606C)	xxii
0.17.3 实际力矩 — Torque Actual Value (0x6077)	xxiii
0.17.4 错误代码 — Error Code (0x603F)	xxiii
0.18 轮廓参数对象	xxiii
0.18.1 轮廓速度 — Profile Velocity (0x6081)	xxiv
0.18.2 轮廓加速度 — Profile Acceleration (0x6083)	xxiv
0.18.3 轮廓减速度 — Profile Deceleration (0x6084)	xxiv
0.18.4 快停减速度 — Quick Stop Deceleration (0x6085)	xxiv
0.19 位置监控参数	xxv
0.19.1 软件位置限位 — Software Position Limit (0x607D)	xxv
0.19.2 跟随误差窗口 — Following Error Window (0x6065)	xxv
0.19.3 跟随误差超时 — Following Error Window Time Out (0x6066)	xxv
0.19.4 位置窗口 — Position Window (0x6067)	xxvi
0.19.5 位置窗口时间 — Position Window Time (0x6068)	xxvi
0.20 偏移量/前馈对象	xxvi
0.20.1 位置偏移 — Position Offset (0x60B0)	xxvii
0.20.2 速度偏移（速度前馈） — Velocity Offset (0x60B1)	xxvii
0.20.3 力矩偏移（力矩前馈） — Torque Offset (0x60B2)	xxvii
0.21 最大力矩 — Max Torque (0x6072)	xxviii
0.22 电机额定电流 — Motor Rate Current (0x6075)	xxviii
0.23 回零参数	xxviii
0.23.1 回零方法 — Homing Method (0x6098)	xxix
厂商自定义对象字典详解	xxx
0.24 PVT/MIT 模式参数	xxx
0.24.1 PVT_KP (0x2000)	xxx
0.24.2 PVT_KD (0x2001)	xxx
0.25 PID 调节参数	xxxi
0.26 状态监控对象	xxxi
0.26.1 电机温度 — Motor Temperature (0x2009)	xxxii
0.26.2 母线电压 — Voltage (0x200A)	xxxii
0.26.3 第一编码器值 — First Encoder Value (0x200B)	xxxii
0.26.4 驱动器温度 — Drive Temperature (0x200C)	xxxii
PDO 映射配置	xxxiii
0.27 PDO 映射原理	xxxiii
0.28 RxPDO 映射对象（主站 → 从站）	xxxiii
0.28.1 RxPDO Mapping 0 (0x1600) — 标准控制通道	xxxiii

0.28.2 RxPDO Mapping 1 (0x1601) — PVT 控制通道	xxxiv
0.28.3 RxPDO Mapping 2 (0x1602) — 轮廓参数通道	xxxv
0.28.4 RxPDO Mapping 3 (0x1603) — 偏移/前馈通道	xxxvi
0.29 TxPDO 映射对象 (从站 → 主站)	xxxvi
0.29.1 TxPDO Mapping 0 (0x1A00) — 标准状态通道	xxxvi
0.29.2 TxPDO Mapping 1 (0x1A01) — 扩展状态通道 (含编码器)	xxxvii
0.29.3 TxPDO Mapping 2 (0x1A02) — 扩展状态通道 (含温度/电压)	xxxviii
0.29.4 TxPDO Mapping 3 (0x1A03) — 位置需求/跟随误差	xxxix
0.30 SM-PDO 分配	xl
0.30.1 RxPDO 分配 (0x1C12)	xl
0.30.2 TxPDO 分配 (0x1C13)	xl
运行模式详解与操作步骤	xlii
0.31 周期同步位置模式 (CSP, Mode 8)	xlii
0.31.1 功能说明	xlii
0.31.2 所需 PDO	xlii
0.31.3 操作步骤	xlii
0.32 周期同步速度模式 (CSV, Mode 9)	xlili
0.32.1 功能说明	xlili
0.32.2 操作步骤	xlili
0.33 周期同步力矩模式 (CST, Mode 10)	xliv
0.33.1 功能说明	xliv
0.33.2 操作步骤	xliv
0.34 轮廓位置模式 (PP, Mode 1)	xlvi
0.34.1 功能说明	xlvi
0.34.2 相关对象	xlvi
0.34.3 操作步骤	xlvi
0.35 轮廓速度模式 (PV, Mode 3)	xlvi
0.35.1 功能说明	xlvi
0.35.2 操作步骤	xlvi
0.36 PVT 模式 / MIT 模式 (Mode 5)	xlvi
0.36.1 功能说明	xlvi
0.36.2 操作步骤	xlvi
0.37 回零模式 (Homing, Mode 6)	xlix
0.37.1 功能说明	xlix
0.37.2 操作步骤	xlix
0.38 快速停机功能	1
0.38.1 触发方式	1

0.38.2 停机行为	1
常见操作示例	li
0.39 示例 1: CSP 模式控制电机运动	li
0.40 示例 2: PP 模式点位运动	lii
0.41 示例 3: PVT/MIT 模式阻抗控制	liii
0.42 示例 4: 通过 SDO 调节 PID 参数	liii
故障处理	lv
0.43 故障检测	lv
0.44 故障恢复流程	lv

概述

0.1 文档目的

Document Purpose

本文档是 MyActuator EtherCAT 伺服驱动器的完整使用指南。本文档详细介绍了如何通过 EtherCAT 总线使用 CiA402 设备协议对电机进行控制。

This document is the complete user guide for the MyActuator EtherCAT servo driver. It provides detailed instructions on how to control the motor via the EtherCAT bus using the CiA402 device protocol.

本文档面向初次使用 EtherCAT 伺服驱动器的工程师，内容涵盖：

This document is intended for engineers who are new to EtherCAT servo drivers. The content covers:

- EtherCAT 通信基础概念
- CiA402 状态机的工作原理与控制流程
- 所有对象字典的详细功能说明和使用方法
- 各种运行模式（PP、PV、CSP、CSV、CST、PVT）的操作步骤
- PDO/SDO 映射配置方法
- 单位换算与参数配置说明
- Basic concepts of EtherCAT communication
- Working principles and control flow of the CiA402 state machine
- Detailed function descriptions and usage methods for all object dictionary entries
- Operation steps for various operating modes (PP, PV, CSP, CSV, CST, PVT)
- PDO/SDO mapping configuration methods
- Unit conversion and parameter configuration instructions

0.2 支持的运行模式

Supported Operating Modes

本驱动器支持以下 CiA402 运行模式：

This driver supports the following CiA402 operating modes:

表 1: 支持的运行模式 / Supported Operating Modes

模式值 / Mode Value	模式名称	缩写 / Abbr.	Mode Name
1	轮廓位置模式	PP	Profile Position
3	轮廓速度模式	PV	Profile Velocity
5	PVT 模式 (MIT 模式)	PVT	PVT Mode (MIT Mode)
6	回零模式	Homing	Homing Mode
8	周期同步位置模式	CSP	Cyclic Sync Position
9	周期同步速度模式	CSV	Cyclic Sync Velocity
10	周期同步力矩模式	CST	Cyclic Sync Torque

0.3 EtherCAT 通信架构

EtherCAT Communication Architecture

EtherCAT 通信系统由主站(**Master**)和从站(**Slave**)组成。本驱动器作为 EtherCAT 从站设备，通过 ESC (EtherCAT Slave Controller) 芯片与主站通信。

The EtherCAT communication system consists of a **Master** and **Slaves**. This driver operates as an EtherCAT slave device and communicates with the master through the ESC (EtherCAT Slave Controller) chip.

通信数据分为两类：

Communication data is divided into two categories:

- **过程数据对象 (PDO):** 用于周期性实时数据交换，如控制字、目标位置、实际位置等
- **服务数据对象 (SDO):** 用于非实时参数配置，如 PID 参数、限位设置等
- **Process Data Objects (PDO):** Used for cyclic real-time data exchange, such as control word, target position, actual position, etc.
- **Service Data Objects (SDO):** Used for non-real-time parameter configuration, such as PID parameters, limit settings, etc.

注意

PDO 通信是实时的，在每个通信周期内自动交换数据，适合控制命令和状态反馈。SDO 通信是请求/响应式的，适合参数读写和配置操作。

PDO communication is real-time, with data automatically exchanged in each communication cycle, suitable for control commands and status feedback. SDO communication is request/response-based, suitable for parameter reading/writing and configuration operations.

EtherCAT 运行原理为如图所示：在一个通讯周期内，主站发送以太网数据帧给各个从站，数据帧到达从站后，每个从站根据寻址从数据帧内提取相应的数据，并把它反馈的数据写入数据帧。当数据帧发送到最后一个从站后返回，并通过第一个从站返回至主站。这种传输方式不仅能够在一个周期内实现数据通讯，还改善了带宽利用率，数据有效利用率最大达 90% 以上。

The operating principle of EtherCAT is shown in the figure: in a communication cycle, the master sends Ethernet data frames to each slave, and after the data frames arrive at the slaves, each slave extracts the corresponding data from the data frame according to addressing and writes its feedback data to the data frame. Returns when the data frame is sent to the last slave and returns to the master through the first slave. This transmission method can realize data communication in one cycle, and also improves bandwidth utilization, with a maximum effective data utilization rate of more than 90%.

CiA402 状态机

0.4 状态机概述

State Machine Overview CiA402 设备协议定义了一个标准的状态机，用于管理驱动器的运行状态。驱动器必须按照规定的状态转换路径来启动和控制电机。

The CiA402 device protocol defines a standard state machine for managing the operating states of the driver. The driver must follow the specified state transition paths to start and control the motor.

控制字（Controlword, 0x6040）和状态字（Statusword, 0x6041）是状态机的核心控制和反馈接口。

The Control Word (Controlword, 0x6040) and Status Word (Statusword, 0x6041) are the core control and feedback interfaces of the state machine.

0.5 状态定义

State Definitions

CiA402 状态机定义了以下几种状态，每种状态代表驱动器的不同工作阶段。

The CiA402 state machine defines the following states, each representing a different operating phase of the driver.

表 2: CiA402 状态机说明 / CiA402 State Machine Description

状态名称 / State Name	说明	Description
初始化 / Initialization	驱动器初始化、内部自检已经完成。驱动器的参数不能设置，也不能执行驱动功能。	Driver initialization and internal self-test completed. Parameters cannot be set and drive functions cannot be executed.
伺服无故障 / Switch On Disabled	伺服驱动器已准备好，驱动器参数可以设置。	Servo driver is ready, driver parameters can be set.
等待打开伺服使能 / Switched On	伺服驱动器等待打开伺服使能，驱动器参数可以设置。	Servo driver waiting for servo enable, parameters can be set.
伺服运行 / Operation Enabled	驱动器正常运行，指令不为 0 时，电机旋转。	Driver operating normally, motor rotates when command is not 0.
快速停机 / Quick Stop Active	快速停机功能被激活，驱动器正在执行快速停机功能。	Quick stop function activated, driver executing quick stop.
故障停机 / Fault Reaction Active	驱动器发生故障，正在执行故障停机过程中。	Driver fault occurred, executing fault stop process.
故障 / Fault	故障停机完成，所有驱动功能均被禁止。	Fault stop completed, all drive functions disabled.

0.6 状态转换命令

State Transition Commands

以下表格展示了 CiA402 状态机中各状态之间的转换关系，以及对应的控制字和状态字值。

The following table shows the transition relationships between states in the CiA402 state machine, along with the corresponding control word and status word values.

表 3: 状态切换与控制命令对应关系 / State Transition and Control Commands

CiA402 状态切换 / State Transition	控制字 6040h / Control Word	状态字 6041h bit0-9 / Status Word
上电 → 初始化 Power On→Initialization	自然过渡，无需控制指令。 Natural transition, no control command required.	0x0000
初始化 → 伺服无故障 Initialization→Switch On Disabled	自然过渡，无需控制指令。若初始化中发生错误，直接进入故障停机 Natural transition, no control command required. If an error occurs during initialization, it directly enters fault stop.	0x0250
伺服无故障 → 伺服准备好 Switch On Disabled→Ready To Switch On	0x06	0x0231
伺服准备好 → 等待打开伺服使能 Ready To Switch On→Switched On	0x07	0x0233
等待打开伺服使能 → 伺服运行 Switched On→Operation Enabled	0x0F	0x0237
伺服运行 → 等待打开伺服使能 Operation Enabled→Switched On	0x07	0x0233
等待打开伺服使能 → 伺服准备好 Switched On→Ready To Switch On	0x06	0x0231
伺服准备好 → 伺服无故障 Ready To Switch On→Switch On Disabled	0x00	0x0250

0.7 标准使能步骤

Standard Enable Procedure

以下是通过 EtherCAT 主站使能驱动器的标准步骤：

The following are the standard steps to enable the driver through the EtherCAT master:

1. **设置运行模式 / Set Operating Mode:** 写入 0x6060 (Modes of Operation)，例如写入 8 表示 CSP 模式

Write to 0x6060 (Modes of Operation), e.g., write 8 for CSP mode

2. **写入控制字 / Write Control Word:** 0x6040 = 0x0006

3. **等待状态字 / Wait for Status Word:** 读取 0x6041，确认进入伺服准备好状态 (0x231)

Read 0x6041, confirm entry into Ready To Switch On state (0x231)

4. **写入控制字 / Write Control Word:** 0x6040 = 0x0007

5. **等待状态字 / Wait for Status Word:** 读取 0x6041，确认进入等待打开伺服使能状态 (0x233)

Read 0x6041, confirm entry into Switched On state (0x233)

6. **写入控制字 / Write Control Word:** 0x6040 = 0x000F

7. **等待状态字 / Wait for Status Word:** 读取 0x6041，确认进入伺服运行状态 (0x237)

Read 0x6041, confirm entry into Operation Enabled state (0x237)

警告

在 Fault 状态下，必须先发送 Fault Reset (控制字 bit7 上升沿，即 0x0080)，驱动器会执行系统复位，然后重新开始使能流程。

In the Fault state, you must first send a Fault Reset (control word bit7 rising edge, i.e., 0x0080). The driver will perform a system reset, and then the enable process must be restarted.

对象字典总览

0.8 对象字典分类

Object Dictionary Classification

本驱动器的对象字典按地址范围划分为以下几类：

The object dictionary of this driver is divided into the following categories by address range:

表 4: 对象字典分类

Object Dictionary Classification

地址范围	分类	说明
Address Range	Category	Description
0x1000~0x1FFF	通信相关	PDO 映射、SM 分配等
	Communication	PDO mapping, SM assignment, etc.
0x2000~0x2FFF	厂商自定义	PID 参数、温度、电压等
	Vendor Specific	PID parameters, temperature, voltage, etc.
0x6000~0x6FFF	CiA402 标准	控制字、状态字、运行模式等
	CiA402 Standard	Control word, status word, operation modes, etc.

0.9 对象字典完整列表

Complete Object Dictionary List

以下表格列出了对象字典中的所有对象。

The following table lists all objects in the object dictionary.

表 5: 对象字典完整列表 / Complete Object Dictionary List

索引/Index	数据类型/Type	名称/Name	访问/Access	说明/Description
0x6040	UINT16	Control Word	RW/PDO	控制字 / Control word
0x6041	UINT16	Status Word	RO/PDO	状态字 / Status word
0x6060	INT8	Modes of Operation	RW/PDO	运行模式设置 / Operation mode setting
0x6061	INT8	Modes of Op Display	RO/PDO	运行模式回显 / Operation mode display
0x607A	INT32	Target Position	RW/PDO	目标位置 / Target position
0x60FF	INT32	Target Velocity	RW/PDO	目标速度 / Target velocity
0x6071	INT16	Target Torque	RW/PDO	目标力矩 / Target torque
0x6064	INT32	Position Actual	RO/PDO	实际位置 / Actual position
0x606C	INT32	Velocity Actual	RO/PDO	实际速度 / Actual velocity
0x6077	INT16	Torque Actual	RO/PDO	实际力矩 / Actual torque
0x603F	UINT16	Error Code	RO/PDO	错误代码 / Error code
0x6072	UINT16	Max Torque	RW/PDO	最大力矩 / Maximum torque
0x6075	INT32	Motor Rate Current	RW	电机额定电流 / Motor rated current
0x6081	UINT32	Profile Velocity	RW/PDO	轮廓速度 / Profile velocity
0x6083	UINT32	Profile Acceleration	RW/PDO	轮廓加速度 / Profile acceleration
0x6084	UINT32	Profile Deceleration	RW/PDO	轮廓减速度 / Profile deceleration
0x6085	UINT32	Quick Stop Decel	RW/PDO	快停减速度 / Quick stop deceleration
0x607D	RECORD	Software Pos Limit	RW	软件位置限位 / Software position limit

续下页 / Continued on next page

表 5 – 续 / Continued

索引/Index	数据类型/Type	名称/Name	访问/Access	说明/Description
0x6062	INT32	Pos Demand Value	RO/PDO	位置需求值 / Position demand value
0x6065	UINT32	Following Err Window	RW	跟随误差窗口 / Following error window
0x6066	UINT16	Following Err Timeout	RW	跟随误差超时 / Following error timeout
0x6067	UINT32	Position Window	RW	位置窗口 / Position window
0x6068	UINT16	Position Window Time	RW	位置窗口时间 / Position window time
0x60F4	INT32	Following Err Actual	RO/PDO	跟随误差实际值 / Actual following error
0x605A	INT16	Quickstop Option	RW	快停选项代码 / Quick stop option code
0x605B	INT16	Shutdown Option	RW	停机选项代码 / Shutdown option code
0x605C	INT16	Disable Op Option	RW	禁止运行选项 / Disable operation option
0x605E	INT16	Fault React Code	RW	故障反应代码 / Fault reaction code
0x60B0	INT32	Position Offset	RW/PDO	位置偏移 / Position offset
0x60B1	INT32	Velocity Offset	RW/PDO	速度偏移 (前馈) / Velocity offset (feedforward)
0x60B2	INT16	Torque Offset	RW/PDO	力矩偏移 (前馈) / Torque offset (feedforward)
0x2000	INT32	PVT_KP	RW/PDO	PVT 模式 KP 参数 / PVT mode KP parameter
0x2001	INT32	PVT_KD	RW/PDO	PVT 模式 KD 参数 / PVT mode KD parameter

续下页 / Continued on next page

表 5 – 续 / Continued

索引/Index	数据类型/Type	名称/Name	访问/Access	说明/Description
0x2002	REAL32	CUR_LOOP_KP	RW	电流环 KP / Current loop KP
0x2003	REAL32	CUR_LOOP_KI	RW	电流环 KI / Current loop KI
0x2004	REAL32	SPD_LOOP_KP	RW	速度环 KP / Speed loop KP
0x2005	REAL32	SPD_LOOP_KI	RW	速度环 KI / Speed loop KI
0x2006	REAL32	POS_LOOP_KP	RW	位置环 KP / Position loop KP
0x2007	REAL32	POS_LOOP_KI	RW	位置环 KI / Position loop KI
0x2008	REAL32	POS_LOOP_KD	RW	位置环 KD / Position loop KD
0x2009	INT16	Motor Temperature	RO/PDO	电机温度 / Motor temperature
0x200A	UINT16	Voltage	RO/PDO	母线电压 / Bus voltage
0x200B	INT32	First Encoder Value	RO/PDO	第一编码器值 / First encoder value
0x200C	INT16	Drive Temperature	RO/PDO	驱动器温度 / Drive temperature
0x2FFD	INT8	Dummy Byte1	RW/PDO	自定义填充字节 / Custom padding byte
0x2FFE	INT8	Dummy Byte2	RO/PDO	自定义填充字节 / Custom padding byte

CiA402 标准对象字典详解

Chapter: CiA402 Standard Object Dictionary Detailed Explanation

0.10 控制字 — Control Word (0x6040)

属性 / Attribute	值 / Value
索引 / Index	0x6040
数据类型 / Data Type	UINT16 (16 位无符号 / 16-bit unsigned)
访问权限 / Access	读写，支持 RxPDO 映射 / Read-Write, RxPDO mappable
默认值 / Default	0x0000

控制字是主站向驱动器发送命令的核心接口，各位定义如下：

The Control Word is the core interface for the master to send commands to the drive.
The bit definitions are as follows:

参数保存功能 / Parameter Save Function

本驱动器通过控制字实现参数保存功能，步骤如下：
This drive implements parameter saving through the Control Word. The procedure is as follows:

- 1. 写入 ControlWord = 0（初始化第一阶段）
Write ControlWord = 0 (Initialize first stage)
- 2. 写入 ControlWord = 4096（0x1000，触发保存）
Write ControlWord = 4096 (0x1000, trigger save)
- 3. 在 3 秒内写回 ControlWord = 0（确认保存，数据写入 Flash）
Write ControlWord = 0 within 3 seconds (Confirm save, data written to Flash)
- 4. 只有在电机失能时，才能将参数成功保存到 ROM。
The parameters can be successfully saved to ROM only when the motor is disabled.

0.11 状态字 — Status Word (0x6041)

属性 / Attribute	值 / Value
索引 / Index	0x6041
数据类型 / Data Type	UINT16 (16 位无符号 / 16-bit unsigned)
访问权限 / Access	只读，支持 TxPDO 映射 / Read-Only, TxPDO mappable
默认值 / Default	0x0000

状态字用于反馈驱动器当前运行状态，主站通过读取状态字判断驱动器状态。

The Status Word is used to feedback the current operating status of the drive. The master determines the drive status by reading the Status Word.

0.12 运行模式 — Modes of Operation (0x6060)

属性 / Attribute	值 / Value
索引 / Index	0x6060
数据类型 / Data Type	INT8 (8 位有符号 / 8-bit signed)
访问权限 / Access	读写, 支持 RxPDO 映射 / Read-Write, RxPDO mappable
默认值 / Default	0x00

表 6: 运行模式值定义 / Mode Value Definitions

值 / Value	模式 / Mode	说明 / Description
1	Profile Position (PP)	轮廓位置模式, 带梯形轨迹规划 / Profile position mode with trapezoidal trajectory planning
3	Profile Velocity (PV)	轮廓速度模式, 带加减速规划 / Profile velocity mode with acceleration/deceleration planning
5	PVT (MIT 模式 / MIT Mode)	位置-速度-力矩混合控制 / Position-Velocity-Torque hybrid control
6	Homing	回零模式, 设置当前位置为零点 / Homing mode, sets current position as zero point
8	Cyclic Sync Position (CSP)	周期同步位置模式, 主站插补 / Cyclic synchronous position mode, master interpolation
9	Cyclic Sync Velocity (CSV)	周期同步速度模式 / Cyclic synchronous velocity mode
10	Cyclic Sync Torque (CST)	周期同步力矩模式 / Cyclic synchronous torque mode

0.13 运行模式显示 — Modes of Operation Display

(0x6061)

属性 / Attribute	值 / Value
索引 / Index	0x6061
数据类型 / Data Type	INT8 (8 位有符号 / 8-bit signed)
访问权限 / Access	只读，支持 TxPDO 映射 / Read-Only, TxPDO mappable

回显当前实际运行模式。当驱动器存在故障时（FaultCode ≠ 0），此对象返回 0，表示无效模式。

This object echoes the current actual operating mode. When the drive has a fault (FaultCode ≠ 0), this object returns 0, indicating an invalid mode.

0.14 目标位置 — Target Position (0x607A)

属性 / Attribute	值 / Value
索引 / Index	0x607A
数据类型 / Data Type	INT32 (32 位有符号 / 32-bit signed)
单位 / Unit	脉冲 / Pulses
访问权限 / Access	读写，支持 RxPDO 映射 / Read-Write, RxPDO mappable
默认值 / Default	0

目标位置用于 PP 模式和 CSP 模式：

Target Position is used in PP mode and CSP mode:

- PP 模式 / PP Mode:** 写入目标位置后，通过控制字 Bit4 上升沿触发轨迹规划执行
- CSP 模式 / CSP Mode:** 每个周期写入的值直接作为位置参考（加上 PositionOffset 0x60B0）

After writing the target position, trajectory planning is triggered by the rising edge of Control Word Bit4

The value written each cycle is directly used as position reference (plus PositionOffset 0x60B0)

- **PVT 模式 / PVT Mode:** 作为期望位置 p_{des}

Used as desired position p_{des}

0.15 目标速度 — Target Velocity (0x60FF)

属性 / Attribute	值 / Value
索引 / Index	0x60FF
数据类型 / Data Type	INT32 (32 位有符号 / 32-bit signed)
单位 / Unit	脉冲/秒 / Pulses/second
访问权限 / Access	读写, 支持 RxPDO 映射 / Read-Write, RxPDO mappable
默认值 / Default	0

- **CSV 模式 / CSV Mode:** 每周期写入目标速度, 驱动器直接跟随

Target velocity is written each cycle, drive follows directly

- **PV 模式 / PV Mode:** 写入目标速度后通过 Bit4 触发斜坡规划

Ramp planning is triggered by Bit4 after writing target velocity

- **PVT 模式 / PVT Mode:** 作为期望速度 v_{des}

Used as desired velocity v_{des}

0.16 目标力矩 — Target Torque (0x6071)

属性 / Attribute	值 / Value
索引 / Index	0x6071
数据类型 / Data Type	INT16 (16 位有符号 / 16-bit signed)
单位 / Unit	千分之一额定力矩 / Per mille of rated torque
访问权限 / Access	读写, 支持 RxPDO 映射 / Read-Write, RxPDO mappable
默认值 / Default	0

- **CST 模式:** 直接力矩控制

- **PVT 模式:** 作为力矩前馈 t_{ff}

- **CST Mode:** Direct torque control

- **PVT Mode:** Used as torque feedforward t_{ff}

单位换算 / Unit Conversion

力矩值为额定电流的千分比：

实际电流 = TargetTorque × 0.001 × MOTOR_RATE_IQCURRENT

例如：TargetTorque = 500 表示 50% 额定力矩。
The torque value is expressed as permille (one-thousandth) of the rated current:

Actual Current = TargetTorque × 0.001 × MOTOR_RATE_IQCURRENT

Example: TargetTorque = 500 represents 50% of rated torque.

0.17 实际反馈对象

Actual Feedback Objects

0.17.1 实际位置 — Position Actual Value (0x6064)

索引 / Index	0x6064
数据类型 / Data Type	INT32
单位 / Unit	脉冲 / Pulses
访问权限 / Access	只读，支持 TxPDO / Read-only, TxPDO mappable

0.17.2 实际速度 — Velocity Actual Value (0x606C)

索引 / Index	0x606C
数据类型 / Data Type	INT32
单位 / Unit	编码器增量/秒 / Encoder increments per second
访问权限 / Access	只读，支持 TxPDO / Read-only, TxPDO mappable

0.17.3 实际力矩 — Torque Actual Value (0x6077)

索引 / Index	0x6077
数据类型 / Data Type	INT16
单位 / Unit	千分之一额定力矩 / Permille of rated torque
访问权限 / Access	只读，支持 TxPDO / Read-only, TxPDO mappable

内部计算公式：

Internal calculation formula:

$$\text{Torque Actual} = \frac{\text{IqFilter} \times 1000}{\text{MOTOR_RATE_IQCURRENT}}$$

0.17.4 错误代码 — Error Code (0x603F)

索引 / Index	0x603F
数据类型 / Data Type	UINT16
访问权限 / Access	只读，支持 TxPDO / Read-only, TxPDO mappable

反馈驱动器内部故障代码，0 表示无故障。

Returns the internal fault code of the drive. A value of 0 indicates no fault.

表 7: 错误代码定义 / Error Code Definitions

值 / Value	说明 / Description
0x0002	电机堵转 / Motor stall
0x0004	低压 / Undervoltage
0x0008	过压 / Overvoltage
0x0010	相电流过流 / Phase overcurrent
0x0080	标定参数写入错误 / Calibration parameter write error
0x0100	超速 / Overspeed
0x0800	元器件过温 / Component overtemperature
0x1000	电机温度过温 / Motor overtemperature
0x2000	编码器校准错误 / Encoder calibration error
0x4000	编码器数据错误 / Encoder data error

0.18 轮廓参数对象

Profile Parameter Objects

0.18.1 轮廓速度 — Profile Velocity (0x6081)

索引 / Index	0x6081
数据类型 / Data Type	UINT32
单位 / Unit	编码器增量/秒 / Encoder increments/s
访问权限 / Access	读写, 支持 RxPDO / Read-Write, RxPDO mappable

PP 模式下的最大运行速度。写入后自动转换为内部单位:

Maximum operating speed in PP mode. After writing, it is automatically converted to internal units:

$$\text{POSPLAN_MAXSPD (RPM)} = \frac{\text{ProfileVelocity}}{\text{Resolution}} \times \text{GearRatio} \times 60$$

0.18.2 轮廓加速度 — Profile Acceleration (0x6083)

索引 / Index	0x6083
数据类型 / Data Type	UINT32
单位 / Unit	编码器增量/秒 ² / Encoder increments/s ²
访问权限 / Access	读写, 支持 RxPDO / Read-Write, RxPDO mappable

PP/PV 模式下的加速度。写入后自动转换为内部单位:

Acceleration in PP/PV mode. After writing, it is automatically converted to internal units:

$$\text{POSPLAN_ACC (deg/s}^2\text{)} = \frac{\text{ProfileAcceleration} \times 360}{\text{Resolution}} \times \text{GearRatio}$$

0.18.3 轮廓减速度 — Profile Deceleration (0x6084)

与 0x6083 格式相同, 用于 PP/PV 模式的减速度设置。

Same format as 0x6083, used for deceleration setting in PP/PV mode.

0.18.4 快停减速度 — Quick Stop Deceleration (0x6085)

索引 / Index	0x6085
数据类型 / Data Type	UINT32
单位 / Unit	编码器增量/秒 ² / Encoder increments/s ²
访问权限 / Access	读写, 支持 RxPDO / Read-Write, RxPDO mappable

快速停机时使用的减速度。当 Quick Stop Option Code (0x605A) = 0 时，使用此减速度进行减速停车。

Deceleration used during quick stop. When Quick Stop Option Code (0x605A) = 0, this deceleration is used for deceleration stop.

0.19 位置监控参数

Position Monitoring Parameters

0.19.1 软件位置限位 — Software Position Limit (0x607D)

子索引 / Sub-index	名称 / Name	说明 / Description
Sub 1	Min Position Limit	最小位置限位值 (INT32) / Minimum position limit (INT32)
Sub 2	Max Position Limit	最大位置限位值 (INT32) / Maximum position limit (INT32)

PP 模式下的目标位置会被限制在此范围内。
The target position in PP mode will be limited within this range.

0.19.2 跟随误差窗口 — Following Error Window (0x6065)

索引 / Index	0x6065
数据类型 / Data Type	UINT32
默认值 / Default	131072 (1 圈增量) / 131072 (1 revolution in increments)

允许的最大跟随误差，超出此窗口并持续超过 0x6066 设定的超时时间后，状态字 Bit13 将置 1。
Maximum allowed following error. If the error exceeds this window and persists beyond the timeout specified by 0x6066, Bit13 of the status word will be set to 1.

0.19.3 跟随误差超时 — Following Error Window Time Out (0x6066)

索引 / Index	0x6066
数据类型 / Data Type	UINT16
单位 / Unit	毫秒 / Milliseconds (ms)
默认值 / Default	10

跟随误差超时时间。当跟随误差持续超过此时间后触发报警。

Following error timeout. An alarm is triggered when the following error persists beyond this duration.

0.19.4 位置窗口 — Position Window (0x6067)

索引 / Index	0x6067
数据类型 / Data Type	UINT32
默认值 / Default	100

当实际位置与目标位置之差的绝对值小于等于此值时，认为在窗口内。设为 0 时禁用目标到达判断。

When the absolute difference between the actual position and target position is less than or equal to this value, it is considered within the window. Setting it to 0 disables target reached detection.

0.19.5 位置窗口时间 — Position Window Time (0x6068)

索引 / Index	0x6068
数据类型 / Data Type	UINT16
单位 / Unit	毫秒 / Milliseconds (ms)
默认值 / Default	10

在位置窗口内持续超过此时间后，状态字 Bit10 (Target Reached) 将被设置。设为 0 时立即判定到达。

After remaining within the position window for longer than this duration, Bit10 (Target Reached) of the status word will be set. Setting it to 0 means immediate target reached detection.

0.20 偏移量/前馈对象

Offset/Feedforward Objects

0.20.1 位置偏移 — Position Offset (0x60B0)

索引 / Index	0x60B0
数据类型 / Data Type	INT32
单位 / Unit	编码器增量 / Encoder increments
访问权限 / Access	读写，支持 RxPDO / Read-Write, RxPDO mappable

CSP 模式下叠加到目标位置：实际目标 = TargetPosition + PositionOffset。

In CSP mode, this is added to the target position: Actual Target = TargetPosition + PositionOffset.

0.20.2 速度偏移（速度前馈） — Velocity Offset (0x60B1)

索引 / Index	0x60B1
数据类型 / Data Type	INT32
单位 / Unit	编码器增量/秒 / Encoder increments/s
访问权限 / Access	读写，支持 RxPDO / Read-Write, RxPDO mappable

速度前馈量，用于 CSP/CSV 模式下的前馈控制。

Velocity feedforward value, used for feedforward control in CSP/CSV mode.

0.20.3 力矩偏移（力矩前馈） — Torque Offset (0x60B2)

索引 / Index	0x60B2
数据类型 / Data Type	INT16
单位 / Unit	千分之一额定力矩 / Per mille of rated torque
访问权限 / Access	读写，支持 RxPDO / Read-Write, RxPDO mappable

力矩前馈量，用于 CSP/CSV/CST 模式下的前馈控制。

Torque feedforward value, used for feedforward control in CSP/CSV/CST mode.

0.21 最大力矩 — Max Torque (0x6072)

索引 / Index	0x6072
数据类型 / Data Type	UINT16
单位 / Unit	千分之一额定力矩 / Permille of rated torque
访问权限 / Access	读写，支持 RxPDO / Read-Write, RxPDO mappable

设置速度环的输出限幅（最大力矩限制）：
Sets the output limit of the speed loop (maximum torque limit):

$$\text{OutMax} = \text{MaxTorque} \times 0.001 \times \text{MOTOR_RATE_IQCURRENT}$$

警告

计算出的电流值不能超过电机堵转电流（MOTOR_STALL_IQCURRENT），超过时会被自动限制。MaxTorque = 0 时恢复为堵转电流限制。
The calculated current value cannot exceed the motor stall current (MOTOR_STALL_IQCURRENT); exceeding values will be automatically limited. When MaxTorque = 0, it reverts to the stall current limit.

0.22 电机额定电流 — Motor Rate Current (0x6075)

索引 / Index	0x6075
数据类型 / Data Type	INT32
单位 / Unit	毫安 / Milliamps (mA)
默认值 / Default	MOTOR_RATE_IQCURRENT × 1000

用于力矩千分比换算的基准值。写入后更新内部额定电流参数，不超过堵转电流。
Reference value for torque per-mille conversion. After writing, updates the internal rated current parameter, not exceeding the stall current.

0.23 回零参数

Homing Parameters

0.23.1 回零方法 — Homing Method (0x6098)

索引 / Index	0x6098
数据类型 / Data Type	INT8

本驱动器的回零模式（模式 6）将当前位置设置为零点。

The homing mode (Mode 6) of this driver sets the current position as the zero point.

厂商自定义对象字典详解

Chapter: Vendor-Specific Object Dictionary Details

0.24 PVT/MIT 模式参数

Section: PVT/MIT Mode Parameters

0.24.1 PVT_KP (0x2000)

索引 / Index	0x2000
数据类型 / Data Type	INT32
访问权限 / Access	读写，支持 RxPDO / Read-Write, RxPDO mappable
默认值 / Default	0

PVT（MIT）模式的位置比例增益。写入值为实际 KP 的 1000 倍：

$$\text{实际 kp} = \text{PVT_KP} \times 0.001$$

Position proportional gain for PVT (MIT) mode. The written value is 1000 times the actual KP:

$$\text{Actual kp} = \text{PVT_KP} \times 0.001$$

0.24.2 PVT_KD (0x2001)

索引 / Index	0x2001
数据类型 / Data Type	INT32
访问权限 / Access	读写，支持 RxPDO / Read-Write, RxPDO mappable
默认值 / Default	0

PVT（MIT）模式的速度微分增益。写入值为实际 KD 的 1000 倍：

$$\text{实际 kd} = \text{PVT_KD} \times 0.001$$

Velocity derivative gain for PVT (MIT) mode. The written value is 1000 times the actual KD:

$$\text{Actual kd} = \text{PVT_KD} \times 0.001$$

0.25 PID 调节参数

Section: PID Tuning Parameters

以下参数通过 SDO 写入即时生效，用于调整三闭环控制器参数。

The following parameters take effect immediately after being written via SDO, and are used to adjust the three-loop controller parameters.

表 8: PID 参数对象 / PID Parameter Objects

索引 / Index	名称 / Name	类型 / Type	控制器 / Controller
0x2002	CUR_LOOP_KP	REAL32	电流环比例增益 / Current loop proportional gain
0x2003	CUR_LOOP_KI	REAL32	电流环积分增益 / Current loop integral gain
0x2004	SPD_LOOP_KP	REAL32	速度环比例增益 / Speed loop proportional gain
0x2005	SPD_LOOP_KI	REAL32	速度环积分增益 / Speed loop integral gain
0x2006	POS_LOOP_KP	REAL32	位置环比例增益 / Position loop proportional gain
0x2007	POS_LOOP_KI	REAL32	位置环积分增益 / Position loop integral gain
0x2008	POS_LOOP_KD	REAL32	位置环微分增益 / Position loop derivative gain

提示

PID 参数通过 SDO 写入后立即生效，无需重启。初始值从驱动器内部配置参数加载。修改 PID 参数后可通过参数保存功能（控制字序列 0 → 4096 → 0）写入 Flash。

PID parameters take effect immediately after being written via SDO, without requiring a restart. Initial values are loaded from the drive's internal configuration parameters. After modifying PID parameters, they can be saved to Flash using the parameter save function (control word sequence 0 → 4096 → 0).

0.26 状态监控对象

Section: Status Monitoring Objects

0.26.1 电机温度 — Motor Temperature (0x2009)

索引 / Index	0x2009
数据类型 / Data Type	INT16
单位 / Unit	°C
访问权限 / Access	只读, 支持 TxPDO / Read-Only, TxPDO mappable

0.26.2 母线电压 — Voltage (0x200A)

索引 / Index	0x200A
数据类型 / Data Type	UINT16
单位 / Unit	V (伏特 / Volts)
访问权限 / Access	只读, 支持 TxPDO / Read-Only, TxPDO mappable

母线电压实际值 (Vbus 直接取整)。

Actual bus voltage value (Vbus rounded to integer).

0.26.3 第一编码器值 — First Encoder Value (0x200B)

索引 / Index	0x200B
数据类型 / Data Type	INT32
访问权限 / Access	只读, 支持 TxPDO / Read-Only, TxPDO mappable

读取第一编码器的绝对位置值 (AbsolutePos)。

Read the absolute position value (AbsolutePos) of the first encoder.

0.26.4 驱动器温度 — Drive Temperature (0x200C)

索引 / Index	0x200C
数据类型 / Data Type	INT16
单位 / Unit	°C
访问权限 / Access	只读, 支持 TxPDO / Read-Only, TxPDO mappable

驱动器 MOS 管温度。

Drive MOSFET temperature.

PDO 映射配置

Chapter: PDO Mapping Configuration

0.27 PDO 映射原理

Section: PDO Mapping Principles

PDO（过程数据对象）是 EtherCAT 周期性数据交换的核心机制。PDO 分为：

PDO (Process Data Object) is the core mechanism for cyclic data exchange in EtherCAT. PDO is divided into:

- **RxPDO**（接收 PDO）：主站 → 从站的数据（输出过程数据）

RxPDO (Receive PDO): Data from master → slave (output process data)

- **TxPDO**（发送 PDO）：从站 → 主站的数据（输入过程数据）

TxPDO (Transmit PDO): Data from slave → master (input process data)

0.28 RxPDO 映射对象（主站 → 从站）

Section: RxPDO Mapping Objects (Master → Slave)

0.28.1 RxPDO Mapping 0 (0x1600) — 标准控制通道

这是最常用的 RxPDO 映射，包含基本控制所需的全部对象：

This is the most commonly used RxPDO mapping, containing all objects required for basic control:

表 9: 0x1600 RxPDO Mapping 0 — 标准控制

Table: 0x1600 RxPDO Mapping 0 — Standard Control

子索引	映射对象	名称	位宽
Sub-index	Mapping Object	Name	Bit Width
1	0x6040:00	Control Word	16 bit
2	0x607A:00	Target Position	32 bit
3	0x60FF:00	Target Velocity	32 bit
4	0x6071:00	Target Torque	16 bit
5	0x6072:00	Max Torque	16 bit
6	0x6060:00	Modes of Operation	8 bit
7	0x2FFD:00	Dummy Byte1 (Padding)	8 bit
总计 / Total			128 bit = 16 Bytes

0.28.2 RxPDO Mapping 1 (0x1601) — PVT 控制通道

在标准通道基础上增加了 PVT/MIT 模式的 KP、KD 参数：

Based on the standard channel, KP and KD parameters for PVT/MIT mode are added:

表 10: 0x1601 RxPDO Mapping 1 — PVT 控制

Table: 0x1601 RxPDO Mapping 1 — PVT Control

子索引	映射对象	名称	位宽
Sub-index	Mapping Object	Name	Bit Width
1	0x6040:00	Control Word	16 bit
2	0x607A:00	Target Position	32 bit
3	0x60FF:00	Target Velocity	32 bit
4	0x6071:00	Target Torque	16 bit
5	0x2000:00	PVT_KP	32 bit
6	0x2001:00	PVT_KD	32 bit
7	0x6060:00	Modes of Operation	8 bit
8	0x2FFD:00	Dummy Byte1 (Padding)	8 bit
总计 / Total			176 bit = 22 Bytes

0.28.3 RxPDO Mapping 2 (0x1602) — 轮廓参数通道

RxPDO Mapping 2 (0x1602) — Profile Parameter Channel

表 11: 0x1602 RxPDO Mapping 2 — 轮廓参数

Table: 0x1602 RxPDO Mapping 2 — Profile Parameters

子索引	映射对象	名称	位宽
Sub-index	Mapping Object	Name	Bit Width
1	0x6081:00	Profile Velocity	32 bit
2	0x6083:00	Profile Acceleration	32 bit
3	0x6084:00	Profile Deceleration	32 bit
4	0x6085:00	Quick Stop Deceleration	32 bit
总计 / Total			128 bit = 16 Bytes

0.28.4 RxPDO Mapping 3 (0x1603) — 偏移/前馈通道

RxPDO Mapping 3 (0x1603) — Offset/Feedforward Channel

表 12: 0x1603 RxPDO Mapping 3 — 偏移/前馈

Table: 0x1603 RxPDO Mapping 3 — Offset/Feedforward

子索引	映射对象	名称	位宽
Sub-index	Mapping Object	Name	Bit Width
1	0x60B0:00	Position Offset	32 bit
2	0x60B1:00	Velocity Offset	32 bit
3	0x60B2:00	Torque Offset	16 bit
总计 / Total			80 bit = 10 Bytes

0.29 TxPDO 映射对象（从站 → 主站）

TxPDO Mapping Objects (Slave → Master)

0.29.1 TxPDO Mapping 0 (0x1A00) — 标准状态通道

TxPDO Mapping 0 (0x1A00) — Standard Status Channel

表 13: 0x1A00 TxPDO Mapping 0 — 标准状态

Table: 0x1A00 TxPDO Mapping 0 — Standard Status

子索引	映射对象	名称	位宽
Sub-index	Mapping Object	Name	Bit Width
1	0x6041:00	Status Word	16 bit
2	0x6064:00	Position Actual Value	32 bit
3	0x606C:00	Velocity Actual Value	32 bit
4	0x6077:00	Torque Actual Value	16 bit
5	0x603F:00	Error Code	16 bit
6	0x6061:00	Modes of Op Display	8 bit
7	0x2FFE:00	Dummy Byte2 (Padding)	8 bit
总计 / Total			128 bit = 16 Bytes

0.29.2TxPDO Mapping 1 (0x1A01) — 扩展状态通道（含编码器）

TxPDO Mapping 1 (0x1A01) — Extended Status Channel (with Encoder)

表 14: 0x1A01 TxPDO Mapping 1 — 含编码器

Table: 0x1A01 TxPDO Mapping 1 — with Encoder

子索引	映射对象	名称	位宽
Sub-index	Mapping Object	Name	Bit Width
1	0x6041:00	Status Word	16 bit
2	0x6064:00	Position Actual Value	32 bit
3	0x606C:00	Velocity Actual Value	32 bit
4	0x6077:00	Torque Actual Value	16 bit
5	0x603F:00	Error Code	16 bit
6	0x200B:00	First Encoder Value	32 bit
7	0x6061:00	Modes of Op Display	8 bit
8	0x2FFE:00	Dummy Byte2 (Padding)	8 bit
总计 / Total			160 bit = 20 Bytes

0.29.3 TxPDO Mapping 2 (0x1A02) — 扩展状态通道（含温度/电压）

TxPDO Mapping 2 (0x1A02) — Extended Status Channel (with Temperature/Voltage)

表 15: 0x1A02 TxPDO Mapping 2 — 含温度电压

Table: 0x1A02 TxPDO Mapping 2 — with Temperature and Voltage

子索引	映射对象	名称	位宽
Sub-index	Mapping Object	Name	Bit Width
1	0x6041:00	Status Word	16 bit
2	0x6064:00	Position Actual Value	32 bit
3	0x606C:00	Velocity Actual Value	32 bit
4	0x6077:00	Torque Actual Value	16 bit
5	0x603F:00	Error Code	16 bit
6	0x2009:00	Motor Temperature	16 bit
7	0x200C:00	Drive Temperature	16 bit
8	0x200A:00	Voltage	16 bit
9	0x6061:00	Modes of Op Display	8 bit
10	0x2FFE:00	Dummy Byte2 (Padding)	8 bit
总计 / Total			176 bit = 22 Bytes

0.29.4 TxPDO Mapping 3 (0x1A03) — 位置需求/跟随误差

TxPDO Mapping 3 (0x1A03) — Position Demand / Following Error

表 16: 0x1A03 TxPDO Mapping 3 — 位置需求/跟随误差

Table: 0x1A03 TxPDO Mapping 3 — Position Demand / Following Error

子索引	映射对象	名称	位宽
Sub-index	Mapping Object	Name	Bit Width
1	0x6062:00	Position Demand Value	32 bit
2	0x60F4:00	Following Error Actual Value	32 bit
总计 / Total			64 bit = 8 Bytes

0.30 SM-PDO 分配

SM-PDO Assignment

0.30.1 RxPDO 分配 (0x1C12)

RxPDO Assignment (0x1C12)

属性 / Attribute	说明 / Description
索引 / Index	0x1C12
默认激活通道数 / Default Active Channels	1（仅激活 0x1600 / Only 0x1600 activated）
可用通道 / Available Channels	0x1600, 0x1601, 0x1602, 0x1603
修改时机 / Modification Timing	PreOP 状态下 / In PreOP state

0.30.2 TxPDO 分配 (0x1C13)

TxPDO Assignment (0x1C13)

属性 / Attribute	说明 / Description
索引 / Index	0x1C13
默认激活通道数 / Default Active Channels	1（仅激活 0x1A00 / Only 0x1A00 activated）
可用通道 / Available Channels	0x1A00, 0x1A01, 0x1A02, 0x1A03
修改时机 / Modification Timing	PreOP 状态下 / In PreOP state

注意

PDO 分配在 PreOP 状态下修改。例如要使用 PVT 模式，需要将 RxPDO 分配修改为使用 0x1601 通道。修改步骤：

1. SDO 写入 $0x1C12:00 = 0$ （清空分配）
2. SDO 写入 $0x1C12:01 = 0x1601$ （分配通道 1）
3. SDO 写入 $0x1C12:00 = 1$ （设置激活通道数）

同理可配置多通道同时使用。

PDO assignment is modified in PreOP state. For example, to use PVT mode, you need to modify the RxPDO assignment to use the 0x1601 channel. Modification steps:

1. SDO write $0x1C12:00 = 0$ (clear assignment)
2. SDO write $0x1C12:01 = 0x1601$ (assign channel 1)
3. SDO write $0x1C12:00 = 1$ (set number of active channels)

Similarly, multiple channels can be configured for simultaneous use.

运行模式详解与操作步骤

Detailed Operation Modes and Procedure Steps

0.31 周期同步位置模式 (CSP, Mode 8)

Cyclic Synchronous Position Mode (CSP, Mode 8)

0.31.1 功能说明

CSP 模式下，主站每个通信周期发送目标位置，驱动器直接跟随。轨迹规划完全在主站侧完成，驱动器只负责位置闭环跟踪。

Function Description: In CSP mode, the master sends the target position in each communication cycle, and the drive follows directly. Trajectory planning is completely done on the master side, and the drive is only responsible for position closed-loop tracking.

0.31.2 所需 PDO

Required PDO

- **RxPDO:** Control Word (0x6040)、Target Position (0x607A)、Modes of Operation (0x6060)
- **TxPDO:** Status Word (0x6041)、Position Actual (0x6064)
- **可选 / Optional:** Position Offset (0x60B0)、Velocity Offset (0x60B1)、Torque Offset (0x60B2)

0.31.3 操作步骤

Operation Steps

1. 在 PreOP 状态配置 PDO 映射（默认 0x1600 + 0x1A00 即可）

Configure PDO mapping in PreOP state (default 0x1600 + 0x1A00 is sufficient)

2. 写入 Modes of Operation (0x6060) = 8

Write Modes of Operation (0x6060) = 8

3. 执行 CiA402 状态机使能序列: 0x0006 → 0x0007 → 0x000F

Execute CiA402 state machine enable sequence: 0x0006 → 0x0007 → 0x000F

4. 每个周期写入 Target Position (0x607A)

Write Target Position (0x607A) in each cycle

5. 读取 Position Actual (0x6064) 确认跟随效果

Read Position Actual (0x6064) to confirm tracking performance

提示

CSP 模式支持速度前馈 (0x60B1) 和力矩前馈 (0x60B2), 可以显著改善轨迹跟踪性能。推荐在高精度应用中使用 RxPDO Mapping 3 (0x1603) 配合使用。

CSP mode supports velocity feedforward (0x60B1) and torque feedforward (0x60B2), which can significantly improve trajectory tracking performance. It is recommended to use RxPDO Mapping 3 (0x1603) in high-precision applications.

0.32 周期同步速度模式 (CSV, Mode 9)

Cyclic Synchronous Velocity Mode (CSV, Mode 9)

0.32.1 功能说明

CSV 模式下, 主站每周期发送目标速度, 驱动器直接跟随速度指令, 无轨迹规划。

Function Description: In CSV mode, the master sends the target velocity in each cycle, and the drive directly follows the velocity command without trajectory planning.

0.32.2 操作步骤

Operation Steps

1. 配置 PDO 映射 / Configure PDO mapping

2. 写入 Modes of Operation (0x6060) = 9 / Write Modes of Operation (0x6060) = 9

3. 执行状态机使能序列 / Execute state machine enable sequence

4. 每个周期写入 Target Velocity (0x60FF), 单位: increments/s
Write Target Velocity (0x60FF) in each cycle, unit: increments/s
5. 读取 Velocity Actual (0x606C) 确认跟随效果
Read Velocity Actual (0x606C) to confirm tracking performance

0.33 周期同步力矩模式 (CST, Mode 10)

Cyclic Synchronous Torque Mode (CST, Mode 10)

0.33.1 功能说明

CST 模式下, 主站每周期发送目标力矩, 驱动器直接执行力矩 (电流) 控制。

Function Description: In CST mode, the master sends the target torque in each cycle, and the drive directly executes torque (current) control.

0.33.2 操作步骤

Operation Steps

1. 配置 PDO 映射 / Configure PDO mapping
2. 写入 Modes of Operation (0x6060) = 10 / Write Modes of Operation (0x6060) = 10
3. 执行状态机使能序列 / Execute state machine enable sequence
4. 每个周期写入 Target Torque (0x6071), 单位: 千分之一额定力矩
Write Target Torque (0x6071) in each cycle, unit: one-thousandth of rated torque
5. 读取 Torque Actual (0x6077) 确认跟随效果
Read Torque Actual (0x6077) to confirm tracking performance

警告

CST 模式直接控制电机力矩, 无速度/位置保护。使用前请确保已设置 Max Torque (0x6072) 进行限流保护, 防止过流烧毁电机。

CST mode directly controls motor torque without speed/position protection. Before use, please ensure that Max Torque (0x6072) is set for current limiting protection to prevent motor burnout due to overcurrent.

0.34 轮廓位置模式 (PP, Mode 1)

Profile Position Mode (PP, Mode 1)

0.34.1 功能说明

PP 模式下，主站设置目标位置和运动参数（速度、加速度、减速度），驱动器内部完成梯形轨迹规划并执行位置运动。

Function Description: In PP mode, the master sets the target position and motion parameters (velocity, acceleration, deceleration), and the drive internally completes trapezoidal trajectory planning and executes position motion.

0.34.2 相关对象

Related Objects

- 目标位置 / **Target Position:** 0x607A Target Position
- 轮廓速度 / **Profile Velocity:** 0x6081 Profile Velocity
- 轮廓加速度 / **Profile Acceleration:** 0x6083 Profile Acceleration
- 轮廓减速度 / **Profile Deceleration:** 0x6084 Profile Deceleration
- 位置限位 / **Position Limit:** 0x607D Software Position Limit
- 位置窗口 / **Position Window:** 0x6067、0x6068 用于目标到达判断 / for target reached judgment
- 跟随误差 / **Following Error:** 0x6065、0x6066、0x60F4

0.34.3 操作步骤

Operation Procedure

1. 配置 PDO 映射（推荐同时激活 0x1600 和 0x1602）

Configure PDO mapping (recommended to activate both 0x1600 and 0x1602)

2. 写入 Modes of Operation (0x6060) = 1

Write Modes of Operation (0x6060) = 1

3. 通过 SDO 或 PDO 设置运动参数：

Set motion parameters via SDO or PDO:

- 0x6081 Profile Velocity
- 0x6083 Profile Acceleration
- 0x6084 Profile Deceleration
- 0x607D Software Position Limit

4. 执行状态机使能序列

Execute state machine enable sequence

5. 写入 Target Position (0x607A) = 目标位置值

Write Target Position (0x607A) = target position value

6. 设置控制字 Bit4 上升沿触发运动（例如：先写 0x000F，再写 0x001F）

Set ControlWord Bit4 rising edge to trigger motion (e.g., write 0x000F first, then write 0x001F)

7. 监控 Status Word Bit10 (Target Reached) 判断是否到达

Monitor Status Word Bit10 (Target Reached) to determine if target is reached

PP 模式控制字 Bit4 触发机制 / PP Mode ControlWord Bit4 Trigger Mechanism

PP 模式使用控制字 Bit4 (New Setpoint) 的**上升沿**触发新的位置运动。具体操作：
PP mode uses the **rising edge** of ControlWord Bit4 (New Setpoint) to trigger new position motion. Specific operations:

1. 写入目标位置 0x607A / Write target position 0x607A
2. 控制字 Bit4 从 0 变为 1（例如 0x000F → 0x001F） / ControlWord Bit4 changes from 0 to 1 (e.g., 0x000F → 0x001F)
3. 驱动器开始轨迹规划并运动 / Drive starts trajectory planning and motion
4. 运动完成后 StatusWord Bit10 = 1 / After motion completes, StatusWord Bit10 = 1
5. 要运动到新位置，先将 Bit4 清 0，再重复上述步骤 / To move to a new position, clear Bit4 to 0 first, then repeat the above steps

0.35 轮廓速度模式 (PV, Mode 3)

Profile Velocity Mode (PV, Mode 3)

0.35.1 功能说明

PV 模式下，主站设置目标速度和加减速参数，驱动器内部完成速度斜坡规划。

Function Description: In PV mode, the master sets the target velocity and acceleration/deceleration parameters, and the drive internally completes velocity ramp planning.

0.35.2 操作步骤

Operation Procedure

1. 配置 PDO 映射

Configure PDO mapping

2. 写入 Modes of Operation (0x6060) = 3

Write Modes of Operation (0x6060) = 3

3. 设置运动参数 (Profile Acceleration 0x6083、Profile Deceleration 0x6084)

Set motion parameters (Profile Acceleration 0x6083, Profile Deceleration 0x6084)

4. 执行状态机使能序列

Execute state machine enable sequence

5. 写入 Target Velocity (0x60FF)

Write Target Velocity (0x60FF)

6. 设置控制字 Bit4 上升沿触发速度规划

Set ControlWord Bit4 rising edge to trigger velocity planning

7. 监控 Status Word Bit10 判断目标速度是否到达 (容差 ± 50 增量)

Monitor Status Word Bit10 to determine if target velocity is reached (tolerance ± 50 increments)

0.36 PVT 模式 / MIT 模式 (Mode 5)

PVT Mode / MIT Mode (Mode 5)

0.36.1 功能说明

PVT 模式（也称 MIT 模式）是一种混合控制模式，输出力矩由以下公式计算：

Function Description: PVT mode (also known as MIT mode) is a hybrid control mode where the output torque is calculated by the following formula:

$$\tau = K_p \cdot (p_{des} - p_{fb}) + K_d \cdot (v_{des} - v_{fb}) + t_{ff}$$

其中：

Where:

- p_{des} : 期望位置（从 0x607A 获取，转换为弧度） / Desired position (obtained from 0x607A, converted to radians)
- p_{fb} : 实际位置反馈 / Actual position feedback
- v_{des} : 期望速度（从 0x60FF 获取，转换为弧度/秒） / Desired velocity (obtained from 0x60FF, converted to radians/second)
- v_{fb} : 实际速度反馈 / Actual velocity feedback
- K_p : 位置增益（从 0x2000 PVT_KP 获取） / Position gain (obtained from 0x2000 PVT_KP)
- K_d : 速度增益（从 0x2001 PVT_KD 获取） / Velocity gain (obtained from 0x2001 PVT_KD)
- t_{ff} : 力矩前馈（从 0x6071 Target Torque 获取） / Torque feedforward (obtained from 0x6071 Target Torque)

0.36.2 操作步骤

Operation Procedure

1. **配置 PDO:** 必须使用 RxPDO Mapping 1 (0x1601), 因为需要 PVT_KP 和 PVT_KD

Configure PDO: Must use RxPDO Mapping 1 (0x1601), because PVT_KP and PVT_KD are required

- SDO 写入 / SDO write 0x1C12:00 = 0
- SDO 写入 / SDO write 0x1C12:01 = 0x1601
- SDO 写入 / SDO write 0x1C12:00 = 1

2. 写入 Modes of Operation (0x6060) = 5

Write Modes of Operation (0x6060) = 5

3. 执行状态机使能序列

Execute state machine enable sequence

4. 每周期写入:

Write each cycle:

- 0x607A Target Position (位置指令, 单位: 增量) / (position command, unit: increments)
- 0x60FF Target Velocity (速度指令, 单位: 增量/秒) / (velocity command, unit: increments/second)
- 0x6071 Target Torque (力矩前馈, 单位: 千分之一额定) / (torque feedforward, unit: per mille of rated)
- 0x2000 PVT_KP (位置增益 $\times 1000$) / (position gain $\times 1000$)
- 0x2001 PVT_KD (速度增益 $\times 1000$) / (velocity gain $\times 1000$)

提示

PVT/MIT 模式非常适合机器人关节控制和阻抗控制等应用场景。通过调节 KP 和 KD 可以实现不同的刚度和阻尼特性。

PVT/MIT mode is very suitable for robot joint control and impedance control applications. Different stiffness and damping characteristics can be achieved by adjusting KP and KD.

0.37 回零模式 (Homing, Mode 6)

Homing Mode (Homing, Mode 6)

0.37.1 功能说明

回零模式将当前电机位置设置为零点。执行后内部零点参数 (PosZero) 将被更新。

Function Description: Homing mode sets the current motor position as the zero point. After execution, the internal zero point parameter (PosZero) will be updated.

0.37.2 操作步骤

Operation Procedure

1. 写入 Modes of Operation (0x6060) = 6

Write Modes of Operation (0x6060) = 6

2. 执行状态机使能序列

Execute state machine enable sequence

3. 驱动器自动将当前位置设为零点

The drive automatically sets the current position as zero point

4. 零点设置完成后，切换到其他运行模式继续使用

After zero point setting is completed, switch to other operation modes to continue use

0.38 快速停机功能

Quick Stop Function

0.38.1 触发方式

在 Operation Enabled 状态下，发送 Quick Stop 命令（控制字 = 0x0002）。

Trigger Method: In Operation Enabled state, send Quick Stop command (Control-Word = 0x0002).

0.38.2 停机行为

根据 Quick Stop Option Code (0x605A) 的设置：

Stop Behavior: According to the Quick Stop Option Code (0x605A) setting:

- **0x605A = 0:** 使用 Quick Stop Deceleration (0x6085) 减速到零速后自动转到 Switch On Disabled 状态

Use Quick Stop Deceleration (0x6085) to decelerate to zero speed, then automatically transition to Switch On Disabled state

常见操作示例

Chapter: Common Operation Examples

0.39 示例 1：CSP 模式控制电机运动

Section 1: CSP Mode Motor Control

以下是使用 CSP 模式控制电机的完整流程（伪代码）：

The following is the complete process for controlling a motor using CSP mode (pseudocode):

```
1 // 1. 进入 PreOP 状态后，配置 PDO 映射
2 //    使用默认 0x1600 + 0x1A00 即可
3
4 // 2. 切换到 SafeOP -> OP 状态
5
6 // 3. 设置运行模式为 CSP
7 SDO_Write(0x6060, 0x00, 8); // Mode = CSP
8
9 // 4. CiA402 状态机使能
10 PDO_Write(0x6040, 0x0006); // Shutdown
11 Wait_StatusWord(0x0021); // Ready To Switch On
12 PDO_Write(0x6040, 0x0007); // Switch On
13 Wait_StatusWord(0x0023); // Switched On
14 PDO_Write(0x6040, 0x000F); // Enable Operation
15 Wait_StatusWord(0x0027); // Operation Enabled
16
17 // 5. 周期发送目标位置
18 while(running) {
19     position = TrajectoryGenerator(); // 主站轨迹规划
20     PDO_Write(0x607A, position); // Target Position
21     PDO_Write(0x60B1, vel_ff); // Velocity Offset (
optional)
```

```
23         actual_pos = PDO_Read(0x6064);    // Position Actual
24         status = PDO_Read(0x6041);        // Status Word
25     }
26
```

Listing 1: CSP 模式操作示例

0.40 示例 2: PP 模式点位运动

Section 2: PP Mode Point-to-Point Motion

```
1    // 1. 设置运行模式为 PP
2    SDO_Write(0x6060, 0x00, 1); // Mode = PP
3
4    // 2. 配置运动参数
5    SDO_Write(0x6081, 0x00, 10000); // Profile Velocity (inc/s)
6    SDO_Write(0x6083, 0x00, 50000); // Profile Acceleration
7    SDO_Write(0x6084, 0x00, 50000); // Profile Deceleration
8
9    // 3. CiA402 使能
10   PDO_Write(0x6040, 0x0006); // Shutdown
11   PDO_Write(0x6040, 0x0007); // Switch On
12   PDO_Write(0x6040, 0x000F); // Enable Operation
13
14   // 4. 发送目标位置并触发运动
15   PDO_Write(0x607A, 131072); // Target: 1 turn (for 17-bit)
16   PDO_Write(0x6040, 0x001F); // Enable + New Setpoint (bit4
=1)
17
18   // 5. 等待到达
19   while(!(PDO_Read(0x6041) & 0x0400)) {
20       // Wait for Target Reached (bit10)
21   }
22
23   // 6. 准备下一个运动: 清除 bit4
24   PDO_Write(0x6040, 0x000F);
25
26   // 7. 设置新目标并再次触发
27   PDO_Write(0x607A, 0); // Target: back to zero
28   PDO_Write(0x6040, 0x001F); // Trigger new setpoint
```

29

Listing 2: PP 模式操作示例

0.41 示例 3: PVT/MIT 模式阻抗控制

Section 3: PVT/MIT Mode Impedance Control

```

1      // 1. 在 PreOP 状态配置 PDO 映射为 0x1601
2      SDO_Write(0x1C12, 0x00, 0);          // Clear
3      SDO_Write(0x1C12, 0x01, 0x1601);    // Use Mapping 1
4      SDO_Write(0x1C12, 0x00, 1);          // Activate
5
6      // 2. 设置运行模式为 PVT
7      SDO_Write(0x6060, 0x00, 5);          // Mode = PVT
8
9      // 3. CiA402 使能
10     PDO_Write(0x6040, 0x0006);
11     PDO_Write(0x6040, 0x0007);
12     PDO_Write(0x6040, 0x000F);
13
14     // 4. 周期发送 PVT 控制命令
15     while(running) {
16         PDO_Write(0x607A, target_pos);    // Position (increments)
17         PDO_Write(0x60FF, target_vel);    // Velocity (inc/s)
18         PDO_Write(0x6071, torque_ff);     // Torque FF (permille)
19         PDO_Write(0x2000, kp * 1000);     // KP (x1000)
20         PDO_Write(0x2001, kd * 1000);     // KD (x1000)
21     }
22

```

Listing 3: PVT/MIT 模式操作示例

0.42 示例 4: 通过 SDO 调节 PID 参数

Section 4: Adjusting PID Parameters via SDO

```

1      // 读取当前 PID 参数
2      cur_kp = SDO_Read_Float(0x2002, 0x00); // CUR_LOOP_KP
3      cur_ki = SDO_Read_Float(0x2003, 0x00); // CUR_LOOP_KI

```

```
4      spd_kp = SDO_Read_Float(0x2004, 0x00); // SPD_LOOP_KP
5      spd_ki = SDO_Read_Float(0x2005, 0x00); // SPD_LOOP_KI
6      pos_kp = SDO_Read_Float(0x2006, 0x00); // POS_LOOP_KP
7      pos_ki = SDO_Read_Float(0x2007, 0x00); // POS_LOOP_KI
8      pos_kd = SDO_Read_Float(0x2008, 0x00); // POS_LOOP_KD
9
10     // 修改速度环参数
11     SDO_Write_Float(0x2004, 0x00, 2.5); // SPD_KP = 2.5
12     SDO_Write_Float(0x2005, 0x00, 0.01); // SPD_KI = 0.01
13
14     // 保存参数到 Flash
15     SDO_Write(0x6040, 0x00, 0); // Step 1: ControlWord = 0
16     SDO_Write(0x6040, 0x00, 4096); // Step 2: ControlWord = 4096
17     SDO_Write(0x6040, 0x00, 0); // Step 3: ControlWord = 0 (
18     save)
```

Listing 4: SDO 调节 PID 参数示例

故障处理

Chapter: Fault Handling

0.43 故障检测

Section: Fault Detection

驱动器通过以下方式报告故障：

The driver reports faults through the following methods:

- **Error Code (0x603F):** 返回具体的故障代码

Returns the specific fault code

- **运行模式回显 (0x6061):** 故障时返回 0

Modes of Operation Display: Returns 0 when a fault occurs

0.44 故障恢复流程

Section: Fault Recovery Procedure

1. 检查 Error Code (0x603F) 确认故障原因

Check Error Code (0x603F) to confirm the fault cause

2. 排除故障原因

Eliminate the fault cause

3. 发送 Fault Reset 命令：设置控制字 Bit7 (0x0080)

Send Fault Reset command: Set ControlWord Bit7 (0x0080)

4. 驱动器执行系统复位

Driver performs system reset

5. 等待驱动器重新初始化

Wait for driver re-initialization

6. 重新执行 CiA402 状态机使能序列

Re-execute CiA402 state machine enable sequence

警告

Fault Reset 会触发系统复位，驱动器将重新初始化。所有运行时参数将恢复为默认值，需要重新配置。

Fault Reset triggers a system reset, and the driver will re-initialize. All runtime parameters will be restored to default values and need to be reconfigured.