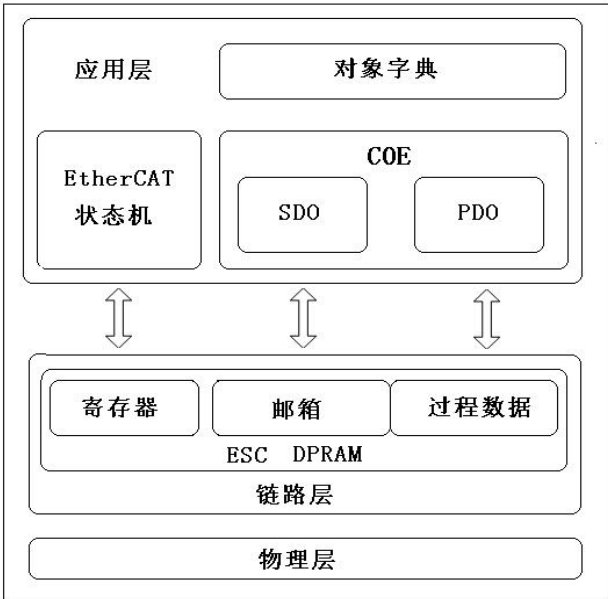


1 EtherCAT 通信基础

1.1 EtherCAT 通讯规范

项目		规格
通讯协议		CiA 402 Drives and motion control device profile
应用层	SDO	SDO 请求、SDO 应答
	PDO	可变PDO 映射
	支持的CiA402 控制模式	轮廓位置模式(PP) 轮廓速度模式(PV) 轮廓转矩模式(PT) 原点回归模式(HM) 同步周期位置模式 (CSP) 同步周期速度模式 (CSV) 同步周期转矩模式 (CST)
物理层	传输协议	100BASE-TX
	最大距离	100M
	接口	RJ45 * 2 (INT、OUT)

1.2 CANopen over EtherCAT的通信结构



本系列伺服驱动器使用的是CiA 402驱动程序。
应用层包含了EtherCAT状态机，对象字典。对象字典中又包含有过程数据PDO映射以

及SDO服务。

PDO过程数据是伺服控制的实时数据，主站通过周期性修改获取PDO数据，从而达到控制伺服的目的。

SDO是非周期性数据，主要是用于配置PDO映射和修改获取对象字典。

1.3 EtherCAT状态机

以下为EtherCAT 状态转换框图：

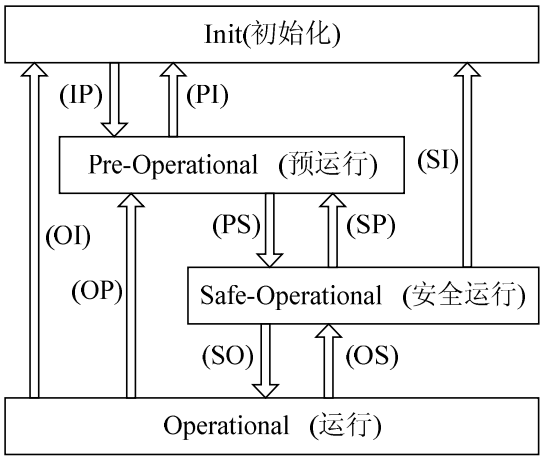


图 EtherCAT 状态

EtherCAT 设备必须支持 4 种状态，负责协调主站和从站应用程序在初始化和运行时的状态关系。

Init: 初始化，简写为I;

Pre-Operational: 预运行，简写为P;

Safe- Operational: 安全运行，简写为S;

Operational: 运行，简写为O。

状态	说明
Init	设备初始化，无法启动SDO和PDO
Pre-Operational	当前状态可以使用SDO
Safe- Operational	可以读取PDO输入数据(TxPDO) 不能接收PDO输出数据(RxPDO) 可以使用SDO服务
Operational	进行周期性通信数据TxPDO/RxPDO

状态切换	说明
IP	开始SDO通信
PI	中断SDO通信
PS	开始更新输入数据TxPDO
SP	终止更新输入数据TxPDO
SO	开始更新输出数据RxPDO
OS	终止更新输出数据RxPDO
OP	终止更新输入TxPDO/输出数据RxPDO
SI	终止更新输入数据TxPDO及SDO通信
OI	终止更新输入TxPDO/输出数据RxPDO及SDO通信

1.4 过程数据PDO

PDO(Process Data Object)是实时过程数据传输，分为TxPDO和RxPDO。TxPDO是驱动器反馈数据到主站，RxPDO是主站发送控制参数命令道驱动器。

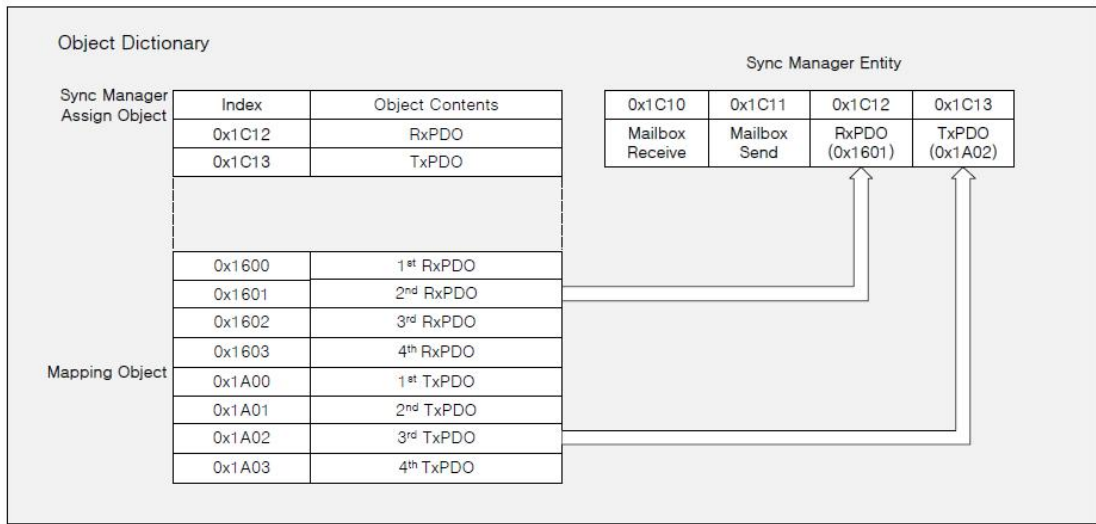
1.4.1 PDO映射

本系列驱动器提供了各4组PDO配置，每组PDO均可自由配置，每个PDO可以最多配置20个对象。其中0x1600~0x1603是配置RPDO，0x1A00~0x1A03是配置TPDO。

PDO映射关系如下所示：

RxPDO	对象字典
0x1600	0x6040 控制字
	0x607A 给定位置
	0xYYYY
TxPDO	对象字典
0x1A00	0x6041 状态字
	0x6064 实际反馈位置
	0xYYYY

1.4.2 SyncManager PDO同步管理分配



1.5 DC(Distributed Clock)分布式时钟

DC是为了实现主站-从站、从站-从站共享时间基准而做，从时钟是根据Sync0事件实现同步。

1.6 EtherCAT物理连接状态

本系列驱动器使用的是**5**位数码管显示，**LED**的第五位数码管的中间横杠‘-’表示**IN**口的连接状态，下横杠‘_’表示**OUT**口的连接状态。

长暗：物理层未检测到通信连接

长亮：物理层已建立通信连接

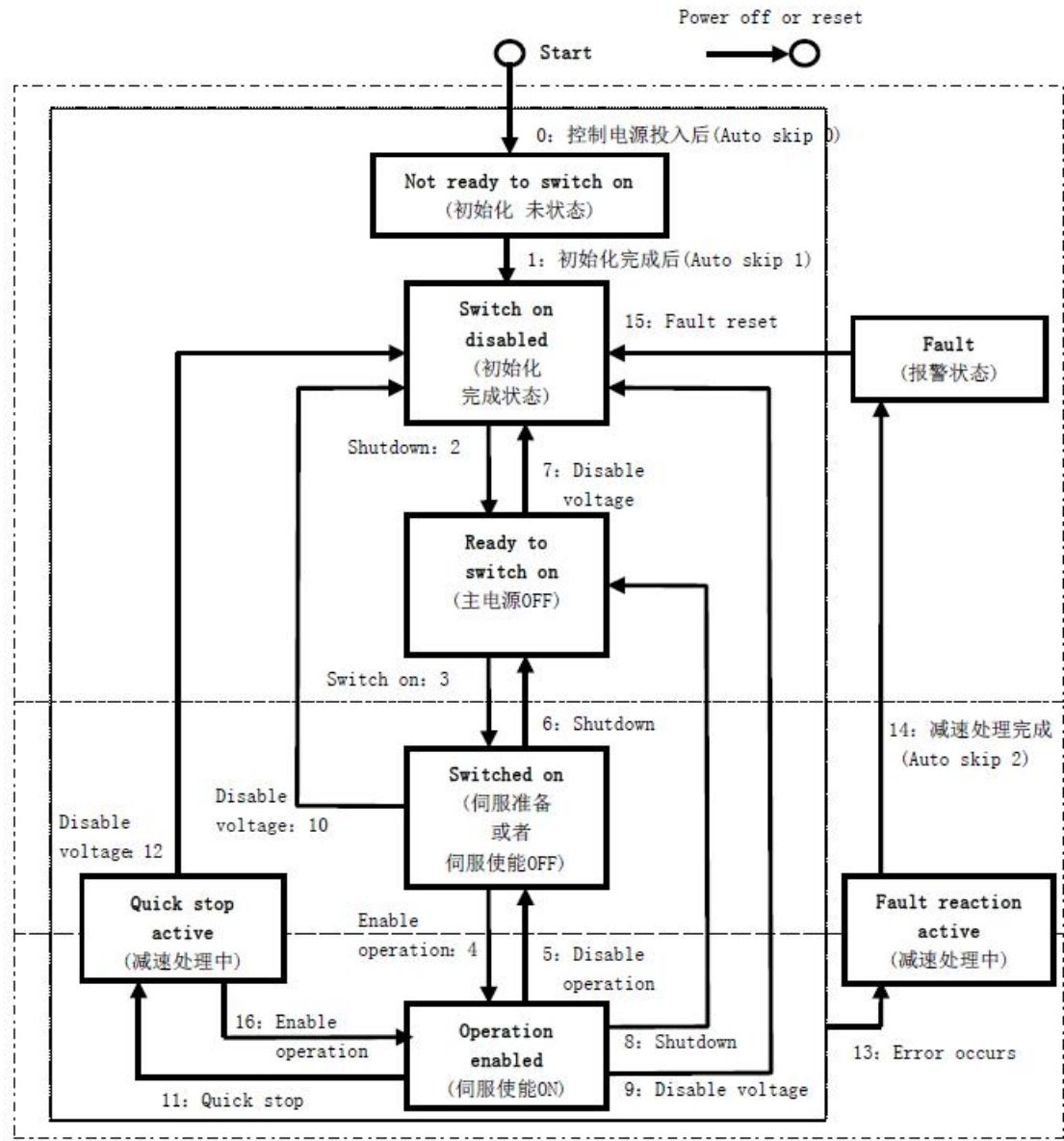
1.7 EtherCAT通信运行状态

LED数码显示管第**4**位表示**EtherCAT**通信运行状态。

状态	面板显示	描述	SDO	RxPDO	TxPDO
初始化	1	通信初始化	N	N	N
预运行	2	初始化网络通信	Y	N	N
安全运行	4	可以使用 SDO 和 TxPDO ，以及分布式同步时钟	Y	N	Y
运行	8	正常运行状态	Y	Y	Y
初始化错误	F	初始化故障			

2. CiA 402运控控制描述

2.1 状态机(state machine)



状态	说明
初始化	伺服初始化 伺服的参数不能设置，不能执行驱动指令功能
初始化完成	伺服初始化完成，可以设置伺服参数
伺服准备好	当前状态可以开启主电源，可以设置伺服参数 驱动器处于未激活状态
等待伺服使能	主电源OK，可以设置伺服参数 等待伺服使能
伺服使能	伺服使能，按照设置的模式运行

快速停机	快速停机功能被激活，驱动器正在执行快速停机功能
故障停机	驱动器发生故障，正在执行故障停机过程中
报警状态	故障停机完成，所有驱动功能均被禁止，同时允许更改驱动器参数以便排除故障

2.2 状态机控制命令

状态切换		0x6040控制字	0x6041状态字
0	上电->初始化	自然过渡，无需控制指令	0x0000
1	初始化->伺服无故障	自然过渡，无需控制指令 若初始化中发生错误，直接进入13	0x0250
2	伺服无故障->伺服准备好	0x0006	0x0231
3	伺服准备好->等待打开伺服使能	0x0007	0x0233
4	等待打开伺服使能 ->伺服运行	0x000F	0x0237
5	伺服运行->等待打开伺服使能	0x0007	0x0233
6	等待打开伺服使能 ->伺服准备好	0x0006	0x0231
7	伺服准备好->伺服无故障	0x0000	0x0250
8	伺服运行->伺服准备好	0x0006	0x0231
9	伺服运行->伺服无故障	0x0000	0x0250
10	等待打开伺服使能 ->伺服无故障	0x0000	0x0250
11	伺服运行->快速停机	0x0002	0x0217
12	快速停机->伺服无故障	快速停机方式 605A 选择为 0~3，停机完成后，自然过渡，无需控制指令	0x0250
13	->故障停机	除“故障”外其他任意状态下，伺服驱动器一旦发生故障，自动切换到故障停机状态，无需控制指令	0x021F
14	故障停机->故障	故障停机完成后，自然过渡，无需控制指令	0x0218
15	故障->伺服无故障	0x0080 bit7 上升沿有效； bit7 保持为 1，其他控制指令均无效。	0x0250
16	快速停机->伺服运行	快速停机方式605A 选择为5~7，停机完成后，发送 0x0F	0x0237

2.2.1 控制字0x6040

15~9	8	7	6~4	3	2	1	0
N/A	Halt	Fault reset	Operation Mode specific	Enable operation	Quick Stop (B-contact)	Enable voltage	Switch on

2.2.2 状态字0x6041

bit	名称	描述
0	伺服无故障	
1	等待打开 伺服使能	
2	伺服运行	
3	故障	
4	接通主回路电	
5	快速停机	
6	伺服准备好	
7	警告	
8	厂家自定义	预留，未定义
9	远程控制	0- 非远程控制模式 1--远程控制模式，本系列产品仅支持远程控制模式
10	目标到达	0---目标位置或速度未到达 1---目标位置或速度到达
11	软件内部位置超限	预留
12~13		与各伺服模式相关
14	NA	预留
15		预留

3. 运行模式

本系列驱动器支持的运行模式：

轮廓位置模式(PP)

轮廓速度模式(PV)

轮廓转矩模式(PT)

原点回归模式(HM)

同步周期位置模式(CSP)

同步周期速度模式(CSV)

同步周期转矩模式(CST)

3.1 轮廓位置模式(PP)

此模式主要用于点对点定位应用。此模式下，上位机给目标位置(绝对或者相对)、位置曲线的速度、加减速及减速度，伺服内部的轨迹发生器将根据设置生成目标位置曲线指令，驱动器内部完成位置控制，速度控制，转矩控制。

3.1.1 相关控制对象

Index	Sub	名称	Units	Data Type	Access	PDO
6040h	00h	Controlword		U16	rw	RxPDO
6072h	00h	Max torque	0.1%	U16	rw	RxPDO
607Ah	00h	Target position	指令单位	I32	rw	RxPDO
607Fh	00h	Max profile velocity	指令单位/s	U32	rw	RxPDO
6081h	00h	Profile velocity	指令单位/s	U32	rw	RxPDO
6083h	00h	Profile acceleration	指令单位	U32	rw	RxPDO
6084h	00h	Profile deceleration	指令单位	U32	rw	RxPDO
6041h	00h	statusword		U16	ro	TxPDO
6064h	00h	Position actual value	Pulse	I32	ro	TxPDO

控制字 6040h

位	名称	描述
4	New set-point	此位从 0 到 1 的上升沿表征新的目标位置607Ah、速度6081h、加速度6083h 和减速度6084h 给定
5	Change set	设置位置指令更新模式
6	abs/rel	0: 绝对位置类型 1: 相对位置类型

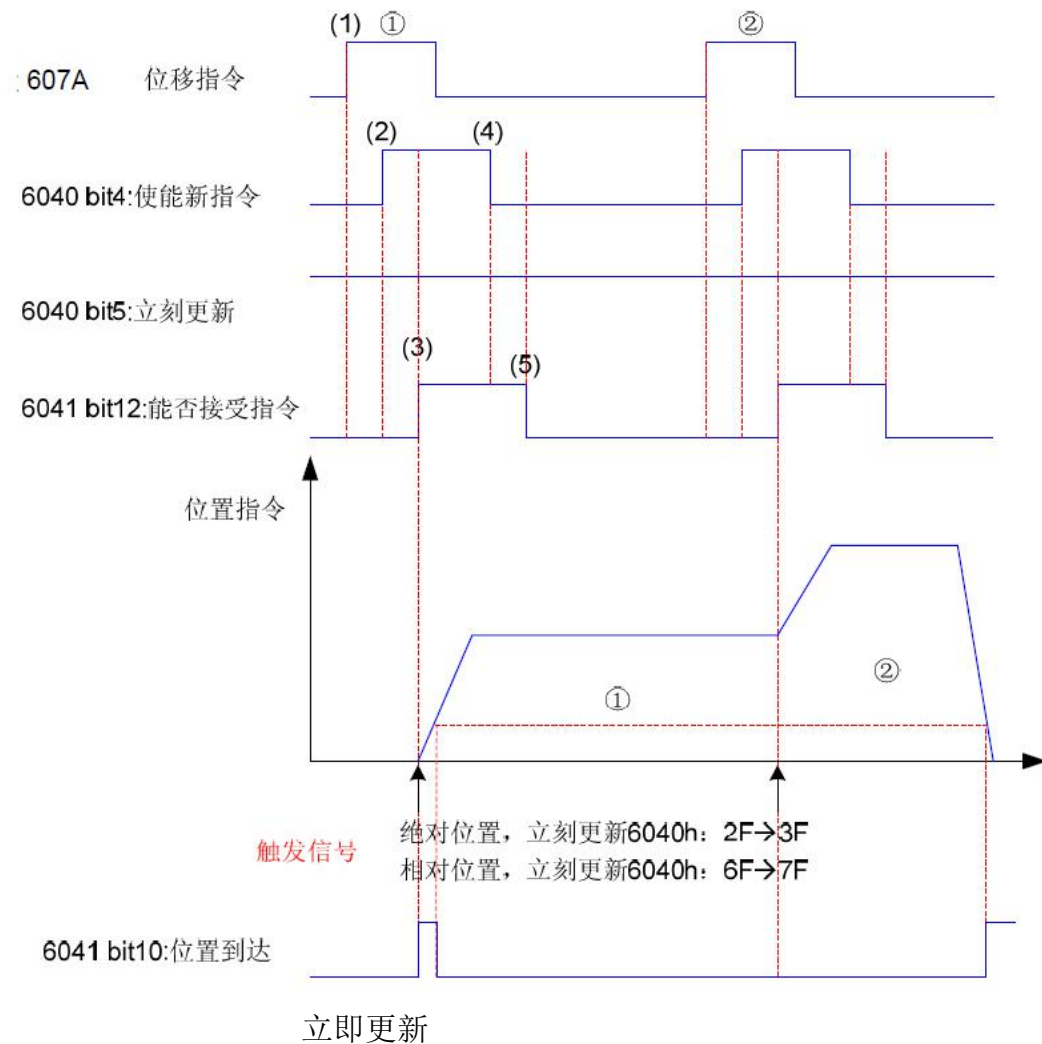
状态字 6041h

位	名称	描述
10	Target reached	0: 定位未完成 1: 定位完成
12	Set-point acknowledge	0: 等待接收新的目标位置 1: 更新目标位置

3.1.2 位置规划

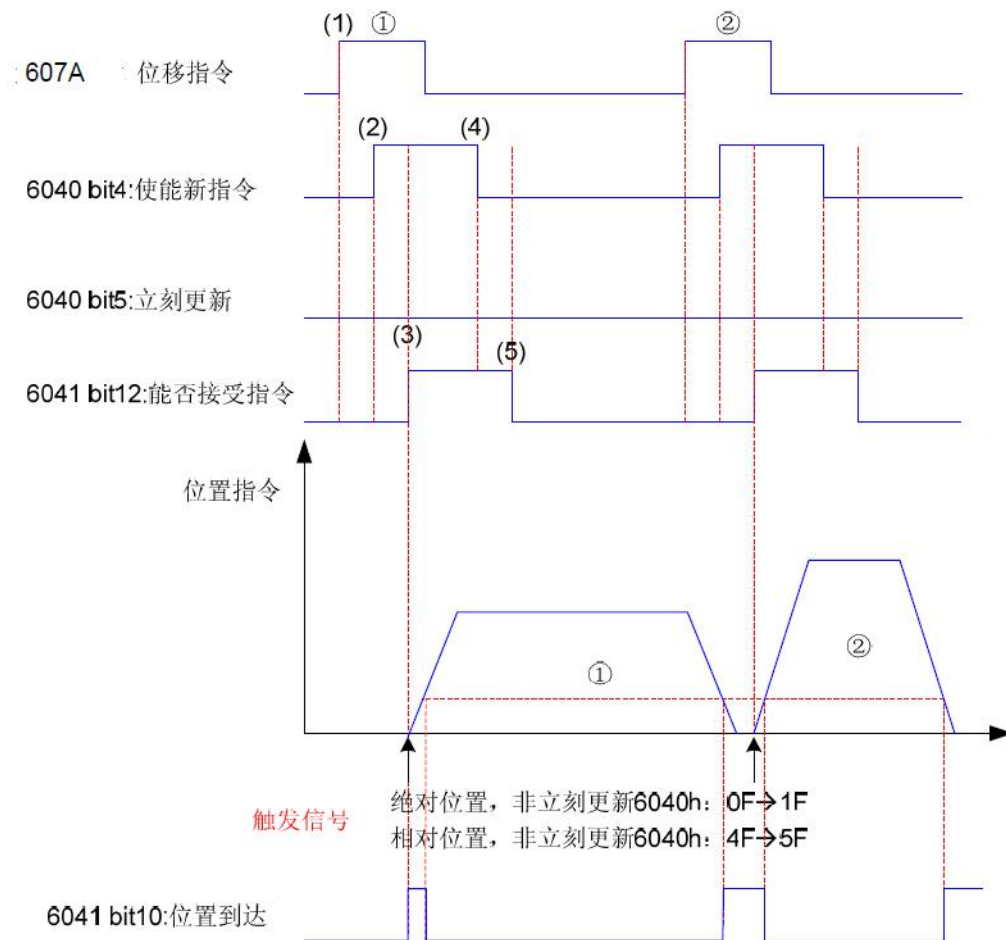
3.1.2.1 控制指令类型

控制指令按更新类型区分为立即更新和非立即更新；按照指令规划又可以分为绝对位置和相对位置。



立即更新

- 1). 设置目标位置607A
- 2). 6040 bit4使能新指令触发为1（需要上升沿来触发）
- 3). 通过查看6041bit10来确定是否定位完成



非立即更新

- 1).设置目标位置607A
- 2).查看6041bit12是否允许触发新的位置指令，如果可以则通过6040 bit4使能新指令触发为1（需要上升沿来触发）
- 3).通过查看6041bit10来确定是否定位完成

3.2 同步周期位置模式(CSP)

周期同步位置控制模式是按照主站的周期性的更新PDO来设置目标位置607A的运行模式。

3.2.1 相关控制对象

Index	Sub	名称	Units	Data Type	Access	PDO
6040h	00h	Controlword		U16	rw	RxPDO
6072h	00h	Max torque	0.1%	U16	rw	RxPDO
607Ah	00h	Target position	Pulse	I32	rw	RxPDO
6041h	00	statusword		U16	ro	TxPDO
6064h	00h	Position actual value	Pulse	I32	ro	TxPDO

轨迹规划来自上位机，多用于需要多轴联动的场合。

3.3 轮廓速度模式(PV)

在轮廓速度控制模式中，速度到达目标速度(60FF)为止，最高速度受设置的最高速度(607F)限制。

3.3.1 相关的控制对象

Index	Sub	名称	Units	Data Type	Access	PDO
6040h	00h	Controlword		U16	rw	RxPDO
6072h	00h	Max torque	0.1	U16	rw	RxPDO
607Fh	00h	Max profile velocity	pps	u32	rw	RxPDO
60FFh	00h	Targei velocity	pps	I32	rw	RxPDO
606Ch	00h	Velocity actual value	pps	I32	ro	TxPDO

3.4 轮廓速度模式(PV)

在轮廓速度控制模式中，速度到达目标速度(60FF)为止，最高速度受设置的最高速度(607F)限制。

3.4.1 相关的控制对象

Index	Sub	名称	Units	Data Type	Access	PDO
6040h	00h	Controlword		U16	rw	RxPDO
6072h	00h	Max torque	0.1%	U16	rw	RxPDO
607Fh	00h	Max profile velocity	pps	u32	rw	RxPDO
60FFh	00h	Targei velocity	pps	I32	rw	RxPDO
606Ch	00h	Velocity actual value	pps	I32	ro	TxPDO

3.5 轮廓转矩控制模式(PT)

在轮廓转矩控制模式中，指导转矩到达目标转矩(6071)为止，最高速度受设置的最高速度(607F)限制和电机转速(6080)限制。

3.5.1 相关的控制对象

Index	Sub	名称	Units	Data Type	Access	PDO
6040h	00h	Controlword		U16	rw	RxPDO
6071h	00h	Target torque	0.1‰	U16	rw	RxPDO
6072h	00h	Max torque	0.1%	U16	rw	RxPDO
6080h	00h	Motor velocity	rpm	U16	rw	RxPDO
607Fh	00h	Max profile velocity	pps	U32	rw	RxPDO
6074h	00h	Torque actual value	0.1%	I32	ro	TxPDO
606Ch	00h	Velocity actual value	pps	I32	ro	TxPDO

3.6 同步周期转矩控制模式(CST)

在周期转矩控制模式中，指导转矩到达目标转矩(6071)为止，最高速度受设置的最高速度(607F)限制和电机转速(6080)限制。

3.6.1 相关的控制对象

Index	Sub	名称	Units	Data Type	Access	PDO
6040h	00h	Controlword		U16	rw	RxPDO
6071h	00h	Target torque	0.1‰	U16	rw	RxPDO
6072h	00h	Max torque	0.1%	U16	rw	RxPDO
6080h	00h	Motor velocity	rpm	U16	rw	RxPDO
607Fh	00h	Max profile velocity	pps	U32	rw	RxPDO
6041h	00h			U16	ro	TxPDO
6074h	00h	Torque actual value	0.1%	I32	ro	TxPDO
606Ch	00h	Velocity actual value	pps	I32	ro	TxPDO

3.7 HM回原模式

相关的控制对象

Index	Sub	名称	Units	Data Type	Access	PDO
6040h	00h	Controlword		U16	rw	RxPDO
6098h	00h	Homing method		U16	rw	RxPDO
6099h	01h	Speed during search of switch	pp	U32	rw	RxPDO
6099h	02h	Speed during search of zero	pp	U32	rw	RxPDO
6041h	00h			U16	ro	TxPDO

3.7.1 各个回原方法时序

1).6098H=1 参考负限位和电机Z信号

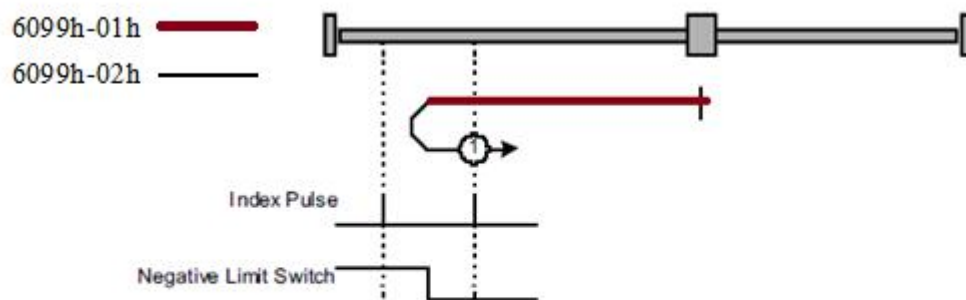


Figure 22: Homing on the negative limit switch and index pulse

伺服反向以6099h-01h速度开始回原，遇到负限位上升沿后，减速，反向，以6099h-02h速度找电机Z信号，遇到负限位下降沿后第一个电机Z信号停机，伺服回原完成。

2).6098H=2 参考正限位和电机Z信号

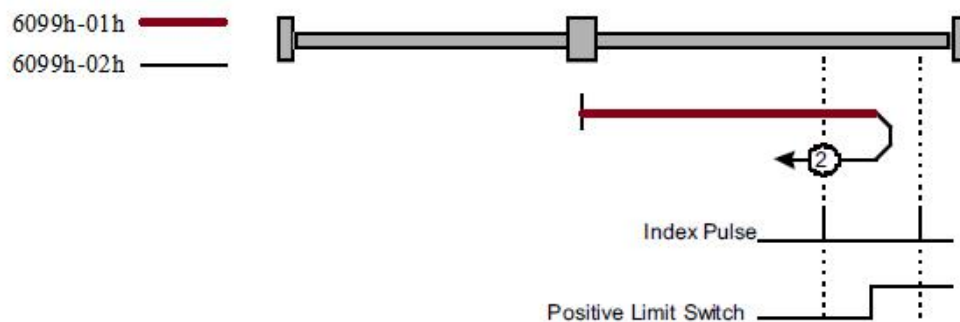


Figure 23: Homing on the positive limit switch and index pulse

伺服正向以6099h-01h速度开始回原，遇到正限位上升沿后，减速，反向，以6099h-02h速度找电机Z信号，遇到正限位下降沿后第一个电机Z信号停机，伺服回原完成。

3).6098H=3/4 参考原点信号和电机Z信号

方法7: 伺服正向以6099h-01h速度开始回原, 遇到原点开关上升沿后, 减速, 反向, 以6099h-02h速度找电机Z信号, 遇到原点开关下降沿后第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

方法8: 伺服正向以6099h-01h速度开始回原, 遇到原点开关上升沿后, 减速, 以6099h-02h速度找电机Z信号, 遇到第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

方法9: 伺服正向以6099h-01h速度开始回原, 遇到原点开关下降沿后, 减速, 反向, 以6099h-02h速度找电机Z信号, 遇到原点开关上升沿后第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

方法10: 伺服正向以6099h-01h速度开始回原, 遇到原点开关上升沿后, 减速, 反向, 以6099h-02h速度找电机Z信号, 遇到原点开关下降沿后第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

B: 起始位置在原点开关右侧

方法7: 伺服正向以6099h-01h速度开始回原, 遇到限位开关上升沿后, 减速, 反向, 以6099h-01h速度找原点开关, 遇到原点开关下降沿后, 减速, 以6099h-02h速度找电机Z信号, 遇到第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

方法8: 伺服正向以6099h-01h速度开始回原, 遇到限位开关上升沿后, 减速, 反向, 以6099h-01h速度找原点开关, 遇到原点开关上升沿后, 减速, 反向, 以6099h-02h速度找电机Z信号, 遇到原点开关上升沿后第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

方法9: 伺服正向以6099h-01h速度开始回原, 遇到限位开关上升沿后, 减速, 反向, 以6099h-01h速度找原点开关, 遇到原点开关上升沿后, 减速, 以6099h-02h速度找电机Z信号, 遇到第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

方法10: 伺服正向以6099h-01h速度开始回原, 遇到限位开关上升沿后, 减速, 反向, 以6099h-01h速度找原点开关, 遇到原点开关上升沿后, 减速, 反向, 以6099h-02h速度找电机Z信号, 遇到原点开关上升沿后第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

C: 起始位置在原点开关上

方法7: 伺服反向以6099h-02h速度开始回原, 遇到原点开关下降沿后第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

方法8: 伺服反向以6099h-02h速度开始回原, 遇到原点开关下降沿后, 减速, 反向, 遇到原点开关上升沿后第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

方法9: 伺服正向以6099h-02h速度开始回原, 遇到原点开关下降沿后第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

方法10: 伺服正向以6099h-02h速度开始回原, 遇到原点开关下降沿后第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

6).6098=11/12/13/14 参考负限位、原点信号和电机Z信号

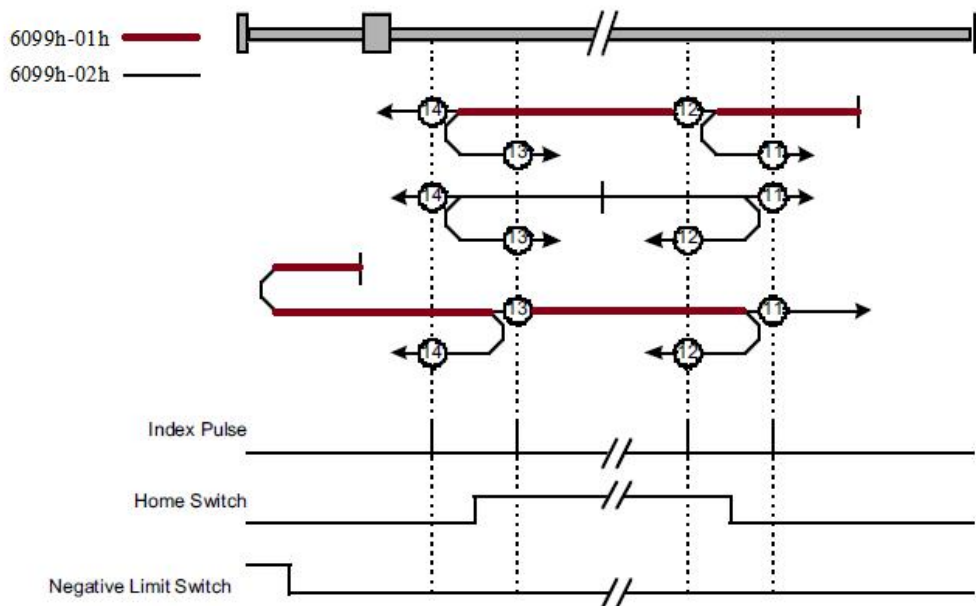


Figure 27: Homing on the home switch and index pulse - negative initial move

A: 起始位置在零点开关左侧

方法11: 伺服反向以6099h-01h速度开始回原，遇到限位开关上升沿后，减速，反向，继续以6099h-01h速度找原点开关，遇到原点开关下降沿后，减速，以6099h-02h速度找电机Z信号，遇到第一个电机Z信号停机，伺服回原完成。

方法12: 伺服反向以6099h-01h速度开始回原，遇到限位开关上升沿后，减速，反向，继续以6099h-01h速度找原点开关，遇到原点开关下降沿后，减速，反向，以6099h-02h速度找电机Z信号，遇到原点开关上升沿后第一个电机Z信号停机，伺服回原完成。

方法13: 伺服反向以6099h-01h速度开始回原，遇到限位开关上升沿后，减速，反向，继续以6099h-01h速度找原点开关，遇到原点开关上升沿后，减速，以6099h-02h速度找电机Z信号，遇到第一个电机Z信号停机，伺服回原完成。

方法14: 伺服反向以6099h-01h速度开始回原，遇到限位开关上升沿后，减速，反向，继续以6099h-01h速度找原点开关，遇到原点开关上升沿后，减速，反向，以6099h-02h速度找电机Z信号，遇到原点开关下降沿后第一个电机Z信号停机，伺服回原完成。

B: 起始位置在零点开关右侧

方法11: 伺服反向以6099h-01h速度开始回原，遇到原点开关上升沿后，减速，反向，以6099h-02h速度找电机Z信号，遇到原点开关下降沿后第一个电机Z信号停机，伺服回原完成。

方法12: 伺服反向以6099h-01h速度开始回原，遇到原点开关上升沿后，减速，以6099h-02h速度找电机Z信号，遇到第一个电机Z信号停机，伺服回原完成。

方法13: 伺服反向以6099h-01h速度开始回原，遇到原点开关下降沿后，减速，反向，以6099h-02h速度找电机Z信号，遇到原点开关上升沿后第一个电机Z信号停机，伺服回原完成。

方法14: 伺服反向以6099h-02h速度开始回原，遇到原点开关下降沿后，减速，以6099h-02h速度找电机Z信号，遇到第一个电机Z信号停机，伺服回原完成。

C: 起始位置在零点开关上

方法11: 伺服正向以6099h-02h速度开始回原, 遇到原点开关下降沿后第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

方法12: 伺服正向以6099h-02h速度开始回原, 遇到原点开关下降沿后, 减速, 反向, 以6099h-02h速度找电机Z信号, 遇到原点开关上升沿后第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

方法13: 伺服反向以6099h-02h速度开始回原, 遇到原点开关下降沿后, 减速, 反向, 以6099h-02h速度找电机Z信号, 遇到第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

方法14: 伺服反向以6099h-02h速度开始回原, 遇到原点开关下降沿后第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

7).6098=15/16 预留

8).6098=17~30 与回原方式1~14运动曲线相同, 最后一步不用找Z相, 即遇到原点信号停下。

9).6098=31/32 预留

10).6098=33/34 参考电机Z信号

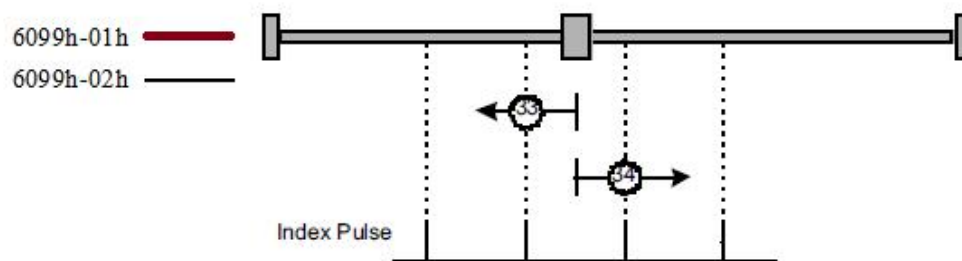


Figure 29: Homing on the index pulse

方法33: 电机反向以6099h-02h速度开始回原, 遇到第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

方法34: 电机正向以6099h-02h速度开始回原, 遇到第一个电机Z信号停机, 伺服回原完成。

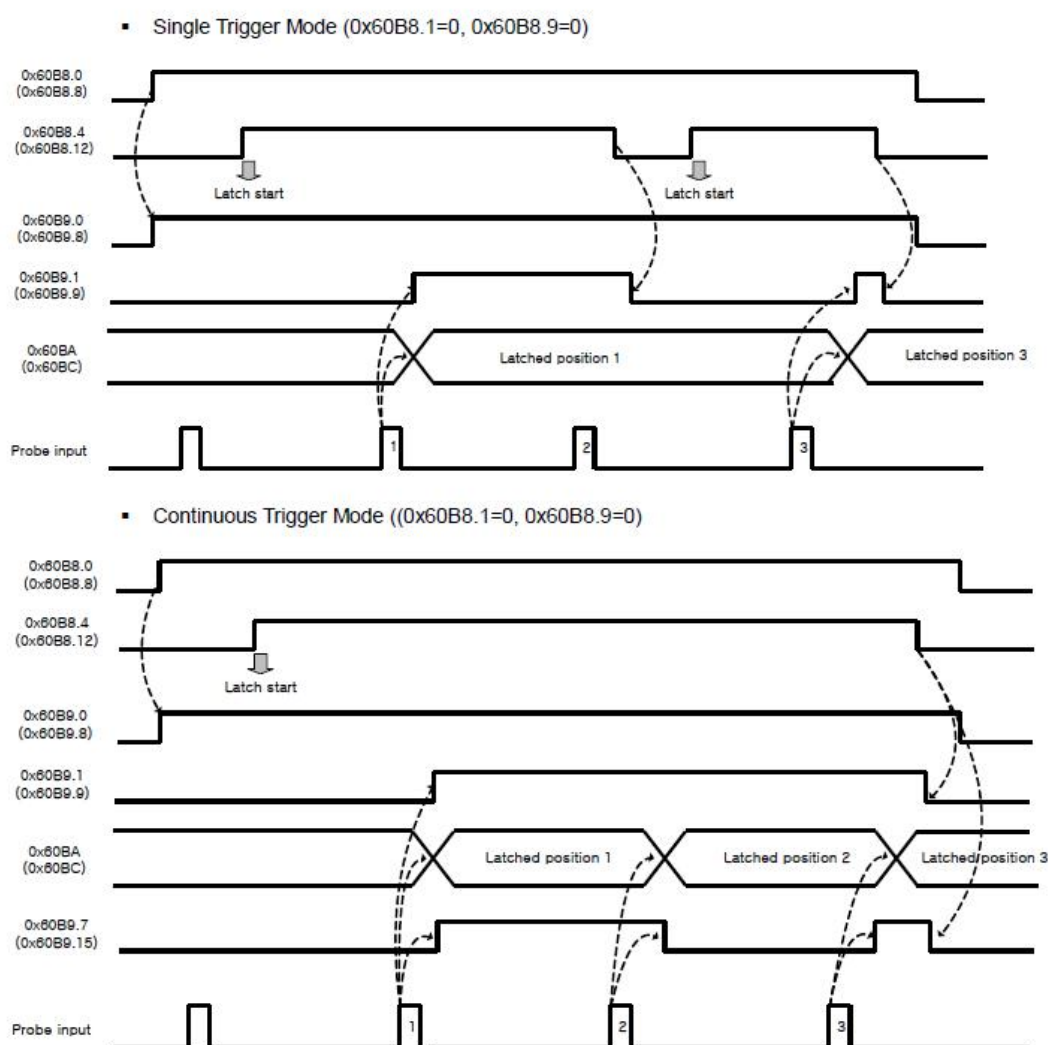
11).6098H=35 当前即是原点

3.8 探针捕捉功能

相关的控制对象

Index	Sub	名称	Units	Data Type	Access	PDO
60B8h	00h	Touch probe fucn controlword		U16	rw	RxPDO
60B9h	00h	Touch probe fucn status word		U16	ro	TxPDO
60BAh	00h	探针1上升沿触发位置	plus	U32	ro	TxPDO
60BBh	00h	探针1下降沿触发位置	plus	U32	ro	TxPDO
60BCh	00h	探针2上升沿触发位置	plus	U32	ro	TxPDO
60BDh	00h	探针2下降沿触发位置	plus	U32	ro	TxPDO

控制时序



4.0 对象字典

Index	Sub	名称	Units	Data Type	Access	PDO
603Fh	00h	错误信息			ro	RxPDO
6040h	00h	控制字			rw	
6041h	00h	状态字			ro	RxPDO
6060h	00h	控制模式			rw	
6061h	00h	实际控制模式			ro	RxPDO
6063h	00h	内部反馈位置			ro	RxPDO
6064h	00h	反馈位置			ro	RxPDO
606Bh	00h	速度指令			ro	RxPDO
606Ch	00h	实际反馈速度			ro	RxPDO
6071h	00h	目标转矩			rw	
6072h	00h	转矩限制			rw	
6074h	00h	转矩指令			rw	
6077h	00h	实际转矩			ro	RxPDO
607Ah	00h	目标位置			rw	
607Fh	00h	最大速度限制			rw	
6080h	00h	电机最大速度限制			rw	
6081h	00h	轮廓速度			rw	
6083h	00h	加速度			rw	
6084h	00h	减速度			rw	
6085h	00h	急停加速度			rw	
6098h	00h	回原方法			rw	
6099h	01h	回原搜索速度			rw	
6099h	02h	回原爬行速度			rw	
60B8h	00h	探针控制字			rw	
60B9h	00h	探针状态字			ro	RxPDO
60BAh	00h	探针1上升沿触发位置			ro	RxPDO
60BBh	00h	探针1下降沿触发位置			ro	RxPDO
60BCh	00h	探针2上升沿触发位置			ro	RxPDO
60BDh	00h	探针2下降沿触发位置			ro	RxPDO
60FDh	00h	数量输入			ro	RxPDO
60FFh	00h	目标速度			rw	RxPDO