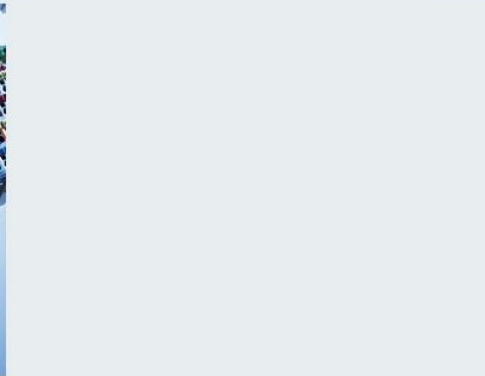
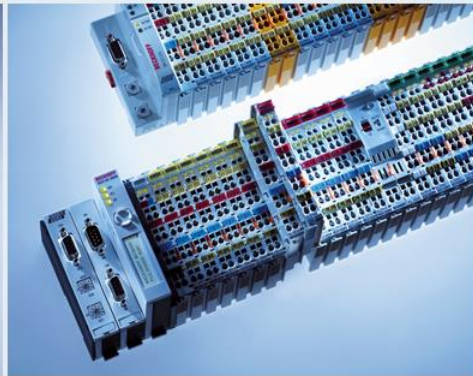
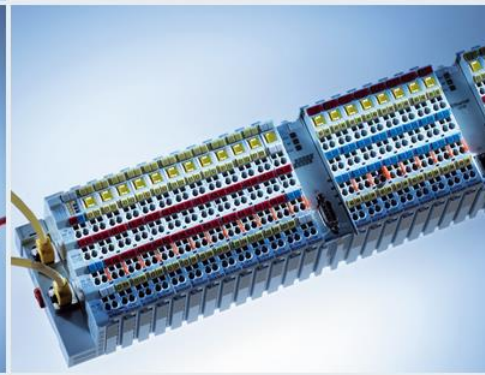
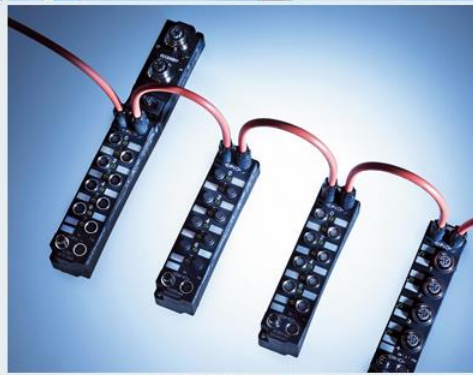
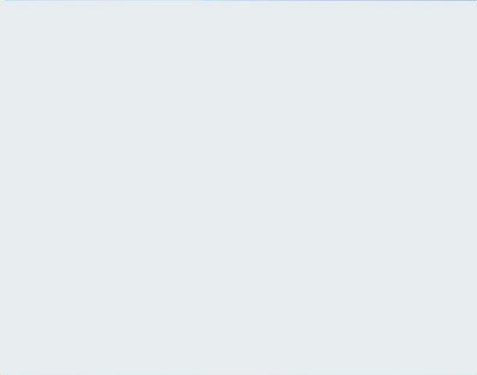
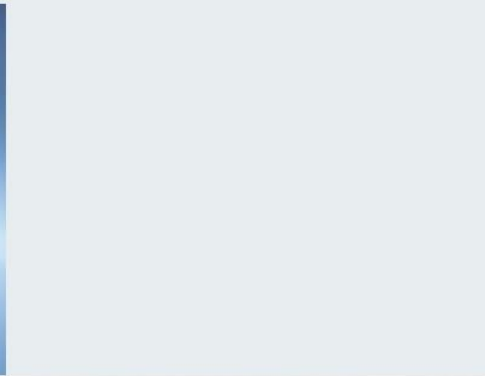


TwinCAT Camming 2012





凸轮功能一览

基本描述

- 凸轮设计编辑器
- 凸轮功能块库
- 问题
- 例子



凸轮运动

- 特点
- 电子凸轮是从机械凸轮演化来
- 凸轮表描述了两轴间一个非线性和线性的函数关系
- 使用轴的耦合指令
 - X = 主轴设定位置
 - Y = 从轴设定位置 $y=f(x)$,函数关系可以是任何复杂的函数关系,关键是要满足客户的工艺要求
电子齿轮是一种特殊的电子凸轮

类型

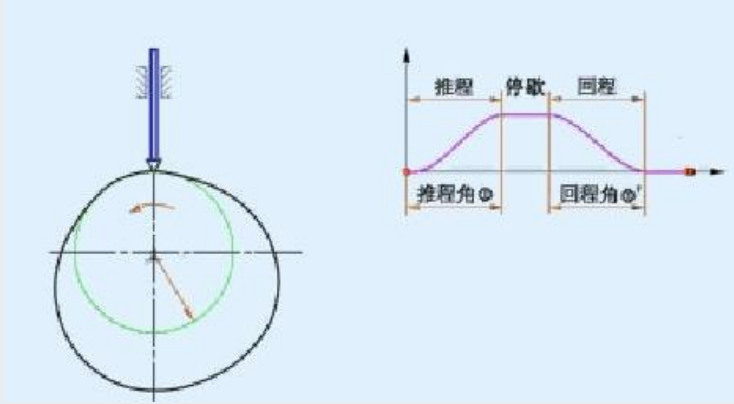
- **Classic position tables** 固定的位置凸轮表
- **Motion Functions** 可修改的位置凸轮表

操作方式

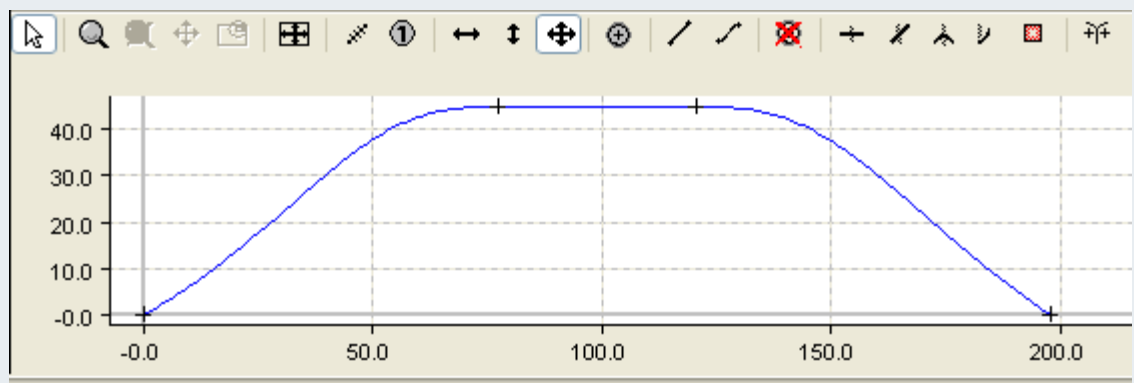
- 循环
- 线性



凸轮运动



机械凸轮盘



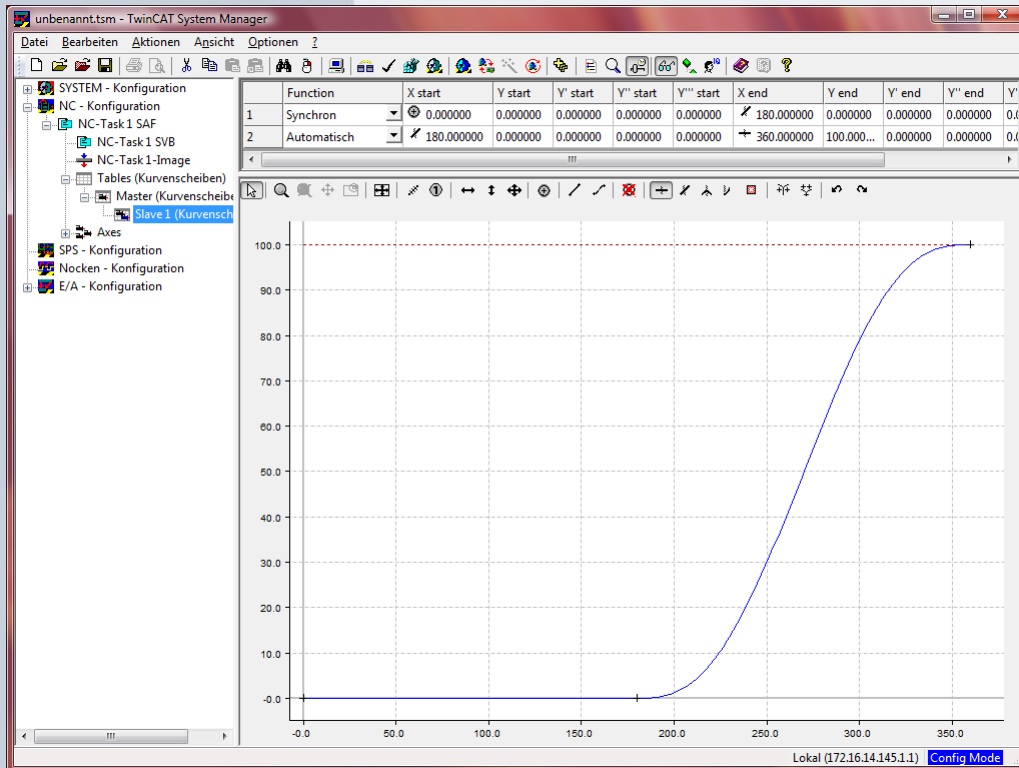
电子凸轮



凸轮运动

凸轮表的创建

- **TwinCAT** 凸轮设计编辑工具
- **PLC**程序中的凸轮计算
- 外部设计工具



凸轮编辑工具产生了：

- 固定的位置凸轮表
- 可修改的位置凸轮点
- 循环和非循环凸轮表

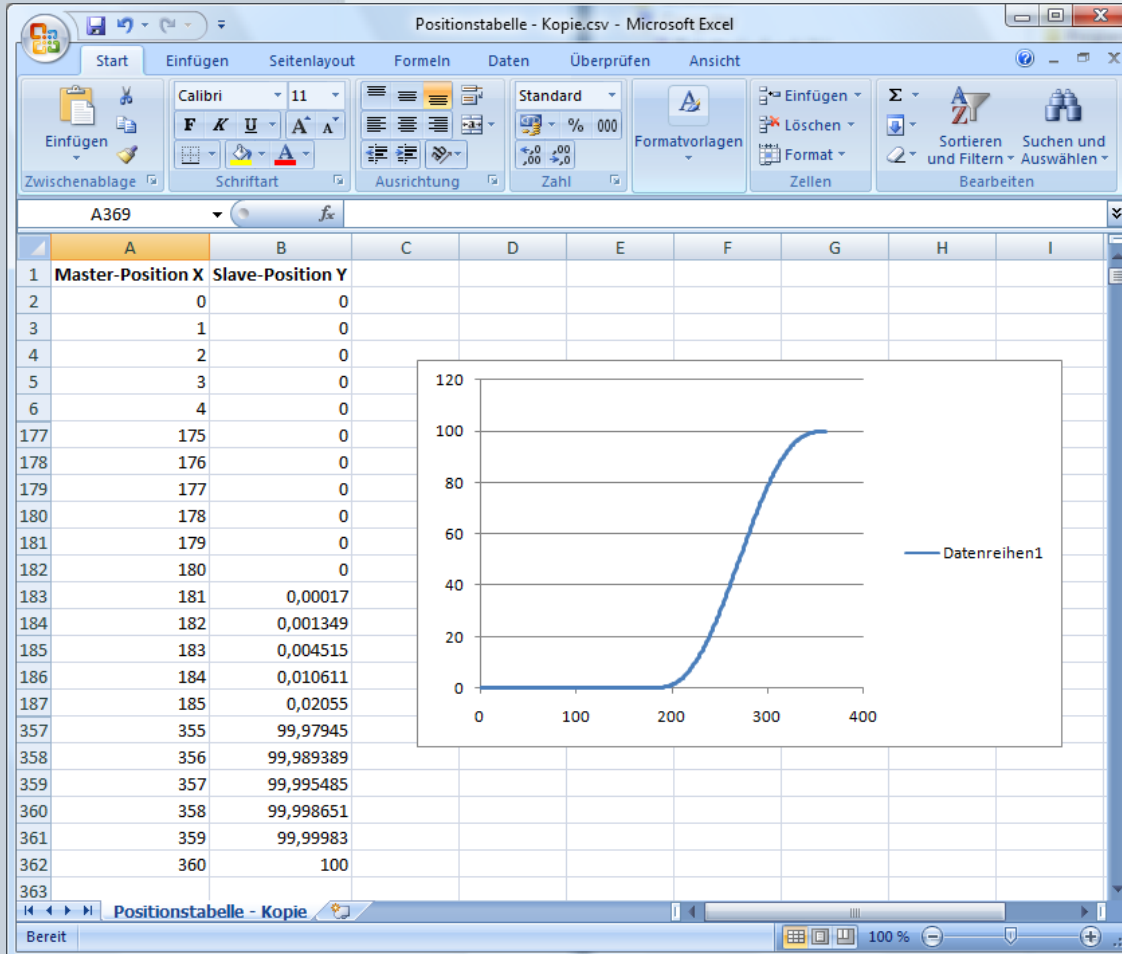
参数限制

- 位置的范围和动态性能(如加速度,加加速度)的限制



凸轮运动

固定的位置凸轮表

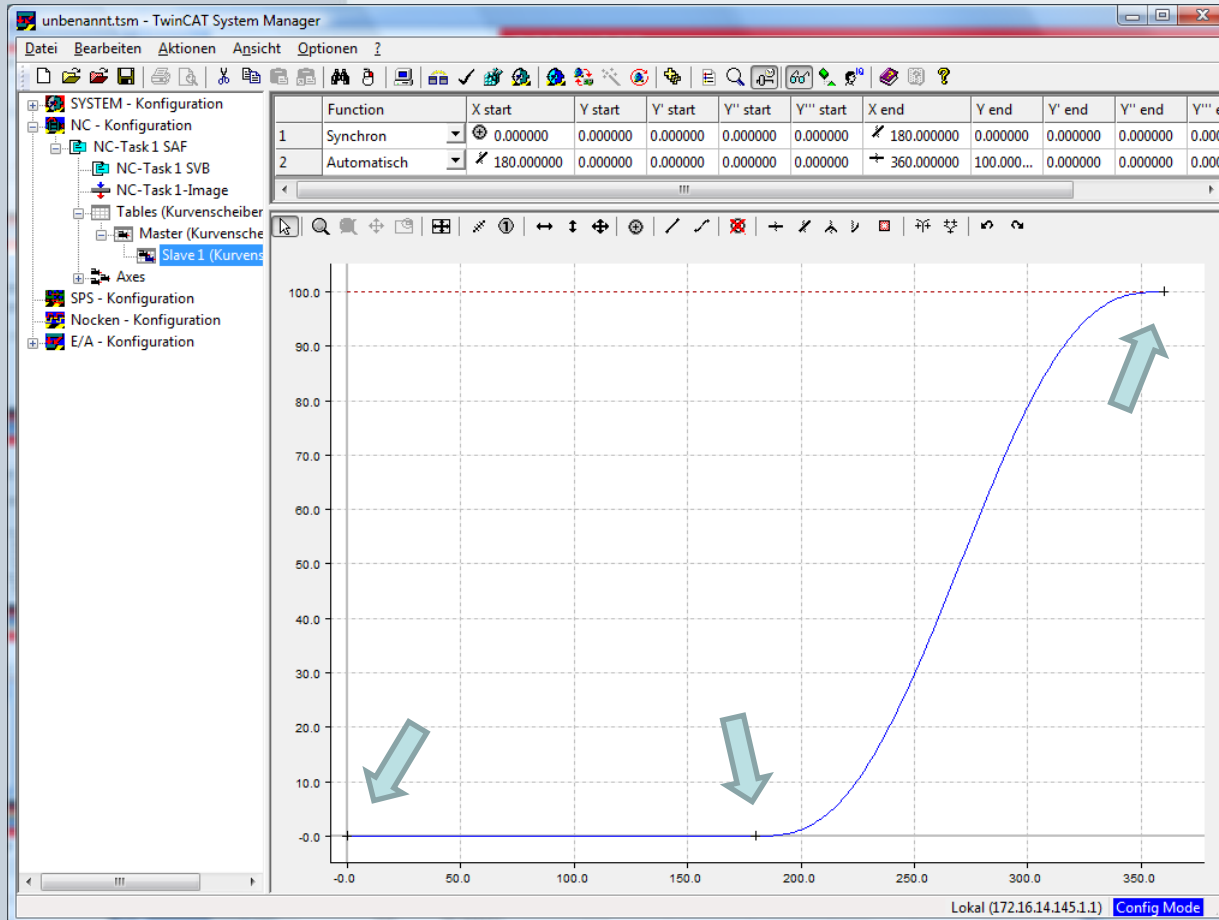


- 能够通过外部工具进行计算
- 不受限制的位置曲线规划
- 相比较Motion Function缺少一定的灵活性
- 没有在线修改的能力



凸轮运动

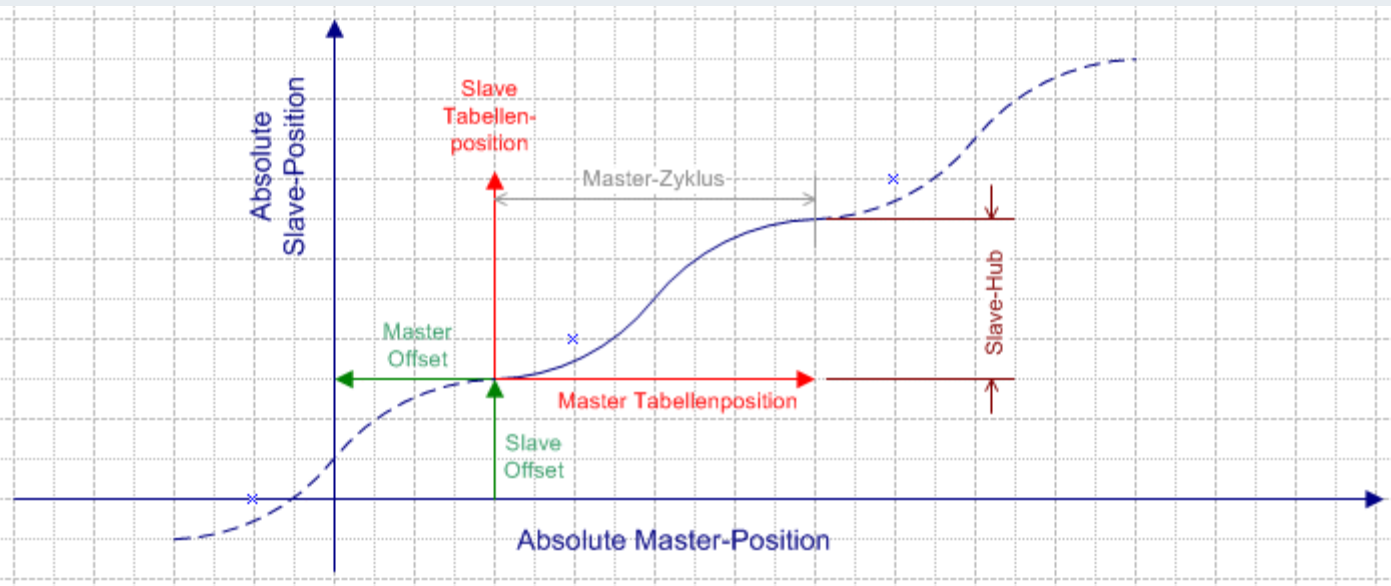
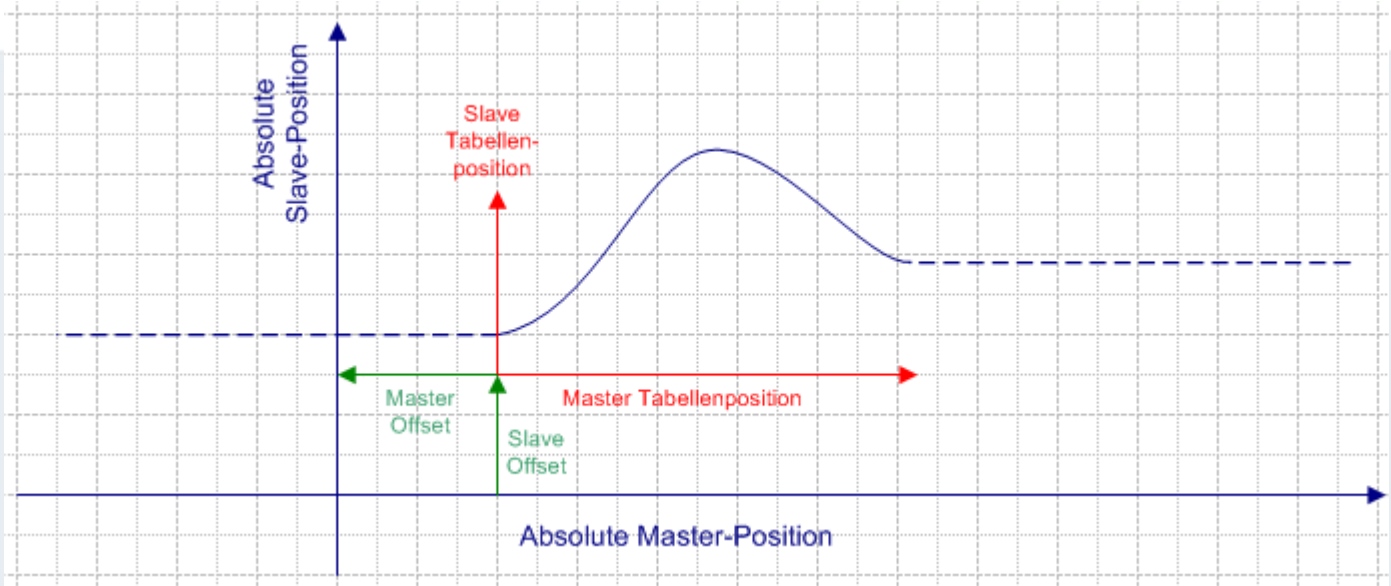
Motion Functions



- 非常灵活
- 在线修改的能力 (在运动中修改)
- 由几个重要的凸轮点组成的凸轮曲线
- 两个凸轮点之间的曲线类型是固定的, 不可变的.
(VDI 2143)

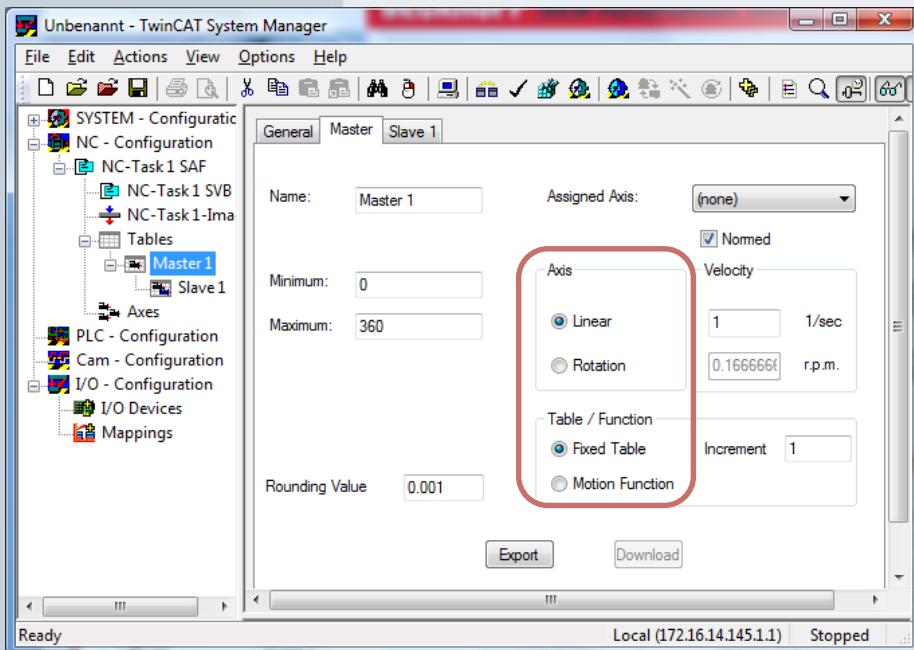


凸轮运动



TwinCAT 凸轮设计工具

- 凸轮设计工具是一个附加的产品,要另外进行安装
- 在**System Manager**内进行配置
- 从下列菜单中使用‘**Append Table**’ 添加凸轮表模板
- 使用‘**Append Slave**’添加凸轮表
- **Master1**是凸轮表的X轴, **Slave1**是凸轮表的Y轴



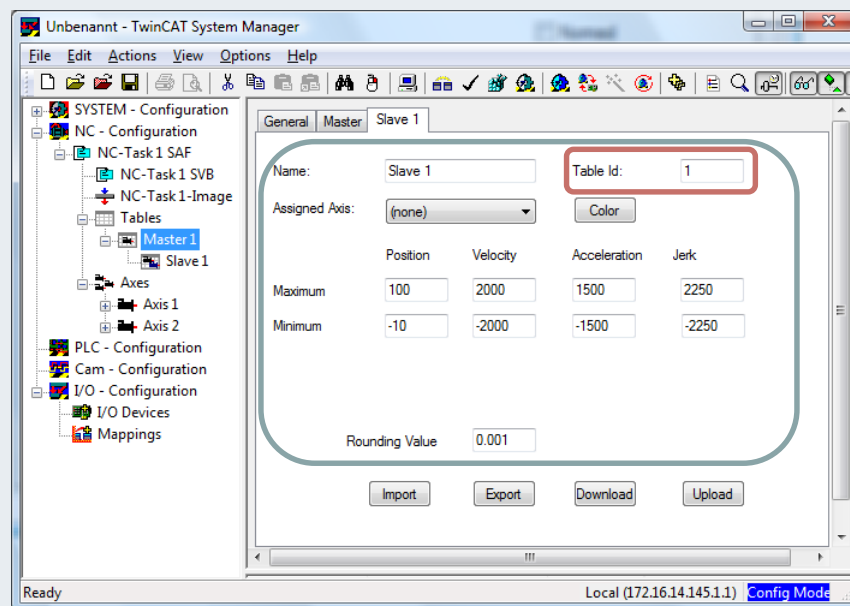
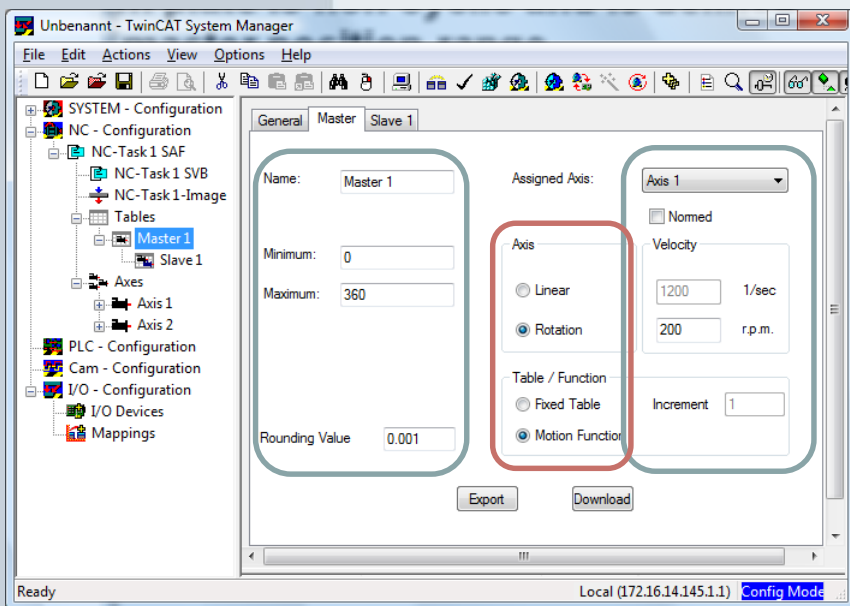
- **Rotation**的设定产生一个周期性重复的凸轮模板
- **Linear**凸轮模板是非循环的,在进入主轴的位置范围内才开始触发凸轮
- **Fixed Table**产生一个固定的位置凸轮模板
- **Motion function**产生一个可以灵活修改的凸轮模板



TwinCAT Cam Design Tool

主轴和从轴的参数

- 重要的凸轮表生成参数是 **linear/rotation, fixed table/motion function** 和 **Table-ID**
- 其他一些非重要参数,如位置,速度等上下限,一般按默认即可。





TwinCAT Cam Design Tool

Unbenannt - TwinCAT System Manager

File Edit Actions View Options Help

SYSTEM - Configuration

- NC - Configuration
 - NC-Task1 SAF
 - NC-Task1 SVB
 - NC-Task1-Image
 - Tables
 - Master 1
 - Slave 1
 - Axes
 - Axis 1
 - Axis 2
 - PLC - Configuration
 - Cam - Configuration
 - I/O - Configuration
 - I/O Devices
 - Mappings

	Function	X start	Y start	Y' start	Y'' start	Y''' start	X end	Y end	Y' end	Y'' end	Y''' end	Symmetry
1	Synchron	0.000000	0.0000...	0.000000	0.000000	0.000000	180.0000...	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.500000
2	Automatic	180.0000...	0.0000...	0.000000	0.000000	0.000000	360.0000...	100.00...	0.000000	0.000000	0.000000	0.500000

cam segments with start and end point

点的类型

线性或多项式线段

Local (172.16.14.145.1.1) Config Mode



TwinCAT Cam Design Tool

点的类型

- Rest points 速度为0,加速度为0
- Velocity points 速度不为0,加速度为0
- Motion Points 速度不为0,加速度不为0
- Turn points 速度为0, 加速度不为0

point types - boundary conditions of motion segments			velocity	acceleration	jerk
point types			$f' - v$	$f'' - a$	$f''' - J$
rest point		R	0	0	free
velocity point		V	≠ 0	0	free
turn point		T	0	≠ 0	free
motion point		M	≠ 0	≠ 0	free



VDI 2143 Point types and combinations

Transition		to			
from		Rest R	constant Velocity V	Turn T	Motion M
Rest	R	<p>R-R RR-Laws, P5MM,P7MM</p>	<p>R-V P5MM,P7MM</p>	<p>R-T RT-Laws, P5MM,P7MM</p>	<p>R-M P5MM,P7MM</p>
constant Velocity	V	<p>V-R P5MM,P7MM</p>	<p>V-V ModSineLine_VV,P5MM,P7MM</p>	<p>V-T VT-Laws, P5MM,P7MM</p>	<p>V-M P5MM,P7MM</p>
Turn	T	<p>T-R TR-Laws, P5MM,P7MM</p>	<p>T-V TV-Laws, P5MM,P7MM</p>	<p>T-T SineSyncCombi,P5MM,P7MM</p>	<p>T-M P5MM,P7MM</p>
Motion	M	<p>M-R P5MM,P7MM</p>	<p>M-V P5MM,P7MM</p>	<p>M-T P5MM,P7MM</p>	<p>M-M P5MM,P7MM</p>



VDI 2143 Motion Laws

- 运动曲线的定义基于VDI 2143
- 凸轮编辑器提供了**24**条运动曲线
- 每类曲线的左边和右边需要一定的边界条件 (**R, V, T, M**)
- **5次多项式函数曲线类型(Automatic)** 是最灵活的

Synchron
Automatic
 Polynom5
 Polynom3
 Polynom8
 Sinusline
 ModSinusline
 Bestehorn
 AccTrapezoid
 SinusSyncKombi
 ModSinusline_VV
 HarmonicKombi_RT
 HarmonicKombi_TR
 HarmonicKombi_VT
 HarmonicKombi_TV
 AccTrapezoid_RT
 AccTrapezoid_TR
 Polynom7_MM
 c.Acceleration
 Spline
 Spline Natural
 Spline Tangential
 Spline Periodic
 Polyline

运动规律	最大速度 v_{\max} ($h\omega / \delta_0$) \times	最大加速度 a_{\max} ($h\omega^2 / \delta_0^2$) \times	最大跃度 j_{\max} ($h\omega^3 / \delta_0^3$) \times	适用场合
等速运动	1.00	∞		低速轻载
等加速运动	2.00	4.00	∞	中速轻载
余弦加速度	1.57	4.93	∞	中低速重载
正弦加速度	2.00	6.28	39.5	中高速轻载
5次多项式	1.88	5.77	60.0	高速中载



VDI 2143 Motion Laws

Type in the Cam Design Editor	Description	Use	Left Border Condition	Right Border Condition
Synchron (Linear line)	Synchronous motion (constant gear ratio of 1:1 between master and slave is defined as a normalized velocity of 1)	RR, VV	v_start = v_end (v=const) a=0	v_start = v_end (v=const) a=0
Automatic (Polynom5_MM)	Automatic adaption to the boundary conditions (velocity, acceleration)	MM (always possible) RR, TT, RV, VR, RT, TR, RM, MR, VM, MV, TM, MT	M	M
Polynom3	Polynomial of degree 3	RR	R: v=0, a=0	R: v=0, a=0
Polynom5	Polynomial of degree 5 (limited rest to rest version)	RR	R: v=0, a=0	R: v=0, a=0
Polynom8	Polynomial of degree 8	RR	R: v=0, a=0	R: v=0, a=0
Sinusline	Simple Sine Line (see VDI 2143)	RR, TT	T: v=0	T: v=0
ModSinusline	Modified Sine Line (see VDI 2143)	RR	R: v=0, a=0	R: v=0, a=0
Bestehorn	Bestehorn Sine Line (see VDI 2143)	RR	R: v=0, a=0	R: v=0, a=0
AccTrapezoid	Acceleration Trapezoid	RR	R: v=0, a=0	R: v=0, a=0
SinusSyncKombi	Sine - Straight Line - combination	TT	T: v=0	T: v=0
ModSinusline_VV	Modified Sine Line from velocity to velocity	VV, RV, VR, RR	V: a=0	V: a=0
HarmonicKombi_RT	harmonic combination from rest to turn	RT	R: v=0, a=0	T: v=0
HarmonicKombi_TR	harmonic combination from turn to rest	TR	T: v=0	R: v=0, a=0
HarmonicKombi_VT	harmonic combination from velocity to turn	VT	V: a=0	T: v=0
HarmonicKombi_TV	harmonic combination from turn to velocity	TV	T: v=0	V: a=0
AccTrapezoid_RT	Acceleration Trapezoid from rest to turn	RT	R: v=0, a=0	T: v=0
AccTrapezoid_TR	Acceleration Trapezoid from turn to rest	TR	T: v=0	v=0; a=0
Polynom7_MM	Polynomial of degree 7 with adaption to the boundary conditions (velocity, acceleration and jerk)	MM (always possible) RR, TT, RV, VR, RT, TR, RM, MR, VM, MV, TM, MT	M	M
Spline	Inner section of a cubic spline			
Spline Natural	Start or end section of a natural cubic spline		requires MM function at the borders	requires MM function at the borders



TwinCAT Cam Design Tool

凸轮表中设计的凸轮曲线

- 凸轮表中的主轴和从轴位置是绝对值类型的
- 主从轴耦合以后,凸轮表中定制的凸轮位置能够被拉伸或收缩

- 从轴速度

$$v_S = v_M * v_{Editor}$$

- 从轴加速度

$$a_S = v_M^2 * a_{Editor}$$

- 从轴加加速度

$$j_S = v_M^3 * j_{Editor}$$



Motion Control Library

库的延伸- 凸轮运动库

- **TcMC2_Camming.lib**
- 每一个控制PC有一个运行授权
- 控制凸轮表的运动控制功能块
 - **MC_CamIn**
 - **MC_CamOut**
 - 凸轮表的缩放
 - 凸轮点的在线修改
 - 在线切换凸轮表



Cam Motion

功能块

- **MC_CamTableSelect**
 - 创建一个新的凸轮
 - 如果凸轮被凸轮编辑工具创建,则该指令无需使用
- **MC_CamIn** – 轴的耦合和凸轮的缩放
- **MC_CamInV2** 用于多个凸轮(凸轮的叠加)
- **MC_CamOut**
 - 轴的解耦
- **MC_CamScaling**
 - 凸轮的缩放
- **MC_ReadCamTableSlaveDynamics, MC_CamInfo**
 - 在一定的主轴位置中动态读取凸轮表中相应从轴的位置
- **MC_ReadCamTableCharacteristics**
 - 读取凸轮的一些属性,例如最大位置,最小位置,速度值等



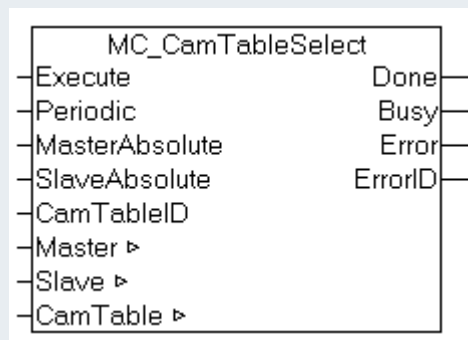
Cam Motion

Function blocks for Motion Functions

- ***MC_ReadMotionFunction, MC_ReadMotionFunctionPoint***
 - 读取运动功能参数到PLC中
- ***MC_WriteMotionFunction, MC_WriteMotionFunctionPoint***
 - 将运动功能参数写到NC环境中
- ***MC_ReadMotionFunctionValues***
 - 将描点法得到的凸轮曲线转换为很多个等间隔的点组成的凸轮曲线
 - 将凸轮表更加可视化的表现出来
- ***MC_CamScaling***
 - 运动功能块的缩放



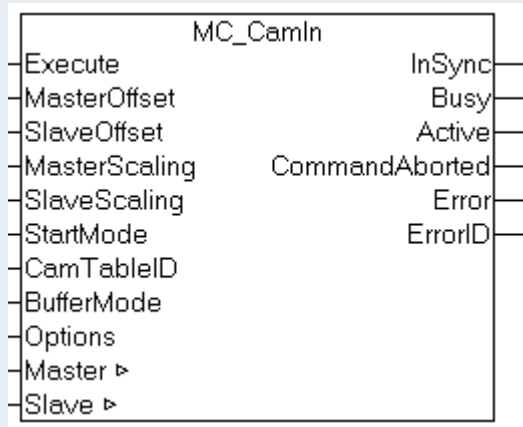
Cam Motion



- 在**PLC**程序中创建一凸轮表,该凸轮表可装载进**NC**中
- 在**PLC**程序中创建的凸轮表,可以通过程序修改凸轮表中的数据
- *该指令目前使用的很少,基本上都是在凸轮编辑器里创建凸轮表,再使用**MC_CamIn**指令耦合*

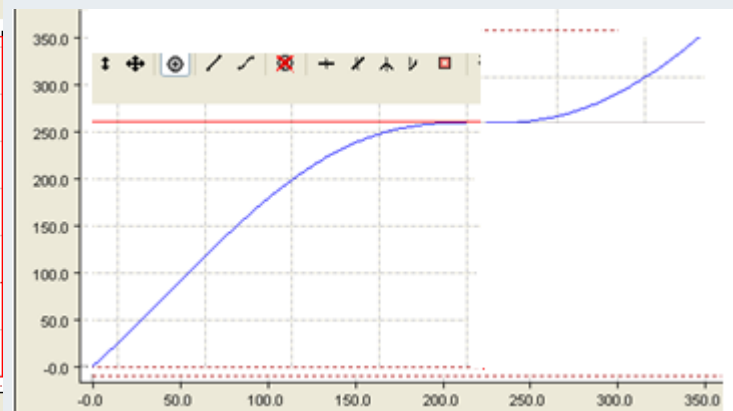
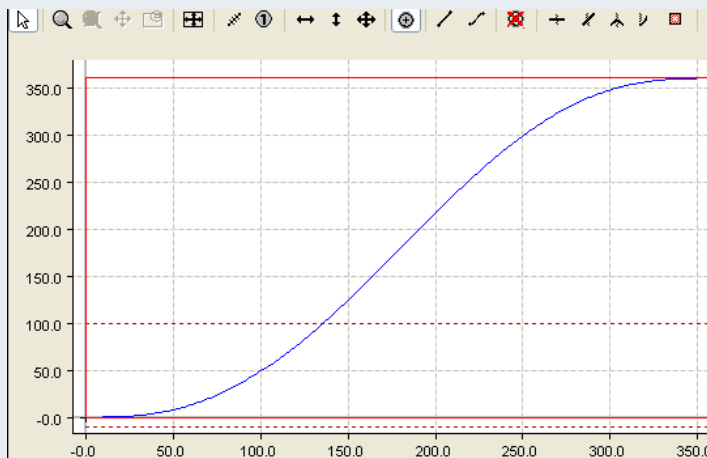


Cam Motion



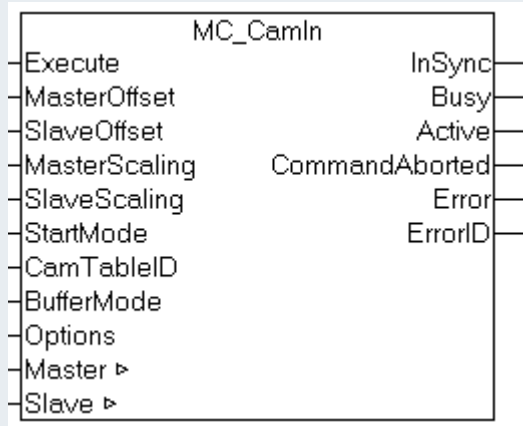
- **MasterOffset, SlaveOffset:** 用于 **CamTable** 内凸轮曲线在主轴和从轴坐标系的偏移。

如下图, **MasterOffset, SlaveOffset** 同时有偏移值的情况:



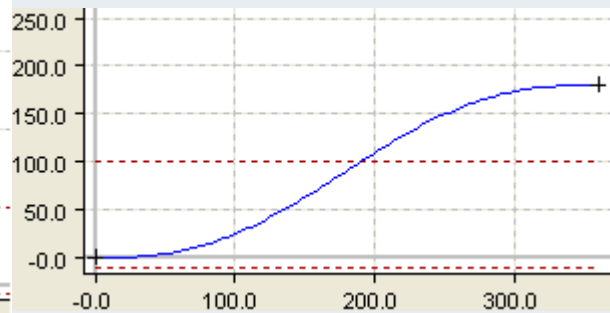
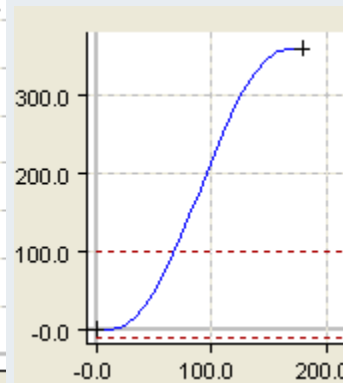
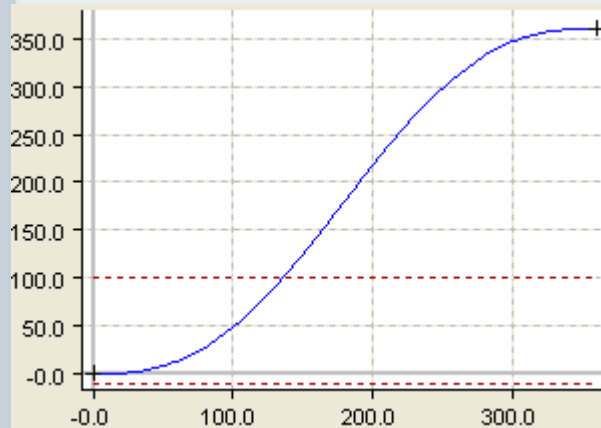


Cam Motion



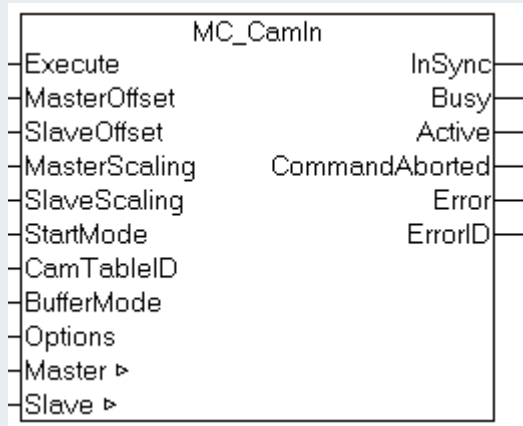
- **MasterScaling, SlaveScaling**
用于**CamTable**内凸轮曲线在主轴和从轴坐标系的缩放

如下图,分别为主轴和从轴的收缩





Cam Motion



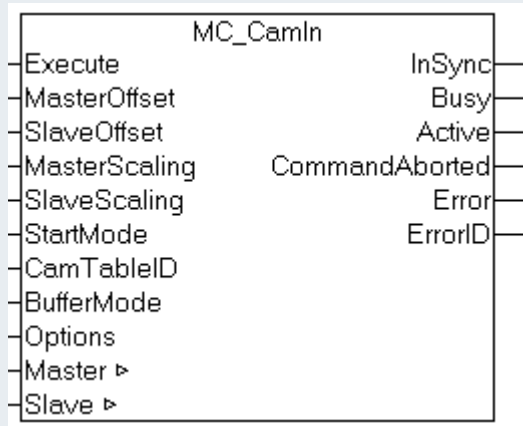
- 如果既需要使用主从轴**offset**又需要使用主从轴**scaling**,是先偏置后缩放还是先缩放后偏置,有一个函数关系

$$\text{MasterTablePos} := (\text{MasterPosition} + \text{MasterOffset}) / \text{MasterScale};$$

$$\text{SlavePosition} := (\text{SlaveTablePosition} * \text{SlaveScale}) + \text{SlaveOffset};$$



Cam Motion



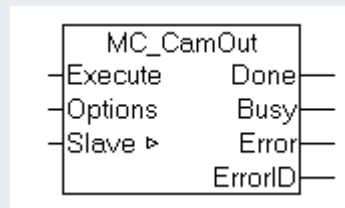
- **StartMode:**用于设置主轴和从轴坐标的类型.

有四种类型,如下:

- 1.主从轴均为绝对值型
- 2.主从轴均为相对值型
- 3.主轴为绝对值，从轴为相对值
- 4.从轴为绝对值，主轴为相对值



Cam Motion

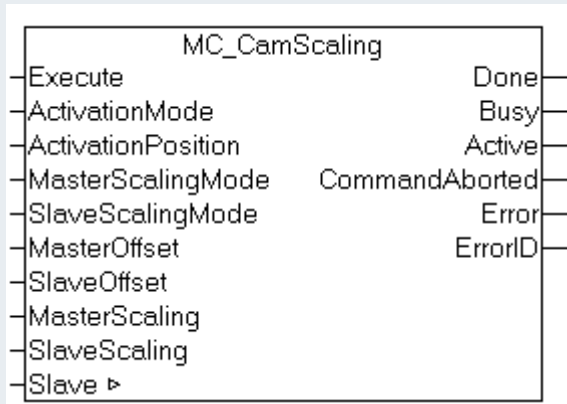


用于凸轮的解耦功能.

特别注意的是:从轴解耦之后,从轴会解除和主轴的耦合关系,但从轴会按照解除耦合前的速度一直运行下去,



Cam Motion



该指令不能独立使用，必须在 **MC_Camin** 运行的基础上才能生效。

可以使凸轮曲线通过即时或在下一周期等方式进行修改。

凸轮曲线修改的方式有以下几类

1. 主从轴缩放, 通过参数 **MasterScaling, SlaveScaling**
2. 主从轴偏移, 通过参数 **MasterOffset, SlaveOffset**
3. 配合 **MC_WriteMotionFunctionPoint** 功能块, 通过修改凸轮表中位置点的方法, 修改凸轮曲线



Cam Motion

```

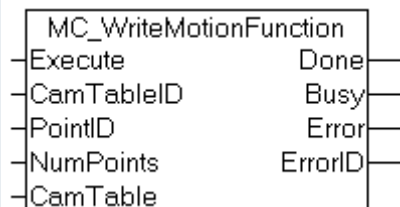
TYPE MC_CamActivationMode :
(
  MC_CAMACTIVATION_INSTANTANEOUS,      (* instantaneous change *)
  MC_CAMACTIVATION_ATMASTERCAMPOS,     (* modify the data at a defined master
                                        position referring to the cam tables
                                        master position *)
  MC_CAMACTIVATION_ATMASTERAXISPOS,    (* modify the data at a defined master
                                        position referring to the absolute
                                        master axis position *)
  MC_CAMACTIVATION_NEXTCYCLE,          (* modify the data at the beginning of
                                        the next cam table cycle *)
  MC_CAMACTIVATION_NEXTCYCLEONCE,     (* not yet implemented!
                                        modify the data at the beginning of
                                        the next cam table cycle, activation
                                        is valid for one cycle only *)
  MC_CAMACTIVATION ASSOONASPOSSIBLE,  (* modify the data as soon as the
                                        cam table is in a safe state to
                                        change its data *)
  MC_CAMACTIVATION_OFF,                (* don't accept any modification *)
  MC_CAMACTIVATION_DELETEQUEUEDDATA,  (* delete all data which was written
                                        to modify the cam table but is
                                        still not activated *)
  MC_CAMACTIVATION_ATMASTERAXISPOS_POSITVEDIRECTION, (* special mode at a defined
                                        master axis position in a defined
                                        positive direction *)
  MC_CAMACTIVATION_ATMASTERAXISPOS_NEGATIVEDIRECTION (* special mode at a defined
                                        master axis position in a defined
                                        negative direction *)
);
END_TYPE

```

凸轮修
改激活
的几种
模式



Cam Motion



```

FOR i:=1 TO 4096 DO
MotionFunctionRead[i].PointIndex:=i;
MotionFunctionRead[i].MasterPos := i-1;
MotionFunctionRead[i].SlavePos := i-1;
MotionFunctionRead[i].PointType:=MOTIONPOINTTYPE_ACTIVATION;
MotionFunctionRead[i].FunctionType := MOTIONFUNCTYPE_POLYNOM1;
END_FOR

```

```

TYPE MC_CAM_REF :
STRUCT
    pArray          : UDINT;
    ArraySize       : UDINT;
    TableType       : MC_TableType;
    NoOfRows        : UDINT;
    NoOfColumns     : UDINT;
END_STRUCT
END_TYPE

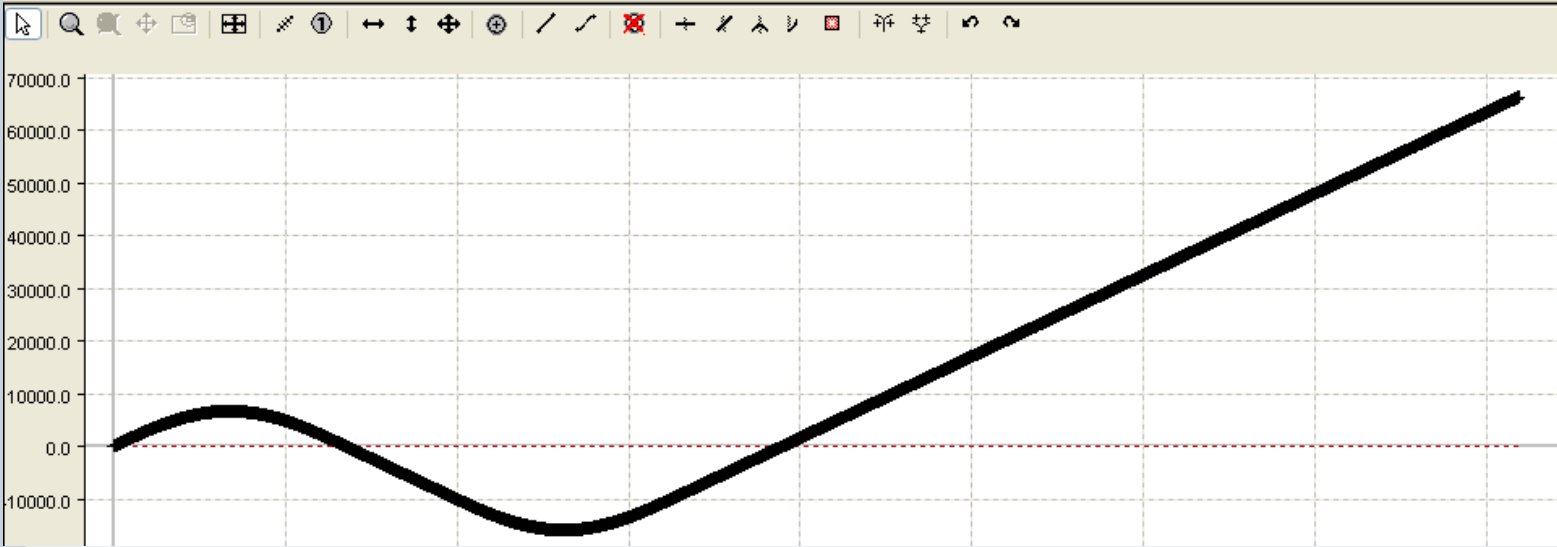
```

建立凸轮数据表的数组,数组成员数量一般为**512,1024,4096**个等。通过数学建模,将用户工艺所需要的函数曲线离散,赋值给数组数据。



Cam Motion

1	Spline Natural	0.000000	0.000000	30.85...	0.000284	0.000000	1.000000	30.85...	30.85...	-0.00...	0.000000	0.500000
2	Spline	1.000000	30.85...	30.85...	-0.00...	0.000000	2.000000	61.71...	30.85...	-0.00...	0.000000	0.500000
3	Spline	2.000000	61.71...	30.85...	-0.00...	0.000000	3.000000	92.56...	30.85...	-0.00...	0.000000	0.500000
4	Spline	3.000000	92.56...	30.85...	-0.00...	0.000000	4.000000	123.4...	30.85...	-0.00...	0.000000	0.500000
5	Spline	4.000000	123.4...	30.85...	-0.00...	0.000000	5.000000	154.2...	30.84...	-0.00...	0.000000	0.500000
6	Spline	5.000000	154.2...	30.84...	-0.00...	0.000000	6.000000	185.1...	30.84...	-0.00...	0.000000	0.500000
7	Spline	6.000000	185.1...	30.84...	-0.00...	0.000000	7.000000	215.9...	30.84...	-0.00...	0.000000	0.500000
8	Spline	7.000000	215.9...	30.84...	-0.00...	0.000000	8.000000	246.7...	30.83...	-0.00...	0.000000	0.500000
9	Spline	8.000000	246.7...	30.83...	-0.00...	0.000000	9.000000	277.6...	30.82...	-0.00...	0.000000	0.500000
10	Spline	9.000000	277.6...	30.82...	-0.00...	0.000000	10.000000	308.4...	30.82...	-0.00...	0.000000	0.500000
11	Spline	10.000000	308.4...	30.82...	-0.00...	0.000000	11.000000	339.2...	30.81...	-0.00...	0.000000	0.500000
12	Spline	11.000000	339.2...	30.81...	-0.00...	0.000000	12.000000	370.0...	30.80...	-0.00...	0.000000	0.500000
13	Spline	12.000000	370.0...	30.80...	-0.00...	0.000000	13.000000	400.8...	30.80...	-0.00...	0.000000	0.500000
14	Spline	13.000000	400.8...	30.80...	-0.00...	0.000000	14.000000	431.6...	30.79...	-0.00...	0.000000	0.500000
15	Spline	14.000000	431.6...	30.79...	-0.00...	0.000000	15.000000	462.4...	30.78...	-0.01...	0.000000	0.500000
16	Spline	15.000000	462.4...	30.78...	-0.01...	0.000000	16.000000	493.2...	30.77...	-0.01...	0.000000	0.500000

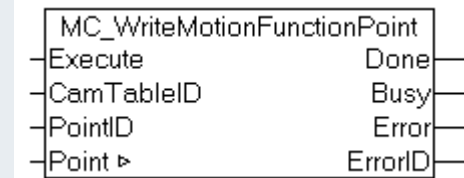




Cam Motion

```

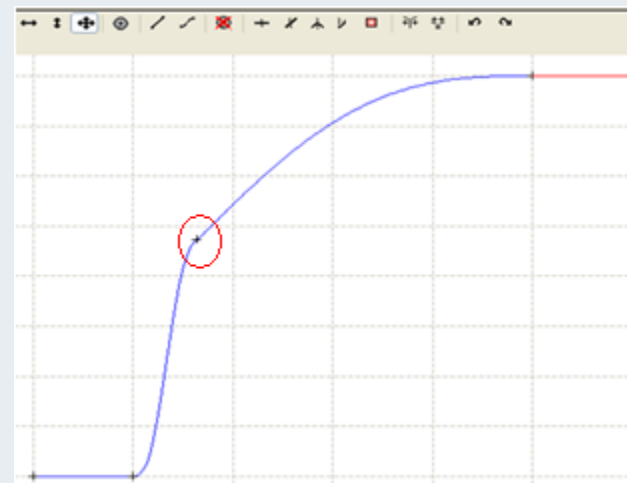
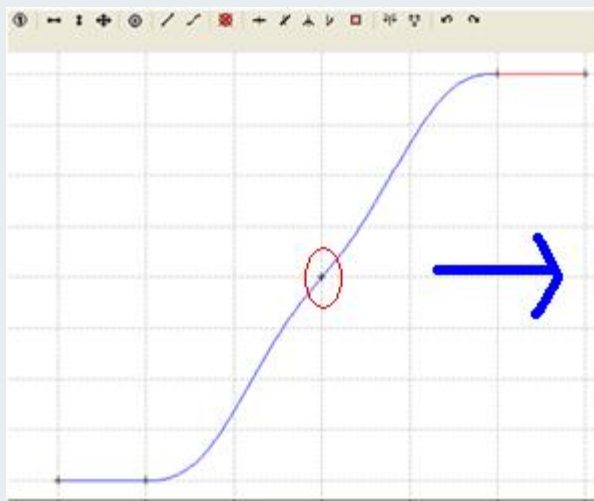
TYPE MC_CAM_REF :
STRUCT
    pArray          : UDINT;
    ArraySize       : UDINT;
    TableType       : MC_TableType;
    NoOfRows        : UDINT;
    NoOfColumns     : UDINT;
END_STRUCT
END_TYPE
  
```



适用于凸轮编辑表中若干点连接所组成的凸轮曲线。
 该类凸轮曲线是通过凸轮表编辑所得到的。
 使用该指令可以改变这类凸轮表中的任何点的位置,从而达到改变曲线的效果。



Cam Motion



通过修改位置点结构中的某个变量,来修改曲线,如右图:

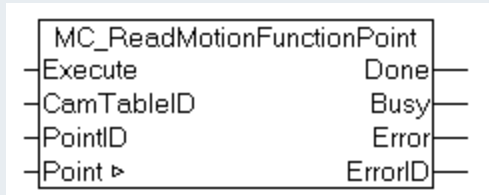
```

TYPE MC_MotionFunctionPoint :
STRUCT
  PointIndex       : MC_MotionFunctionPoint_ID;
  FunctionType     : MC_MotionFunctionType;
  PointType        : MC_MotionPointType;
  RelIndexNextPoint : MC_MotionFunctionPoint_ID;
  MasterPos        : LREAL; (* X *)
  SlavePos         : LREAL; (* Y *)
  SlaveVelo        : LREAL; (* Y' *)
  SlaveAcc         : LREAL; (* Y'' *)
  SlaveJerk        : LREAL; (* Y''' *)
END_STRUCT
END_TYPE

```



Cam Motion



该功能块主要用于将凸轮表中所描绘的几个点的数据结构读取。

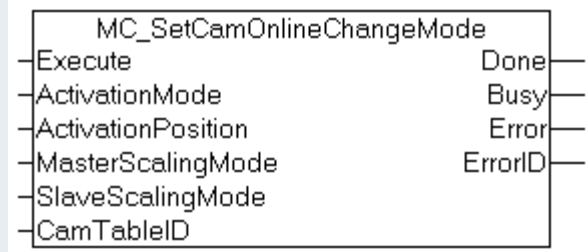
在程序中,一般先使用该指令将凸轮表读取,

MC_WriteMotionFunctionPoint

只需要修改需要变化的凸轮点。



Cam Motion

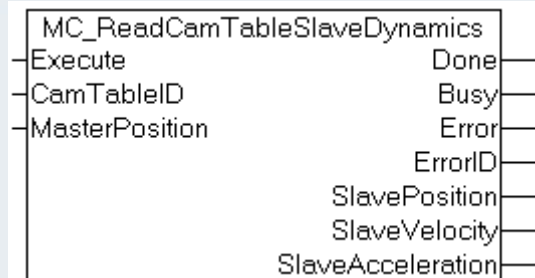


动态修改凸轮曲线的指令。

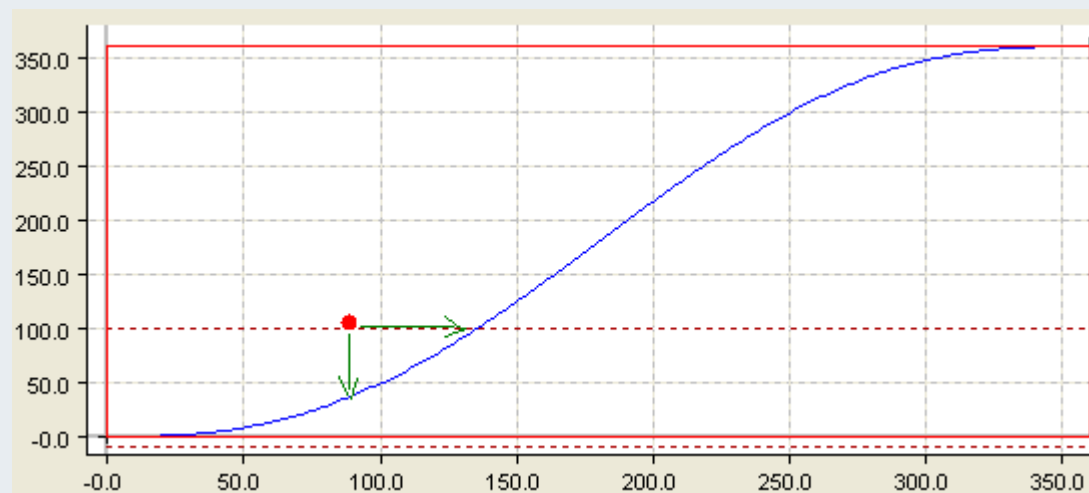
该指令和**MC_CamScaling**类似, **MC_CamScaling**功能更齐全一些,可以被**MC_CamScaling**取代



Cam Motion

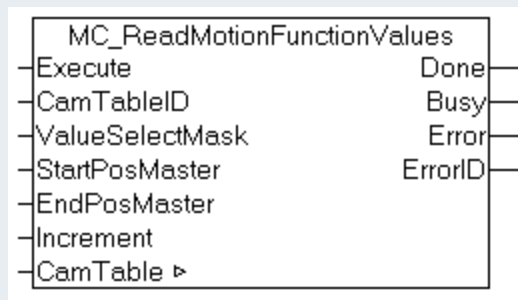


- 1.通过输入主轴位置,计算出相应Cam Table表的从轴位置.
- 2.该功能常用于凸轮运动中途意外停止,重新启动凸轮后,系统能够顺利走完未完成的凸轮周期.





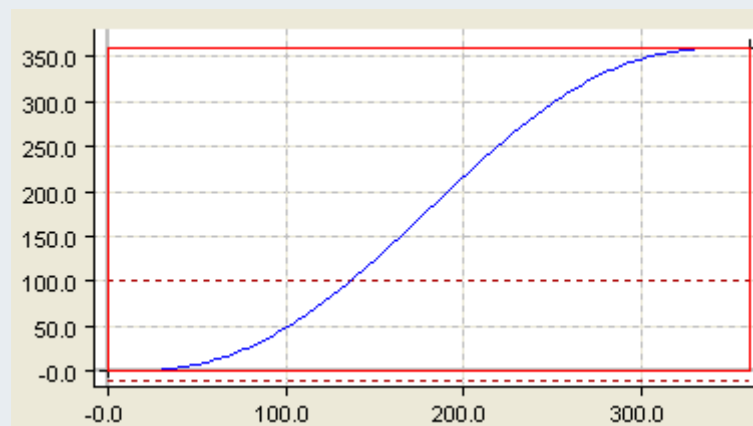
Cam Motion



该指令可以将描绘的2个凸轮点根据自己的定制步数离散化，以便更有利于凸轮曲线的可视化。

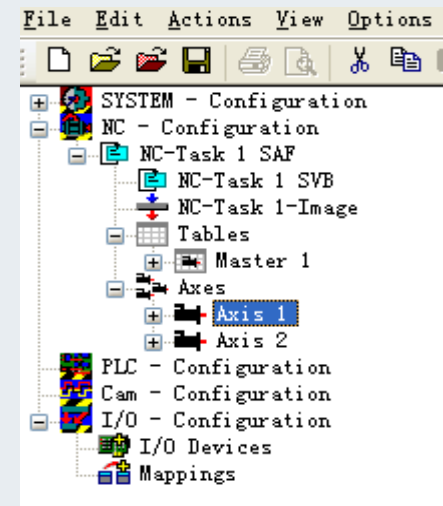
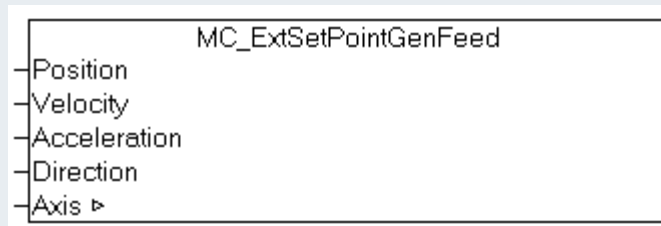
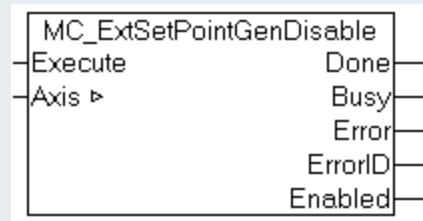
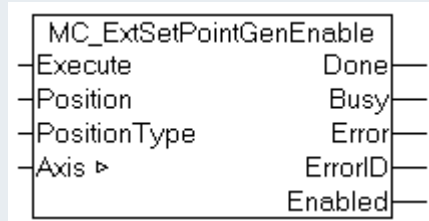
例如可将右图的凸轮曲线离散成等间距的**360**步。

该功能的使用可以简化数学建模的难度





Cam Motion



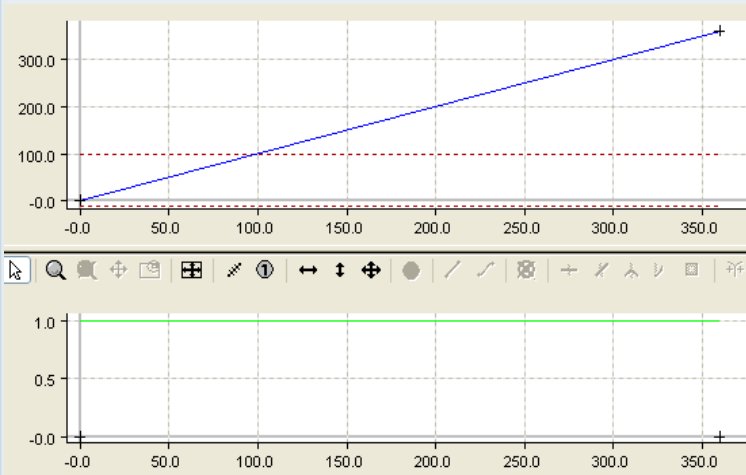
使用该类指令的组合,可以通过外部给定的方式每个扫描周期赋值给运动轴位置,速度,加速度,给用户更灵活自由的定制运动控制曲线.

用户还可将**2**个以上的凸轮曲线进行叠加,使凸轮曲线功能更加灵活.

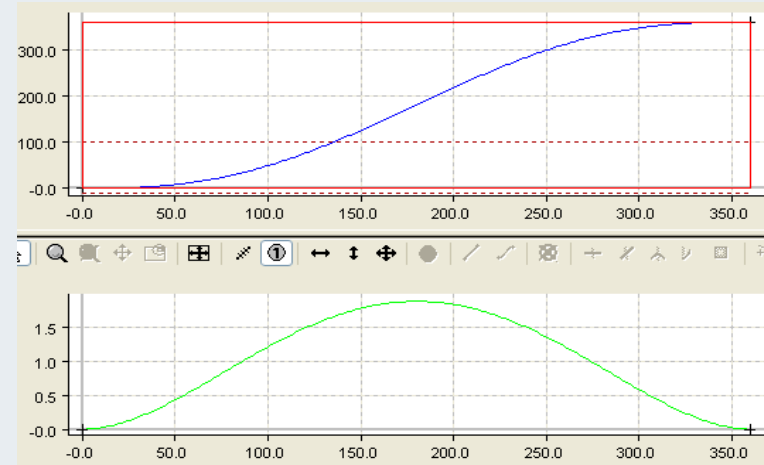


Cam Motion

曲线1



曲线2



曲线1+2

