

运动控制 - 凸轮定义

应用笔记 052

608 847 55_00

We automate your success.

本文件是由 Jetter AG 基于已知的技术慎重地编制而成。产品的变更和技术开发未全部包含在修订文件中。Jetter AG 对内容和形式上的错误、缺少更新以及由此产生的损害或不利情况不承担任何法律责任。

Jetter AG
Graeterstrasse 2
71642 Ludwigsburg
Germany

www.jetter.de

Phone:

Switchboard	+49 7141 2550-0
Sales	+49 7141 2550-531
Technical hotline	+49 7141 2550-444

E-mail:

	info@jetter.de
Technical hotline	hotline@jetter.de
Sales	vertrieb@jetter.de

Product name	Motion Control - Cam Definition
Document type	Application Note 052
Translation of the original German language document	
Document revision	1.00
Item number	608 847 55_00
Date of issue	2021-05-21

目录

1	介绍	1
1.1	前提条件	1
2	凸轮定义 - 介绍	2
3	凸轮	3
3.1	段	3
4	定义凸轮	4
5	使用" DefineSegment() "定义段	5
5.1	支持的函数类型	7
5.1.1	一阶多项式, 直线	7
5.1.2	三阶多项式	7
5.1.3	五阶多项式	7
5.1.4	七阶多项式	7
5.1.5	正弦	7
5.1.6	AutoPoly	7
5.2	段选项	14
6	示例	16

1 介绍

1.1 前提条件

- 以下软件版本用于代码和项目示例以及屏幕截图：
 - JetSym 5.6.1
 - Motion API 1.0.0.16
 - JC365MC-OS 1.30.0.00
- Application Note 049: Motion Control - Technology Group

2 凸轮定义 - 介绍

本应用笔记包含以下内容：

- 凸轮的基本定义是怎样的：
- 凸轮由哪些元素组成；
- 哪些类型的凸轮段可以使用：
- 哪些选项可用。

3 凸轮

凸轮是一种运动曲线。它描述了从轴相对于主轴的位置。

凸轮由一个或多个部分组成。这些部分称为段。

段使用数学函数来描述段内的过程。

凸轮通过其"CamId"索引、轴和工艺组进行定义。



信息

例如，**同一**工艺组中轴 1 的凸轮 1 可以与同一工艺组中轴 2 的凸轮 1 具有不同的曲线。



信息

例如，在**不同**的工艺组中，轴 1 的凸轮 1 可以具有与轴 1 的凸轮 1 不同的轮廓。

根据控制器类型，凸轮的最大数量和段的最大数量可能会有所不同。使用 JC365MC 和 JC440MC 控制器，每个凸轮从轴可以有 30 个凸轮，每个 100 段。

凸轮索引是从 1 开始的，并且必须小于凸轮的最大数量。

但是，凸轮的索引不一定要以“1”开头，可以在上述范围内自由选择。索引不必是连续的（例如 2, 3, 4，但也可以是 2, 5, 6, 8 ...）。

3.1 段

段通过"SegmentId"索引来标识。

这些段通过工艺组、轴和"CamId"索引明确地分配给相应的凸轮。

每个段都有一个起始位置，并从该位置沿主轴的正方向运行。段的结束由下一段的开始位置指定。

4 定义凸轮

定义凸轮需要以下两个步骤：

1. 创建凸轮

```
<Techno>.Coupling.Cam.Create(Axis, CamId, SegmentCount)
```

此步骤也是凸轮定义的开始，必须在开始定义各个段之前执行。

凸轮被唯一分配给该工艺组中的指定轴。

为了区分多个凸轮，"CamId"用作凸轮的索引。



信息

如果多个轴具有相同的运动顺序，必须使用单独的凸轮为每个轴单独定义。



信息

如果不同工艺组中的轴具有相同的运动顺序，必须在相关工艺组中定义为自己的凸轮。

创建凸轮时，必须指定"SegmentCount"，即段数。在定义各个段之前必须知道需要多少段。

```
tecCam.Coupling.Cam.Create(xFollower, Cam, 2);
```

2. 段的定义

创建凸轮后，必须定义各个段。

```
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower,1,1,MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly1st, 0.0, MCTechnoCamOptions.NoOption, 0.0, 0.0);  
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower,1,2,MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly1st, 180.0, MCTechnoCamOptions.NoOption, -180.0, 0.0);
```

由于段的唯一分配，定义段时不需要强制按升序排列。也可以以混合方式定义多个凸轮。重要的是：



信息

必须在激活凸轮之前定义所有段。

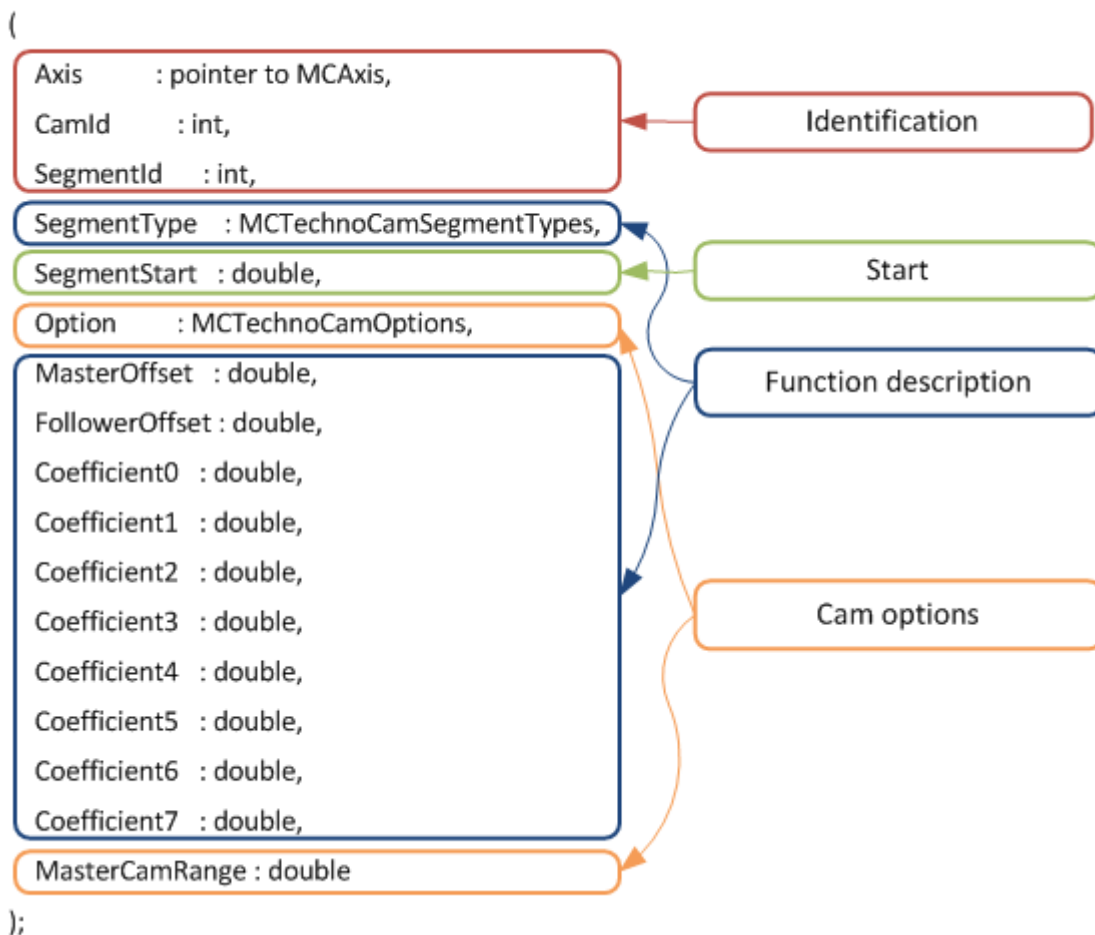
5 使用"DefineSegment()"定义段

Function DefineSegment

```
(
    Axis      : pointer to MCAxis,
    CamId     : int,
    SegmentId : int,
    SegmentType : MCTechnoCamSegmentTypes,
    SegmentStart : double,
    Option     : MCTechnoCamOptions,
    MasterOffset : double,
    FollowerOffset : double,
    Coefficient0 : double,
    Coefficient1 : double,
    Coefficient2 : double,
    Coefficient3 : double,
    Coefficient4 : double,
    Coefficient5 : double,
    Coefficient6 : double,
    Coefficient7 : double,
    MasterCamRange : double
);
```

这个强大的函数可以分为几个部分，使其更容易理解。

Function DefineSegment



Identification:

Techno: 指定该段要分配给哪个工艺组。
Axis: 指定要将此段分配给哪个轴。
CamId: 此段分配到的凸轮的索引。
SegmentId: 与 CamId 对应的凸轮段的索引。

Start:

指定该段从哪个主轴位置开始生效。

Function description:

SegmentType: 段的功能类型
MasterOffset: 加到当前主轴位置上的主轴值的偏移量
FollowerOffset: 添加到函数结果的从轴值的偏移量。
Coefficient0 ... 7: 根据段类型选择函数的系数

5.1 支持的函数类型

函数遵循下规则：

X_{Offset} : Masteroffset

Y_{Offset} : Followeroffset

c_0 : Coefficient0

...

c_7 : Coefficient7

$Y = y(t) - Y_{\text{Offset}}$

$X = x(t) + X_{\text{Offset}}$

5.1.1 一阶多项式，直线

$$Y = c_1 * X + c_0$$

5.1.2 三阶多项式

$$Y = c_3 * X^3 + c_2 * X^2 + c_1 * X + c_0$$

5.1.3 五阶多项式

$$Y = c_5 * X^5 + c_4 * X^4 + c_3 * X^3 + c_2 * X^2 + c_1 * X + c_0$$

5.1.4 七阶多项式

$$Y = c_7 * X^7 + c_6 * X^6 + c_5 * X^5 + c_4 * X^4 + c_3 * X^3 + c_2 * X^2 + c_1 * X + c_0$$

5.1.5 正弦

$$Y = c_0 * X + c_1 / \pi * \sin(c_2 * X * \pi)$$

5.1.6 AutoPoly

随着多项式次数的增加，系数的数量增加。

为了方便多项式函数的输入，可以使用 AutoPoly 段类型。此时，多项式由边界参数确定。

例如，这里传递的是行程增量(dx, dy)而不是一阶多项式的梯度。

类型	主轴行程	从轴行程	dy/dx 开始	dy/dx 结束	d ² y/dx ² 开始	d ² y/dx ² 结束	d ³ y/dx ³ 开始	d ³ y/dx ³ 结束
Autopoly1st	X	X	-	-	-	-	-	-
Autopoly3st	X	X	X	X	-	-	-	-
Autopoly5st	X	X	X	X	X	X	-	-
Autopoly7st	X	X	X	X	X	X	X	X

随着多项式次数的增加，边界参数的数量增加。

边界参数的含义：

dy/dx ：一阶导数或相对于主轴的速度：如果值为 1，此时从轴以与主轴相同的速度移动。

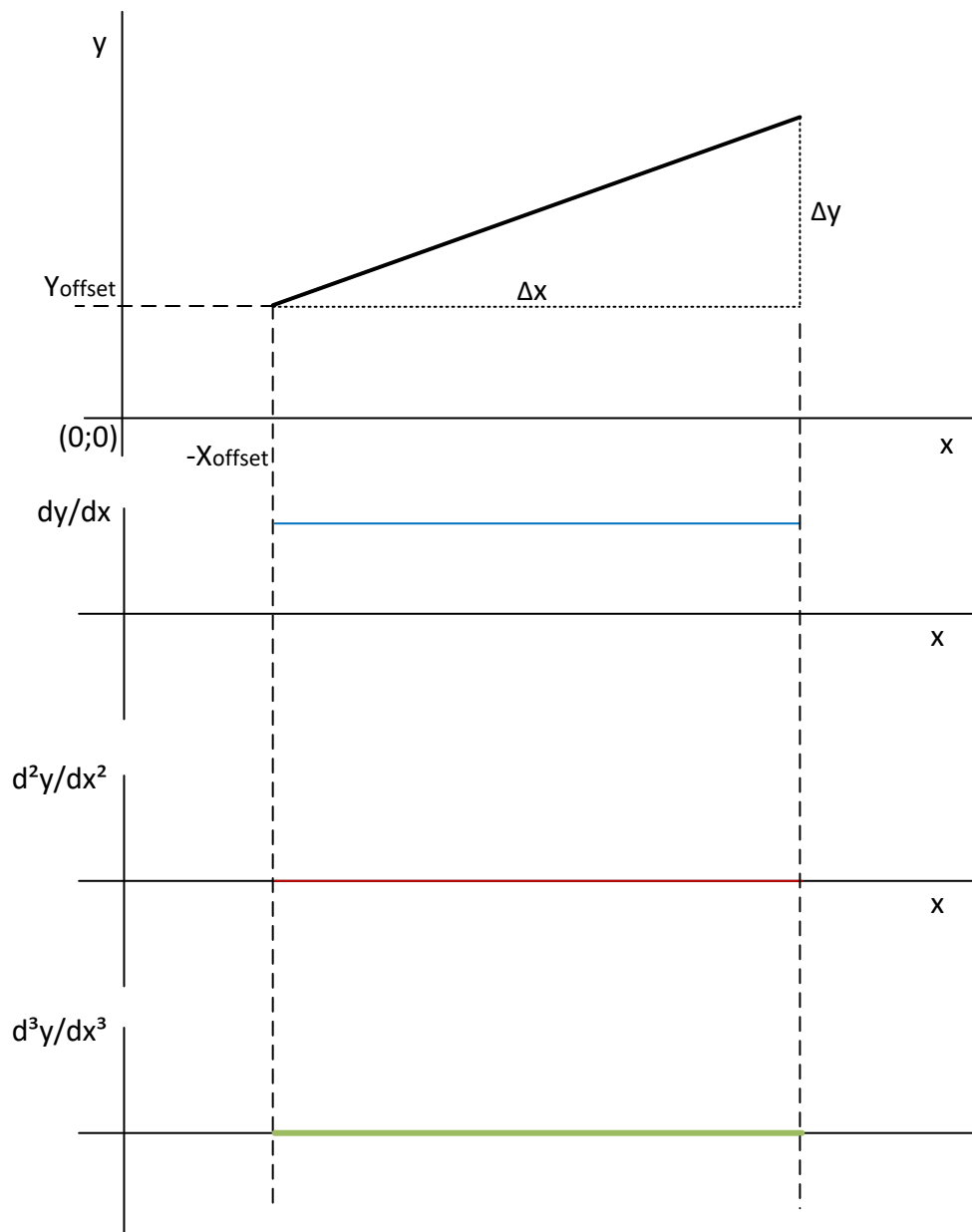
d^2y/dx^2 ：二阶导数或相对于主轴的加速度。

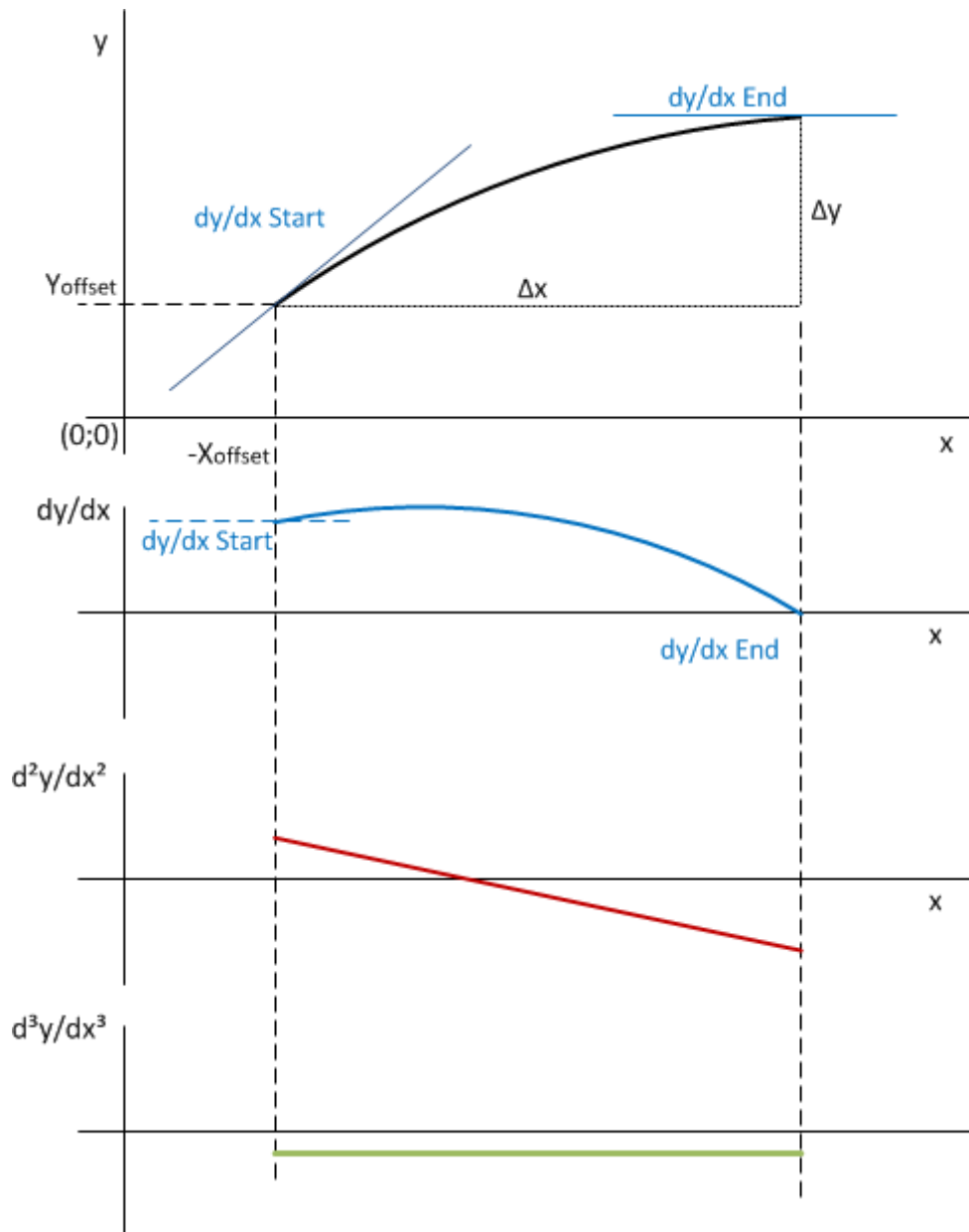
d^3y/dx^3 ：三阶导数或相对于主轴的加加速度。

术语速度、加速度和加加速度始终是指主轴运动，而不是从轴的速度、加速度或加加速度。为此，必须考虑主轴的运动。

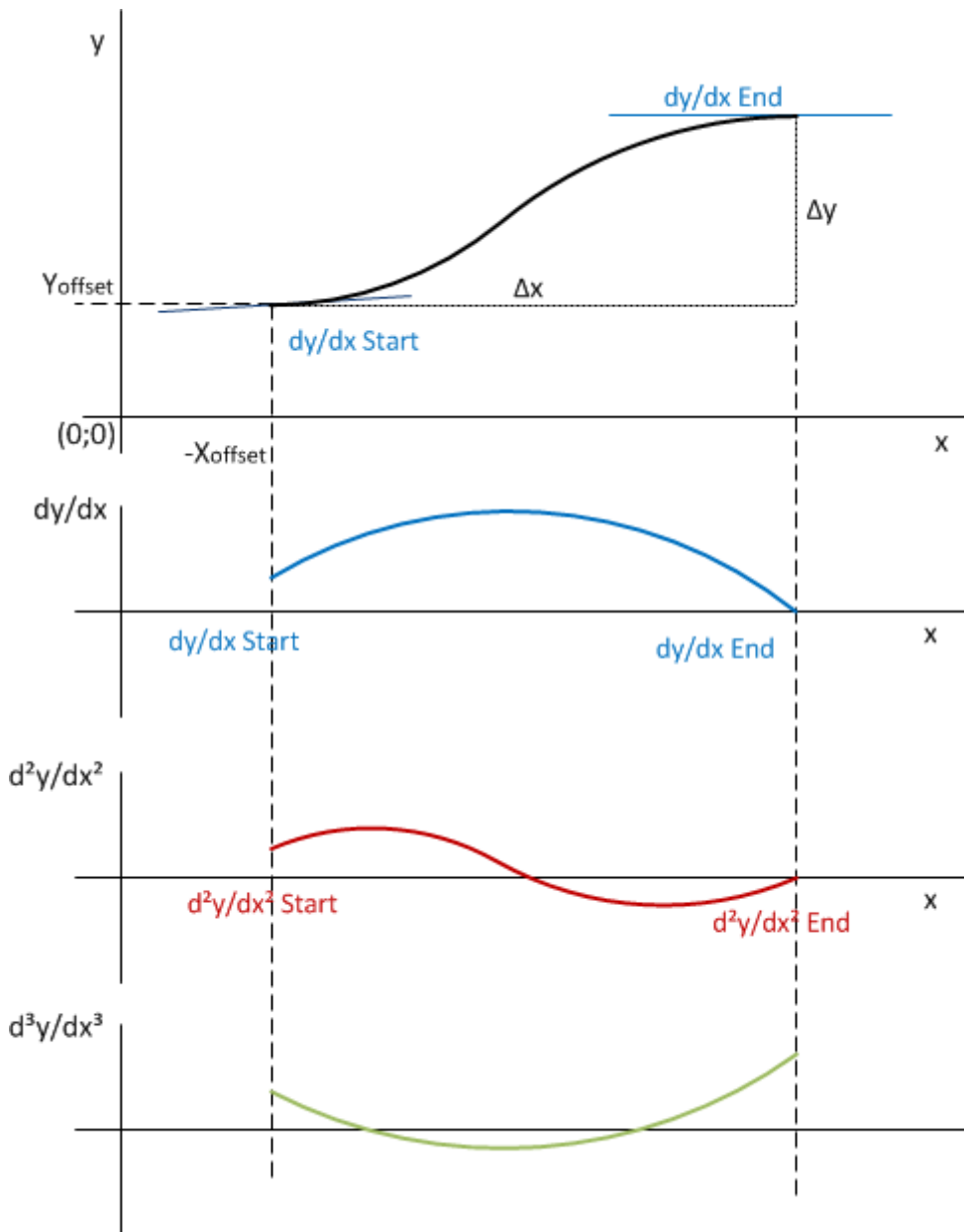
例如： $dy/dx = 1$ 表示相对于主轴的速度为 1。如果主轴以 $100^\circ/s$ 的速度运行，从轴速度也为 $100^\circ/s$ （如果激活凸轮时比例系数为 1）。

5.1.6.1 Autopoly1st:

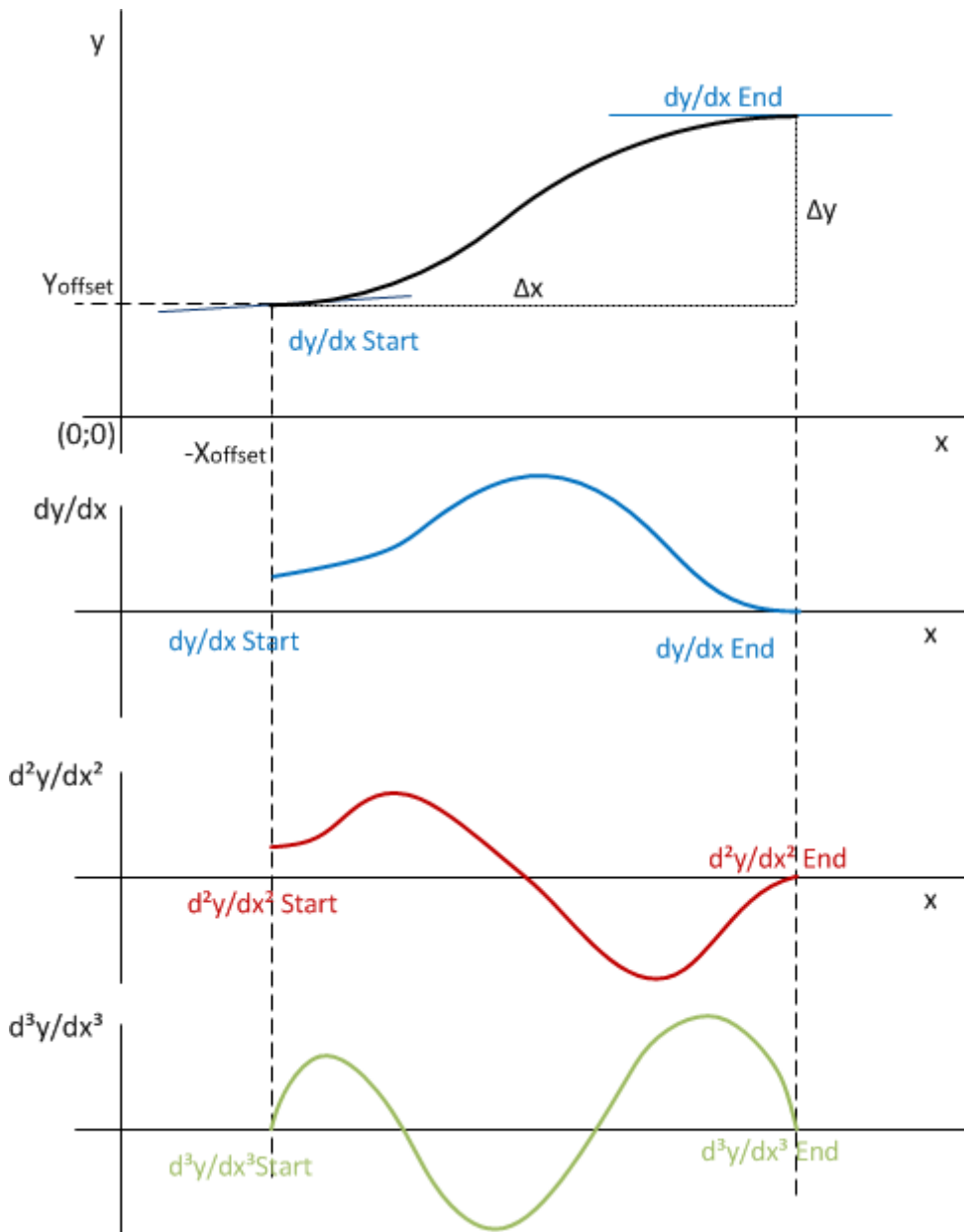


5.1.6.2 Autopoly3rd:

5.1.6.3 Autopoly5th:



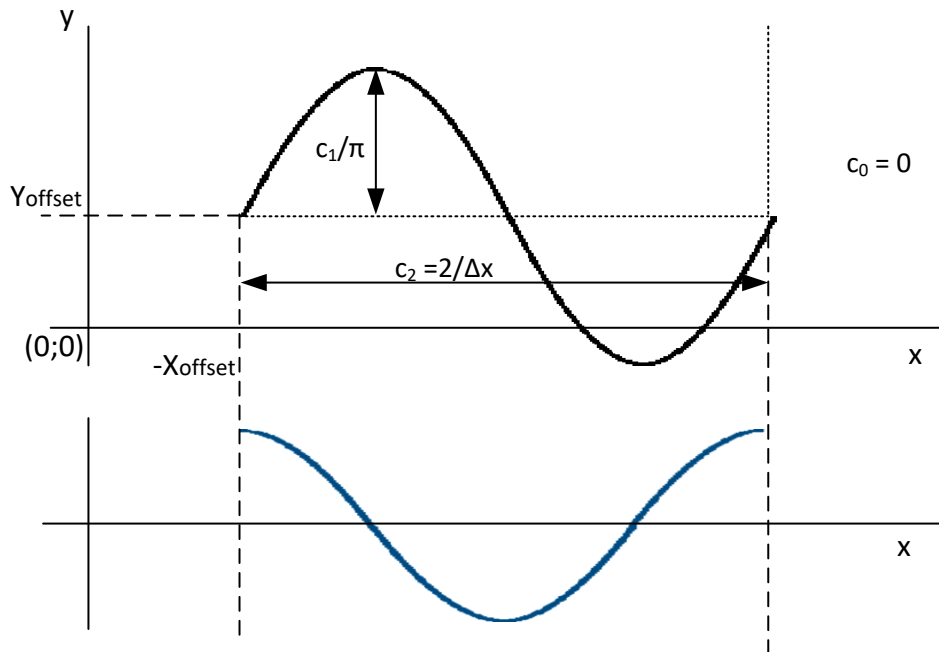
5.1.6.4 Autopoly7th:



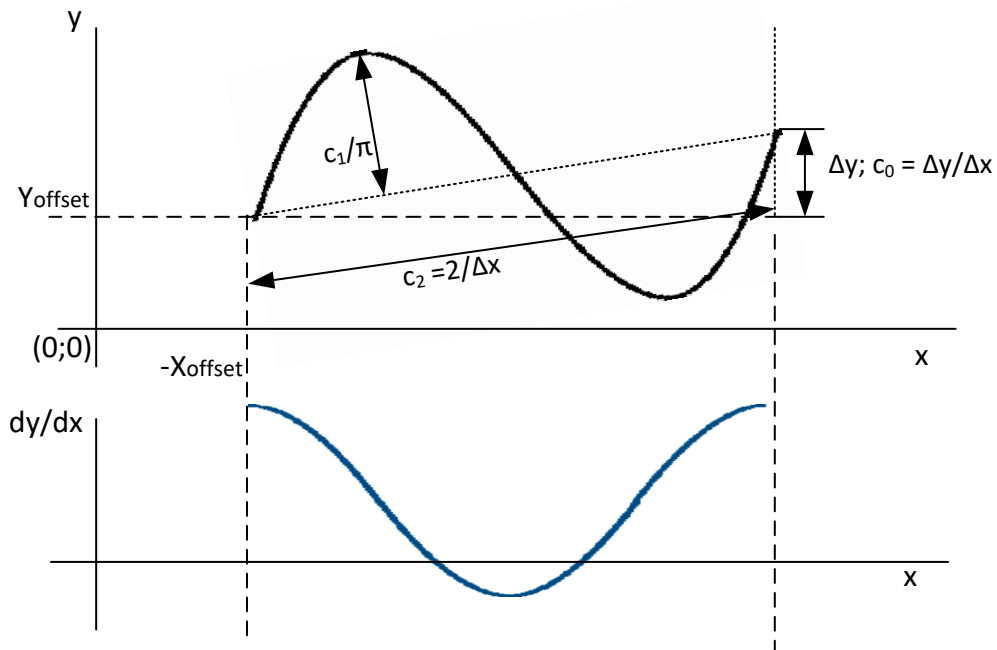
5.1.6.5 正弦平方

$$Y = c_0 * X + c_1/\pi * \text{sine}(c_2 * X * \pi)$$

基本曲线形状为没有线性分量的纯正弦



基本曲线形状为带线性分量的正弦



基本曲线形状为正弦平方，没有线性分量

sine^2 函数也可以表示如下：

$$\text{Sine}^2 = 0.5 - 0.5 * \cos(2X) = 0.5 + 0.5 * \text{sine}(2X + \pi/2)$$

$$2 * 0.5(x + X_0) = 2 * 0.5x + \pi/2$$

$$x + X_0 = x + \pi/2$$

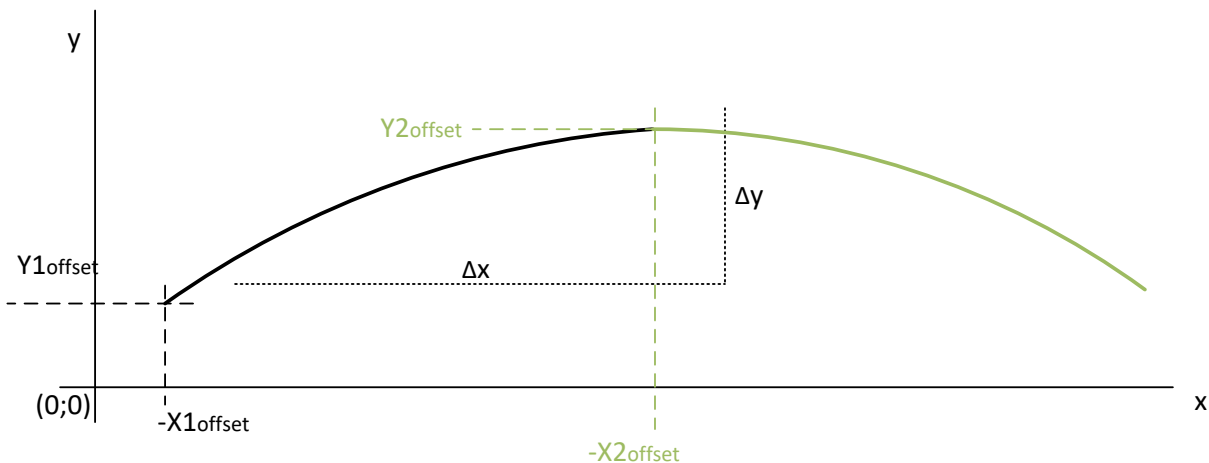
$$X_0 = \pi/2$$

5.2 段选项

段定义的选项总结在枚举项"MCTechnoCamOptions"中：

- | | |
|---------------|-------------------------------------|
| 0: NoOption | 段定义按规定进行。 |
| 1: AutoAppend | 此选项仅适用于第 2 段。它旨在简化定义，以便不必计算段的从轴偏移量。 |

例子：



```
// Without AutoAppend Option
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower,1,1,MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly1st, X1Offset,
MCTechnoCamOptions.NoOption, -1.0 * X1Offset, Y1Offset,...)
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower,1,2,MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly1st, X2Offset,
MCTechnoCamOptions.NoOption, -1.0 * X2Offset, Y2Offset,...)
```

```
// With AutoAppend Option
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower,1,1,MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly1st, X1Offset,
MCTechnoCamOptions.NoOption, -1.0 * X1Offset, Y1Offset,...)
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower,1,2,MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly1st, X2Offset,
MCTechnoCamOptions.AutoAppend, -1.0 * X2Offset, 0.0,...)
```

- | | |
|---------------------------|---|
| 2: UserDefinedMasterRange | 此选项仅在第一段中可用。此定义针对整个凸轮定义，用于当凸轮的主轴行程范围不等于主轴的模数范围。 |
|---------------------------|---|

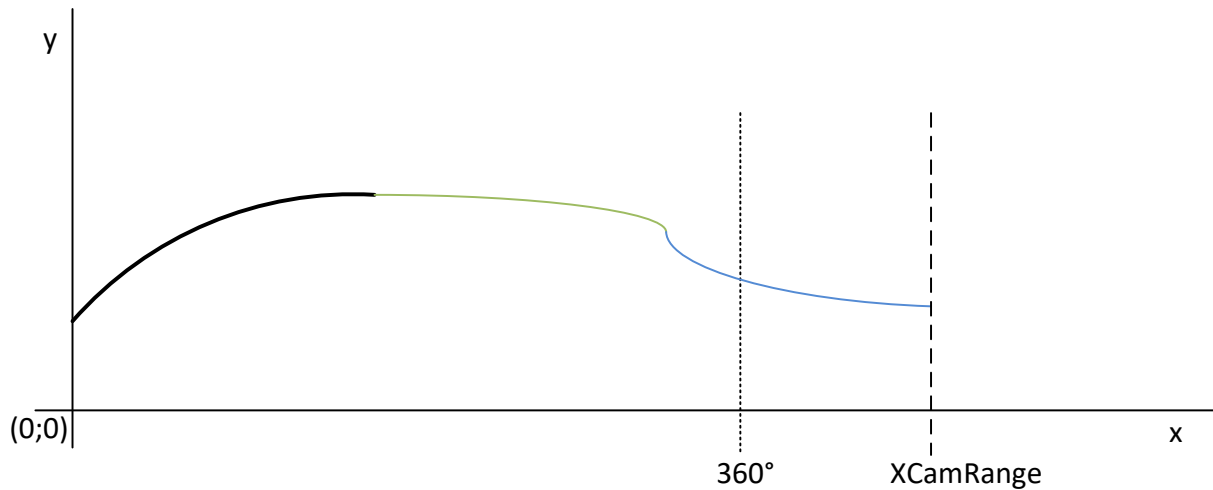
例如：

主轴的模数范围是 360°，但从轴的凸轮盘要定义在主轴范围 540° 内。
在这种情况下，必须选择"UserDefinedMasterRange"选项。



信息

如果凸轮在使用时要在主轴方向拉伸/压缩，此处也必须选择 "UserDefinedMasterRange" 选项，即使指定的 MasterCamRange 对应主轴的模数行程范围。



```
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower,1,1,MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly1st, X1Offset,
MCTechnoCamOptions.UserDefinedMasterCamRange, -1.0 * X1Offset, Y1Offset,X1Range,
Y1Range,,,,,XCamRange);
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower,1,2,MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly1st, X2Offset,
MCTechnoCamOptions.AutoAppend, -1.0 * X2Offset, 0.0,...)
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower,1,3,MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly1st, X3Offset,
MCTechnoCamOptions.AutoAppend, -1.0 * X3Offset, 0.0,...)
```

6 示例

在以下示例中，定义了 3 个凸轮。曲线的时序图是一样的。只是定义不同：

CAM 示例 1： 使用自多项式定义凸轮，没有其他选项

CAM 示例 2： 使用"AutoAppend"选项定义具有自动多项式的凸轮

CAM 示例 3： 用多项式定义凸轮，并指定系数，没有其他选项

```
// CAM Sample 1
tecCam.Coupling.Cam.Create(xFollower, 1, 4);

tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower, 1, 1, MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly3rd, 0.0,
MCTechnoCamOptions.NoOption, 0.0, 0.0, 90.0, 60.0, 0.0, 1.0);
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower, 1, 2, MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly5th, 90.0,
MCTechnoCamOptions.NoOption, -90.0, 60.0, 90.0, 60.0, 1.0, 0.5, 0.0, 0.0);
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower, 1, 3, MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly5th, 180.0,
MCTechnoCamOptions.NoOption, -180.0, 120.0, 90.0, 45.0, 0.5, -0.5, 0.0, 0.0);
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower, 1, 4, MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly3rd, 270.0,
MCTechnoCamOptions.NoOption, -270.0, 165.0, 90.0, -165.0, -0.5, 0.0);

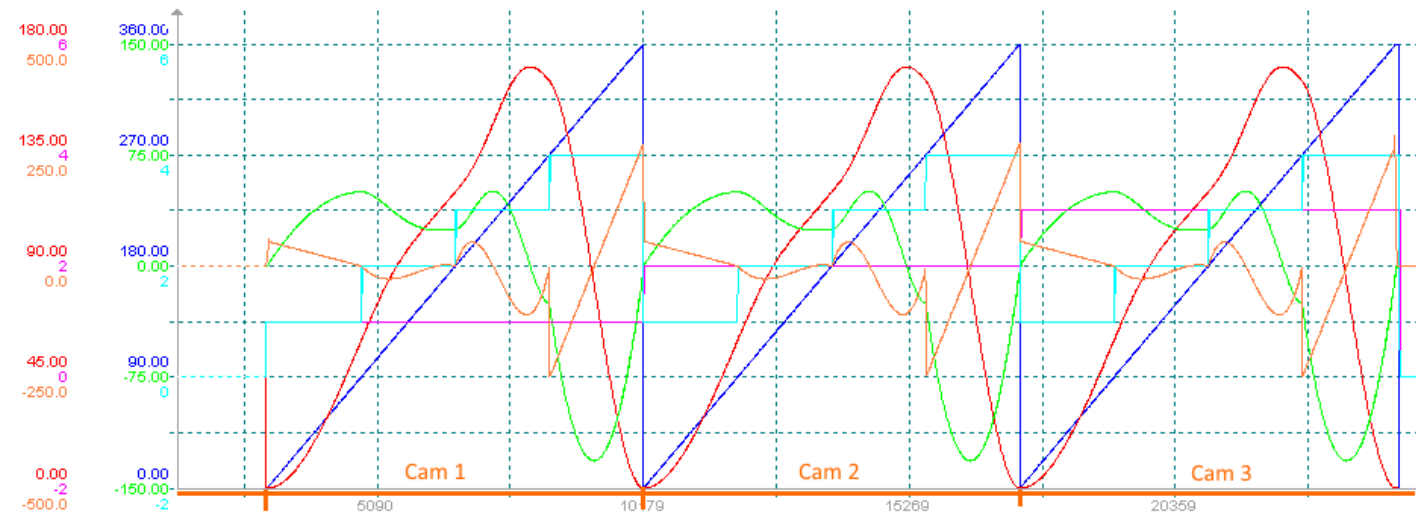
// CAM Sample 2
tecCam.Coupling.Cam.Create(xFollower, 2, 4);

tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower, 2, 1, MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly3rd, 0.0,
MCTechnoCamOptions.NoOption, 0.0, 0.0, 90.0, 60.0, 0.0, 1.0);
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower, 2, 2, MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly5th, 90.0,
MCTechnoCamOptions.AutoAppend, -90.0, 0.0, 90.0, 60.0, 1.0, 0.5, 0.0, 0.0);
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower, 2, 3, MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly5th, 180.0,
MCTechnoCamOptions.AutoAppend, -180.0, 0.0, 90.0, 45.0, 0.5, -0.5, 0.0, 0.0);
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower, 2, 4, MCTechnoCamSegmentTypes.AutoPoly3rd, 270.0,
MCTechnoCamOptions.AutoAppend, -270.0, 0.0, 90.0, -165.0, -0.5, 0.0);

// CAM Sample 3
tecCam.Coupling.Cam.Create(xFollower, 3, 4);

tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower, 3, 1, MCTechnoCamSegmentTypes.Poly3rd, 0.0, MCTech-
noCamOptions.NoOption, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.01111111, -4.115226e-005, 0.0, 0.0);
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower, 3, 2, MCTechnoCamSegmentTypes.Poly5th, 90.0, MCTech-
noCamOptions.NoOption, -90.0, 60.0, 0.0, 1.0, 0.0, -0.0001646091, 2.057613e-006, -
7.620789e-009);
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower, 3, 3, MCTechnoCamSegmentTypes.Poly5th, 180.0, MCTech-
noCamOptions.NoOption, -180.0, 120.0, 0.0, 0.5, 0.0, 0.0004938272, -9.602195e-006,
4.572474e-008);
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower, 3, 4, MCTechnoCamSegmentTypes.Poly3rd, 270.0, MCTech-
noCamOptions.NoOption, -270.0, 165.0, 0.0, -0.5, -0.050, 0.0003909465, 0.0, 0.0);
```

时序图:



- 蓝色: 主轴的设定位置
- 红色: 从轴的位置
- 绿色: 从轴的设定速度
- 橙色: 从轴的设定加速度
- 粉色: 已激活的凸轮编号
- 浅蓝: 已激活的凸轮段号

示波器清楚地显示，尽管定义不同，但曲线是相同的。

凸轮的变化可以通过活动凸轮曲线（粉红色）的编号识别。

凸轮内的各个部分不仅可以通过活动凸轮段的数量（浅蓝色）来识别，还可以通过加速度的跳跃（橙色）来识别。

加速跳跃通常会导致不稳定的行为，这可以通过在使用 5 阶多项式时明确指定过渡点处的加速度来避免。

运动开始和结束时加速度曲线中的峰值反映了主轴的加速度和减速度。

CAM 示例 4 ... 6: 正弦型凸轮的各种定义。

```
// CAM Sample 4: Part of Sine
tecCam.Coupling.Cam.Create(xFollower, 4, 1);
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower, 4, 1, MCTechnoCamSegmentTypes.Sine, 0.0, MCTechnoCamOptions.NoOption,
0.0,
0.0,
10.0/360.0,
-2.0*cPI*cPI, // Amplitude
-0.5 / 360.0,
);

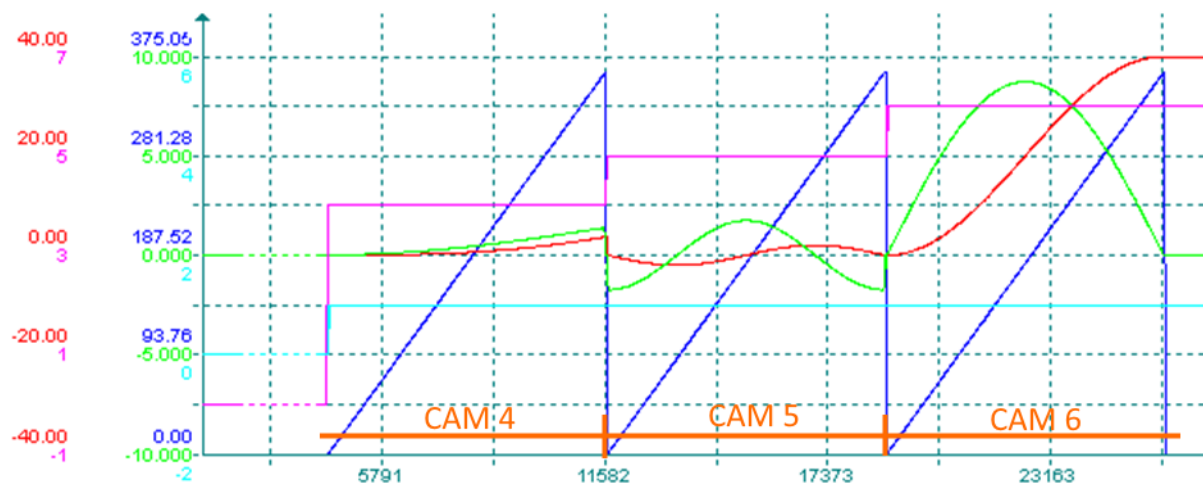
// CAM Sample 5: Pure Sine
tecCam.Coupling.Cam.Create(xFollower, 5, 1);
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower, 5, 1, MCTechnoCamSegmentTypes.Sine, 0.0, MCTechnoCamOptions.NoOption,
0.0,
0.0,
0.0,
0.0,
0.0,
```

```

0.0,
2.0*cPI, // Amplitude
2.0 / 360.0,
);

// CAM Sample 6: Part of Sine
tecCam.Coupling.Cam.Create(xFollower, 6, 1);
tecCam.Coupling.Cam.DefineSegment(xFollower, 6, 1, MCTechnoCamSegmentTypes.Sine, 0.0, MCTechnoCam-
Options.NoOption,
180.0, // Offset-Shift to get specific part of sine
20.0, // Follower-Offset-Shift to start at 0, since sine begins here at -20
0.0,
20.0*cPI, // Amplitude
1.0 / 360.0,
);

```



通过在定义正弦型凸轮段时指定不同的参数，可以配置和描述正弦的不同部分。

例如，对于 CAM 4，这可以用作加速段（对于 CAM 5 作为正弦摆动运动，对于 CAM 6 作为定位）。

Jetter AG
Graeterstrasse 2
71642 Ludwigsburg
Germany
www.jetter.de

E-mail: info@jetter.de
Phone: +49 7141 2550-0

坚德自动化技术（上海）有限公司.
上海市浦东新区康桥路787号6号楼105室
邮编: 201315
www.jetterat.cn

contact@jetterat.cn
+86 21 5869 1233

We automate your success.