

Handbuch | DE

TS5066

TwinCAT 2 | PLC Remote Synchronisation



Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	5
1.1	Hinweise zur Dokumentation	5
1.2	Sicherheitshinweise	6
2	Überblick	7
3	PLC-API	10
3.1	FB_AxisSync	10
3.2	FB_TimeSync	14
3.3	FB_AxisExtrapolateValues	17
3.4	ST_AxisSyncParameters	20
3.5	ST_AxisSyncDiagnostic	21
3.6	E_Sync_FallBackMode	21
3.7	E_Sync_FilterMode	21
3.8	E_Sync_FilterState	22
3.9	E_Sync_StartUpMode	22
3.10	ST_TimeSyncParameters	23
3.11	ST_TimeSyncDiagnostic	25
3.12	ST_AxisExtrapolateDiagnostic	25
3.13	ST_AxisExtrapolateParameters	25
3.14	E_Sync_ExtrapolateMode	26
3.15	E_Sync_ExtrapolateState	26
3.16	E_Sync_ErrorCodes	27
3.17	E_Sync_WarningCodes	27
4	Beispiel	28
4.1	Synchronisierung von Achsen an verschiedenen PCs ("verteilte Achsen")	28

1 Vorwort

1.1 Hinweise zur Dokumentation

Diese Beschreibung wendet sich ausschließlich an ausgebildetes Fachpersonal der Steuerungs- und Automatisierungstechnik, das mit den geltenden nationalen Normen vertraut ist.

Zur Installation und Inbetriebnahme der Komponenten ist die Beachtung der Dokumentation und der nachfolgenden Hinweise und Erklärungen unbedingt notwendig.

Das Fachpersonal ist verpflichtet, für jede Installation und Inbetriebnahme die zu dem betreffenden Zeitpunkt veröffentlichte Dokumentation zu verwenden.

Das Fachpersonal hat sicherzustellen, dass die Anwendung bzw. der Einsatz der beschriebenen Produkte alle Sicherheitsanforderungen, einschließlich sämtlicher anwendbaren Gesetze, Vorschriften, Bestimmungen und Normen erfüllt.

Disclaimer

Diese Dokumentation wurde sorgfältig erstellt. Die beschriebenen Produkte werden jedoch ständig weiter entwickelt.

Wir behalten uns das Recht vor, die Dokumentation jederzeit und ohne Ankündigung zu überarbeiten und zu ändern.

Aus den Angaben, Abbildungen und Beschreibungen in dieser Dokumentation können keine Ansprüche auf Änderung bereits gelieferter Produkte geltend gemacht werden.

Marken

Beckhoff®, TwinCAT®, TwinCAT/BSD®, TC/BSD®, EtherCAT®, EtherCAT G®, EtherCAT G10®, EtherCAT P®, Safety over EtherCAT®, TwinSAFE®, XFC®, XTS® und XPlanar® sind eingetragene und lizenzierte Marken der Beckhoff Automation GmbH.

Die Verwendung anderer in dieser Dokumentation enthaltenen Marken oder Kennzeichen durch Dritte kann zu einer Verletzung von Rechten der Inhaber der entsprechenden Bezeichnungen führen.

Patente

Die EtherCAT-Technologie ist patentrechtlich geschützt, insbesondere durch folgende Anmeldungen und Patente:

EP1590927, EP1789857, EP1456722, EP2137893, DE102015105702

mit den entsprechenden Anmeldungen und Eintragungen in verschiedenen anderen Ländern.

EtherCAT 

EtherCAT® ist eine eingetragene Marke und patentierte Technologie lizenziert durch die Beckhoff Automation GmbH, Deutschland

Copyright

© Beckhoff Automation GmbH & Co. KG, Deutschland.

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet.

Zu widerhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksmustereintragung vorbehalten.

1.2 Sicherheitshinweise

Sicherheitsbestimmungen

Beachten Sie die folgenden Sicherheitshinweise und Erklärungen!
Produktspezifische Sicherheitshinweise finden Sie auf den folgenden Seiten oder in den Bereichen Montage, Verdrahtung, Inbetriebnahme usw.

Haftungsausschluss

Die gesamten Komponenten werden je nach Anwendungsbestimmungen in bestimmten Hard- und Software-Konfigurationen ausgeliefert. Änderungen der Hard- oder Software-Konfiguration, die über die dokumentierten Möglichkeiten hinausgehen, sind unzulässig und bewirken den Haftungsausschluss der Beckhoff Automation GmbH & Co. KG.

Qualifikation des Personals

Diese Beschreibung wendet sich ausschließlich an ausgebildetes Fachpersonal der Steuerungs-, Automatisierungs- und Antriebstechnik, das mit den geltenden Normen vertraut ist.

Erklärung der Symbole

In der vorliegenden Dokumentation werden die folgenden Symbole mit einem nebenstehenden Sicherheitshinweis oder Hinweistext verwendet. Die Sicherheitshinweise sind aufmerksam zu lesen und unbedingt zu befolgen!

GEFAHR

Akute Verletzungsgefahr!

Wenn der Sicherheitshinweis neben diesem Symbol nicht beachtet wird, besteht unmittelbare Gefahr für Leben und Gesundheit von Personen!

WARNUNG

Verletzungsgefahr!

Wenn der Sicherheitshinweis neben diesem Symbol nicht beachtet wird, besteht Gefahr für Leben und Gesundheit von Personen!

VORSICHT

Schädigung von Personen!

Wenn der Sicherheitshinweis neben diesem Symbol nicht beachtet wird, können Personen geschädigt werden!

HINWEIS

Schädigung von Umwelt oder Geräten

Wenn der Hinweis neben diesem Symbol nicht beachtet wird, können Umwelt oder Geräte geschädigt werden.



Tipp oder Fingerzeig

Dieses Symbol kennzeichnet Informationen, die zum besseren Verständnis beitragen.

2 Überblick

Durch den zunehmenden Einsatz dezentraler Steuerungen tritt immer häufiger die Anforderung auf, verschiedene Systeme zeitlich zu synchronisieren. Die Realisierung durch zyklisch versandte Informationen führt bei Systemen ohne identische Zeitbasis zu Schwebungseffekten. Diese äußern sich z.B. bei der Synchronisierung von Antrieben mittels via Netzwerk übertragener Achsinformationen als periodisch auftretende Betriebsstörungen. Die Bibliothek TcRemoteSync.lib bietet Möglichkeiten zur allgemeinen Zeitsynchronisierung von Informationen auf verteilten Systemen, sowie spezielle Methoden zur Synchronisierung von NC-Achsen ("verteilte Achsen").

Das Problem

Trotz nominell gleicher Taskzykluszeiten besteht zwischen unterschiedlichen Systemen ein geringer Gangunterschied (Drift). Diese Drift wird u. a. hervorgerufen durch Produktionsunterschiede, unterschiedlichem Temperaturverhalten und abweichenden Umgebungsbedingungen der verwendeten Oszillatoren. Der Gangunterschied bewirkt eine ständige Veränderung des zeitlichen Zusammenhangs der Taskzyklen der Systeme. In Abbildung 1 ist dies schematisch dargestellt. Das sendende System S und das empfangene System R arbeiten mit geringfügig unterschiedlichen Zykluszeiten T . Für den gezeigten Fall gilt: $T_S > T_R$. Durch den Gangunterschied verschieben sich die Taskzyklen der beiden System zueinander. Periodisch wiederkehrend tritt der Fall ein, dass zwei Zyklen des Systems R während eines Zyklus des Systems S stattfinden. Dieser Fall liegt an der in Abbildung 1 durch einen Kreis markierten Stelle vor.

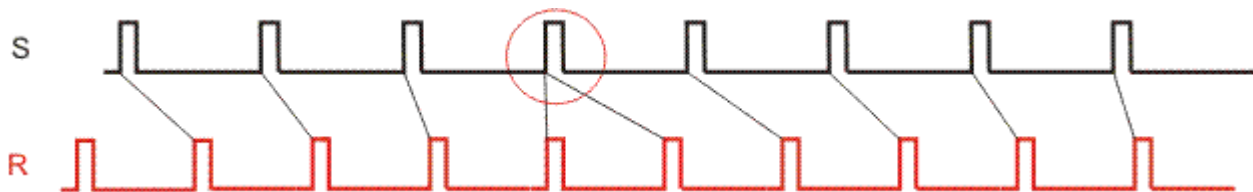


Abb. 1: Abbildung 1: Veränderung des zeitlichen Zusammenhangs zwischen den Taskzyklen zweier Systeme S und R mit geringfügig unterschiedlicher Zykluszeit ($T_S > T_R$).

Die Synchronisierung verteilter Systeme geschieht durch zyklisches Senden von Informationen vom Sender (S) zum Empfänger (R). Bis zu der in Abbildung 1 markierten Stelle werden die gesendeten Informationen sequentiell empfangen, dann wird die einmal gesendete Information in zwei aufeinander folgenden Zyklen gelesen, und anschließend erfolgt ein Übergang zurück zum sequentiellen Empfangen. Im Falle des umgekehrten Zykluszeitverhältnisses (d.h. Zykluszeit $T_R > T_S$) würde entsprechend eine gesendete Information auf der Empfängerseite nicht gesehen.

Die Lösung

Besteht nicht die Möglichkeit, die Zykluszeiten der Systeme physikalisch zu synchronisieren, z.B. im Fall zweier mit SERCOS-Karten betriebenen PCs, so können obige Schwebungseffekte durch Korrektur der empfangenen Informationen ausgeglichen werden. Die dazu benötigte Korrekturzeit Δt wird aus der Drift der beiden Systeme so bestimmt, dass die damit korrigierten Daten S' einem zeitlich äquidistanten und sequentiellen Empfang entsprechen. Abbildung 2 zeigt das ursprüngliche Zeitverhalten der Originaldaten S zum Empfänger R, sowie die um die Korrekturzeit Δt korrigierten Daten S'. An der mit einem Kreis markierten Stelle werden die ursprünglich von zwei Empfängerzyklen identisch gelesenen Daten zunächst für den ersten Empfängerzyklus mit der Zeit Δt_1 und anschließend für den zweiten Zyklus mit der Zeit Δt_2 korrigiert.

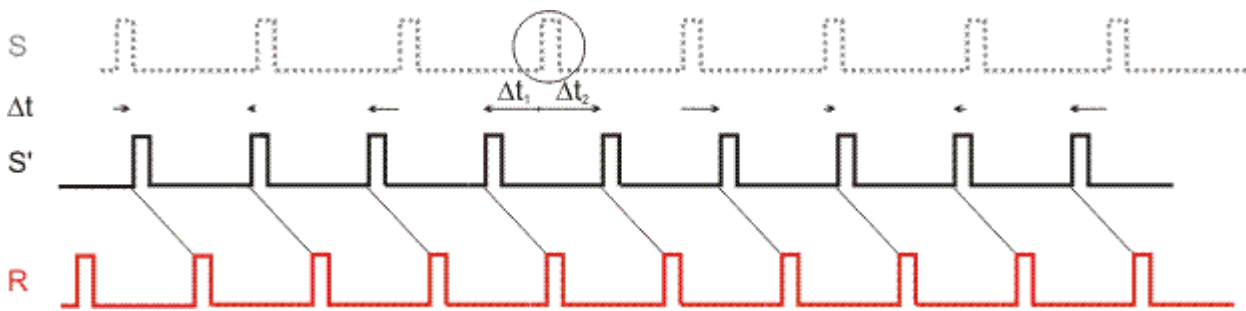


Abb. 2: Abbildung 2: Korrigierte Informationen S' nach Extrapolation der ursprünglich gesendeten Informationen S um die Korrekturzeit Δt . Vorzeichen und Größe der Zeitkorrektur sind durch die Pfeile angedeutet.

Für die Korrektur der Daten ist es notwendig, den zeitlichen Verlauf der Informationen zu kennen. In der typischen Anwendung der Synchronisation verteilter NC-Achsen kann beispielsweise die Korrektur der Sollposition und -geschwindigkeit durch Extrapolation mit der Sollgeschwindigkeit und -beschleunigung durchgeführt werden.

Anwendungsbeispiel

Eine typische Anwendung für die Synchronisierung verteilter Systeme ist der Betrieb von interpolierenden bzw. gekoppelten NC-Achsen (z.B. Master-Slave-Kopplung) an verschiedenen Rechnern ("verteilte Achsen"). Die durch das doppelte Lesen bzw. Verpassen von Informationen auftretenden Sprünge in den Sollwerten der Position und Geschwindigkeit bewirken periodisch wiederkehrende Betriebsstörungen. Abbildung 3 zeigt die Istgeschwindigkeit eines direkt mit der empfangenen Sollposition betriebenen Antriebes (Positionsinterface). Die sichtbaren Störungen sind durch Sprünge in den empfangenen Sollpositionen hervorgerufen.

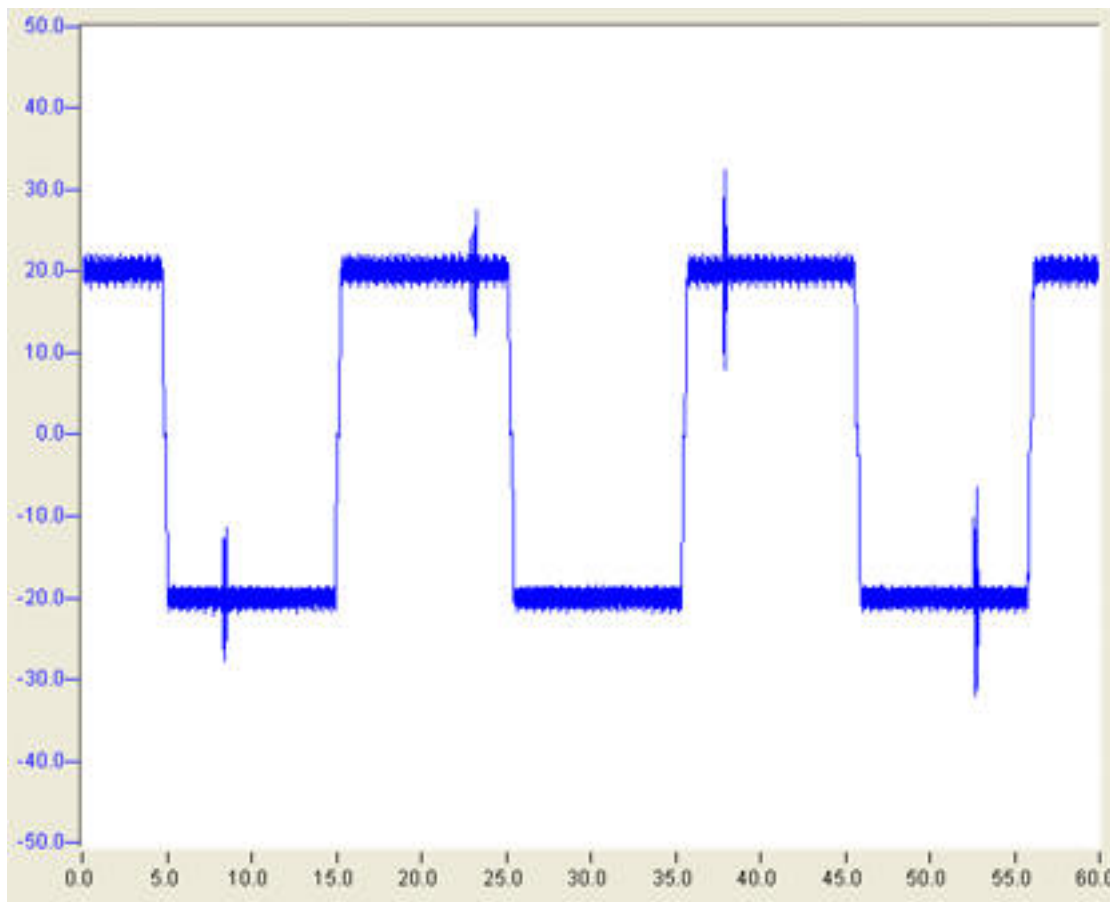


Abb. 3: Abbildung 3: Istgeschwindigkeit einer Achse, die direkt mit empfangenen Sollwerten im Positionsinterface betrieben wird.

Die Sollposition kann auf dem Empfängersystem vor der Ansteuerung des Antriebs nach der oben beschriebenen Methode korrigiert werden. Dazu wird die empfangene Sollposition p_s mit der Korrekturzeit Δt und der empfangenen Sollgeschwindigkeit v_s zur korrigierten Sollposition $p_{s'}$ extrapoliert. Wahlweise kann zusätzlich die Sollbeschleunigung a_s zur Extrapolation verwendet werden. Es gilt: $p_{s'} = p_s + \Delta t \cdot v_s (+0.5 \cdot \Delta t^2 \cdot a_s)$. Abbildung 4 zeigt die Istgeschwindigkeit der mit der korrigierten Sollposition $p_{s'}$ angetriebenen Achse. Die in Abbildung 3 vorhandenen Störungen treten nun nicht mehr auf.

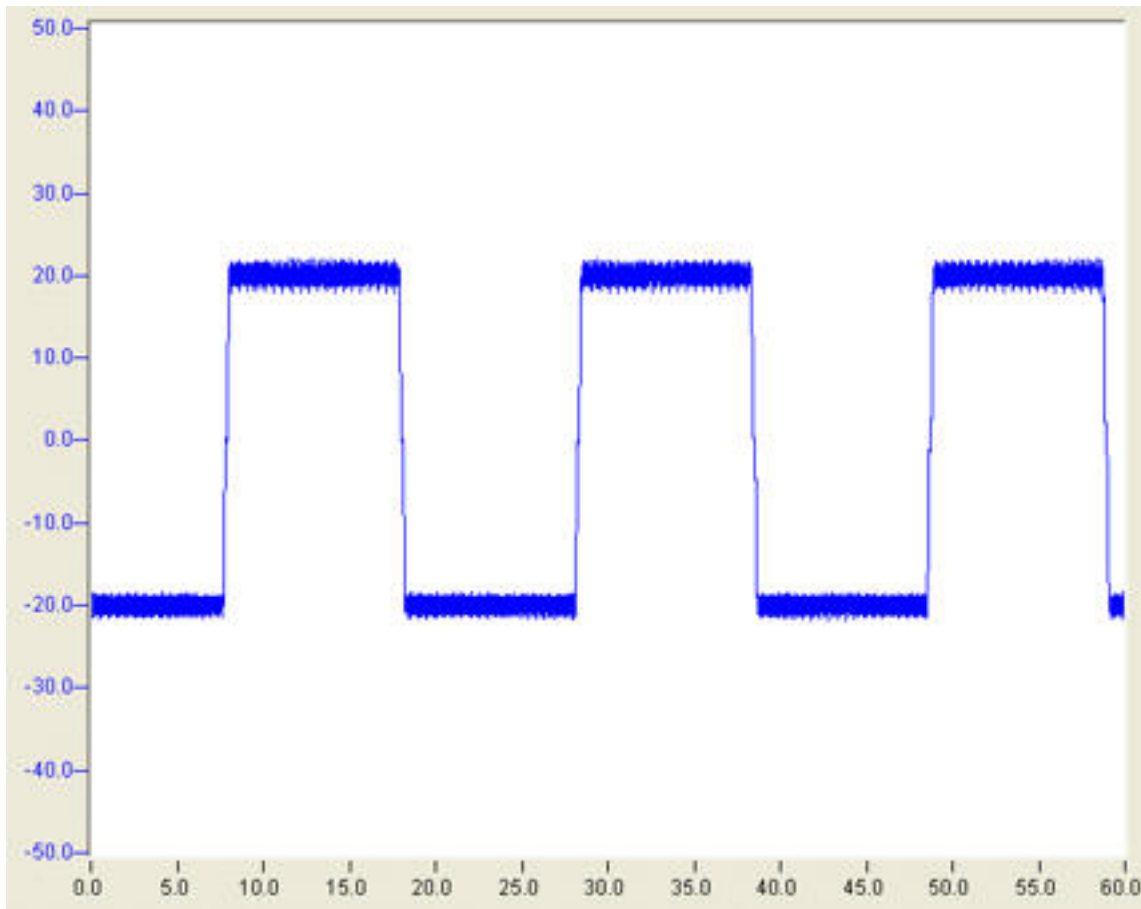


Abb. 4: Abbildung 4: Istgeschwindigkeit einer mit korrigierten Sollwerten betriebenen Achse im Positionsinterface.

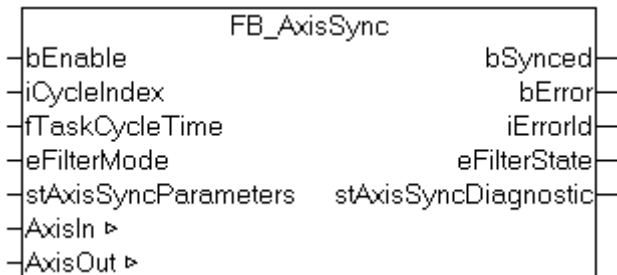
Funktionsumfang der Bibliothek TcRemoteSync.lib

Die Synchronisierung von verteilten Systemen kann mit der in der Bibliothek TcRemoteSync.lib implementierten Funktionalität durchgeführt werden. Die folgenden Funktionsbausteine kommen dazu auf dem Empfängersystem zum Einsatz:

Der Funktionsbaustein [FB_AxisSync](#) [[10](#)] dient der Synchronisierung von Achsen über ein Netzwerk. Die Sollposition und gegebenenfalls Sollgeschwindigkeit der gesendeten Achsinformationen werden gemäß den obigen Ausführungen extrapoliert. Zur Demonstration ist ein [Beispiel](#) [[28](#)] verfügbar. Intern benutzt [FB_AxisSync](#) zwei Funktionsbausteine, [FB_TimeSync](#) und [FB_AxisExtrapolateValues](#). Der Baustein [FB_TimeSync](#) [[14](#)] dient der Ermittlung der Schwebungsfrequenz und der Berechnung der Korrekturzeit Δt , [FB_AxisExtrapolateValues](#) [[17](#)] extrapoliert die empfangenen Sollwerte mit der Korrekturzeit.

3 PLC-API

3.1 FB_AxisSync



Dieser Funktionsbaustein dient zur Synchronisierung von NC-Achsen über ein Netzwerk ("verteilte Achsen") und zur Vermeidung der dabei auftretenden Schwebungseffekte. Zurückgegriffen wird dazu intern auf die auch einzeln zu verwendenden Funktionsbausteine [FB_TimeSync](#) [► 14] und [FB_ExtrapolateAxisValues](#) [► 17].

Allgemeines

Bei der Synchronisierung von NC-Achsen über ein Netzwerk werden typischerweise die Informationen einer Achse (Sender) als Netzwerkvariablen zyklisch an andere Achsen (Empfänger) verteilt. Bei dem direkten Betrieb der Empfänger mit den übertragenen Informationen werden Schwebungseffekte sichtbar, hervorgerufen durch kleine Gangunterschiede der beteiligten Echtzeituhren. Die Auswirkungen der Schwebung zeigen sich als zyklisch wiederkehrende Störungen des Betriebs der Empfängerachsen, da je nach Gangunterschied Informationen doppelt ausgewertet oder übersprungen werden. Die Häufigkeit und die Dauer der Störungen sind dabei abhängig von der Größe des Gangunterschieds und dem Jitter der einzelnen Echtzeituhren. Abbildung 1 zeigt die Istgeschwindigkeit einer direkt via Netzwerkvariablen betriebenen Achse (Positionsinterface). Die durch Schwebungseffekte hervorgerufene Störungen aufgrund von Sprüngen der empfangenen Sollpositionen sind deutlich zu erkennen.

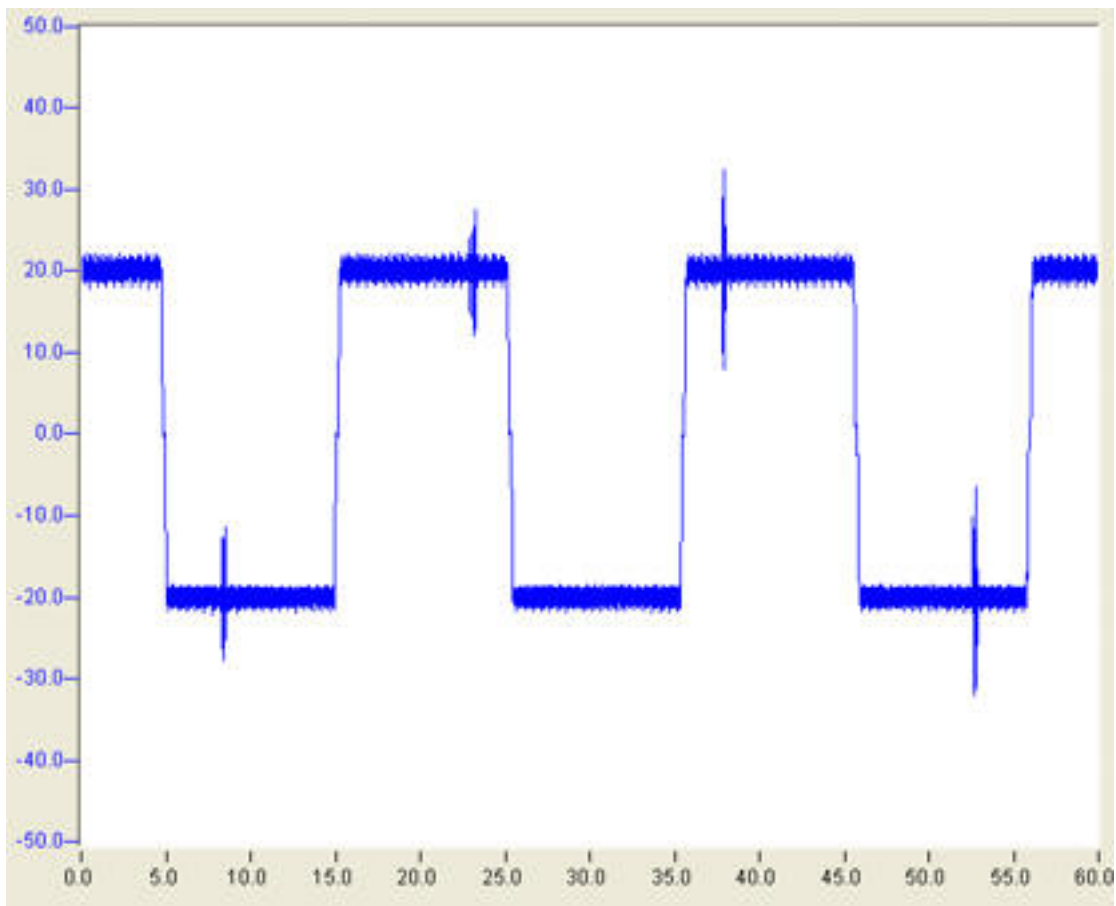


Abb. 5: Abbildung 1: Istgeschwindigkeit einer direkt mit den empfangenen Achsinformationen betriebenen Achse (Positionsinterface).

Abbildung 2 zeigt die Istgeschwindigkeit einer Achse, die mit durch diesen Funktionsbaustein korrigierten Werten betrieben wurde. Die vorher beobachteten Störungen sind nun nicht mehr zu erkennen.

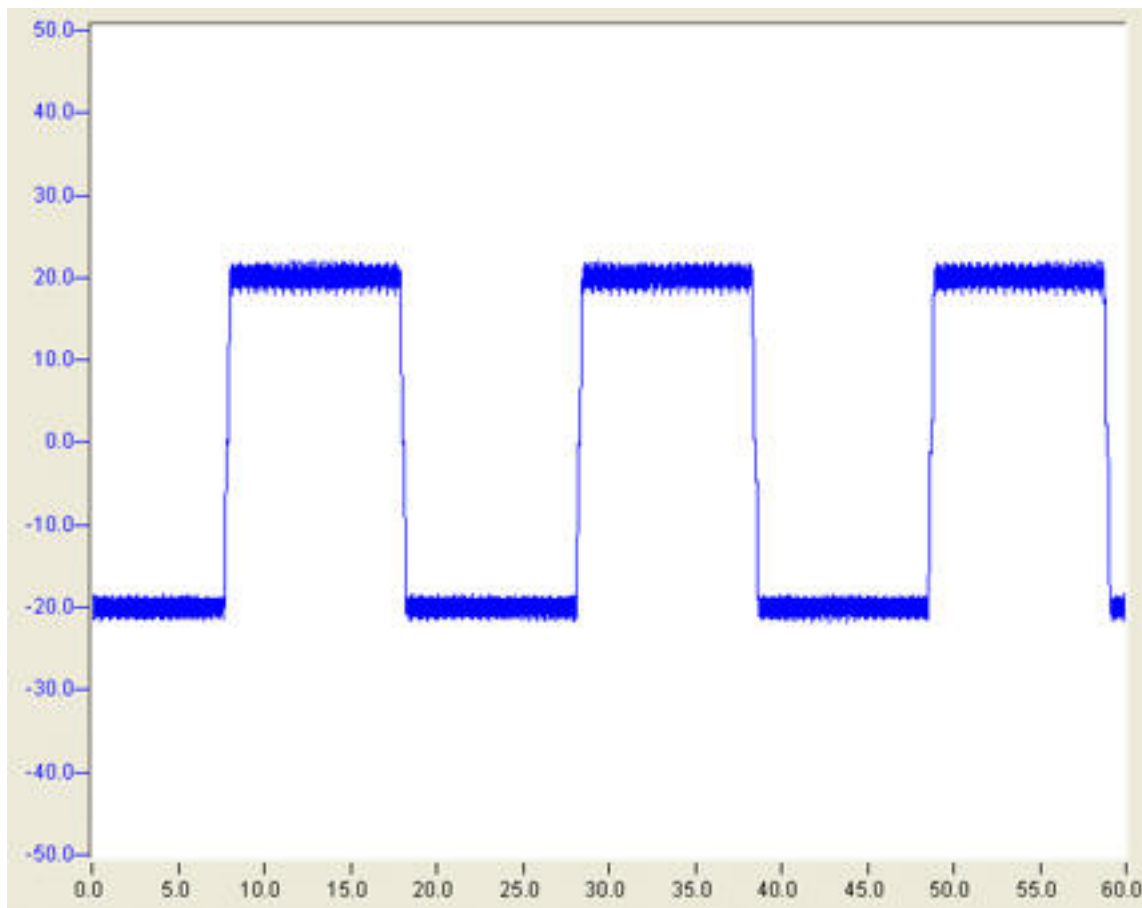


Abb. 6: Abbildung 2: Istgeschwindigkeit einer mit korrigierten Achsinformationen betriebenen Achse.

Beschreibung

Die Schwebungseffekte basieren auf dem Verpassen oder doppelten Lesen von Informationen. Mithilfe des Zyklusindex, eines bei jedem Sendevorgang von Netzwerkvariablen inkrementierten Zählers, können diese Vorgänge detektiert und Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Der Funktionsbaustein ist so konzipiert, dass

- a) die als Netzwerkvariablen empfangenen Achsstrukturen und der entsprechende Zyklusindex als Eingang des Bausteins benötigt werden,
- b) intern die Achsinformationen (Sollposition und -geschwindigkeit) korrigiert werden und
- c) mit den korrigierten Informationen eine NC-Achse betrieben werden kann.

Der Zyklusindex und die Zykluszeit(en) werden intern an den Funktionsbaustein [FB TimeSync \[► 14\]](#) weitergereicht. Dieser bestimmt die Frequenz der Schwebung und ermittelt eine Korrekturzeit, mit der die kinematischen Achsinformationen so extrapoliert werden können, dass die Schwebungseffekte aufgehoben werden. Dazu wird die Korrekturzeit zusammen mit der empfangenen Achsstruktur an eine Instanz des Funktionsbausteins [FB AxisExtrapolateValues \[► 17\]](#) übergeben. Dieser berechnet die korrigierte Sollpositionen und -geschwindigkeiten. Dabei ist zu beachten, dass standardmäßig die Sollbeschleunigung zur Korrektur der Position und der Geschwindigkeit herangezogen wird. Dieses Verhalten muss im Falle nicht glatter Sollbeschleunigungen, z.B. bei Encoder-Achsen, deaktiviert werden (`stAxisSyncParameters.stAxisExtrapolateParameters.bUseAccForExtrapolation:=FALSE`). Die korrigierten Sollwerte werden in einer Achsstruktur zur Verfügung gestellt und können dann zum Betrieb der Achse verwendet werden.

● Wichtig für den Betrieb

i Es ist sicherzustellen, dass der Baustein `FB_AxisSync` nur einmal pro SPS-Zyklus aufgerufen wird!

VAR_INPUT

```

VAR_INPUT
  bEnable:          BOOL;
  iCycleIndex:     WORD;
  fTaskCycleTime:  LREAL;
  eFilterMode:     E_Sync_FilterMode;
  stAxisSyncParameters: ST_AxisSyncParameters;
END_VAR

```

bEnable : Das Zurücksetzen und Aktivieren des FB erfolgt durch eine steigende Flanke an diesem Eingang. Ist bEnable=FALSE, so wird die Eingangs-Achsstruktur AxisIn unmodifiziert auf den Ausgang AxisOut kopiert.

iCycleIndex : Vom Sender bei der Übertragung jeder Achsstruktur AxisIn um den Wert 1 erhöhter und mit übermittelter Zähler. Dieser wird benutzt, um die Schwebungsfrequenz zu bestimmen und Fluktuationen zu identifizieren.

fTaskCycleTime : Zykluszeit [s]. Standardmäßig wird davon ausgegangen, dass sowohl Sender als auch Empfänger mit der Zykluszeit fTaskCycleTime betrieben werden. Im Fall unterschiedlicher Zykluszeiten entspricht fTaskCycleTime der des Empfängers, stAxisSyncParameters.stTimeSyncParameters.fDataCycleTime der des Senders.

eFilterMode : Unabhängig vom Status der Synchronisierung (angezeigt durch den Ausgang bSynced) kann die [Methode \[► 21\]](#) gewählt werden, mit der die korrigierten Achssollwerte berechnet werden. Hiervon nicht betroffen ist der automatische Fallback (siehe [ST_AxisSyncParameters \[► 20\]](#). eFallbackMode) bei zu großem Abstand zwischen berechneter und originaler Position. Standardmäßig ist der Automatik-Modus aktiviert. Dadurch wird

1. bei der Initialisierung der gewählte Modus (ST_AxisSyncParameters.eStartUpMode) verwendet. Standardmäßig ist dies der Time-Modus, d.h. es wird eine Zykluszeit berechnet, die das Auftreten von Fluktuationen verhindert.
2. Sobald ausreichend viele (stAxisSyncParameters.stTimeSyncParameters.iNoOfPeriodsForMeanDrift +1) Schwebungen erkannt wurden, wird in den Sync-Modus umgeschaltet und die Sollwerte werden mit der Korrekturzeit extrapoliert.
3. Geht aus irgendeinem Grund die Synchronisierung verloren, wird auf den PT1-Modus geschaltet. In diesem Modus werden die übertragenen Positionen gefiltert an den Ausgang weitergeleitet.

stAxisSyncParameters : Struktur zur detaillierten Konfiguration des FB. Die Vorgabewerte sollten allerdings in den meisten Fällen ausreichend sein.

VAR_OUTPUT

```

VAR_OUTPUT
  bSynced          : BOOL;
  bError           : BOOL;
  iErrorId         : DINT := 0;
  eFilterState     : E_Sync_FilterState;
  stAxisSyncDiagnostic : ST_AxisSyncDiagnostic;
END_VAR

```

bSynced : TRUE falls der Empfänger mit dem Sender synchronisiert ist, ansonsten FALSE.

bError : Wird TRUE im Falle eines Fehlers.

iErrorId : Stellt den [Fehlercode \[► 27\]](#) bereit.

eFilterState : Zeigt an, welche [Methode \[► 22\]](#) zur Bestimmung der in AxisOut zurückgegebenen Sollwerte verwendet wurde. Die Möglichkeiten sind:

- **Bypass** : Die in AxisIn bereitgestellten Werte wurden unmodifiziert in AxisOut bereitgestellt.
- **PT1** : Die Eingangswerte wurden mit Hilfe eines PT1-Filters geglättet.
- **Sync** : Die Ausgangswerte wurden aus den Eingangsgrößen mithilfe der Korrekturzeit bestimmt.
- **Time** : Die Zeitkorrektur wird so berechnet, dass auftretende Schwebungseffekte und Fluktuationen ausgeglichen werden.

Weitere Informationen finden sich in der Dokumentation des Funktionsbausteins [FB TimeSync \[► 14\]](#).

stAxisSyncDiagnostic : [Diagnosewerte \[► 21\]](#)

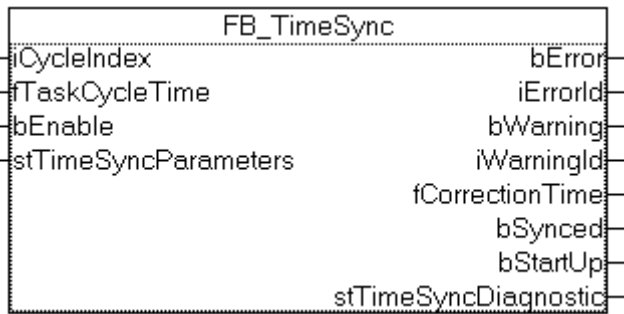
VAR_IN_OUT

```
VAR_IN_OUT
  AxisIn  : NCTOPLC_AXLESTRUCT;
  AxisOut : NCTOPLC_AXLESTRUCT;
END_VAR
```

AxisIn : Eingangs-Achsstruktur des Senders.

AxisOut : Ausgang-Achsstruktur mit korrigierten Achssollwerten.

3.2 FB_TimeSync



Dieser Funktionsbaustein dient der Synchronisierung von Systemen. Basierend auf dem Zyklusindex empfangener Netzwerkvariablen wird der Gangunterschied der Systeme bestimmt und eine Korrekturzeit berechnet.

Beschreibung

Zur Synchronisierung verteilter Systeme werden die Informationen von einem System zyklisch versendet und von den anderen Systemen empfangen. Durch Gangunterschiede zwischen den Zykluszeiten des Senders und des jeweiligen Empfängers treten Schwebungseffekte (siehe [Einführung \[► 7\]](#)) durch Verpassen oder doppelten Lesen einzelner Informationen auf. Im Folgenden wird zur einfacheren Darstellung nur der Fall nominell gleicher Zykluszeiten auf Sender- und Empfängerseite betrachtet. Für unterschiedliche Zykluszeiten (unterstützt werden geradzahlige Verhältnisse) gilt die folgende Beschreibung mit anderen Werten.

Jeder Sendevorgang wird mit einer fortlaufenden Nummer assoziiert, dem Zyklusindex m der Netzwerkvariablen. Für den Unterschied Δm_i des im aktuellen (i) und des im vorherigen ($i-1$) Zyklus empfangenen Zyklusindex ($\Delta m_i = m_i - m_{i-1}$) ergeben sich folgende Fälle:

- $\Delta m = 0$: Im aktuellen und im vorherigen Zyklus wurden die gleichen Daten gelesen.
- $\Delta m = 1$: Die gesendeten Daten werden kontinuierlich empfangen.
- $\Delta m \geq 2$: Ein oder mehrere Informationen wurden nicht empfangen.

Abbildung 1 zeigt an der markierten Position schematisch den Fall für $\Delta m = 0$, d.h. für ein doppeltes Lesen einer Information. Analog ist der Fall $\Delta m = 2$ in Abbildung 2 dargestellt, hier wird eine gesendete Information übersprungen und nicht ausgewertet.

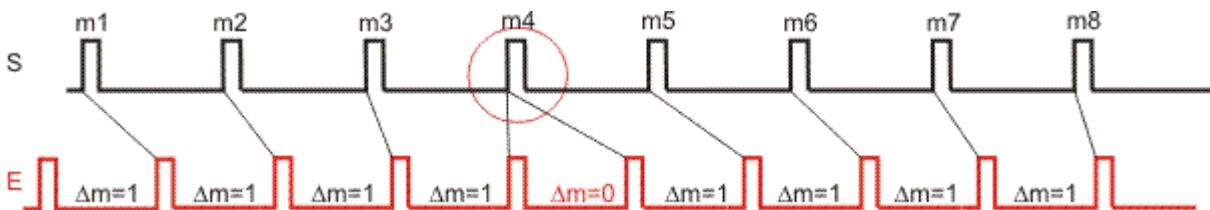


Abb. 7: Abbildung 1: Schwebungseffekt, wenn die Zykluszeit des Senders (S) größer als die des Empfängers (E). Durch Linien sind die zusammengehörigen Sender- und Empfängerzyklen verbunden.

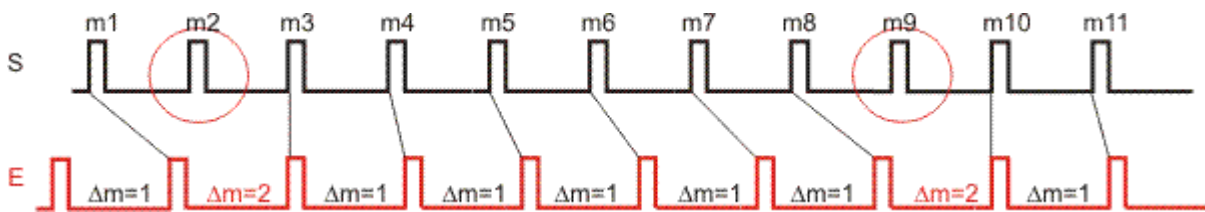


Abb. 8: Abbildung 2: Schwebungseffekt, wenn die Zykluszeit des Senders (S) kleiner als die des Empfängers (E).

Identifikation von Schwebungen

Im Idealfall nur durch die Drift voneinander abweichender Zeiten würde das Auftreten von $\Delta m \neq 1$ einen Sprung charakterisieren. Aufgrund des Jitters der Zykluszeiten um Ihren nominellen Wert treten diese Fälle zeitlich gehäuft im Bereich um die Schwebung auf und verbreitern den punktuellen Sprung zu einer Übergangszone. Deren Breite ist abhängig davon, wie groß zum einen der Jitter der Uhren ist, und zum Anderen von der Größe des absoluten Gangunterschieds. Die Breite des Übergangs macht es notwendig, diesen durch eine andere Forderung als $\Delta m \neq 1$ zu identifizieren. Durch die Abweichungen von $\Delta m = 1$ vergrößert sich an den Sprungstellen die Differenz stattgefunder Sender- und Empfängerzyklen. Eine über mehrere (*stTimeSyncParameters.iEndOfTransitionLimit*) Zyklen konstante Differenz wird genutzt, um das Auftreten einer Schwebung zu identifizieren. Dadurch kann ein Sprung erst die zur Identifikation notwendige Anzahl von Zyklen nach seinem Auftreten erkannt werden, was bei der Bestimmung der Korrekturen von Bedeutung ist.

Aus der Anzahl von Taktzyklen des Empfängers zwischen zwei Schwebungen wird der Gangunterschied zwischen den Rechnern bestimmt. Dieser kann zur Korrektur der Schwebungseffekte verwendet werden.

Korrekturen

Abbildung 3 zeigt den Zyklusindex der gesendeten Informationen als Funktion des empfangenen Zyklusindex für den Fall $\Delta m = 2$ an der Sprungstelle. Die Steigung der Kurve weicht durch die Schwebungseffekte von dem Idealwert 1 ab. Um die Sprünge zu vermeiden, kann ein korrigierter Zyklusindex so berechnet werden (punktierte Linie), dass die Schwebungseffekte in der Zeit zwischen den Sprüngen ausgeglichen werden. Das Ergebnis ist ein korrigierter Zyklusindex auf der Empfängerseite, der geringfügig von dem übermittelten Wert abweicht, dafür aber äquidistant ist und keine Sprünge zeigt.

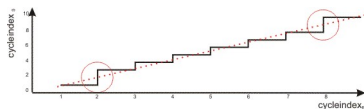


Abb. 9: Abbildung 3: Empfangener (durchgehende Linie) und korrigierter (gestrichelt) Zyklusindex. Durch Kreise markiert sind die Sprungstellen mit $\Delta m = 2$.

Da nach obigen Ausführungen ein Sprung erst verzögert erkannt werden kann, kommt die mit der aktuell berechneten Drift bestimmte Korrektur auch erst verzögert zum Einsatz. Um auch bei starken Variationen der Gangunterschiede Sprünge in dem korrigierten Zyklusindex zu vermeiden, wird nach Identifikation eines Sprungs die zur Korrektur verwendete Drift schrittweise von dem alten an den neuen Wert angepasst.

Eine weitere Möglichkeit die Auswirkungen sich stark ändernder Gangunterschiede zu begrenzen, ist die nicht-gleichförmige Korrektur der Schwebungseffekte. Dabei wird nach einem Sprung stärker korrigiert als kurz vor dem erwarteten Eintreten des nächsten Sprungs. Verkürzt sich die Zeit zwischen zwei Sprüngen, ist die Korrektur weitestgehend abgeschlossen und es sind kaum zusätzliche Korrekturen notwendig. Weitere Erläuterungen finden sich bei der Beschreibung der Konfigurationsparameter [► 23].

Korrekturzeit

Aus der Differenz des korrigierten und des empfangenen Zyklusindex kann, durch Multiplikation mit der Zykluszeit, die Korrekturzeit bestimmt werden. Mit der Korrekturzeit wird angegeben, um welche Zeit die aktuell gelesene Information verschoben werden muss, um äquidistant und ohne Sprünge interpretiert zu werden. Ist der zeitliche Verlauf der zu korrigierenden Größe bekannt, kann diese entsprechend extrapoliert werden. Für den Zyklusindex ist der Zusammenhang einfach (+1 pro Zykluszeit), zur Extrapolation von

Achsinformationen wie Position und Geschwindigkeit müssen entsprechend die Geschwindigkeit und Beschleunigung bekannt sein (siehe Dokumentation der Funktionsbausteine [FB AxisSync \[► 10\]](#) und [FB AxisExtrapolateValues \[► 17\]](#), sowie die [Einführung \[► 7\]](#)).

Initialisierungsphase

Zur Berechnung der Korrekturen müssen mindestens zwei Schwebungen stattgefunden haben, um eine Drift berechnen zu können. Um auch vor dem Auftreten dieser zwei Schwebungen Fluktuationen und Sprünge ausgleichen zu können, existiert der so genannte Time-Modus. In diesem Modus (Ausgänge $bStartUp=TRUE$ und $bSynced=FALSE$) wird der korrigierte Zyklusindex bei jedem Zyklus um +1 inkrementiert und Sprünge im empfangenen Zyklusindex so ausgeglichen. Nach Identifikation eines Sprungs (dessen Eintreffzeitpunkt hier noch nicht vorhersehbar ist) wird die auftretende Differenz im Verlauf mehrerer Zyklen ($stTimeSyncParameters.iTimeModeBlendingCycles$) kompensiert. Nach Identifikation der benötigten Anzahl von Schwebungen ($stTimeSyncParameters.iNoOfPeriodsForMeanDrift$) wird die Korrekturzeit nach der oben beschriebenen Methode berechnet (Ausgänge $bStartUp=FALSE$ und $bSynced=TRUE$), es erfolgt ein Übergang vom Time- in den Sync-Modus.



Wichtig für den Betrieb

Es ist sicherzustellen, dass der Baustein FB_TimeSync nur einmal pro SPS-Zyklus aufgerufen wird!

VAR_INPUT

```
VAR_INPUT
  iCycleIndex      : WORD;
  fTaskCycleTime   : LREAL;
  bEnable          : BOOL;
  stTimeSyncParameters : ST_TimeSyncParameters;
END_VAR
```

iCycleIndex : Zyklusindex der aktuell empfangenen Daten

fTaskCycleTime : Nominelle Zykluszeit des Empfängers in [s]. Weicht die Zykluszeit des Senders hiervon ab, muss diese über den Parameter $stTimeSyncParameters.fDataCycleTime$ konfiguriert werden. Ansonsten wird angenommen, dass beide Zykluszeiten gleich sind. Die Zykluszeiten müssen geradzahlige Vielfache voneinander sein, d.h. z.B. $t_{Sender}=2ms$, $t_{Empfänger}=4ms$ oder $t_{Empfänger}=1ms$.

bEnable : FALSE deaktiviert den Funktionsbaustein, eine steigende Flanke reinitialisiert und startet ihn

stTimeSyncParameters : [Struktur \[► 23\]](#) mit Konfigurationsparametern

VAR_OUTPUT

```
VAR_OUTPUT
  bError          : BOOL;
  iErrorId        : DINT;
  bWarning        : BOOL;
  iWarningId      : DINT;
  fCorrectionTime : LREAL;
  bSynced         : BOOL;
  bStartUp        : BOOL;
  stTimeSyncDiagnostic: ST_TimeSyncDiagnostic;
END_VAR
```

bError : TRUE im Falle eines Fehlers

iErrorId : liefert im Falle eines Fehlers den Fehlercode ([E_Sync_ErrorCodes \[► 27\]](#)) zurück

bWarning : TRUE im Falle einer Warnung, d.h. Betrieb geht, wenn auch nicht unter optimalen Bedingungen, weiter

iWarningId : liefert, falls eine Warnung aufgetreten ist, den entsprechenden Code zurück ([E_Sync_WarningCode \[► 27\]](#))

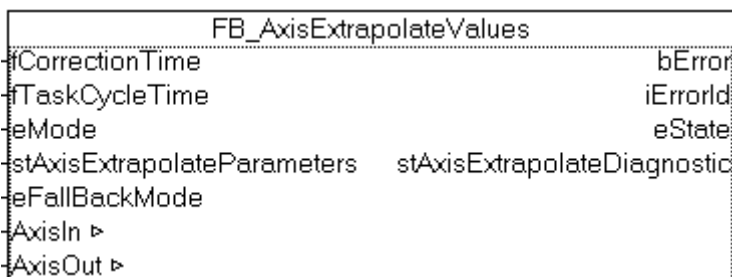
fCorrectionTime : Korrekturzeit, d.h. die zur Extrapolation der empfangenen Informationen zu verwendende Zeit in [s]

bSynced : TRUE wenn Sender und Empfänger synchronisiert sind. Im Sync-Modus konnte eine Korrekturzeit bestimmt werden, d.h. die Initialisierungsphase ist abgeschlossen, und die Korrekturzeit befindet sich innerhalb zulässiger Werte (d.h. nach der Identifikation von *stTimeSyncParameters.iNoOfPeriodsForMeanDrift* Schwebungen, und dem anschließenden Unterschreiten von *stTimeSyncParameters.fThresholdForSync*TaskCycleTime* durch den Absolutwert der Korrekturzeit).

bStartUp : TRUE wenn der Funktionsbaustein sich in der Initialisierungsphase befindet. In dieser Phase wird die Korrekturzeit so berechnet, dass diese zur Extrapolation der Daten verwendet werden kann, aber *_nur_* Fluktuation ($\Delta m \neq 1$) ausgleicht. Nach Identifikation einer Schwebung in der Initialisierungsphase wird innerhalb von *stTimeSyncParameters.iExtendedStartUpBlendingCycles* Zyklen auf eine Korrekturzeit von 0 linear übergeblendet.

stTimeSyncDiagnostic: [Struktur \[▶ 25\]](#) mit weitergehenden Diagnoseausgaben

3.3 FB_AxisExtrapolateValues



Dieser Funktionsbaustein dient der Extrapolation kinematischer Achsgrößen. Die Sollposition (und wahlweise -geschwindigkeit) werden auf Basis der Sollgeschwindigkeit (und -beschleunigung) um die angegebene Korrekturzeit extrapoliert.

HINWEIS

Defaultmäßig ist die Verwendung der Sollbeschleunigung zur Extrapolation der Geschwindigkeit und Position *_aktiviert_*. Entsprechend muss sichergestellt sein, dass hinreichend glatte, d.h. unverrauschte und Spikefreie Beschleunigungswerte (z.B. analytische Werte aus PTP-Achsen) in der AxisIn-Struktur vorhanden sind. Encoder-Achsen erfüllen diese Anforderungen an die Beschleunigung durch Abtastung und doppelte Differentiation der Position nicht. Die Verwendung der Beschleunigung muss hier durch Setzen des Parameters *stAxisExtrapolateParameters.bUseAccForExtrapolation=FALSE* deaktiviert werden.

Beschreibung

Die in der [Einführung \[▶ 7\]](#) beschriebenen Schwebungseffekte führen zum Verlust oder doppelten Lesen von gesendeten Informationen. Handelt es sich bei den Informationen um Sollwerte von Achsen, so ergeben sich Sprünge in den kinematischen Größen Sollposition und -geschwindigkeit. Mit diesen Größen direkt betriebene Achsen zeigen periodisch auftretende Störungen des Betriebs. Abhilfe schafft die Korrektur der Sollwerte mit Termen der höheren Ableitungen (Sollgeschwindigkeit bzw. -beschleunigung) und einer Korrekturzeit. Letztere ist so beschaffen (siehe [FB TimeSync \[▶ 14\]](#)), dass Schwebungen und Fluktuation der Sollwerte durch die Extrapolation ausgeglichen werden können.

Abbildung 1 zeigt die empfangene (durchgehend) und die korrigierte (gestrichelt) Position, wobei die Achse mit dem Positionsinterface der unkorrigierten Werte angetrieben wurde. Die daraus resultierenden Auswirkungen auf die punktiert dargestellte Istgeschwindigkeit sind als größer werdende Fluktuationen zu erkennen. Abbildung 2 zeigt die Situation im Überblick.

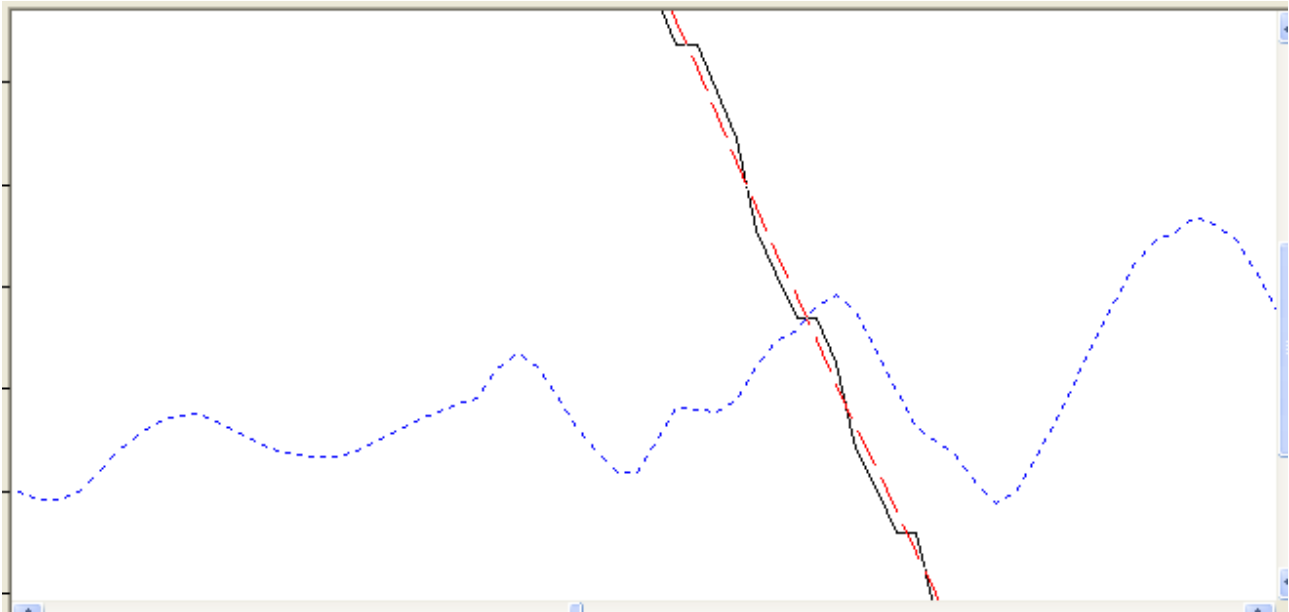


Abb. 10: Abbildung 1: Unkorrigierte (schwarz, durchgehend) und korrigierte (rot, gestrichelt) Sollposition, sowie Istgeschwindigkeit (blau, punktiert) der im Positionsinterface mit der `_unkorrigierten_` Position angetriebenen Achse.

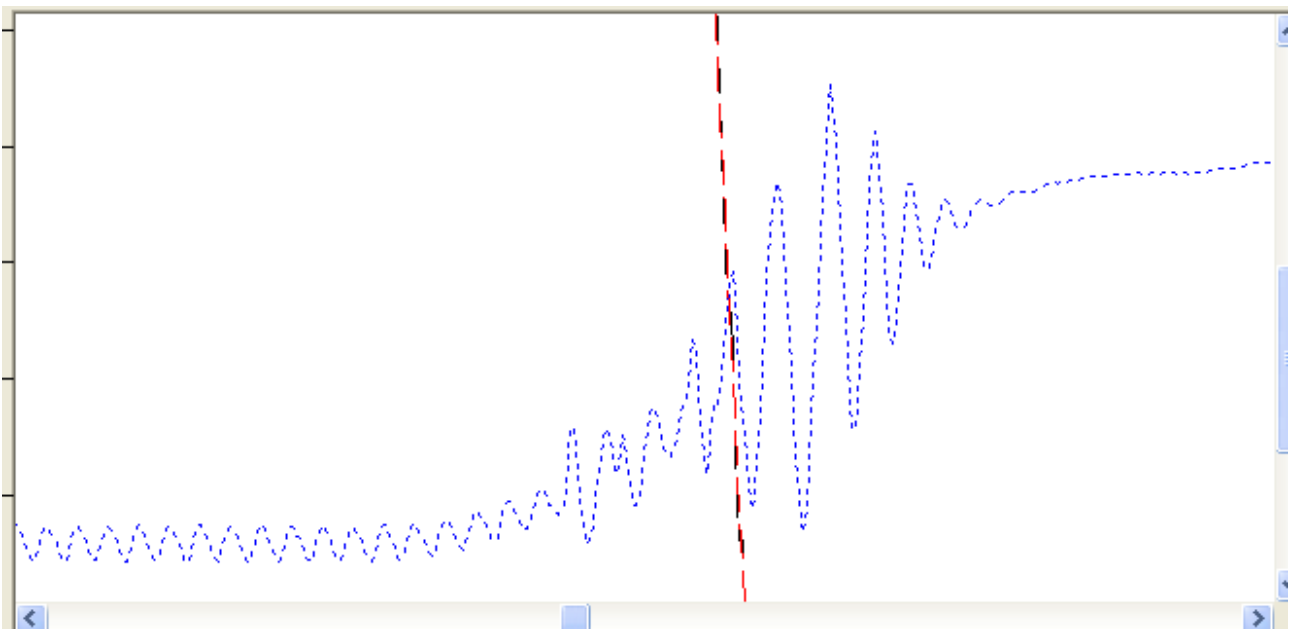


Abb. 11: Abbildung 2: Überblick der in Abbildung 1 vergrößert dargestellten Situation.

Extrapolation der Sollwerte

Für die Extrapolation der Sollwerte stehen zwei unterschiedlich detaillierte Verfahren zur Verfügung. Im ersten Fall wird nur die Sollgeschwindigkeit verwendet, um die Sollposition zu extrapolieren:

```
AxisOut.fPosSoll:=AxisIn.fPosSoll + AxisIn.fVeloSoll * fTimeCorrection;
AxisOut.fVeloSoll:=AxisIn.fVeloSoll;
```

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, auch die Sollbeschleunigung zur Extrapolation von Sollposition und Sollgeschwindigkeit zu verwenden:

```
AxisOut.fPosSoll:=AxisIn.fPosSoll + AxisIn.fVeloSoll*fTimeCorrection+ 0.5 * AxisIn.fAccSoll
*fTimeCorrection^2;
AxisOut.fVeloSoll:=AxisIn.fVeloSoll + AxisIn.fAccSoll *fTimeCorrection;
```

Anforderungen:

Abhängig davon, in welcher Hauptbetriebsart die Achse betrieben werden soll, sind gewisse Voraussetzungen zu erfüllen und der entsprechende Modus zu aktivieren. Die entsprechenden Kombinationen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Hauptbetriebsart der Achse	benötigte Größen in AxisIn	Parameter	Kommentar
Positionsinterface	Sollposition Sollgeschwindigkeit (Sollbeschleunigung)	stAxisExtrapolateParameters .bUseAccForExtrapolation=FALSE (=TRUE)	Die Verwendung der Beschleunigung kann wahlweise hinzugeschaltet werden. (Anforderungen an die Beschleunigung (s.o.) sind zu beachten.)
Geschwindigkeitsinterface	Sollposition Sollgeschwindigkeit Sollbeschleunigung	stAxisExtrapolateParameters .bUseAccForExtrapolation=TRUE	analytisches Verhalten der Beschleunigung notwendig, d.h. z.B. keine Encoder-Achsen

Betriebsarten:

Neben der Extrapolation der Sollwerte existieren weitere Betriebsmodi. Zwei davon, der Bypass- und der PT1-Modus, kommen vor allem dann zum Einsatz, wenn keine Korrekturzeit für die Extrapolation zu Verfügung steht. Bei Verwendung des Funktionsbausteins **FB_TimeSync** [► 14] ist dies der Fall während der Initialisierungsphase oder wenn aus anderen Gründen die Synchronisierung fehlschlägt. Ebenfalls für Verwendung mit diesem Baustein existiert die Wahlmöglichkeit des Time-Modus, um auch bei der Initialisierung ohne Kenntnis der Schwebungsfrequenz eine Korrekturzeit zur Vermeidung von Fluktuationen zu bestimmen.

Die Betriebsarten sind im Einzelnen:

Modus	Beschreibung
E_Sync_ExtrapolateMode_Bypass	1:1-Kopie aller empfangenen Sollwerte auf den Ausgang, d.h. ohne Veränderung der kinematischen Größen und damit auch ohne Verminderung von Schwebungseffekten.
E_Sync_ExtrapolateMode_PT1	Im PT1-Filtermodus wird die Eingangsposition durch einen konfigurierbaren (siehe stAxisExtrapolateParameters [► 25]) PT1-Filter auf den Ausgang geleitet. Die Auswirkungen der Schwebung können hierdurch vermindert werden.
E_Sync_ExtrapolateMode_Sync	Der Sync-Modus entspricht dem Standardmodus des Bausteins und extrapoliert, wie oben beschrieben, die kinematischen Sollwerte entsprechend der Korrekturzeit.
E_Sync_ExtrapolateMode_Time	Bei doppeltem Lesen/Verpassen von Daten wird die Korrekturzeit so berechnet, dass die Auswirkungen auf die Sollwerte minimiert werden. Im Gegensatz zum Sync-Modus wird nicht über den gesamten Bereich zwischen den Schwebungen eine Korrektur der Sollwerte ausgeführt.

Sicherheitsmaßnahmen:

Um im Falle einer fehlerhaften Berechnung der Korrekturzeit nicht beliebig große Differenzen zwischen den Original-Sollwerten und den berechneten Größen zu erhalten, kann dieser Abstand begrenzt werden. Festgelegt wird die maximale Differenz durch die Positions- bzw. Geschwindigkeitsänderung, die mit der aktuellen Sollgeschwindigkeit bzw. -beschleunigung in

`stAxisExtrapolateParameters.fMaxPositionDiffFactor` Zyklen erreicht werden kann. Überschreitet die Differenz diesen Wert, wird der konfigurierbare Fallback-Modus aktiviert. Hierfür stehen der Bypass- und der PT1-Modus zur Verfügung (siehe obige Beschreibung).

VAR_INPUT

```
VAR_INPUT
  fCorrectionTime      : LREAL;
  fTaskCycleTime      : LREAL;
  eMode                : E_Sync_ExtrapolateMode;
  eFallbackMode        : E_Sync_FallBackMode;
  stAxisExtrapolateParameters : ST_AxisExtrapolateParameters;
END_VAR
```

fCorrectionTime : Korrekturzeit zur Extrapolation [s]

fTaskCycleTime : Zykluszeit des Empfängers [s].

eMode : Vorgewählter Betriebsmodus [► 26], kann durch Sicherheitsmaßnahmen (Fallback) automatisch geändert werden. Der tatsächlich verwendete Modus wird als Ausgang `eState` angezeigt.

eFallbackMode : Modus [► 21], falls die Abweichung der berechneten Sollwerte von den Original-Sollwerten den durch den Parameter `stAxisExtrapolateParameters.fMaxPositionDiffFactor` beschriebenen Wert überschreitet.

stAxisExtrapolateParameters: S [► 25]truktur mit Konfigurationsparametern

VAR_OUTPUT

```
VAR_OUTPUT
  bError              : BOOL;
  iErrorId            : DINT;
  eState              : E_Sync_ExtrapolateState;
  stAxisExtrapolateDiagnostic: ST_AxisExtrapolateDiagnostic;
END_VAR
```

bError : TRUE im Falle eines Fehlers

iErrorId : Fehlercode (E_Sync_ErrorCodes [► 27])

eState : verwendeter Modus (E_Sync_ExtrapolateState [► 22])

stAxisExtrapolateDiagnostic: S [► 25]truktur mit erweiterten Diagnosausgaben

VAR_IN_OUT

```
VAR_IN_OUT
  AxisIn : NCTOPLC_AXLESTRUCT;
  AxisOut : NCTOPLC_AXLESTRUCT;
END_VAR
```

AxisIn : empfangene Original-Achsstruktur

AxisOut : Achsstruktur, zur Vermeidung von Schwebungseffekten mit modifizierten Sollwerten

3.4 ST_AxisSyncParameters

Konfigurationsstruktur für FB_AxisSync [► 10].

```
TYPE ST_AxisSyncParameters :
  STRUCT
    eStartupMode      : E_Sync_StartUpMode := E_Sync_StartUpMode_Time;
    eFallbackMode      : E_Sync_FallBackMode := E_Sync_FallBackMode_PT1;
    stAxisExtrapolateParameters : ST_AxisExtrapolateParameters;
    stTimeSyncParameters : ST_TimeSyncParameters;
  END_STRUCT
END_TYPE
```

eStartupMode: Welcher Modus [► 22] wird zur Korrektur der Sollwerte während der Initialisierungsphase, wenn der Gangunterschied noch nicht bestimmt wurde, verwendet.

eFallbackMode: [Modus \[► 21\]](#), wenn der Unterschied zwischen berechneter und originaler Sollposition zu groß ist (siehe [stExtrapolateParameters.fMaxPositionDiff](#))

stExtrapolateParameters : [Konfigurationsstruktur \[► 25\]](#) des Bausteins [FB AxisExtrapolateValues \[► 17\]](#).

stTimeSyncParameters : [Konfigurationsstruktur \[► 23\]](#) des Bausteins [FB TimeSync \[► 14\]](#).

3.5 ST_AxisSyncDiagnostic

Diagnosestruktur für [FB AxisSync \[► 10\]](#).

```

TYPE ST_AxisSyncDiagnostic :
  STRUCT
    fPositionDiff          : LREAL;
    fVeloDiff              : LREAL;
    fCorrectionTime         : LREAL;
    bTimeMode               : BOOL;
    stTimeSyncDiagnostic   : ST_TimeSyncDiagnostic;
    stAxisExtrapolateDiagnostic : ST_AxisExtrapolateDiagnostic;
  END_STRUCT
END_TYPE

```

fPositionDiff: aktuelle Differenz zwischen originaler und berechneter Sollposition: *AxisIn.fPosSoll - AxisOut.fPosSoll*

fVeloDiff: aktuelle Differenz zwischen originaler und berechneter Sollgeschwindigkeit: *AxisIn.fVeloSoll - AxisOut.fVeloSoll*

fCorrectionTime: wenn *bSynced=TRUE* enthält *fCorrectionTime* die Korrekturzeit für die Synchronisierung
wenn *bSynced=FALSE* und *bTimeMode=TRUE* ist der Wert von *fCorrectionTime* zur Vermeidung von Fluktuationen berechnet

bTimeMode: TRUE, wenn der Time-Mode des [FB_TimeSync](#) Bausteins aktiv ist

stTimeSyncDiagnostic: [Struktur \[► 25\]](#) mit Diagnoseausgaben des Bausteins [FB TimeSync \[► 14\]](#)

stAxisExtrapolateDiagnostic: [Struktur \[► 25\]](#) mit Diagnoseausgaben des Bausteins [FB AxisExtrapolateValues \[► 17\]](#)

3.6 E_Sync_FallBackMode

Welche Betriebsart wird zur Modifikation der Sollwerte bei Verlust der Synchronisierung verwendet

```

TYPE E_Sync_FallBackMode :
  (
    E_Sync_FallBackMode_Bypass := 1
    E_Sync_FallBackMode_PT1    := 2
  );
END_TYPE

```

E_Sync_FallBackMode_Bypass: Die vom Sender gelieferten Sollwerte werden, incl. aller Schwebungseffekte, nicht verändert.

E_Sync_FallBackMode_PT1: Die gesendeten Sollpositionen werden durch einen PT1-Filter an die Empfängerachse weitergereicht.

3.7 E_Sync_FilterMode

Welche Betriebsart soll zur Modifikation der Sollwerte verwendet werden.

```

TYPE E_Sync_FilterMode :
  (
    E_Sync_FilterMode_Auto   := 0,
    E_Sync_FilterMode_Bypass := 1,
    E_Sync_FilterMode_PT1    := 2,
  );

```

```

    E_Sync_FilterMode_Time := 4
);
END_TYPE

```

E_Sync_FilterMode_Auto: Automatik-Modus: Während der Initialisierung wird der gewählte StartUpMode verwendet, im synchronisierten Zustand die Extrapolation mit der Korrekturzeit und bei Verlust der Synchronisation der konfigurierte FallBack-Mode.

E_Sync_FilterMode_Bypass: Die vom Sender gelieferten Sollwerte werden, incl. aller Schwebungseffekte, nicht verändert.

E_Sync_FilterMode_PT1: Die gesendeten Sollpositionen werden durch einen PT1-Filter an die Empfängerachse weitergereicht.

E_Sync_FilterMode_Time: Die Zeitkorrektur wird so berechnet, dass auftretende Schwebungseffekte und Fluktuationen ausgeglichen werden.

3.8 E_Sync_FilterState

Welche Betriebsart wird aktuell zur Modifikation der Sollwerte verwendet.

```

TYPE E_Sync_FilterState :
(
    E_Sync_FilterState_Bypass := 1,
    E_Sync_FilterState_PT1    := 2,
    E_Sync_FilterState_Sync   := 3,
    E_Sync_FilterState_Time   := 4
);
END_TYPE

```

E_Sync_FilterState_Bypass: Die vom Sender gelieferten Sollwerte werden, incl. aller Schwebungseffekte, nicht verändert.

E_Sync_FilterState_PT1: Die gesendeten Sollpositionen werden durch einen PT1-Filter an die Empfängerachse weitergereicht.

E_Sync_FilterState_Sync: Die Sollwerte werden mit der Korrekturzeit extrapoliert.

E_Sync_FilterState_Time: Die Zeitkorrektur wird so berechnet, dass auftretende Schwebungseffekte und Fluktuationen direkt nach dem Auftreten ausgeglichen werden. Im Gegensatz zum Sync-Modus findet *kein* präventiver Ausgleich der berechneten Schwebungseffekte statt.

3.9 E_Sync_StartUpMode

Mögliche Betriebsarten zur Extrapolation der Sollwerte zu Beginn des Betriebs, d.h. wenn noch keine Schwebungsfrequenz berechnet werden konnte.

```

TYPE E_Sync_StartUpMode :
(
    E_Sync_StartUpMode_Bypass := 1,
    E_Sync_StartUpMode_PT1    := 2,
    E_Sync_StartUpMode_Time   := 4
);
END_TYPE

```

E_Sync_StartUpMode_Bypass: Die vom Sender gelieferten Sollwerte werden, incl. aller Schwebungseffekte, nicht verändert.

E_Sync_StartUpMode_PT1: Die gesendeten Sollpositionen werden durch einen PT1-Filter an die Empfängerachse weitergereicht.

E_Sync_StartUpMode_Time: Die Zeitkorrektur wird so berechnet, dass auftretende Schwebungseffekte und Fluktuationen ausgeglichen werden.

(Details finden sich bei der Beschreibung des StartUp-Modes des [FB_TimeSync](#) [► 14])

3.10 ST_TimeSyncParameters

Konfigurationsstruktur für den Baustein [FB_TimeSync](#) [► 14]

```

TYPE ST_TimeSyncParameters :
  STRUCT
    fDataCycleTime           : LREAL := 0.0;
    fThresholdForSync        : LREAL := 0.05;
    fMaxCycleIndexDifference : LREAL := 7;
    iAgeOfDataLimit          : INT   := 7;
    iNoOfPeriodsForMeanDrift : INT   := 1;
    fDelayTimeOffset         : LREAL := 0.0;
    fSlope1Numerator         : LREAL := 0.95;
    fSlope1Denominator       : LREAL := 0.5;
    iEndOfTransitionLimit    : INT   := 90;
    iNewDriftBendingCycles   : INT   := 90;
    iExtendedStartUpBlendingCycles : INT := 90;
    bForceTimeMode           : BOOL   := FALSE;
    bAutomaticReInit         : BOOL   := FALSE;
    nSysCmd                  : DWORD  := 1;
  END_STRUCT
END_TYPE

```

fDataCycleTime: Zykluszeit des Senders in [s]. Bei $fDataCycleTime=0$ wird angenommen, dass Sender und Empfänger mit gleichen Zykluszeiten arbeiten. Die Zykluszeiten müssen geradzahlige Vielfache sein, d.h. z.B. $t_{\text{Sender}}=2\text{ms}$, $t_{\text{Empfänger}}=4\text{ms}$ oder $t_{\text{Empfänger}}=1\text{ms}$. Ist $fDataCycleTime < FB_TimeSync.fTaskCycleTime$ muss der Parameter *fMaxCycleIndexDifference* entsprechend angepasst werden (entweder durch deaktivieren (=0) oder durch Setzen auf einen Wert von mindestens $FB_TimeSync.fTaskCycleTime/fDataCycleTime+2$), ebenso der Wert *FB_TimeSync.iAgeOfDataLimit*.

fThresholdForSync : Schwellenwert der Korrekturzeit, ab dem die Synchronisierung aktiviert wird. Um zu große Unterschiede zwischen extrapolierten und originalen Werten zu vermeiden, wird $bSynced=TRUE$ erst dann gesetzt, wenn die Korrekturzeit kleiner als der durch den Parameter angegebene Teil der Zykluszeit ist, d.h. wenn gilt:

$$ABS(CorrectionTime) < (fThresholdForSync * TaskCycleTime)$$

fMaxCycleIndexDifference : Gibt den maximalen Wert an, den der Unterschied zwischen korrigiertem und originalem Zyklusindex annehmen darf. Wenn der Wert größer wird, wird ein Fehler *E_Sync_TimeSync_Error_MaxCycleIndexDiffExceeded* ausgegeben. $fMaxCycleIndexDifference=0$ deaktiviert die Überprüfung. Arbeiten Sender und Empfänger mit unterschiedlichen Zykluszeiten, so muss *fMaxCycleIndexDifference* gemäß den Ausführungen bei *fDataCycleTime* angepasst werden.

iAgeOfDataLimit: maximales "Alter" der verwendeten Daten in Taskzyklen. Bei kontinuierlichem Lesen, d.h. wenn in jedem Zyklus ein neuer Datensatz vom Sender empfangen wird, ist der Wert *ST_TimeSyncDiagnostic.iConsecutiveEqualDataCounter* =0. Mit jedem Zyklus in dem sich die Daten nicht ändern steigt der Wert um +1. Um auf Schwebungseffekte reagieren zu können, muss *mindestens den Wert 1 haben iAgeOfDataLimit*. Je höher der Wert, desto mehr z.B. bei der Übertragung verloren gegangene Daten werden akzeptiert. Bei Überschreiten des Limits wird der Fehler *E_Sync_TimeSync_Error_MaxDataAgeExceeded* und $bSynced=FALSE$ angezeigt. $iAgeOfDataLimit=0$ deaktiviert die Überprüfung. Arbeiten Sender und Empfänger mit unterschiedlichen Zykluszeiten, so muss *iAgeOfDataLimit* gemäß den Ausführungen bei *fDataCycleTime* angepasst werden.

iNoOfPeriodsForMeanDrift : Die zur Regelung verwendete Drift zwischen Sender und Empfänger wird als Mittelwert der letzten *iNoOfPeriodsForMeanDrift* Werte bestimmt.

fDelayTimeOffset : Offset in [s], der zur *fCorrectionTime* addiert wird. Für das Vorzeichen gilt, dass positive Werte einer zusätzlichen Extrapolation in die Zukunft entsprechen, also z.B. zum Ausgleich von Laufzeitunterschieden.

HINWEIS

Änderungen dieses Wertes haben *_direkt_* Einfluss auf die Korrekturzeit *fCorrectionTime* und somit auf die damit extrapolierten Werte (siehe z.B. [FB_AxisExtrapolateValues](#) [► 17] oder [FB_AxisSync](#) [► 10]). Es muss entsprechend Sorge getragen werden, dass durch zu schnelle Änderungen von *fDelayTimeOffset* keine Sprünge in den zur Antriebssteuerung verwendeten kinematischen Größen auftreten. Je größer *fDelayTimeOffset*, desto größer ist auch die Abweichung zwischen den original übertragenen und den extrapolierten Werten, entsprechend muss z.B. der Parameter *fMaxPositionDiff* in der Struktur *ST_AxisExtrapolateParameters* angepasst werden.

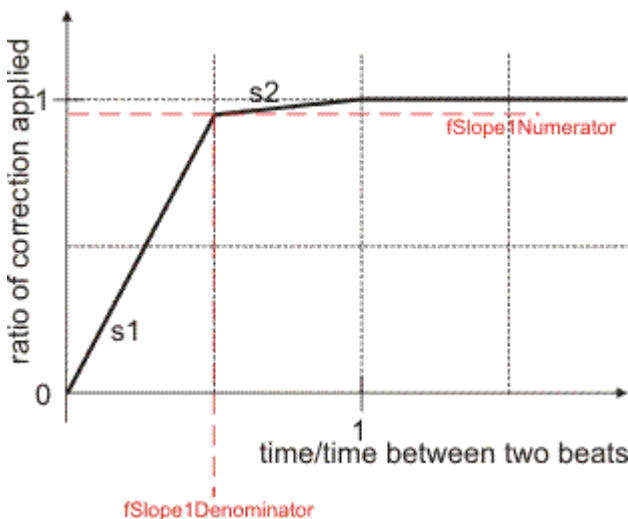
Die folgenden zwei Parameter sind vor Allem bei stark veränderlichen Gangunterschieden von Bedeutung:

fSlope1Numerator : Anteil der Korrektur, der innerhalb der Zeit $fSlope1Denominator * fTaskCycleTime$ ausgeführt wird. Um die Schwebungseffekte auszugleichen, muss zwischen zwei Sprüngen eine Korrektur der empfangenen Zyklusindizes um +/- 1 erfolgen. Erfolgt ein Sprung deutlich vor seinem erwarteten Eintreffen ist die Korrektur noch nicht abgeschlossen, entsprechend groß ist die zu korrigierende Differenz in der nächsten Periode. Mit den Parametern $fSlope1Numerator$ und $fSlope1Denominator$ kann bewirkt werden, dass direkt nach einem Sprung ein überproportional großer Anteil der Korrektur ausgeführt wird. $fSlope1Numerator$ gibt an, welcher Anteil der Korrektur im ersten Zeitabschnitt nach einem Sprung ausgeführt wird, $fSlope1Denominator$ die Länge des Zeitabschnitts als Bruchteil der erwarteten Zeit zwischen den Schwebungen. Der Skalierungsfaktor für die Korrekturen im verbleibenden Zeitraum bis zum erwarteten Auftreten der Schwebung ergeben sich automatisch aus der Forderung, dass zum Erwartungszeitpunkt 100% der Korrektur angewandt sein muss. Der verbleibende Anteil $(1 - fSlope1Numerator)$ der Korrekturen wird in der Zeit $(1 - fSlope1Denominator) * fTaskCycleTime$ angewandt. Nach Erreichen des Erwartungszeitpunktes der Schwebung bleibt die Korrektur konstant.

Die Defaultwerte der Steigungen sind:

$$s1 = 0.95/0.5 = fSlope1Numerator / fSlope1Denominator$$

$$s2 = 0.05/0.5 = (1 - fSlope1Numerator) / (1 - fSlope1Denominator)$$



fSlope1Denominator : Gibt die Zeit in Bruchteilen der Zykluszeit $fTaskCycleTime$ an, in der der durch $fSlope1Numerator$ gegebene Anteil der Korrektur angewandt wird.

iEndOfTransitionLimit : Anzahl der Taskzyklen, die die Differenz zwischen Sender- und Empfängerzykluszähler konstant bleiben muss, um eine Schwebung zu identifizieren. Große Werte sind vor allem bei kleinen Schwebungsfrequenzen nötig. Die geringe Relativfrequenz der beiden Systeme führt in diesem Fall zu einer zeitlich ausgedehnten Übergangsphase. Durch den Zykluszeitenjitter entstehen dabei Phasen konstanter Zahlerdifferenz die umso länger sind, je geringer die Drift der Systeme ist.

iNewDriftBendingCycles : Anzahl Taskzyklen zur linearen Überblendung bei Bestimmung einer neuen Drift. Je stärker eine neu bestimmte Drift von dem vorherigen Wert abweicht, desto größer ist die Änderung der Korrekturzeit. Um die Auswirkungen dieser Änderung abzumildern, wird innerhalb von $iNewDriftBendingCycles$ Zyklen linear zwischen den mit der alten und den mit der neuen Drift bestimmten Korrekturzeiten interpoliert. Nach $iNewDriftBendingCycles$ wird nur noch die aktuelle Drift verwendet.

iTimeModeBlendingCycles : Im TimeMode wird nach Identifikation eines Schwebungseffektes innerhalb von $iTimeModeBlendingCycles$ TaskZyklen die Korrekturzeit linear auf den Wert 0 zurückgeregelt. Der TimeMode ist automatisch aktiv, solange *keine Synchronisierung erreicht werden konnte* ($bSynced=FALSE$). Die die Korrekturzeit auswertenden Funktionsbausteine ([FB_AxisSync \[► 10\]](#) oder [FB_AxisExtrapolateValues \[► 17\]](#)) in diesem Fall die Korrekturzeit wie im Sync-Modus zu verwenden oder zu verwerfen.

bForceTimeMode: Der Time-Modus wird dauerhaft verwendet und auch bei Erreichen der Synchronisierungsbedingungen *_nicht_* in den Sync-Modus gewechselt. Der TimeMode ist automatisch aktiv, solange *keine Synchronisierung erreicht werden konnte* ($bSynced=FALSE$). Die die Korrekturzeit auswertenden Funktionsbausteine ([FB_AxisSync \[► 10\]](#) oder [FB_AxisExtrapolateValues \[► 17\]](#)) in diesem Fall die Korrekturzeit wie im Sync-Modus zu verwenden oder zu verwerfen.

bAutomaticReInit: Automatisches ReInitialisieren nach Auftreten eines Fehlers. Fehler werden entsprechend nach einem Zyklus gelöscht und die StartUp-Phase wird begonnen. *Mit Bedacht aktivieren. Die Fehlersuche wird hierdurch gegebenenfalls deutlich erschwert falls die Fehlerursache nicht beseitigt wurde.*

nSysCmd : reserviert

3.11 ST_TimeSyncDiagnostic

erweiterte Ausgabestruktur für [FB_TimeSync](#) [► 14]

```
TYPE ST_TimeSyncDiagnostic :
  STRUCT
    iCycleIndexDiff      : DINT;
    iTotalequalDataCounter : UINT;
    iConsecutiveEqualDataCounter : UINT;
    fDrift               : LREAL;
  END_STRUCT
END_TYPE
```

iCycleIndexDiff : Differenz der im aktuellen und im vorherigen Taskzyklus empfangenen *iCycleIndex*. Bei kontinuierlichem Senden/Empfangen ist der Wert 1. Wird ein Datum doppelt gelesen ist der Wert 0, und 2 wenn ein gesendetes Datum nicht empfangen wurde.

iTotalEqualDataCounter : Gesamtanzahl der Zyklen seit Aktivieren des FB, in denen keine neuen Daten empfangen wurden.

iConsecutiveEqualDataCounter : Aktuelle Anzahl der Zyklen, in denen nacheinander keine neuen Daten empfangen wurden, d.h. in denen hintereinander *fCycleIndex*=0 galt.

fDrift : Aktueller Gangunterschied des Senders und des Empfängers in [ppm=parts per million]. Ein negatives Vorzeichen bedeutet, dass die Zykluszeit des Senders größer ist als die des Empfängers.

$fDrift := 1E6 / (\text{Anzahl Zyklen zwischen zwei Sprüngen})$

3.12 ST_AxisExtrapolateDiagnostic

erweiterte Ausgabestruktur für [FB_AxisExtrapolateValues](#) [► 17].

```
TYPE ST_AxisExtrapolateDiagnostic :
  STRUCT
    fPositionDiff : LREAL := 0;
    fVeloDiff     : LREAL;
  END_STRUCT
END_TYPE
```

fPositionDiff: aktuelle Differenz zwischen originaler und berechneter Sollposition: *AxisIn.fPosSoll - AxisOut.fPosSoll*

fVeloDiff: aktuelle Differenz zwischen originaler und berechneter Sollgeschwindigkeit: *AxisIn.fVeloSoll - AxisOut.fVeloSoll*

3.13 ST_AxisExtrapolateParameters

Konfigurationsstruktur für [FB_AxisExtrapolateValues](#) [► 17].

```
TYPE ST_AxisExtrapolateParameters :
  STRUCT
    fMaxPositionDiff : LREAL := 0;
    bUseAccForExtrapolation : BOOL := TRUE;
    fTlfactorPos       : LREAL := 3.0;
    fTlfactorVelo     : LREAL := 3.0;
    fBlendingTime     : LREAL := 0.06;
  END_STRUCT
```

```
nSysCmd          : DWORD := 1;
END_STRUCT
END_TYPE
```

fMaxPositionDiff : Maximal zulässige Abweichung der empfangenen von der berechneten Position in [Geschwindigkeit * s] (z.B. in mm wenn die Geschwindigkeit in mm/s angegeben ist). Bei *fMaxPositionDiff*=0 findet *_keine_* Überwachung der Positionsabweichung statt. Ansonsten wird bei Überschreitung als Fehler *E_Sync_Extrapolate_Error_MaxPosDiffExceeded* ausgegeben und auf den konfigurierten FallBackMode (siehe *FB AxisExtrapolateValues* [► 17]) umgeschaltet.

bUseAccForExtrapolation : Wenn TRUE wird die Sollbeschleunigung zur Extrapolation der Sollgeschwindigkeit verwendet. Dies ist der Default und muss für z.B. für Encoder- oder NCI-Bahnachsen deaktiviert werden.

ft1factorPos : Zeitkonstante des PT1-Filters für die Soll-Position, angegeben in Vielfachen der *fTaskCycleTime*.

ft1factorVelo : Zeitkonstante des PT1-Filters für die Soll-Geschwindigkeit, angegeben in Vielfachen der *fTaskCycleTime*.

fBlendingTime : Zeit, in der linear interpoliert wird zwischen den berechneten Sollpositionen beim Umschalten vom PT1-Filter- in den Syncmodus und umgekehrt. [s]

nSysCmd : reserviert

3.14 E_Sync_ExtrapolateMode

Betriebsarten zur Berechnung der Sollwerte

```
TYPE E_Sync_ExtrapolateMode :
(
  E_Sync_ExtrapolateMode_Bypass := 1,
  E_Sync_ExtrapolateMode_PT1   := 2,
  E_Sync_ExtrapolateMode_Sync  := 3,
  E_Sync_ExtrapolateMode_Time  := 4
);
END_TYPE
```

E_Sync_ExtrapolateMode_Bypass: Die vom Sender gelieferten Sollwerte werden, incl. aller Schwebungseffekte, nicht verändert.

E_Sync_ExtrapolateMode_PT1: Die gesendeten Sollpositionen werden durch einen PT1-Filter an die Empfängerachse weitergereicht.

E_Sync_ExtrapolateMode_Sync: Die Zeitkorrektur wird so berechnet, dass auftretende Schwebungseffekte über die gesamte Periodendauer ausgeglichen werden.

E_Sync_ExtrapolateMode_Time: Die Zeitkorrektur wird so berechnet, dass auftretende Schwebungseffekte und Fluktuationen während und direkt nach dem Auftreten ausgeglichen werden.

3.15 E_Sync_ExtrapolateState

Betriebsarten zur Berechnung der Sollwerte

```
TYPE E_Sync_ExtrapolateState :
(
  E_Sync_ExtrapolateState_Bypass := 1,
  E_Sync_ExtrapolateState_PT1   := 2,
  E_Sync_ExtrapolateState_Sync  := 3,
  E_Sync_ExtrapolateState_Time  := 4
);
END_TYPE
```

E_Sync_ExtrapolateState_Bypass: Die vom Sender gelieferten Sollwerte werden, incl. aller Schwebungseffekte, nicht verändert.

E_Sync_ExtrapolateState_PT1: Die gesendeten Sollpositionen werden durch einen PT1-Filter an die Empfängerachse weitergereicht.

E_Sync_ExtrapolateState_Sync: Die Zeitkorrektur wird so berechnet, dass auftretende Schwebungseffekte über die gesamte Periodendauer ausgeglichen werden.

E_Sync_ExtrapolateState_Time: Die Zeitkorrektur wird so berechnet, dass auftretende Schwebungseffekte und Fluktuationen während und direkt nach dem Auftreten ausgeglichen werden.

3.16 E_Sync_ErrorCodes

Fehler (Hex)	Fehler (Dez)	Fehlertyp	Fehlername	Beschreibung
16#4b50	19280			-
16#4b51	19281		E_Sync_TimeSync_Error_MaxCycleIndexDiffExceeded	"Maximum cycleindex difference exceeded " The difference between the corrected and the calculated cycleindex is larger than allowd
16#4b52	19282		E_Sync_TimeSync_Error_MaxDataAgeExceeded	"Maximum packet age exceeded " The packet age is larger than (configurable) value of iMaxPackageAge SPS-cycles.
16#4b53	19283		E_Sync_TimeSync_Error_UnknownSyncLoss	"Sync loss for unknown reason" none of the above reasons caused sync loss
16#4b54	19284			-
16#4b55	19285			-
16#4b56	19286		E_Sync_Error_WrongParameter	"wrong parameter used"
16#4b57	19287			-
16#4b58	19288			-
16#4b59	19289		E_Sync_Extrapolate_Error_MaxPositionDiffExceeded	"Maximum position difference exceeded " The difference between the actual position transmitted by the master and the position calculated for syncing is larger than the fMaxPositionDiff (configurable by input-values)

3.17 E_Sync_WarningCodes

Warnungen des FB_SyncAxis

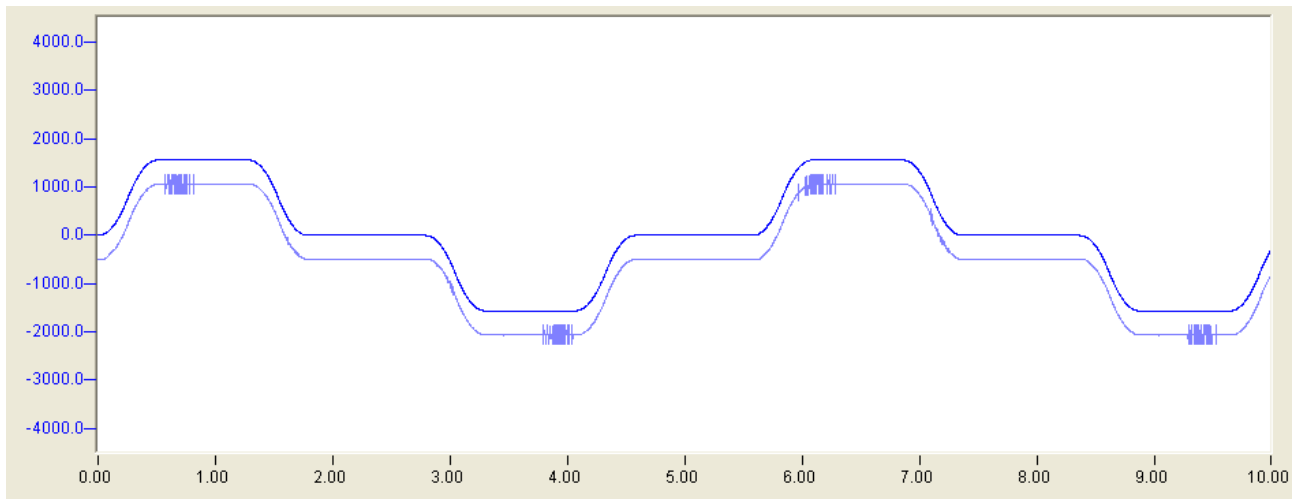
Warning (Hex)	Warning (Dez)	Error name	Description
16#1	1	E_Sync_Warning_DriftChangedSignificantly	

4 Beispiel

4.1 Synchronisierung von Achsen an verschiedenen PCs ("verteilte Achsen")

(Beispiel und Kurzanleitung)

Diese Kurzanleitung beschreibt die Synchronisierung von NC-Achsen an Empfänger-PCs auf eine an einem sendendem PC angeschlossene Achse. Die Daten der "Masterachse" werden zyklisch via Netzwerkvariablen an die Empfänger übertragen. Aufgrund von Gangunterschieden der Echtzeituhren kommt es hierbei zu Schwebungseffekten. Diese führen auf der Empfängerseite zum doppelten Lesen oder zum Verpassen einzelner Achsinformationen. Bei direktem Betrieb der Empfängerachsen mit den Informationen führen die Sprünge in der Position bzw. Geschwindigkeit zu einem unruhigen Betriebsverhalten. Abbildung 1 zeigt (leicht versetzt in y) die Soll- und die Istgeschwindigkeit einer im Positionsinterface direkt mit den empfangenen Werten betriebenen NC-Achse. Die Dauer und Häufigkeit der Schwebungseffekte sind abhängig vom Gangunterschied der verwendeten Systeme.



Zur Minimierung des Schwebungseffektes auf der Empfängerseite kommt im Folgenden der SPS-Funktionsbaustein `FB_AxisSync` zum Einsatz. Dieser verwendet intern die Funktionsbausteine `FB_TimeSync` und `FB_AxisExtrapolateValues`.

Der Baustein `FB_TimeSync` bestimmt zunächst den zeitlichen Abstand der Schwebungseffekte. Anschließend wird eine Korrekturzeit berechnet, mit der die empfangenen Informationen in die Zukunft extrapoliert bzw. in die Vergangenheit zurück gerechnet werden, um so eine äquidistante korrigierte Information ohne Schwebungseffekte zu erhalten. Die durch die Schwebung entstehenden Sprünge in den kinematischen Größen der Achse werden über den kompletten Zeitraum zwischen zwei Schwebungen durch kleine Änderungen korrigiert.

Für die Extrapolation der Sollwerte stehen zwei unterschiedlich detaillierte Verfahren zur Verfügung. Im ersten Fall wird nur die Sollgeschwindigkeit verwendet, um die Sollposition zu extrapolieren:

```
AxisOut.fPosSoll:=AxisIn.fPosSoll + AxisIn.fVeloSoll * fTimeCorrection;
AxisOut.fVeloSoll:=AxisIn.fVeloSoll;
```

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, auch die Sollbeschleunigung zur Extrapolation von Sollposition und Sollgeschwindigkeit zu verwenden:

```
AxisOut.fPosSoll:=AxisIn.fPosSoll + AxisIn.fVeloSoll*fTimeCorrection+ 0.5 * AxisIn.fAccSoll
*fTimeCorrection^2;
AxisOut.fVeloSoll:=AxisIn.fVeloSoll + AxisIn.fAccSoll *fTimeCorrection;
```

Standardmäßig wird die zweite Methode, d.h. die Extrapolation unter Berücksichtigung der Beschleunigung, verwendet. Steht keine ausreichend glatte Beschleunigung zur Verfügung, muss gemäß den Ausführungen bei `FB_AxisExtrapolateValues` [► 17] die Verwendung der Beschleunigung deaktiviert werden.

Die korrigierten Achsinformationen werden als `NCTOPLC_AXLESTRUCT` zur Verfügung gestellt.

Beispiel

Das Beispiel <https://infosys.beckhoff.com/content/1031/tcplclibremotesync/Resources/zip/3465096075.zip> besteht aus den folgenden Dateien:

sample_axissync_master.tsm

Systemmanager-Setup des sendenden PCs. Eine Achse wird simuliert ("MASTER") und ihre Informationen als Netzwerkvariablen via RT-Ethernet verschickt.

sample_axissync_slave.tsm

Systemmanager-Setup des Empfängers. Die Information des Senders werden vom RT-Ethernet-Device empfangen und mit den Variablen des SPS-Projekts verknüpft. Eine simulierte Achse ("corrected master") wird zur externen Sollwertgenerierung mit den SPS-Eingängen ("Nc2PlcAxis") und Ausgängen ("Plc2NcAxis") verknüpft. Die korrigierten Masterinformation stehen als SPS-Ausgang ("MAIN.MasterNcToPlcFeedback") zur Verfügung.

sample_axissync.pro

SPS Projekt für den Empfänger. In MAIN wird FB_SyncAxis aufgerufen. Von besonderer Bedeutung ist der Eingang *iCycleIndex*, da dieser zyklisch aktualisierte Index Grundlage der gesamten Steuerung ist. Die originalen Master-Achsinformationen werden durch den Parameter AxisIn übergeben, die modifizierten Werte stehen als SyncAxis.AxisOut zur Verfügung. Ebenfalls in dem Projekt implementiert ist eine rudimentäre Statemachine für die Steuerung der NC-Achse.

sample_axissync.scp

ScopeView Vorlage.

Mehr Informationen:
www.beckhoff.de

Beckhoff Automation GmbH & Co. KG
Hülshorstweg 20
33415 Verl
Deutschland
Telefon: +49 5246 9630
info@beckhoff.de
www.beckhoff.de

