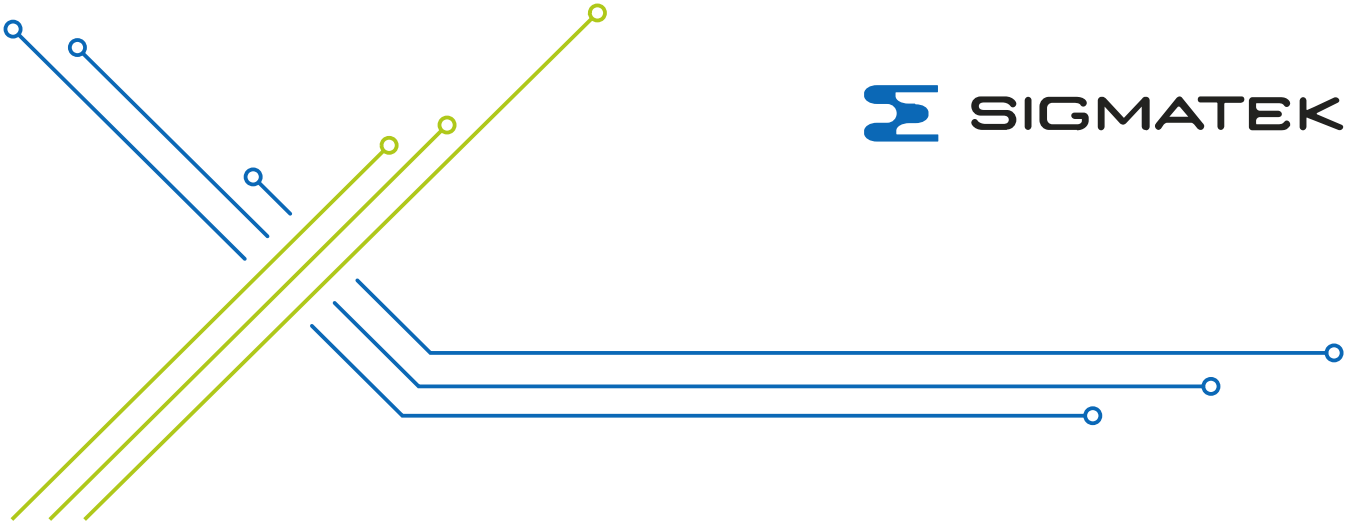


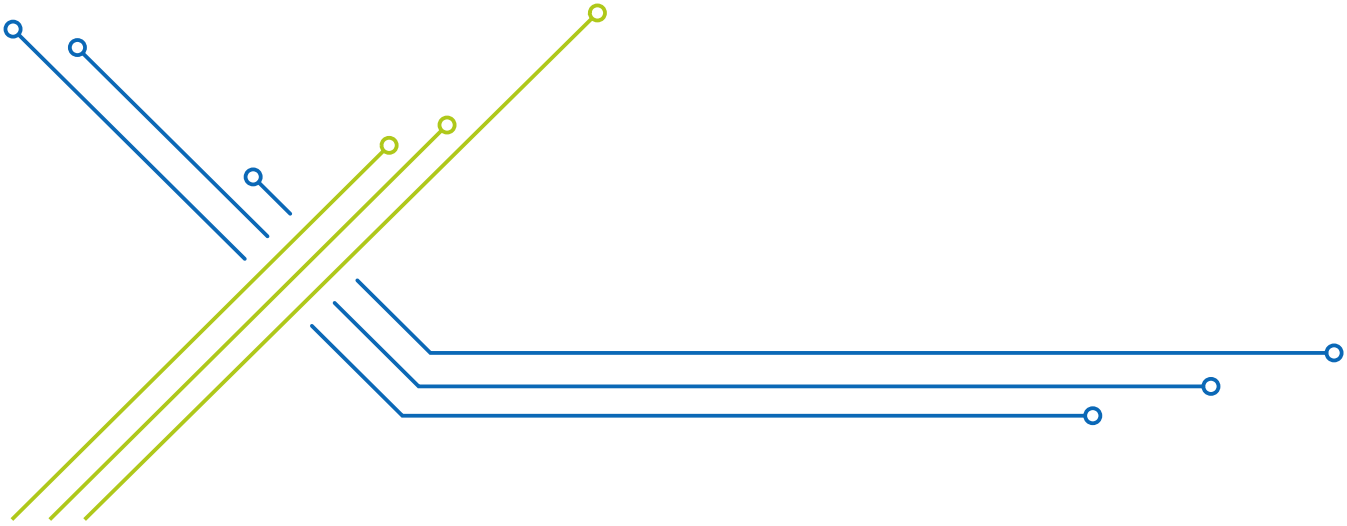
SIGMATEK

ST 152

S-DIAS Schrittmotor-Endstufe Closed Loop

BETRIEBSANLEITUNG

Artikelnummer:	20-014-152-D
Erstellungsdatum:	09.01.2025
Versionsdatum:	23.10.2026



Herausgeber:
SIGMATEK GmbH & Co KG
Sigmatekstraße 1
A-5112 Lamprechtshausen
Tel.: +43/6274/4321
Fax: +43/6274/4321-18

Email: office@sigmatek.at
www.sigmatek-automation.com

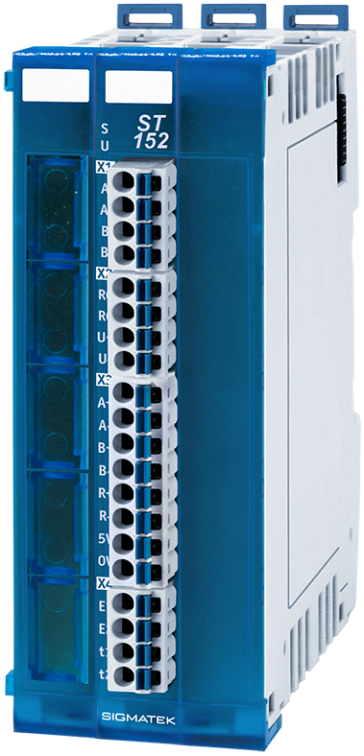
Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder in einem anderen Verfahren) ohne ausdrückliche Genehmigung reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Inhaltliche Änderungen behalten wir uns ohne Ankündigung vor. Die SIGMATEK GmbH & Co KG haftet nicht für technische oder drucktechnische Fehler in diesem Handbuch und übernimmt keine Haftung für Schäden, die auf die Nutzung dieses Handbuches zurückzuführen sind.

Originalbetriebsanleitung

Copyright © 2025
SIGMATEK GmbH & Co KG

S-DIAS Schrittmotor-Endstufe Closed Loop ST 152



1 Schrittmotorendstufe 50 V/5 A mit Closed Loop Regelung

1 Bremschopper

1 Inkrementalgebereingang RS422/TTL umschaltbar

2 Enable-Eingänge +24 V/3,2 mA/0,5 ms mit STO-Funktionalität

2 Latch-/Digitaleingänge +24 V/3,7 mA/10 µs

An der S-DIAS Schrittmotor-Endstufe Closed Loop ST 152 können 2-phasige Schrittmotoren mit bis zu 5 A Phasenstrom angeschlossen werden. Das Modul unterstützt einen Open Loop Modus (ohne Inkrementalgeber) und einen Closed Loop Modus (mit Inkrementalgeber, keine Vektorregelung). Das Modul unterstützt neben dem Stromregelungsmodus-Chopper, der für Ansteuerungen von Schrittmotoren mit hoher Geschwindigkeit und mit hohen Beschleunigungen geeignet ist, einen Spannung PWM-Modus Chopper, der für geringe Geräuschentwicklung der Motoren bei niedrigen Drehzahlen geeignet ist. Die Schrittmodusauswahl mit bis zu 256-fach Mikroschritten erfolgt automatisch. Des Weiteren bietet das Modul die Möglichkeit für eine lastabhängige Motorstromvorgabe zur Erhöhung der Energieeffizienz und Reduzierung der Motortemperatur. Der integrierte Bremschopper bietet die Anschlussmöglichkeit für einen externen Bremswiderstand mit dem die überschüssige Energie, die bei Bremsvorgängen des Motors entsteht und in die Motorversorgung zurückgespeist wird, abgebaut werden kann.

Zur Positionsrückmeldung steht ein Inkrementalgebereingang zur Verfügung, der sowohl RS422- als auch TTL-Geber unterstützt.

Mit den beiden Enable-Eingängen wird die Sicherheitsfunktionalität STO umgesetzt.
Die 2 Latch-/Digitaleingänge sind für die Referenzfahrt und zur Überwachung der Endlagen vorgesehen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 5

1.1 Zielgruppe/Zweck dieser Betriebsanleitung ... 5

1.2 Wichtige und referenzierende Dokumentationen ... 5

1.3 Lieferumfang ... 5

2 Grundlegende Sicherheitshinweise ... 6

2.1 Verwendete Symbole ... 6

2.2 Haftungsausschluss ... 7

2.3 Allgemeine Sicherheitshinweise ... 7

2.4 Bestimmungsgemäße Verwendung ... 8

3 IT-Security ... 9

4 Normen und Richtlinien ... 10

4.1 Restrisiken ... 10

4.2 Sicherheit der Maschine oder Anlage ... 10

4.3 Richtlinien ... 10

4.3.1 Normen zur funktionalen Sicherheit ... 10

4.3.2 EU-Konformitätserklärung ... 11

4.4 Sicherheitsrelevante Kenngrößen ... 11

5 Typenschild ... 12

6 Technische Daten ... 13

6.1 Spezifikation Schrittmotorausgang ... 13

6.2 Spezifikation Bremschopper ... 14

6.3 Spezifikation Inkrementalgebereingang ... 14

6.4 Spezifikation Latch-/Digitaleingänge ... 15

6.5 Spezifikation Enable-Eingänge ... 15

6.6 Elektrische Anforderungen ... 15

6.7 Sonstiges ... 18

6.8 Umgebungsbedingungen ... 18

7 Mechanische Abmessungen ... 19

8 Anschlussbelegung ... 20

8.1 Zu verwendende Steckverbinder ... 21

8.2 Status-LEDs ... 22

8.3 Beschriftungsfeld ... 22
9 Verdrahtung ... 23
9.1 Anschlussbeispiel ... 23
9.2 Hinweise ... 24
10 Zusätzliche Sicherheitshinweise ... 25
10.1 STO ... 26
10.2 Funktionsweise ... 27
11 Anschlussbeispiele ... 28
11.1 Performance Level e, Kategorie 4 bzw. SIL 3-Safety SPS ... 28
11.2 Performance Level e, Kategorie 3 & SIL 3-Safety SPS ... 30
11.3 Performance Level e, Kategorie 4 bzw. SIL 3-konventionell ... 32
11.4 Performance Level d, Kategorie 2 bzw. SIL 2-konventionell ... 34
12 Funktionsbeschreibung ... 36
12.1 Stromreglermodi ... 36
12.1.1 Stromregelungsmodus-Chopper ... 36
12.1.2 Spannung PWM-Modus Chopper ... 38
12.1.3 Automatisches Tuning ... 39
12.1.4 Spannung PWM-Modus Chopper: Optionen ... 42
12.1.5 Spannung PWM-Modus Chopper: Funktionsweise ... 43
12.1.6 Unteres Strom Limit ... 45
12.1.7 Drehzahlabhängige Skalierung ... 46
12.1.8 Kombination Spannung PWM-Modus Chopper mit Stromregelungsmodus-Chopper ... 48
12.1.9 Konfiguration/Inbetriebnahme Spannung PWM-Modus Chopper ... 49
12.2 Sensorlose Lastbestimmung ... 50
12.2.1 Konfiguration/Inbetriebnahme ... 51
12.2.2 Stop on Stall ... 52
12.3 Sensorlose lastabhängige Motorstromvorgabe ... 52
12.4 Closed Loop-Regler ... 54
12.4.1 Funktionsweise Closed Loop-Regelung ... 55
12.4.1.1 Positionsregelung ... 55
12.4.1.2 Stromregler ... 57
12.4.1.3 Geschwindigkeitsregler ... 58

12.4.1.4 Vorgehensweise Closed Loop-Tuning ... 58
12.5 Unterstützte Schrittbetriebsmodi ... 60
12.5.1 Vollschrittbetrieb ... 60
12.5.2 Halbschrittbetrieb ... 61
12.5.3 Mikroschrittbetrieb ... 61
12.6 Inkrementalgeber ... 62
12.6.1 Signalverlauf „Count UP“ ... 62
12.6.2 Signalverlauf „Count DOWN“ ... 62
12.6.3 Signalverlauf „Referenzimpuls (Zero Position)“ ... 62
12.6.4 Latch-Funktion ... 63
12.7 Objektverzeichnis Übersicht ... 63
12.8 Detailliertes Objektverzeichnis ... 65
12.9 Asynchrone Parameter - Fehler-Codes ... 90
13 Montage/Installation ... 92
13.1 Lieferumfang prüfen ... 92
13.2 Einbau ... 93
14 Transport/Lagerung ... 95
15 Aufbewahrung ... 96
16 Instandhaltung ... 97
16.1 Wartung ... 97
16.2 Reparaturen ... 97
17 Entsorgung ... 98

1 Einleitung

1.1 Zielgruppe/Zweck dieser Betriebsanleitung

Diese Betriebsanleitung enthält alle Informationen, die Sie für den Betrieb des Produktes benötigen.

Diese Betriebsanleitung richtet sich an:

- Projektplaner
- Monteure
- Inbetriebnahmetechniker
- Maschinenbediener
- Instandhalter/Prüftechniker

Es werden allgemeine Kenntnisse auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik vorausgesetzt.

Sie erhalten weitere Hilfe sowie Informationen zu Schulungen und passendem Zubehör auf unserer Website www.sigmatek-automation.com.

Bei Fragen oder im Fehlerfall steht Ihnen natürlich auch gerne unser Support-Team zur Verfügung. Notfalltelefon sowie Geschäftszeiten entnehmen Sie bitte unserer Website.

1.2 Wichtige und referenzierende Dokumentationen

- Safety Systemhandbuch

Dieses und weitere Dokumente können Sie über unsere Website bzw. über den Support beziehen.

1.3 Lieferumfang

1x ST 152

2 Grundlegende Sicherheitshinweise

2.1 Verwendete Symbole

Für die in den einschlägigen Anwenderdokumentationen verwendeten Warn-, Gefahren- und Informationshinweise werden folgende Symbole verwendet:

GEFAHR

Gefahr bedeutet, dass der Tod oder schwere Verletzungen **eintreten**, wenn die angegebenen Maßnahmen nicht getroffen werden.

→ Beachten Sie alle Hinweise, um Tod oder schwere Verletzungen zu vermeiden.

WARNUNG

Warnung bedeutet, dass der Tod oder schwere Verletzungen eintreten **können**, wenn die angegebenen Maßnahmen nicht getroffen werden.

→ Beachten Sie alle Hinweise, um Tod oder schwere Verletzungen zu vermeiden.

VORSICHT

Vorsicht bedeutet, dass mittelschwere bis leichte Verletzungen eintreten **können**, wenn die angegebenen Maßnahmen nicht getroffen werden.

→ Beachten Sie alle Hinweise, um mittelschwere bis leichte Verletzungen zu vermeiden.

GEFAHR

Elektrische Spannung

WARNUNG

Heiße Oberflächen

VORSICHT

ESD-gefährdete Bauteile

INFORMATION

Information

→ Liefert wichtige Hinweise über das Produkt, die Handhabung oder relevante Teile der Dokumentation, auf welche besonders aufmerksam gemacht werden soll.

2.2 Haftungsausschluss

Der Inhalt dieser Betriebsanleitung wurde mit äußerster Sorgfalt erstellt. Dennoch können Abweichungen nicht ausgeschlossen werden. Diese Betriebsanleitung wird regelmäßig überprüft und notwendige Korrekturen in die nachfolgenden Ausgaben eingearbeitet. Der Maschinenhersteller ist für den sachgemäßen Einbau sowie die Gerätekonfiguration verantwortlich. Der Maschinenbediener ist für einen sicheren Umgang sowie die sachgemäße Bedienung verantwortlich.

Die aktuelle Betriebsanleitung ist auf unserer Website zu finden. Kontaktieren Sie ggf. unseren Support.

Technische Änderungen, die der Verbesserung der Geräte dienen, sind vorbehalten. Die vorliegende Betriebsanleitung stellt eine reine Produktbeschreibung dar. Es handelt sich um keine zugesicherten Eigenschaften im Sinne des Gewährleistungsrechts.

Bitte lesen Sie vor jeder Handhabung eines Produktes die dazu gehörigen Dokumente und diese Betriebsanleitung gründlich durch.

Für Schäden, die aufgrund einer Nichtbeachtung dieser Anleitungen oder der jeweiligen Vorschriften entstehen, übernimmt die Firma SIGMATEK GmbH & Co KG keine Haftung.

2.3 Allgemeine Sicherheitshinweise

Beachten Sie unbedingt die Sicherheitshinweise in den anderen Abschnitten dieser Anleitung. Diese Hinweise sind optisch durch Symbole besonders hervorgehoben.

Laut EU-Richtlinien ist die Betriebsanleitung Bestandteil eines Produktes. Bewahren Sie daher diese Betriebsanleitung stets griffbereit in der Nähe der Maschine auf, da sie wichtige Hinweise enthält. Geben Sie diese Betriebsanleitung bei Verkauf, Veräußerung oder Verleih des Produktes weiter, bzw. weisen Sie auf deren Online-Verfügbarkeit hin.

Im Hinblick auf die mit der Nutzung der Maschine verbundenen Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen muss der Hersteller, bevor eine Inverkehrbringung einer Maschine erfolgt, eine Risikobeurteilung gemäß Maschinenrichtlinie 2006/42/EG durchführen.

INFORMATION

Betreiben Sie das Gerät nur mit von SIGMATEK dafür freigegebenen Geräten und Zubehör.

VORSICHT

Behandeln Sie das Gerät mit Sorgfalt und lassen Sie es nicht fallen.
Fremdkörper und Flüssigkeiten dürfen nicht ins Geräteinnere gelangen.
Das Gerät darf nicht geöffnet werden!

Bei nicht bestimmungsgemäßer Funktion oder bei Beschädigungen, die Gefährdungen hervorrufen können, ist das Gerät zu ersetzen!

Achten Sie zu Ihrer eigenen Sicherheit und zur Sicherheit anderer auf die Einhaltung der Umweltbedingungen.

2.4 Bestimmungsgemäße Verwendung

Die durch das Produkt realisierten Sicherheitsfunktionen sind für den Einsatz in sicherheitsgerichteten Anwendungen im Rahmen einer SPS-Steuerung bestimmt und erfüllen alle notwendigen Anforderungen für einen sicheren Betrieb.

VORSICHT

Die Hinweise in dieser Betriebsanleitung müssen beachtet werden. Sachgemäßer Transport und sachgemäße Lagerung sind für einen einwandfreien Betrieb unerlässlich. Installation, Montage, Programmierung, Inbetriebnahme, Betrieb, Wartung und Außerbetriebsstellung darf nur von geschultem Fachpersonal durchgeführt werden. Geschultes Fachpersonal in diesem Sinne sind Personen, die durch eine Ausbildung zur Fachkraft oder durch Unterweisung durch eine Fachkraft die Berechtigung erworben haben, um sicherheitsgerichtete Geräte und Systeme unter Beachtung der einschlägigen Richtlinien und Normen der Sicherheitstechnik (Funktionale Sicherheit) zu bedienen und zu betreuen.

Verwenden Sie das Produkt zu ihrer und zur Sicherheit anderer Menschen nur gemäß den Bestimmungen.
Zur bestimmungsgemäßen Verwendung gehört auch die EMV-gerechte Installation.

Als nicht bestimmungsgemäß in diesem Sinne gilt:

- jegliche an dem Gerät vorgenommene Veränderung jedweder Art oder der Einsatz beschädigter Geräte.
- der Einsatz des Gerätes außerhalb des in dieser Betriebsanleitung beschriebenen technischen Rahmens, bzw. außerhalb der angegebenen technischen Daten.

3 IT-Security

S-DIAS Safety-Baugruppen wurden für die Einbindung in ein vor Fremdzugriffen geschütztes Netzwerk entwickelt.

Auf das Netzwerk können zum Beispiel folgende Gefahren einwirken:

- Unautorisierter Zugriff
- Datenmanipulation
- und viele andere IT-Sicherheitsverstöße

Es obliegt dem Integrator oder Betreiber eine Risikoanalyse der Verbindungen zwischen S-DIAS Baugruppen und der Integration in der Gesamtinfrastruktur durchzuführen. Daraus können sich beispielsweise folgende Maßnahme ergeben (wenn notwendig):

- Trennung IT/OT-Netzwerk (VLANs oder physikalisch)
- Firewalls
- passwortgeschützte Benutzerkonten
- Datenverschlüsselung
- uvm.

In Bezug auf das Ziel der funktionalen Sicherheit, in diesem Falle die Sicherheitsfunktion STO, sind keine direkten Auswirkungen auf die Funktion oder deren Integrität möglich, da die Funktion nicht über kommunikationsbasierte Schnittstellen beeinflussbar ist.

Die Verfügbarkeit des Gesamtsystems (wie bei allen Sicherheitsfunktionen) kann aufgrund von externen Angriffen beeinträchtigt werden. Daher sind die o.g. Maßnahmen notwendig.

4 Normen und Richtlinien

4.1 Restrisiken

VORSICHT

In der Risikobeurteilung des Systemintegrators sind folgende Restrisiken für das Produkt zu betrachten:

- Freisetzung von nicht umweltgerechten Stoffen, Emissionen und ungewöhnliche Temperaturen
- Gefährliche Berührungsspannungen
- Wirkungen betriebsmäßiger elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder
- Mögliche Einwirkungen von Geräten der Informationstechnik

4.2 Sicherheit der Maschine oder Anlage

Beachten Sie alle für den Einsatzort geltenden Regeln und Vorschriften der Unfallverhütung und Arbeitssicherheit.

4.3 Richtlinien

Das Produkt wurde in Übereinstimmung mit den Richtlinien der Europäischen Union konstruiert und auf Konformität geprüft.

4.3.1 Normen zur funktionalen Sicherheit

EN IEC 62061	Sicherheit von Maschinen - Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener Steuerungssysteme
EN ISO 13849-1	Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze
EN ISO 13849-2	Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 2: Validierung
EN IEC 61508-1	Funktionale Sicherheit - Teil 1: Allgemeine Anforderungen
EN IEC 61508-2	Funktionale Sicherheit - Teil 2: Anforderungen an sicherheitsbezogene elektrische / elektronische / programmierbare elektronische Systeme
EN IEC 61508-3	Funktionale Sicherheit - Teil 3: Anforderungen an Software

Der Ausgabestand der angewandten Normen ist der EU-Konformitätserklärung zu entnehmen.

4.3.2 EU-Konformitätserklärung

EU-Konformitätserklärung

Das Produkt ST 152 ist konform mit den folgenden europäischen Richtlinien:

- → 2006/42/EG Maschinenrichtlinie
- → 2014/30/EU Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV-Richtlinie)
- → 2011/65/EU „Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten“ (RoHS-Richtlinie)

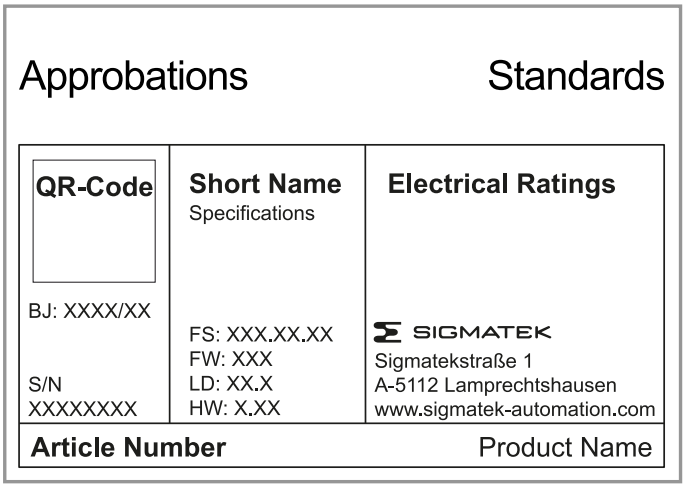
Die EU-Konformitätserklärungen werden auf der SIGMATEK-Homepage zur Verfügung gestellt. Sie sind im Downloadbereich des jeweiligen Produkts zu finden.

4.4 Sicherheitsrelevante Kenngrößen

ST 152	Sicherheitskennwerte (SIL 3, PL e / Kat. 4)
Sicherheitsfunktion STO (die Sicherheitsfunktion STO wird vom Modul NUR für den Betrieb als Servomotorendstufe unterstützt)	PFH = 1,12E-09
	SFF = 99 %
	$MTTF_D$ = 2100 Jahre
	DC = 99 %

5 Typenschild

Das Typenschild bietet Ihnen Informationen zur Ausstattung des Produktes. Das hier dargestellte Typenschild ist lediglich ein Beispiel.



HW: Hardwareversion
FS: Safety Versionsnummer
FW: Firmwareversion
LD: Logic Device Version
QR-Code: Seriennummer

6 Technische Daten

6.1 Spezifikation Schrittmotorausgang

Typ	Schrittmotorendstufe
Betriebsmodi	Open Loop Modus (ohne Inkrementalgeber-Feedback)
	Closed Loop Modus (mit Inkrementalgeber-Feedback)
Anzahl der Phasen	2
Betriebsspannung	+18-55 V
Stromreglerfrequenz	maximal 32 kHz
Ausgangsstrom	maximal 5 A_{RMS}
Ausgangsstrom über die Umgebungstemperatur	maximal 5 A Dauerstrom bei 45 °C
	maximal 3 A Dauerstrom bei 55 °C
Zwischenkreiskapazität	4,7 µF
Stromreglermodi	Stromregelungsmodus Chopper
	Spannung PWM-Modus Chopper[1)]
Unterstützte Schrittbetriebsmodi	Vollschritt, Halbschritt, 4-/8-/16-/32-/64-/128-/256-fach
	Mikroschritt (Umschaltung erfolgt automatisch)
Unterstützung lastabhängige Motorstromvorgabe	ja, sensorlos auf Basis der gemessenen Gegen-EMK bzw. über Inkrementalgeber
Spannungsmessung	+15-65 V
	bei Unterspannung < 15 V oder Überspannung > 60 V erfolgt eine hardwareseitige Abschaltung des Motorausgangs
Temperaturmessung	0-125 °C
	mit Temperaturwarnung bei 103 °C
	mit Übertemperaturabschaltung bei 108 °C

INFORMATION

Hinweis Resonanzfrequenz

Beim Betrieb eines Schrittmotors im Schrittfrequenzvorgabemodus kann es zu Resonanzen in bestimmten Frequenzbereichen kommen. Dies äußert sich durch Verlust bzw. durch eine Reduktion des Drehmoments => der Schrittmotor verliert Schritte. Das Phänomen ist durch den Aufbau des Schrittmotors bedingt und abhängig von der Belastung. Die Problematik kann, im Closed Loop Modus durch die Positionsrückführung mittels Inkrementalgeber, minimiert bzw. vermieden werden.

[1)] Der Spannung PWM-Modus Chopper, bietet im Vergleich zum Standard Stromregelungsmodus Chopper, den Vorteil einer geringeren Geräuschentwicklung, ist jedoch aufgrund des Regelungsprinzips nur für geringe Drehzahlen geeignet. Beim Spannung PWM-Modus Chopper, kann es prinzipbedingt bei geringen Drehzahlen zu Abweichungen der eingestellten Stromsollwertvorgabe kommen. Es ist daher für den verwendeten Drehzahlbereich der Motorstrom in der Anwendung messtechnisch zu verifizieren, damit eine zu geringe oder zu hohe Bestromung des Motors verhindert wird.

6.2 Spezifikation Bremschopper

Anzahl	1
Ausgang	GND-schaltend
Maximaler Strom	6 A[1)]
Kurzschlussfestigkeit	ja
Bremswiderstand	externer Leistungswiderstand
Artikelnummer	20-014-061-Z1
Schaltschwelle Bremswiderstand ein/aus	60 V/55 V

WARNUNG

Warnung vor heißer Oberfläche!
Bei Berührung besteht Verbrennungsgefahr!
Die Oberfläche des Bremswiderstands kann sich bei Betrieb stark erwärmen und ist auch einige Zeit nach Betrieb noch heiß.

Vermeiden Sie eine Berührung der Oberfläche des Bremswiderstands auch einige Zeit nach Betrieb.

6.3 Spezifikation Inkrementalgebereingang

Anzahl	1
Eingangssignale	Inkrementalgebersignale RS422 (A, /A, B, /B, R, /R)
	RS422-Pegel (150 Ω Abschluss, im Modul integriert)
	Inkrementalgebersignale TTL (A, B, R)
	TTL-Pegel (1200 Ω Pull-Up, im Modul integriert)
Eingangsfrequenz	maximal 125 kHz
Zählerfrequenz	maximal 500 kHz
Signalauswertung	4-fach
Zähleraufösung	16 Bit
Geberversorgung	+5 V/0,2 A kurzschlussfest

[1)] Der Bremswiderstand ist unter Bedachtnahme auf die Anwendung zu dimensionieren. In den meisten Anwendungen ist ein 15 Ω/100 W Widerstand ausreichend. Werden mehrere ST 152 an einer Zwischenkreisversorgung betrieben, so ist es möglich nur ein Modul mit einem Bremswiderstand auszurüsten. Empfohlener Bremswiderstand (15 Ω/100 W) ist bei SIGMATEK unter der Artikelnummer 20-014-061-Z1 erhältlich.

6.4 Spezifikation Latch-/Digitaleingänge

Anzahl	2	
Eingangsspannung	typisch +24 V	maximal +30 V
Signalpegel	low: < +5 V	high: > +15 V
Schalthysterese	typisch +11 V	
Eingangsstrom	3,7 mA bei +24 V	
Eingangsverzögerung	typisch 10 µs	

INFORMATION

Die Latch- und Digitaleingänge erfüllen die Anforderungen nach EN 61131.

6.5 Spezifikation Enable-Eingänge

Anzahl	2	
Eingangsspannung	+24 V DC	
Eingangsspannungsbereich	minimal +18 V	maximal +30 V
Signalpegel	low: ≤ +5 V	high: ≥ +15 V
Schalthysterese	typisch +11 V	
Eingangsstrom	3 mA bei +24 V	
Eingangsverzögerung	typisch 0,5 ms	
Sicherheitslevel	erfüllt die Anforderungen der Kategorie 4, Performance Level „e“ nach EN ISO 13849-1 und SILCL 3 nach EN IEC 62061 beziehungsweise EN IEC 61508.	
Sicherheitsfunktionalität	STO nach EN 61800-5-2, Punkt 4.2.2.2	
	Dem Motor wird keine Energie zugeführt, die eine Drehung verursachen kann. Die Schrittmotorendstufe liefert keine Energie an den Motor, die ein Drehmoment erzeugen kann.	

6.6 Elektrische Anforderungen

Versorgung vom S-DIAS-Bus	+18-55 V DC	
Stromaufnahme Motorversorgung	maximal 6 A (lastabhängig)	
Versorgung vom S-DIAS-Bus	+5 V	
Stromaufnahme am S-DIAS-Bus (+5 V-Versorgung)	-	-
Versorgung vom S-DIAS-Bus	+24 V	
Stromaufnahme am S-DIAS-Bus (+24 V-Versorgung)	typisch 95 mA (inkl. +5 V-Versorgung des Inkrementalgebers)	maximal 135 mA (inkl. +5 V-Versorgung des Inkrementalgebers)

INFORMATION

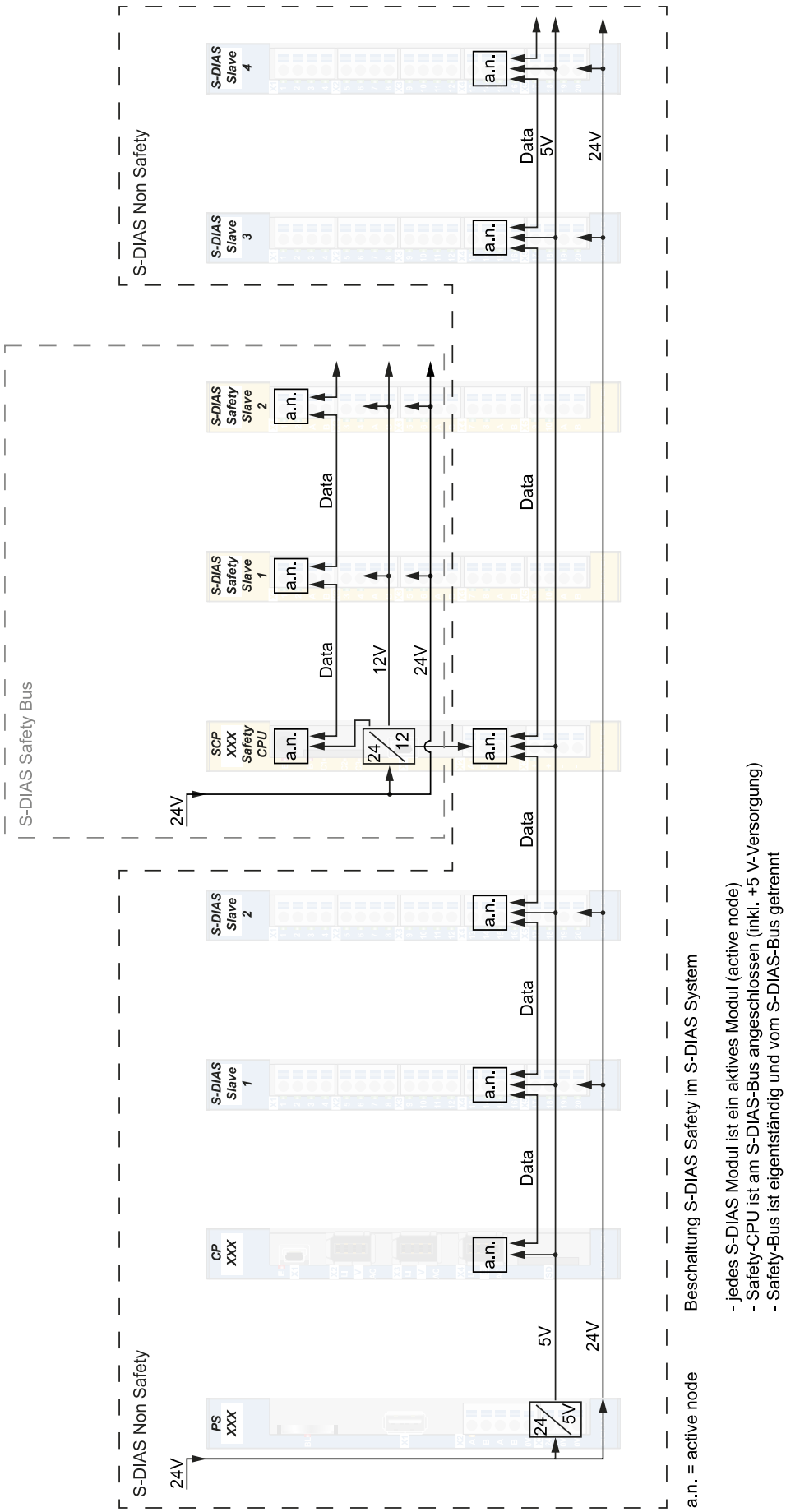
Hinweise Spannungsripple Motorversorgung
Die Motorversorgung (X2) ist mit einer der Anwendung entsprechenden Zwischenkreiskapazität zu beschalten (mindestens 2000 µF/100 V). Dabei ist auf kurze Leitungen und entsprechende Leitungsquerschnitte zu achten.
(maximal 15 cm zwischen Modul und Kondensator/1,5 mm²)
Um den Spannungsripple im zulässigen Bereich (< 2 Vss) zu halten, ist es erforderlich einen Elektrolytkondensator entsprechender Kapazität parallel zu den Motorversorgungsklemmen anzuschließen. Als Richtwert für die erforderliche Kapazität können ca. 2000 µF pro Ampere Versorgungsstrom angenommen werden. Um ein günstiges EMV-Verhalten zu erreichen, empfiehlt es sich den Kondensator nahe der Schrittmotorendstufe zu montieren und die Anschlussleitungen kurz zu halten.

Bremsen eines Schrittmotors
Beim Abbremsen eines Schrittmotors kann es zu einem generatorischen Betrieb kommen, bei dem die kinetische Energie des Motors in elektrische umgewandelt wird. Die Energie des Motors wird dabei in die Versorgung der Schrittmotorendstufe zurückgespeist, wodurch es zum Anstieg der Versorgungsspannung kommt. Es ist darauf zu achten, dass eine Rückspeisespannung am Motorversorgungsanschluss von 65 V nicht überschritten wird. Dafür ist eventuell eine externe Kapazität an der Motorversorgung notwendig. Falls die Kondensatoren des Netzteils nicht ausreichend sind, ist die Verwendung eines Ballastwiderstandes erforderlich, der an die Schrittmotorendstufe angeschlossen werden kann, welcher die überschüssige Energie in Wärme umwandelt. Bei der Auswahl des Netzteils ist darauf zu achten, dass dieses entsprechend rückspeisefest bis zur maximal auftretenden Rückspeisespannung ist.

INFORMATION

Hinweis S-DIAS Versorgung
Wird dieses S-DIAS Modul an einem S-DIAS Versorgungsmodul mit mehreren S-DIAS Modulen eingesetzt, müssen die Summenströme der verwendeten S-DIAS Module ermittelt und überprüft werden.
Der Summenstrom der +24 V-Versorgung darf 1,6 A nicht überschreiten!
Der Summenstrom der +5 V-Versorgung darf 1,6 A nicht überschreiten!
Die Angabe der Stromaufnahme findet man in der modulspezifischen technischen Dokumentation unter „Elektrische Anforderungen“.

Beim fehlerhaften Einstellen von Parametern oder bei falscher Verdrahtung kann es zu einer Zerstörung des Motors kommen. Besonders muss auf die Motorströme und die I^2T-Einstellungen (A-I2TT, A-I2TERR) geachtet werden, welche über das LASAL CLASS 2 Tool im DIAS-Drive Editor parametriert werden können.


S-DIAS Safety Bus
S-DIAS Non Safety
S-DIAS Non Safety
PS XXX
CP XXX
S-DIAS Slave 1
S-DIAS Slave 2
SCP XXX Safety CPU
S-DIAS Safety Slave 1
S-DIAS Safety Slave 2
S-DIAS Slave 3
S-DIAS Slave 4
a.n.
24V
5V
12V
Data
24/5V
24/12V
a.n. = active node
Beschaltung S-DIAS Safety im S-DIAS System
- jedes S-DIAS Modul ist ein aktives Modul (active node)
- Safety-CPU ist am S-DIAS-Bus angeschlossen (inkl. +5 V-Versorgung)
- Safety-Bus ist eigenständig und vom S-DIAS-Bus getrennt

6.7 Sonstiges

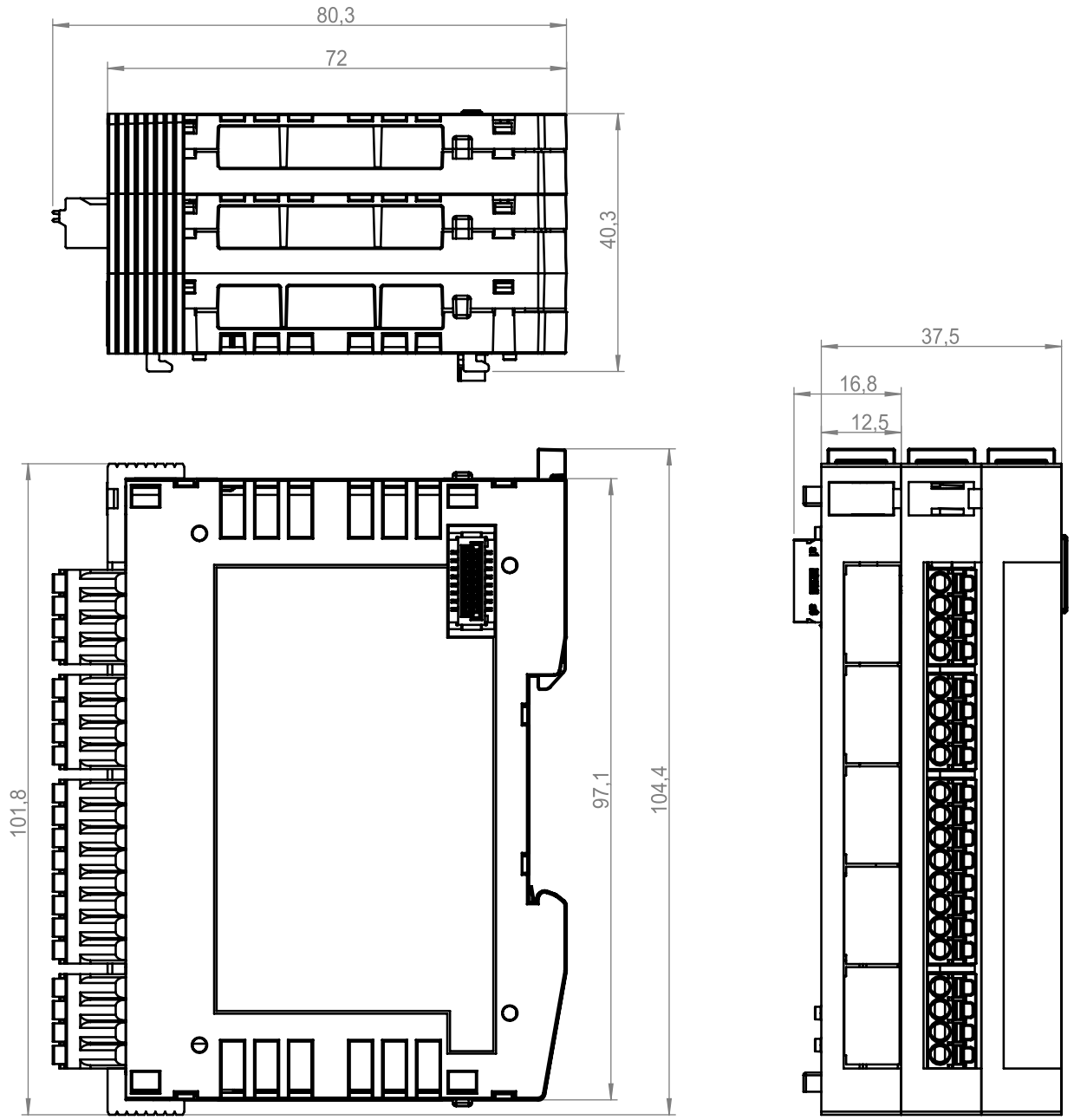
Artikelnummer	20-014-152	
Leiterplatten Coating	nein	
Approbationen	CE	ja
	UL	nach UL designed
	Functional Safety	ja, EG-Baumustergeprüft
	UKCA	nein
Gebrauchsdauer	20 Jahre	

6.8 Umgebungsbedingungen

Lagertemperatur	-25 … +85 °C	
Umgebungstemperatur	0 ... +55 °C[1)]	
Luftfeuchtigkeit	0-95 %, nicht kondensierend	
Aufstellungshöhe über Meereshöhe	0-2000 m ohne Derating > 2000 m bis maximal 5000 m mit Derating der maximalen Umgebungstemperatur um 0,5 °C pro 100 m	
Betriebsbedingungen	Verschmutzungsgrad 2	
Geräuschemissionen	≤ 70 dB	
EMV-Störfestigkeit	EN 61000-6-2 (Industriebereich) EN 61000-6-7 (Störfestigkeit Industrie Funktionale Sicherheit) (erhöhte Anforderungen nach EN IEC 62061)	
EMV-Störaussendung	EN 61000-6-4 (Industriebereich)	
Schwingungsfestigkeit	EN 60068-2-6	3,5 mm von 5-8,4 Hz 1 g von 8,4-150 Hz
Schockfestigkeit	EN 60068-2-27	15 g (147,15 m/s²)
Schutzart	EN 60529	IP20

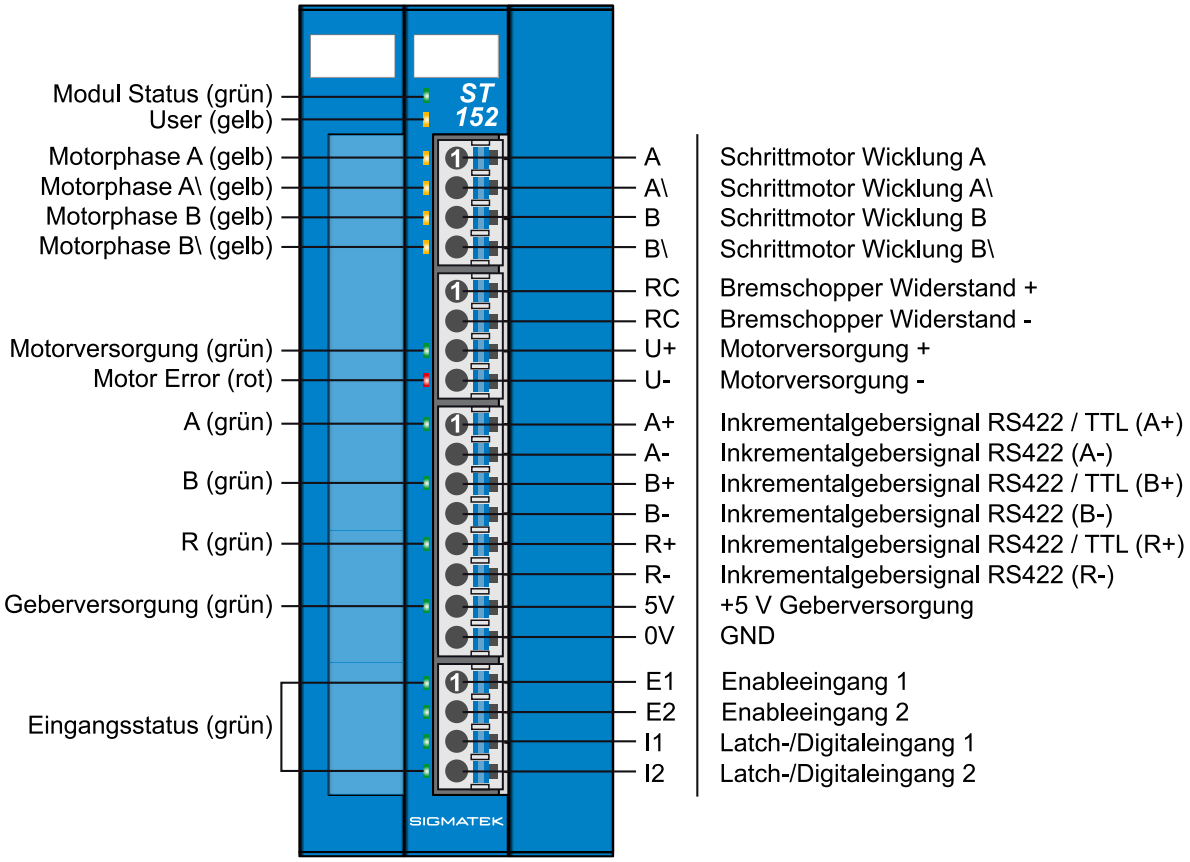
[1)] maximal 5 A Dauerstrom bei 45 °C, maximal 3 A Dauerstrom bei 55 °C

7 Mechanische Abmessungen



Maße	37,5 x 104 x 72 mm (B x H x T)

8 Anschlussbelegung



INFORMATION

Das Ein- oder Ausstecken des Motorversorgungssteckers X2 während des Betriebes ist nicht zulässig!

8.1 Zu verwendende Steckverbinder

X1-X4: Steckverbinder mit Federzugklemme (im Lieferumfang enthalten)

Die Federzugklemmen sind für den Anschluss von ultraschallverdichteten (ultraschallverschweißten) Litzen geeignet.

Anschlussvermögen:

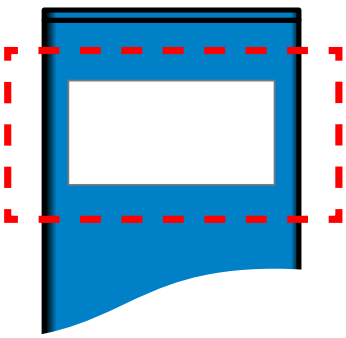
Abisolierlänge/Hülsenlänge	10 mm
Steckrichtung	parallel zur Leiterachse bzw. zur Leiterplatte
Leiterquerschnitt starr	0,2-1,5 mm²
Leiterquerschnitt flexibel	0,2-1,5 mm²
Leiterquerschnitt Litzen ultraschallverdichtet	0,2-1,5 mm²
Leiterquerschnitt AWG/kcmil	24-16
Leiterquerschnitt flexibel m. Aderendhülse (ohne Kunststoffhülse)	0,25-1,5 mm²
Leiterquerschnitt flexibel m. Aderendhülse (mit Kunststoffhülse)	0,25-0,75 mm² (Reduzierungsgrund d2 der Aderendhülse)

d2 = max. 2,8 mm

8.2 Status-LEDs

Modul Status	grün	EIN	Modul aktiv
		AUS	keine Versorgung vorhanden
		BLINKT (5 Hz)	keine Kommunikation
User	gelb	EIN	von Applikation einstellbar (z.B. kann die LED des Moduls über die Visualisierung blinkend eingestellt werden, um die Modulfindung im Schaltschrank zu erleichtern)
		AUS	
		BLINKT (2 Hz)	
		BLINKT (4 Hz)	
Motorphase A, A\, B, B\	gelb	EIN	Motorphase aktiv
		AUS	keine Ansteuerung der Phase
Motorversorgung	grün	EIN	Motorversorgung vorhanden, Motor aktiv
		AUS	Motorversorgung ist nicht vorhanden
		BLINKT	Motorversorgung vorhanden, Motor inaktiv
Motor Error	rot	EIN	Fehler Schrittmotorendstufe (externe Enable-Eingänge E1 & E2 inaktiv/fehlen oder interner Modulfehler, STO-Fehler)
		AUS	kein Fehler
Gebersignal A, B, R	grün	EIN	Gebersignal HIGH
		AUS	Gebersignal LOW
Geberversorgung	grün	EIN	Geberversorgung OK
		AUS	keine Geberversorgung
Enable-Eingang 1,2	grün	EIN	Eingang EIN
		AUS	Eingang AUS
Latch-/Digitaleingang 1,2	grün	EIN	Eingang EIN
		AUS	Eingang AUS

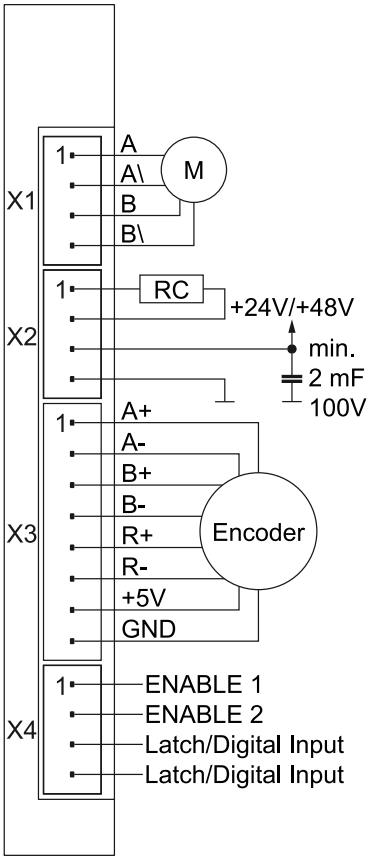
8.3 Beschriftungsfeld



Das Beschriftungsfeld ist direkt am Modul bedruckt.

9 Verdrahtung

9.1 Anschlussbeispiel



9.2 Hinweise

Folgende Installationshinweise sind zu beachten:

- Die Hutschiene muss eine ordentliche Masseverbindung aufweisen.
- Die Schirmung ist auf einer Schirmungssammelschiene anzulegen.
- Zur Verdrahtung des Inkrementalgebers ist ein geschirmtes Kabel zu verwenden. Bei einem RS422-Geber empfiehlt sich der Einsatz eines geschirmten und verdrillten Kabels. Der Schirm ist so nah wie möglich vor dem Modul aufzulegen.
- Zur Verdrahtung der Motorleitungen ist ein geschirmtes Kabel zu verwenden. Der Schirm ist so nahe wie möglich am Modul aufzulegen.
- Erdungsschiene nach Möglichkeit mit Schaltschrank-Erdungsschiene verbinden.
- Die maximale Leitungslänge der Geber-, Motor-, Motortemperatur- und Bremschopperleitungen beträgt 30 m.

INFORMATION

Erdungsschiene nach Möglichkeit mit Schaltschrank-Erdungsschiene verbinden!

VORSICHT

Das S-DIAS Modul darf **NICHT** unter Spannung an- oder abgesteckt werden!

VORSICHT

Der Bediener hat sicherzustellen, dass keine Störungen durch ESD das Produkt beeinflussen.

10 Zusätzliche Sicherheitshinweise

Die Sicherheitsfunktion „STO“ ist ein integraler Bestandteil der DC-Motorendstufe. Es erfüllt alle notwendigen Bedingungen für einen sicheren Betrieb nach SIL 3 gemäß EN IEC 62061 beziehungsweise EN IEC 61508 und nach PL e, Kat. 4 gemäß EN ISO 13849-1.

VORSICHT

Die Hinweise in dieser Dokumentation müssen beachtet werden.

- Das ST 152 darf nur von Netzteilen betrieben werden, die den Anforderungen von SELV oder PELV nach EN 60204 entsprechen.
  Sachgemäßer Transport und sachgemäße Lagerung sind für einen einwandfreien Betrieb unerlässlich. Siehe dazu Kapitel 14 Transport/Lagerung
- Installation, Montage, Programmierung, Inbetriebnahme, Betrieb, Wartung und Außerbetriebsstellung darf nur von geschultem Fachpersonal durchgeführt werden.
- Geschultes Fachpersonal in diesem Sinne sind Personen, die durch eine Ausbildung zur Fachkraft oder durch Unterweisung durch eine Fachkraft die Berechtigung erworben haben, um sicherheitsgerichtete Geräte und Systeme unter Beachtung der einschlägigen Richtlinien und Normen der Sicherheitstechnik (Funktionale Sicherheit) zu bedienen und zu betreuen.

Verwenden Sie die Sicherheitsmodule zu Ihrer und zur Sicherheit anderer Menschen nur gemäß den Bestimmungen. Zur bestimmungsgemäßen Verwendung gehört auch die EMV-gerechte Installation.

VORSICHT

Als nicht bestimmungsgemäß in diesem Sinne gilt:

- jegliche an dem Gerät vorgenommene Veränderung jedweder Art oder der Einsatz beschädigter Geräte.
- der Einsatz des Gerätes außerhalb des in diesem Handbuch beschriebenen technischen Rahmens, bzw. außerhalb der angegebenen technischen Daten (siehe Kapitel 6 Technische Daten).

Die Hauptspannungsversorgung des Servoverstärkers muss in folgenden Fällen über den Hauptschalter abgeschaltet werden:

- Reinigungs-, Wartungs- oder Reparaturmaßnahmen
- Längerer Außerbetriebssetzung

GEFAHR

Nichtbeachtung dieser Vorsichtsmaßnahmen kann zu schweren Verletzungen führen.

- Nur geschultes Fachpersonal darf die „Sichere Wiederanlaufsperre“ STO (Safe Torque off) installieren und parametrieren.
- Alle Steuerungseinrichtungen (Schalter, Relais, PLC, etc.) und der Schaltschrank müssen den Anforderungen von EN ISO 13849 entsprechen. Dies beinhaltet:
  - Türschalter, etc. mit mindestens Schutzklasse IP54
  - Schaltschrank mit mindestens Schutzklasse IP54
- Es sind geeignete Kabel zu verwenden und eine fachgerechte modulseitige Kabelkonfektionierung ist zu beachten (siehe Kapitel "8.1 Zu verwendende Steckverbinder" => Anschlussvermögen).
- Alle Kabel, die die Sicherheit betreffen (z.B. Steuerkabel für die Eingänge ENABLE 1 und ENABLE 2) müssen außerhalb des Schaltschranks in einem Kabelkanal verlegt sein. Kurz- oder Querschlüsse in den Signalleitungen müssen vermieden werden! Siehe EN ISO 13849.

GEFAHR

Sollten externe Kräfte auf die mit der Sicherheitsfunktion STO verwendeten Achsen einwirken (z.B. hängende Last), so müssen weitere Maßnahmen ergriffen werden (z.B. eine elektromagnetische Zweiflächen-Federdruckbremse anstatt einer Permanentmagnetbremse).

WARNUNG

Warnung vor heißer Oberfläche!
Bei Berührung besteht Verbrennungsgefahr!
Bei ungünstigsten Installations- und Betriebsbedingungen kann sich die Oberfläche des S-DIAS Drive Moduls auf bis zu 76 °C erwärmen und ist auch einige Zeit nach Betrieb noch heiß.

10.1 STO

Das ST 152 unterstützt die Sicherheitsfunktionen STO (Safe Torque Off) und erfüllt die Anforderungen der Kategorie 4, Performance Level „e“ nach EN ISO 13849-1 und SIL 3 nach EN IEC 62061 beziehungsweise EN IEC 61508.

Zu diesem Zweck verfügt der Servoverstärker über zwei sichere Eingänge ENABLE 1 und ENABLE 2.

Als +24 V-Spannungsversorgung dürfen nur PELV/SELV-Netzteile verwendet werden.

10.2 Funktionsweise

Die Sicherheitsfunktionen am ST 152 werden durch zwei sichere digitale Eingänge gesteuert.

Die folgende Tabelle zeigt die Zustände, die die sicheren Eingänge ENABLE 1 und ENABLE 2 annehmen müssen, um Normalbetrieb zu ermöglichen bzw. die Sicherheitsfunktion auszulösen.

Zustand der Eingänge		Beschreibung
ENABLE 1	**ENABLE 2**	
Offen	Offen	**Sicherer Zustand des Antriebssystems**
Offen	Low	
Low	Offen	
Low	Low	
High	High	**Antriebssystem bereit**

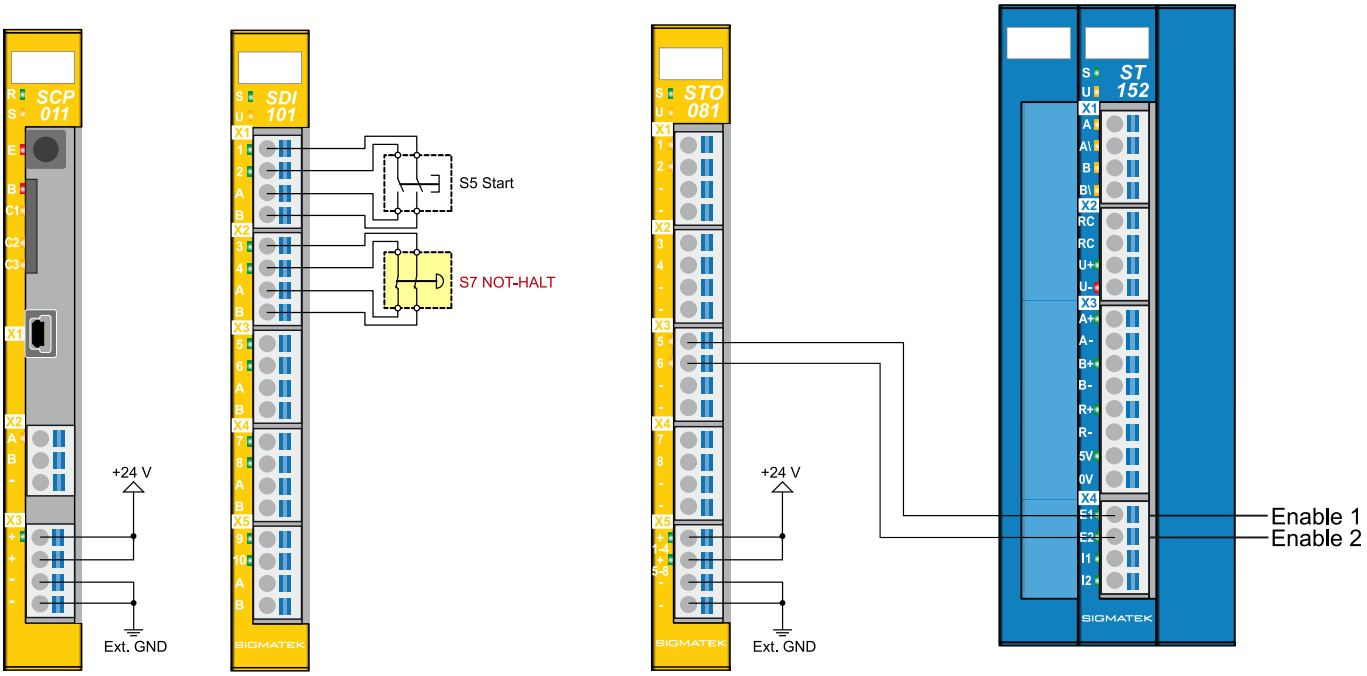
Werden die Eingänge ENABLE 1 und ENABLE 2 von einem beliebigen Zustand in den Zustand „Antrieb betriebsbereit“ gebracht, so ist der Servoverstärker nicht sofort freigeschaltet. Um das System in den Zustand „Antriebssystem bereit“ zu bringen, muss ein Wechsel vom „Low-Low“ in den „High-High“ Zustand erfolgen. Grund dafür ist jener, dass bspw. verklebte Kontakte von Schaltmitteln erkannt werden.

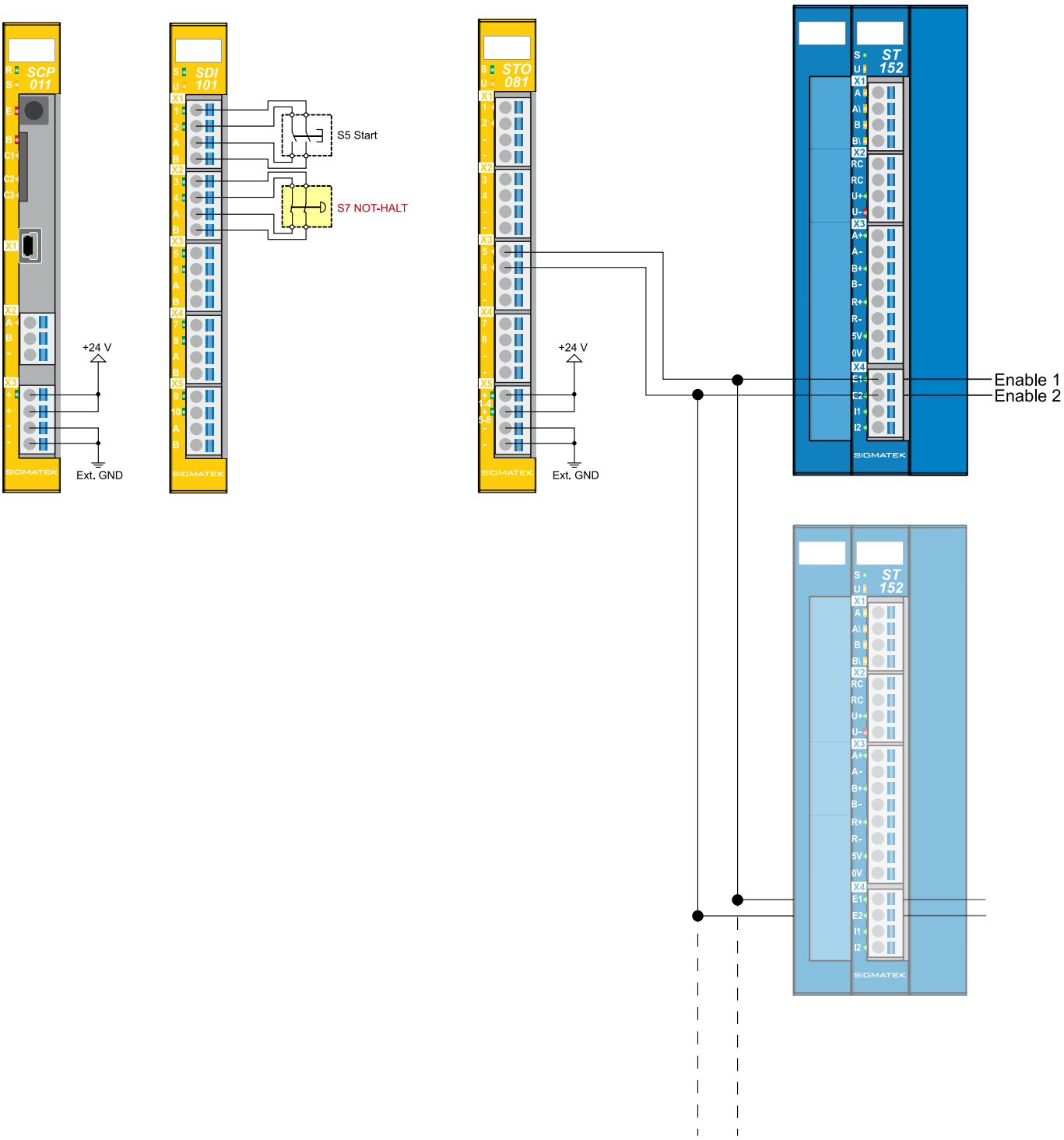
11 Anschlussbeispiele

Es handelt sich in den folgenden Unterpunkten um Verdrahtungsbeispiele. Es muss darauf geachtet werden, dass alle konstruktiven Maßnahmen etc. eingehalten und angewandt werden, um die Anforderungen der angewendeten Kategorie zu erfüllen.

11.1 Performance Level e, Kategorie 4 bzw. SIL 3-Safety SPS

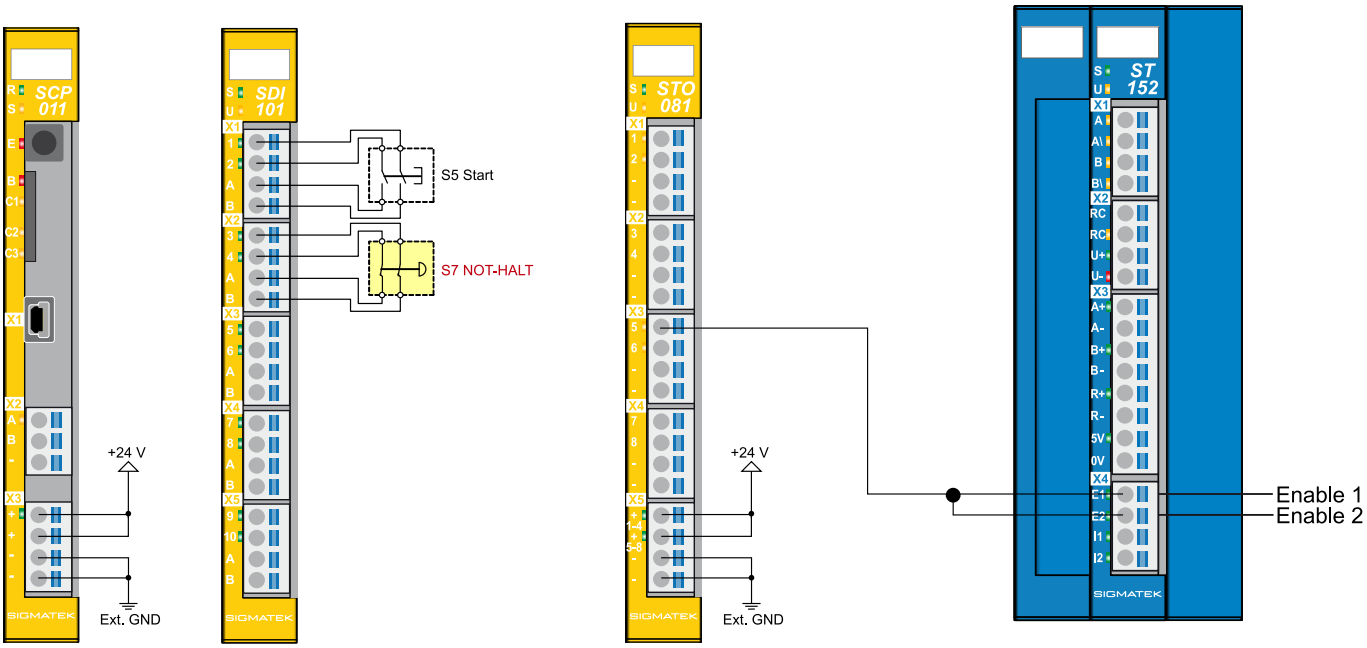
Zur Einhaltung der Kategorie 4, Performance Level „e“ nach EN ISO 13849-1 und SIL 3 nach EN IEC 62061 beziehungsweise EN IEC 61508 müssen zwei fehlersichere Ausgänge einer Sicherheits-SPS benutzt werden. Hierbei ist eine Querschlusserkennung zwischen den beiden Leitungen durch die Ausgangstests des STO 081 möglich.

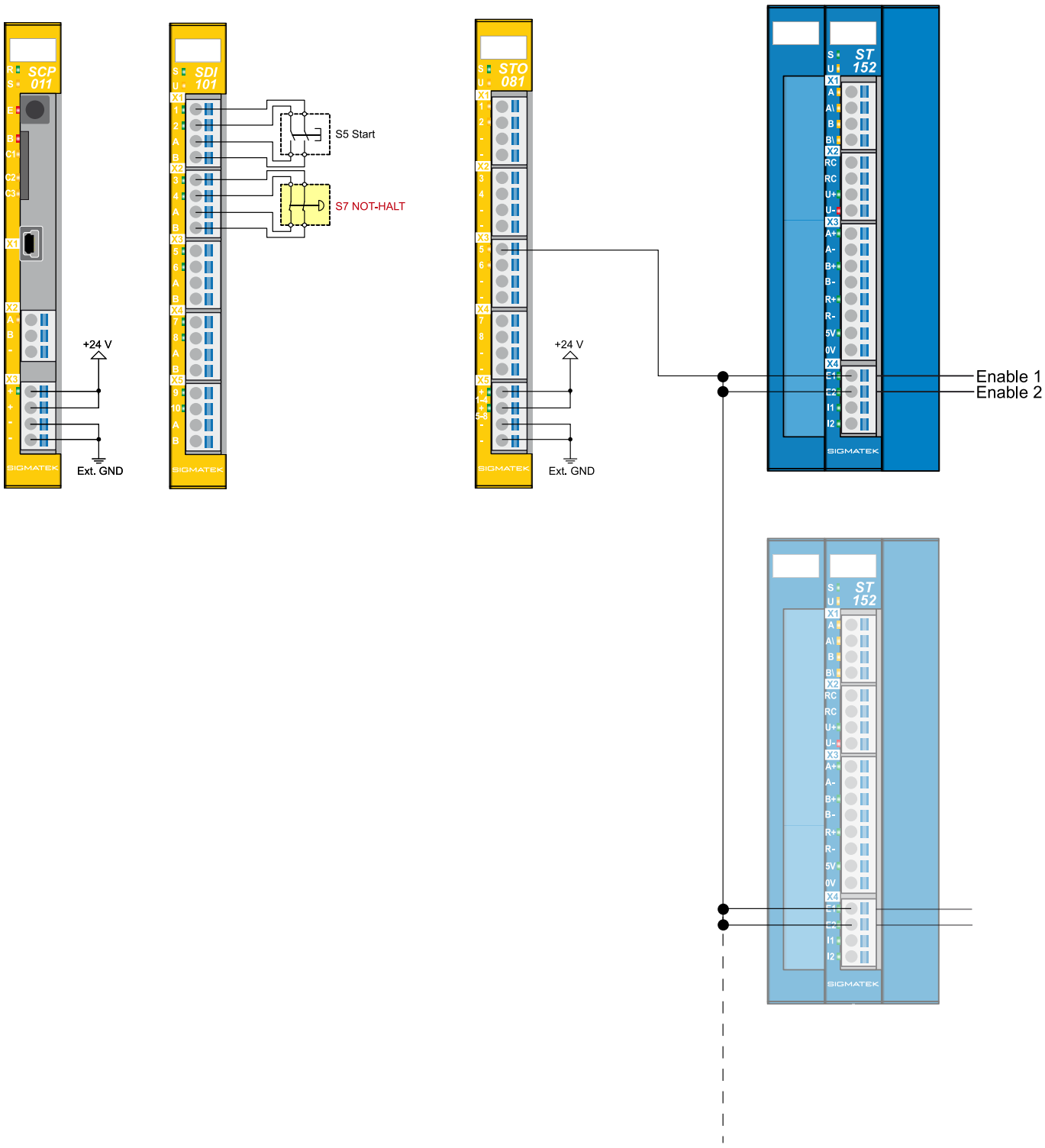



SCP 011
SDI 101
STO 081
ST 152
S5 Start
S7 NOT-HALT
+24 V
Ext. GND
+24 V
Ext. GND
Enable 1
Enable 2
SIGMATEK

11.2 Performance Level e, Kategorie 3 & SIL 3-Safety SPS

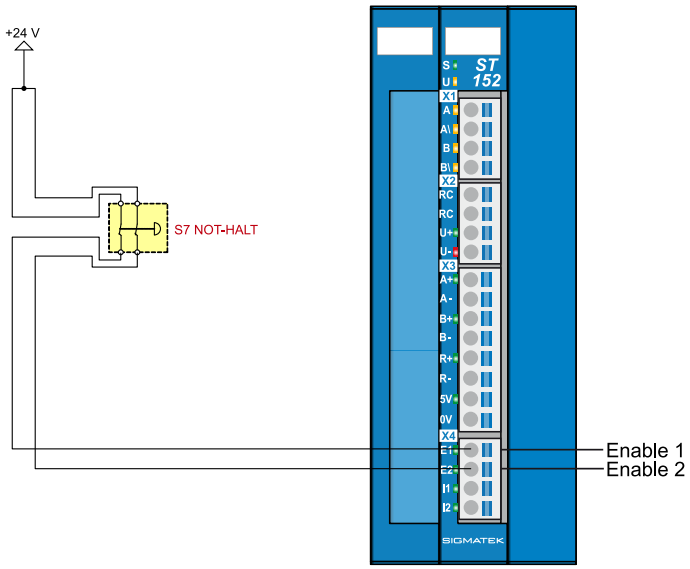
Zur Einhaltung der Kategorie 3, Performance Level „e“ nach EN ISO 13849-1 und SIL 3 nach EN IEC 62061 beziehungsweise EN IEC 61508 muss ein fehlersicherer Ausgang einer Sicherheits-SPS benutzt werden. Grund für die Kategorie 3 ist hier, dass keine Querschlusserkennung der beiden Leitungen möglich ist. Für die Erreichung des genannten Perfomance Levels ist für diese Verschaltung auch ein Fehlerausschluss für die Verdrahtung notwendig, zusätzlich muss sich diese innerhalb des Schaltschranks befinden.

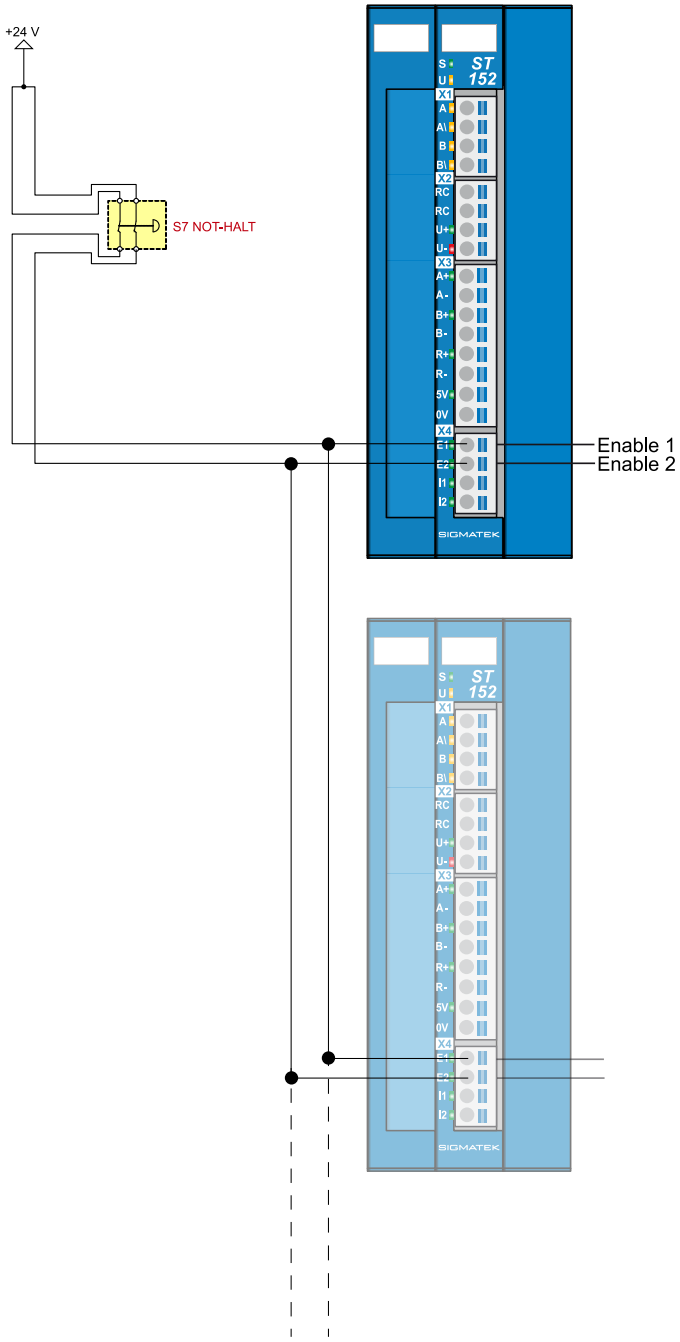



SCP 011
SDI 101
STO 081
ST 152
S5 Start
S7 NOT-HALT
+24 V
Ext. GND
+24 V
Ext. GND
Enable 1
Enable 2
SIGMATEK

11.3 Performance Level e, Kategorie 4 bzw. SIL 3-konventionell

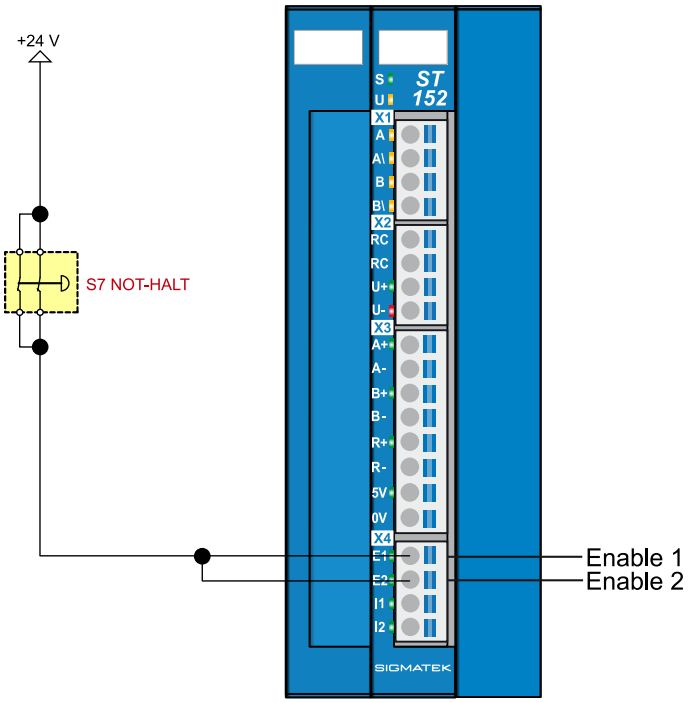
Zur Einhaltung der Kategorie 4, Performance Level „e“ nach EN ISO 13849-1 und SIL 3 nach EN IEC 62061 beziehungsweise EN IEC 61508 muss die Verlegung der Leitung lt. EN ISO 13849-2, Tabelle D.4 eingehalten werden (getrennte Verlegung, Fehlerausschlüssen von Kurzschlüssen zwischen Leitern), da hier keine Querschlusserkennung möglich ist.

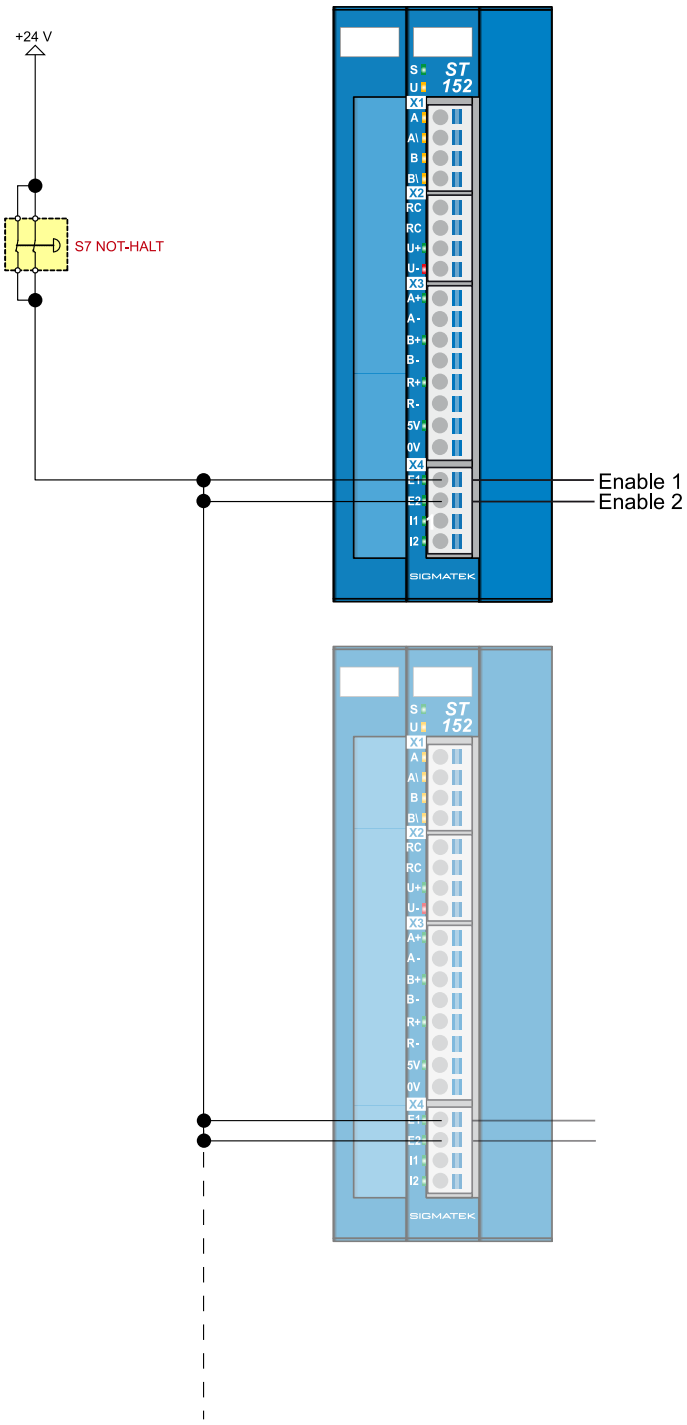



+24 V
S7 NOT-HALT
ST 152
X1
A
A\
B
B\
X2
RC
RC
U+
U-
X3
A+
A-
B+
B-
R+
R-
5V
0V
X4
E1
E2
I1
I2
SIGMATEK
Enable 1
Enable 2

11.4 Performance Level d, Kategorie 2 bzw. SIL 2-konventionell

Hierbei handelt es sich um eine 1-kanalige Verdrahtung, wobei die Enable Eingänge eigens getestet werden. Hier ist keine Querschlusserkennung möglich.




+24 V
S7 NOT-HALT
ST 152
X1
A
A\
B
B\
X2
RC
RC
U+
U-
X3
A+
A-
B+
B-
R+
R-
5V
0V
X4
E1
E2
I1
I2
SIGMATEK
Enable 1
Enable 2

12 Funktionsbeschreibung

12.1 Stromreglermodi

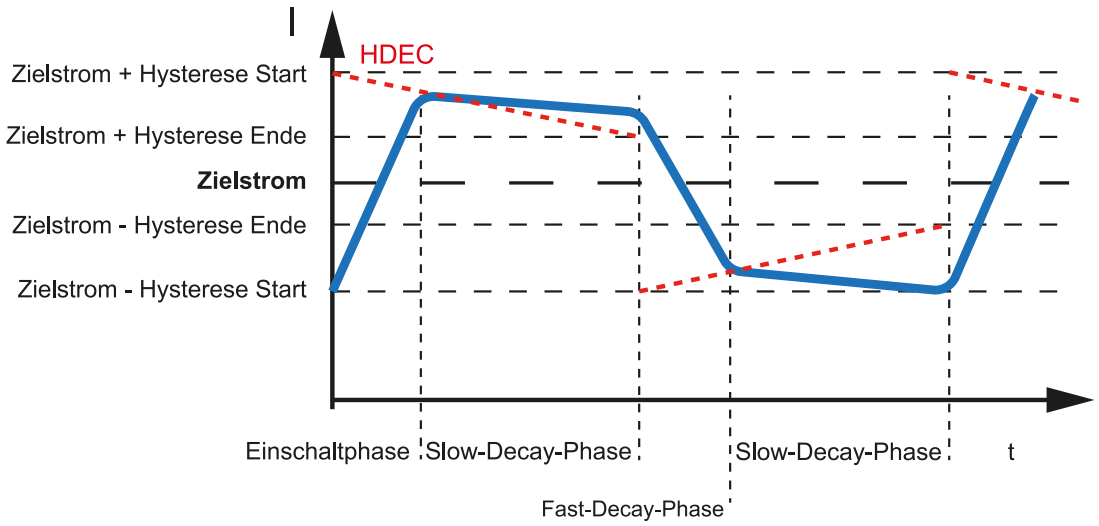
12.1.1 Stromregelungsmodus-Chopper

Der Stromregelungsmodus-Chopper ist der standardmäßig konfigurierte Stromregelmodus. Dieser Modus erlaubt ein stabiles Drehmoment und eine gute Stromregelung des Schrittmotors über einen großen Drehzahlbereich. Für den Closed Loop Modus ist dieser Stromregelmodus erforderlich. Der im Modul integrierte Motioncontroller kann in diesem Modus die Stromvorgabe regeln.

Der Stromregelungsmodus-Chopper ist ein genauer und einfach zu bedienender Chopper-Modus, der automatisch die optimale Länge für die Fast-Decay-Phase bestimmt. Es stehen Parameter zur Verfügung, um den Chopper für die jeweilige Anwendung zu optimieren.

Jeder Chopper-Zyklus besteht aus einer Einschaltphase, einer Slow-Decay-Phase, einer Fast-Decay-Phase und einer zweiten Slow-Decay-Phase. Die Zeit der beiden Slow-Decay-Phasen ergeben die Obergrenze für die Chopper-Frequenz.

Darstellung Chopper-Zyklus



Mit der Hysterese-Starteinstellung wird eine minimale Stromwelligkeit für den Motorstrom eingeprägt. Die eingestellte Stromwelligkeit muss höher sein als die Stromwelligkeit, die durch Widerstandsverluste im Motor verursacht wird, um beste Mikroschritt-Ergebnisse zu erzielen. Dadurch kann der Chopper den Strom sowohl bei steigendem als auch bei fallendem Zielstrom genau regeln. Die Zeit, die benötigt wird, um die Stromwelligkeit in die Motorspule einzuprägen, verringert auch die Chopper-Frequenz. Daher führt eine höhere Hysterese-Einstellung zu einer niedrigeren Chopper-Frequenz. Die Motorinduktivität begrenzt die Fähigkeit des Choppers, einem sich ändernden Motorstrom zu folgen.

Die beste Einstellung findet man, indem man von einer niedrigen Hysterese-Einstellung ausgeht (z.B. mit Hysterese aus: Hysterese Startwert HSTRT=0, Hysterese-Endwert HEND=0) und HSTRT erhöht, bis der Motor bei niedrigen Geschwindigkeitseinstellungen ruhig läuft. Dies lässt sich am besten überprüfen, wenn der Motorstrom entweder mit einer Stromsonde oder durch Messung der Spannungen an Strommesswiderständen gemessen wird. Die Überprüfung der Sinuswellenform in der Nähe des Nulldurchgangs zeigt eine kleine Unregelmäßigkeit zwischen den beiden Halbwellen, falls die Hysterese zu klein eingestellt ist. Bei mittleren Geschwindigkeiten (d.h. 100 bis 400 Vollschritte pro Sekunde) führt

eine zu niedrige Hysterese-Einstellung zu einem verstärkten Brummen und Vibrieren des Motors. Eine zu hohe Hysterese-Einstellung führt zu einer verringerten Chopper-Frequenz und erhöhtem Chopper-Rauschen, bringt aber keinen Vorteil für die Sinuswellenform. Die beste Einstellung für die Hysterese ist nahezu unabhängig vom Motor, da Motoren mit höherem Strom typischerweise auch einen geringeren Spulenwiderstand haben. Für die meisten Anwendungen eignet sich ein geringerer bis mittlerer Wert für die Hysterese (z.B. effektive Hysterese = 4).

Das Hysterese-Prinzip könnte in manchen Fällen dazu führen, dass die Chopper-Frequenz zu niedrig wird, z.B. wenn der Spulenwiderstand im Vergleich zur Versorgungsspannung hoch ist.

Dies wird durch die Aufteilung der Hysterese-Einstellung in eine Starteinstellung (HSTRT+HEND) und eine Endeinstellung (HEND) vermieden. Ein automatischer Hysterese-Dekrementierer (HDEC) interpoliert zwischen beiden Einstellungen, indem er den Hysterese Wert schrittweise dekrementiert. Zu Beginn eines jeden Chopper-Zyklus beginnt die Hysterese mit einem Wert, der der Summe der Start- und Endwerte (HSTRT+HEND) entspricht, und nimmt während des Zyklus ab, bis entweder der Chopper-Zyklus endet oder der Hysterese-Endwert (HEND) erreicht ist. Auf diese Weise wird die Chopper-Frequenz bei hohen Amplituden und niedriger Versorgungsspannung stabilisiert, wenn die Frequenz zu niedrig wird. Dies verhindert, dass die Frequenz den hörbaren Bereich erreicht.

Zwei Parameter steuern den Stromregelungsmodus-Chopper Modus:

Parameter	Beschreibung	Einstellung	Kommentar
HSTRT	Einstellung des Hysterese-Startwertes. Dieser Wert ist ein Offset gegenüber dem Hysterese-Endwert HEND.	0–7	HSTRT= 1 – 8 Der Wert wird zu HEND addiert
HEND	Einstellung des Hysterese-Endwertes. Legt den Endwert der Hysterese -Wert nach einer bestimmten Anzahl von Dekrementen. Die Summe HSTRT+HEND muss ≤16 sein.	0-2	-3 bis -1 negatives HEND
		3	0 HEND
		4-15	1 bis 12 positives HEND

Mit HSRT =0 und HEND = 0, ist die Hysterese deaktiviert.

Beispiel 1 (minimale Hysterese, mit Hysterese Startwert 4 und Hysterese Endwert 3):

HEND=6 (stellt einen effektiven Endwert von 6-3=3 ein)

HSTRT=0 (setzt einen effektiven Startwert mit minimaler Hysterese, d.h. 1: 3+1=4)

Beispiel 2 (variable Hysterese, mit Hysterese Startwert 7 und Hysterese Endwert 4):

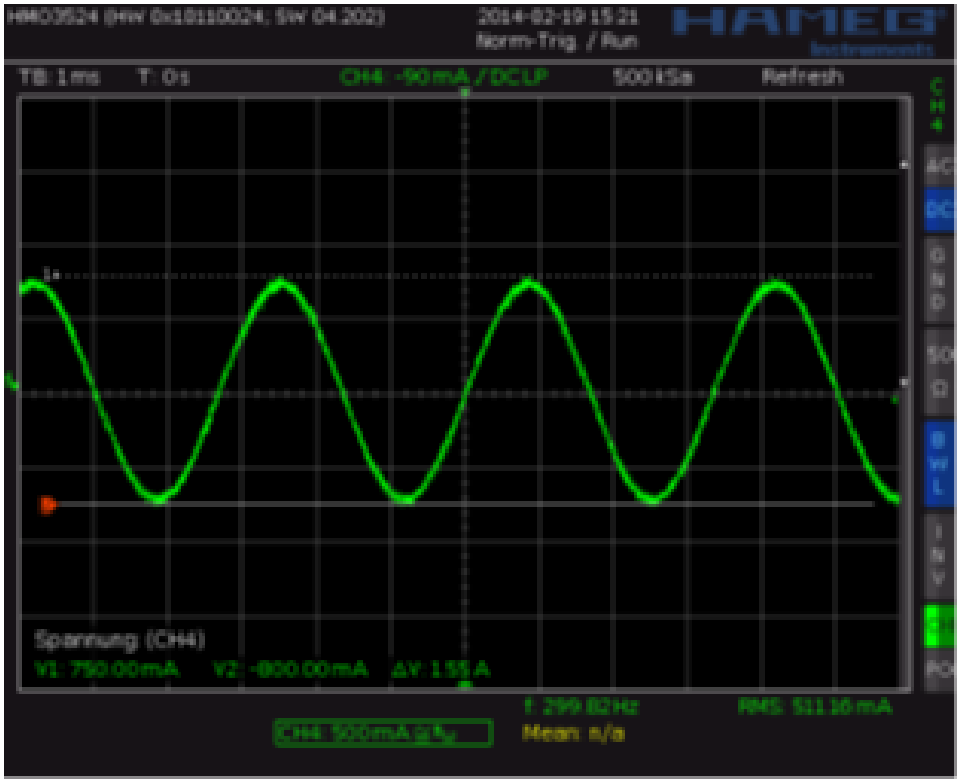
HEND=0 (stellt einen effektiven Endwert von -3 ein)

HSTRT=6 (setzt einen effektiven Startwert von Hysterese Ende +7: 7-3=4)

12.1.2 Spannung PWM-Modus Chopper

Der Spannung PWM-Modus Chopper bietet eine geräuscharme Betriebsart für Schrittmotoren. Dieser Chopper Modus ist nur für den Open Loop Modus möglich. Er basiert auf einer spannungsgesteuerten PWM. Die Ausgabespannung wird so angepasst, dass sich der resultierende Strom, dem Sollstromverlauf annähert. Dieses Verfahren ist daher auf geringe Drehzahlen beschränkt, bei denen die Gegen-EMK noch nicht wirksam ist. Im Stillstand und bei niedrigen Geschwindigkeiten ist der Motor nahezu geräuschlos. Der Motor arbeitet bei niedrigen Geschwindigkeiten vibrationsfrei. Beim Spannung PWM-Modus Chopper wird der Motorstrom durch Anlegen einer bestimmten Effektivspannung an die Spule, mit Hilfe einer spannungsgesteuerten PWM erzeugt. Um die beste Leistung zu erzielen, kann sich der Spannung PWM-Modus Chopper mitttels automatischem Tuning, an die Anwendung anpassen. Die optionale Konfiguration ermöglicht die Anpassung der Einstellung in speziellen Fällen oder die Speicherung von Anfangswerten für den automatischen Anpassungsalgorithmus. Für Antriebe mit hohen Geschwindigkeiten sollte der Stromregelungsmodus-Chopper in Kombination mit dem Spannung PWM-Modus Chopper in Betracht gezogen werden.

Motorstrom Sinusverlauf mit Spannung PWM-Modus Chopper

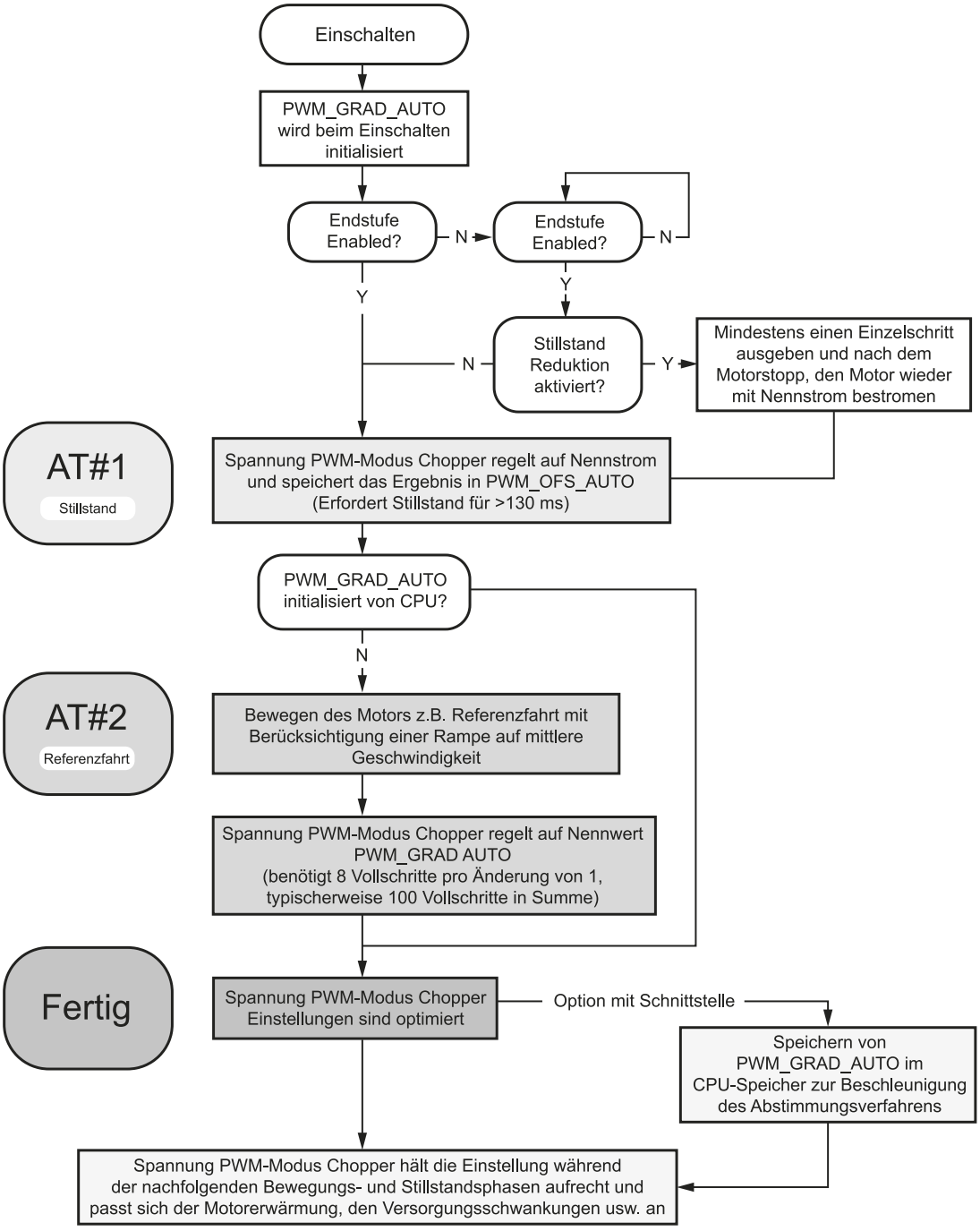


12.1.3 Automatisches Tuning

Der Spannung PWM-Modus Chopper integriert ein automatisches Tuningverfahren (AT), welches die wichtigsten Betriebsparameter automatisch an den Motor anpasst. Auf diese Weise ermöglicht der Spannung PWM-Modus Chopper eine hohe Motordynamik und unterstützt das Herunterfahren des Motors auf sehr niedrige Ströme. Um optimale Ergebnisse zu erzielen, müssen nur zwei Schritte durchgeführt werden:

- Starten des Motors im Stillstand mit Nennstrom (AT#1).
- Bewegen des Motors mit einer mittleren Geschwindigkeit, z.B. als Teil eines Referenzfahrtverfahrens (AT#2).

Ablaufdiagramm automatisches Tuning



Die Randbedingungen für AT#1 und AT#2 sind in der folgenden Tabelle aufgeführt:

Schritt	Parameter	Bedingungen	Erforderliche Dauer
AT#1	PWM_OFS_AUTO	• Motor im Stillstand und aktuelle Stromskala (CS) ist identisch mit dem Betriebsstrom (IRUN). • Wenn die Stillstandsreduzierung aktiviert ist, schaltet ein anfänglicher Schrittimpuls den Antrieb zum Betriebsstrom zurück oder setzt IHOLD auf IRUN. • Motorendstufe versorgt. **Achtung:** Motorendstufe kann Chopper-Frequenz während AT#1 reduzieren. Reduzierten Stillstandsstrom IHOLD<IRUN verwenden, um längere Zeiträume mit niedrigerer Chopperfrequenz zu vermeiden.	≤ 130 ms
AT#2	PWM_GRAD_AUTO	• Bewegen des Motors mit einer Geschwindigkeit, bei der eine beträchtliche Gegen-EMK erzeugt wird und bei der, der volle Betriebsstrom erreicht werden kann. Bedingungen: • 1.5*PWM_OFS_AUTO*(IRUN+1)/32 < PWM_SCALE_SUM < 4*PWM_OFS_AUTO*(IRUN+1)/32 • PWM_SCALE_SUM < 255. **Hinweis:** Ein typischer Bereich ist 60-300 RPM.	8 Vollschritte sind für eine Änderung von +/- 1 erforderlich. Für einen typischen Motor mit PWM_GRAD_AUTO optimal bei 50 oder weniger sind bis zu 400 Vollschritte erforderlich, wenn man vom Standardwert 0 ausgeht.

INFORMATION

Der Tuning-Vorgang ist erfolgreich, wenn PWM_SCALE_AUTO während der Phase der konstanten Geschwindigkeit im AT#2-Tuning auf null geht.

VORSICHT

Der Betrieb im Spannung PWM-Chopper Modus kann ohne ordnungsgemäßem Tuning, insbesondere bei Motoren mit niedrigem Widerstand und schnellen Verzögerungseinstellungen, zu hohen Motorströmen während einer Verzögerungsrampe führen. Der automatische Ablaufvorgang ist zu befolgen. Es wird empfohlen, je nach Motortyp, einen festgelegten Anfangswert für die Einstellungen PWM_OFS und PWM_GRAD zu verwenden. Schützen Sie die Endstufe und die Versorgung, indem Sie zusätzlich den Überstromschutz einstellen.

Die Änderung von GLOBALSCALER oder der Motorendstufenversorgung macht das Ergebnis des automatischen Tunings ungültig. Das automatische Tuning passt sich jedoch an geänderte Bedingungen an, wenn die AT#1- oder AT#2-Bedingungen erfüllt sind.

12.1.4 Spannung PWM-Modus Chopper: Optionen

Um den Motorstrom auf einen bestimmten Wert zu bringen, wird die effektive PWM-Spannung in Abhängigkeit von der tatsächlichen Motordrehzahl skaliert. Um den Motor mit dem Zielstrom anzutreiben, beeinflussen mehrere zusätzliche Faktoren das erforderliche Spannungslevel. Der Motorwiderstand, seine Gegen-EMK (d.h. direkt proportional zu seiner Geschwindigkeit) sowie die aktuelle Höhe der Versorgungsspannung.

Es sind zwei Modi der PWM-Regelung vorgesehen:

- der automatische Tuningmodus (AT) mit Stromrückführung (pwm_autoscale = 1, pwm_autograd = 1) und
- ein geschwindigkeitsgesteuerter Vorwärtsmodus (pwm_autoscale = 0). Der vorwärtsgeregelte drehzahlgesteuerte Modus reagiert nicht auf eine Änderung der Versorgungsspannung oder auf Ereignisse wie einen Motorstillstand, bietet aber eine sehr stabile Amplitude.

Eine Strommessung wird nicht verwendet und ist auch nicht erforderlich. Dies ist ideal, wenn Motortyp und Versorgungsspannung bekannt sind. Es wird daher empfohlen den automatischen Modus zu verwenden, es sei denn, die Stromregelung ist unter den gegebenen Betriebsbedingungen nicht zufriedenstellend.

Es wird empfohlen, anwendungsspezifische Initialtuningparameter zu verwenden, die auf den Motortyp und die Versorgungsspannung abgestimmt sind. Um auf Parameteränderungen zu reagieren, z.B. aufgrund von Motorerwärmung oder Änderung der Versorgungsspannung, sollte der Regler außerdem im automatischen Tuningmodus (pwm_autoscale=1) betrieben werden.

INFORMATION

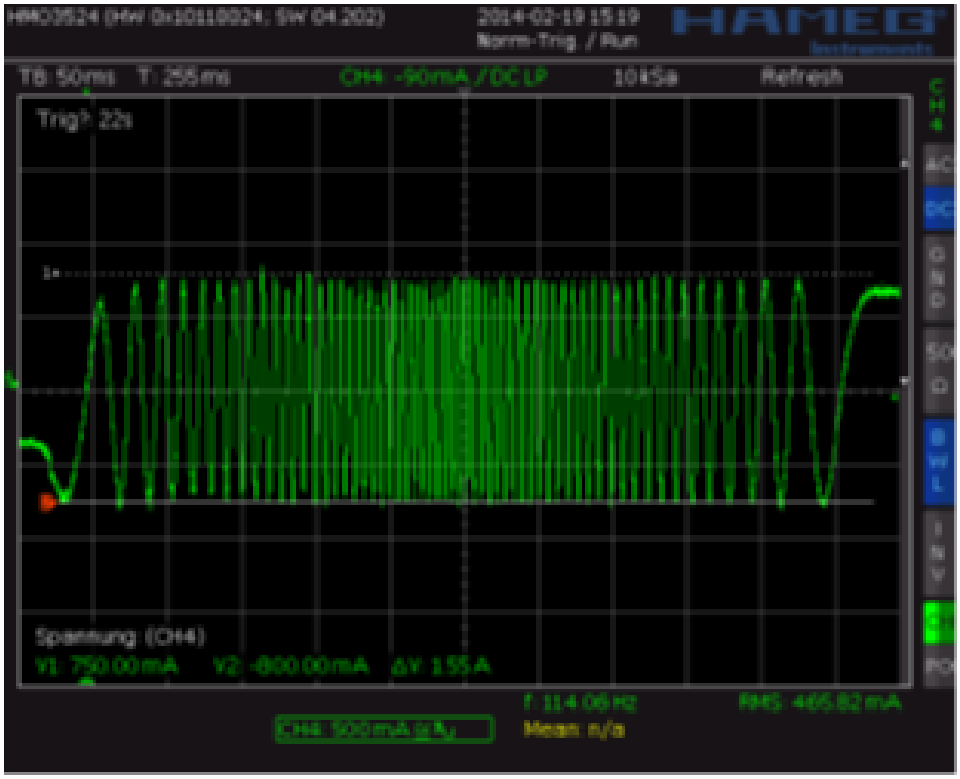
Um den Jitter der Motorstromamplitude zu reduzieren, sollte ein vorgegebenes PWM_GRAD verwendet werden und pwm_autograd = 0 gesetzt werden. Der nicht-automatische Modus (pwm_autoscale=0) sollte nur bei bekannten Motor- und Betriebsbedingungen in Betracht gezogen werden. In diesem Fall ist eine sorgfältige Programmierung über die Schnittstelle erforderlich. Die Betriebsparameter PWM_GRAD und
PWM_OFS können zunächst im automatischen Tuning-Modus ermittelt werden.

12.1.5 Spannung PWM-Modus Chopper: Funktionsweise

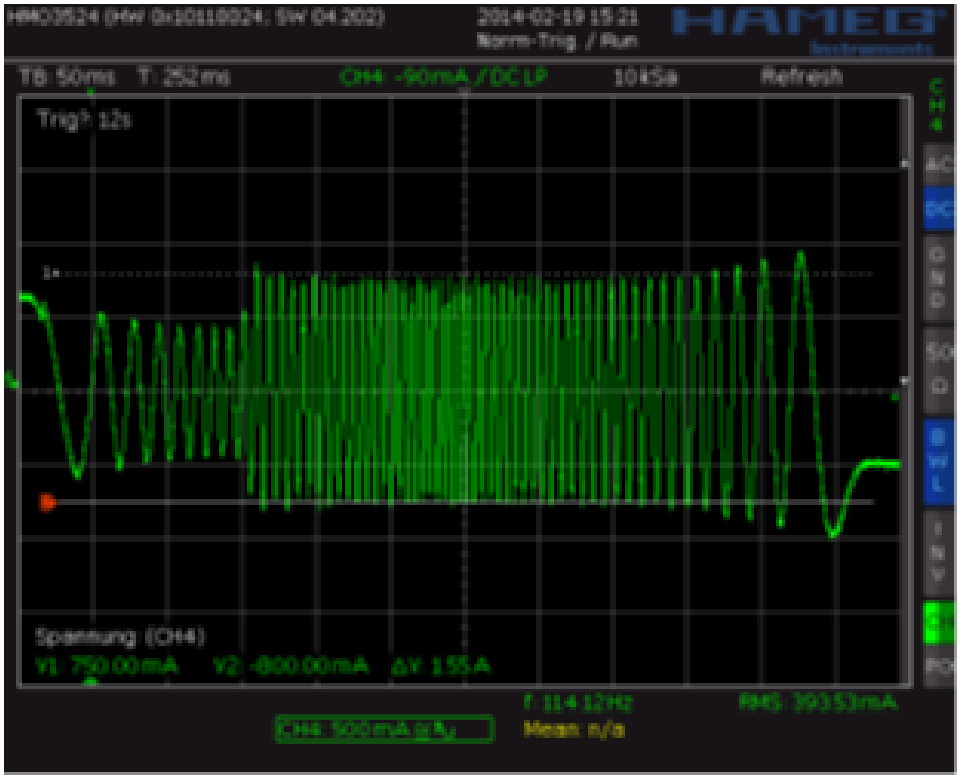
Im Spannungs-PWM-Modus regelt die Autoskalierungsfunktion (pwm_autoscale = 1, pwm_autograd = 1) den Motorstrom auf die gewünschte Stromeinstellung. Die automatische Skalierung wird als Teil des automatischen Tuningprozesses (AT) und zur anschließenden Überwachung von Änderungen der Motorparameter verwendet. Der gemessene Motorstrom während der Einschaltzeit des Choppers, wird vom Proportionalregler verwendet zur Regelung von PWM_SCALE_AUTO, um den Motorstrom an den Zielstrom anzupassen. PWM_REG ist der Proportionalitätskoeffizient für diesen Regler. Für ein stabiles und sanftes Regelverhalten, sollte der Proportionalitätskoeffizient grundsätzlich so klein wie möglich sein, jedoch groß genug, damit die Motorendstufe schnell auf Änderungen reagieren kann, die durch Variation der Parameter (z.B. Änderung der mechanischen Last) verursacht werden.

Bei sorgfältiger Auswahl der Referenzfahrtgeschwindigkeit und der Beschleunigung ist eine minimale Einstellung des Regelungsgradienten oft ausreichend (PWM_REG=1). Die Einstellung von PWM_REG sollte für die schnellste benötigte Beschleunigungs- und Verzögerungsrampe optimiert werden. Die Qualität der Einstellung PWM_REG in der Phase AT#2 und das abgeschlossene automatische Tuningverfahren (oder nicht automatische Einstellungen für PWM_OFS und PWM_GRAD) können bei der Überwachung des Motorstroms während einer Beschleunigungsphase untersucht werden.

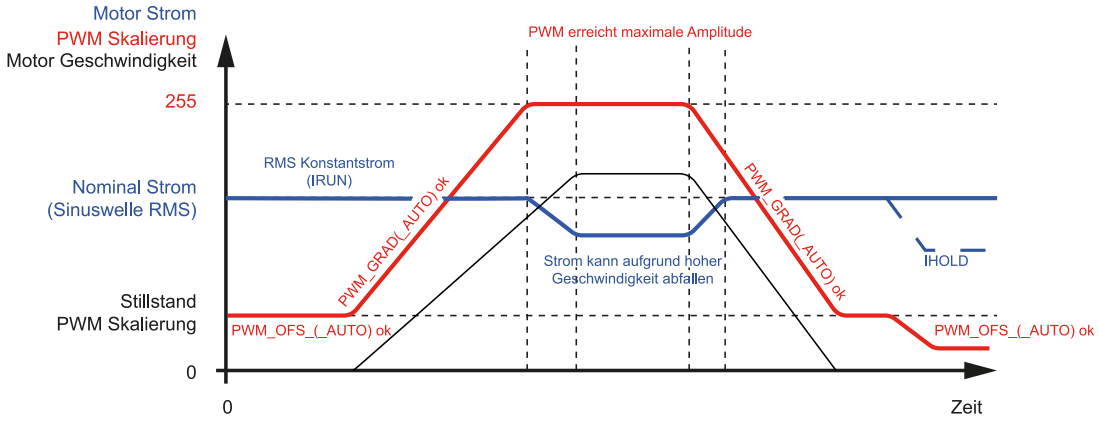
Motorstromaufzeichnung mit guter Einstellung für PWM_REG



Motorstromaufzeichnung mit zu kleinem Wert für PWM_REG währen AT#2



Erfolgreich bestimmte PWM_GRAD(_AUTO) und PWM_OFS(_AUTO)



12.1.6 Unteres Strom Limit

Der Spannung PWM-Modus Chopper legt eine untere Grenze für die Motorstromregelung fest. Da der Motorstrom nur während der Einschaltphase des Choppers gemessen werden kann, ist das minimale Chopper-Tastverhältnis, welches eine Regelung des Spulenstroms ermöglicht, durch die Blanking Time und durch die Chopper-Frequenz gegeben.Der motorspezifische minimale Spulenstrom steigt daher im Autoskalierungsmodus von Spannung PWM-Modus Chopper, mit der Versorgungsspannung und mit der Chopper-Frequenz an. Für die korrekte Bestimmung von PWM_OFS_AUTO ist es wichtig, dass in AT#1 der durch den GLOBALSCALER und IRUN eingestellte Laufstrom, deutlich innerhalb des Regelbereichs liegt. Niedrigere Ströme (z.B. für die Stillstandsabschaltung) werden automatisch, auf der Basis von PWM_OFS_AUTO und PWM_GRAD_AUTO bzw. auf der Basis von PWM_OFS und PWM_GRAD, mit nicht automatischer Stromskalierung realisiert. Die Freilaufoption ermöglicht es, den Motorstrom auf null zu setzen.

Die untere Stromgrenze der Motorspule für das automatische Tuning von Spannung PWM-Modus Chopper liegt bei:

$$I_{Lower\ Limit} = t_{BLANK} * f_{PWM} * \frac{V_M}{R_{COIL}}$$

Die Blanking Time t_{BLANK}	liegt fix bei 1,5 µs.
Die PWM Frequenz f_{PWM}	liegt fix bei 31,25 kHz.
V_M	ist die Versorgungsspannung der Motorendstufe (Zwischenkreisversorgung).
R_{COIL}	ist der Wicklungswiderstand des Motors.
$I_{Lower\ Limit}$	kann als Richtwert für die minimale Nennstromeinstellung des IRUN-Motors betrachtet werden.

Beispiel: Ein Motor hat einen Spulenwiderstand von 5 Ω und die Versorgungsspannung beträgt +24 V.

$I_{Lower\ Limit}$ = 1,5 µs ∗ 31,25 kHz ∗245 Ω = 24512 ∗ 24 V 5 Ω = 225 mA

Das bedeutet, dass der Motor-Zielstrom für das automatische Tuning unter Berücksichtigung aller relevanten Einstellungen 225 mA oder mehr betragen muss. Diese untere Stromgrenze gilt auch für die Änderung des Motorstroms über den GLOBALSCALER.

Für das automatische Tuning gilt eine untere Motorstromgrenze. Stromeinstellungen für IRUN unter 8 funktionieren nicht mit automatischem Tuning. Der Motorstrom in der automatischen Abstimmphase AT#1 muss den unteren Grenzwert $I_{Lower\ Limit}$ überschreiten. Der $I_{Lower\ Limit}$ muss berechnet oder gemessen werden. Nach erfolgreichem automatischem Tuning ist es möglich, den Motorlaufstrom oder den Haltestrom während des Betriebs durch Änderung von IRUN und IHOLD unter die untere Stromgrenze zu setzen. Die untere Stromgrenze begrenzt auch die Fähigkeit der Motorendstufe, auf Änderungen von GLOBALSCALER zu reagieren.

12.1.7 Drehzahlabhängige Skalierung

Die geschwindigkeitsbasierte Skalierung skaliert die Spannung PWM-Modus Chopper Amplitude auf der Grundlage der Zeit zwischen zwei Schritten (T_{STEP}), gemessen in Taktzyklen. Dieses Konzept erfordert grundsätzlich keine Strommessung, da keine Regelschleife notwendig ist. Eine rein geschwindigkeitsbasierte Skalierung ist nur über die Programmierung verfügbar, wenn pwm_autoscale = 0 gesetzt wird. Die Grundidee ist eine lineare Annäherung an die Spannung, die erforderlich ist, um den Zielstrom in den Motor zu treiben. Der Schrittmotor hat einen bestimmten Spulenwiderstand und benötigt daher eine bestimmte Spannungsamplitude, um einen Zielstrom nach der Grundformel I=U/R zu erzeugen. Mit R als Spulenwiderstand und U als Versorgungsspannung, skaliert mit dem PWM-Wert, ergibt sich der Strom I.

Der Ausgangswert für PWM_OFS kann berechnet werden:

$$PWM_OFS = \frac{374 * R_{COIL} * I_{COIL}}{V_M}$$

V_M ist die Versorgungsspannung der Motorendstufe (Zwischenkreisversorgung) und I_{COIL} der Ziel RMS Strom in der Motorwicklung.

Die effektive PWM-Spannung U_{PWM} (1/SQRT(2) x Spitzenwert) ergibt sich unter Berücksichtigung der 8-Bit-Auflösung und 248 Sinuswellen-Spitzenwert für die aktuelle PWM Amplitude als PWM_SCALE:

$$U_{PWM} = V_M * \frac{PWM_SCALE}{256} * \frac{248}{256} * \frac{1}{\sqrt{2}} = V_M * \frac{PWM_SCALE}{374}$$

Mit steigender Motordrehzahl erzeugt der Motor eine zunehmende Gegen-EMK-Spannung. Die Gegen-EMK-Spannung ist proportional zur Motordrehzahl. Sie reduziert die am Spulenwiderstand wirksame PWM-Spannung, wodurch der Strom sinkt. Die Motorendstufe bietet einen zweiten geschwindigkeitsabhängigen Faktor (PWM_GRAD), um dies zu kompensieren.

Die effektive Gesamt-PWM-Amplitude (PWM_SCALE_SUM) wird in diesem Modus automatisch in Abhängigkeit von der Mikroschrittfrequenz wie folgt berechnet:

$$PWM_SCALE_SUM = PWM_OFS * \frac{CS_ACTUAL + 1}{32} + PWM_GRAD * 256 * \frac{f_{STEP}}{f_{CLK}}$$

Dabei ist f_{STEP} die Mikroschrittfrequenz für eine Auflösung von 256 Mikroschritten und f_{CLK} die interne Taktfrequenz (16 MHz). CS_ACTUAL berücksichtigt die aktuelle Stromskalierung, wie sie durch IHOLD und IRUN definiert ist.

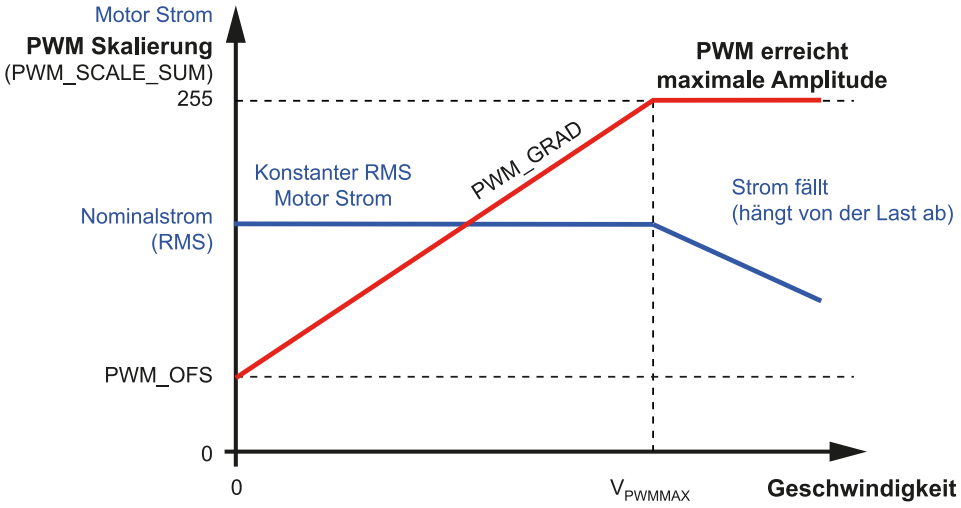
In erster Näherung subtrahiert die Gegen-EMK von der Versorgungsspannung und damit sinkt die effektive Stromamplitude. Auf diese Weise kann eine erste Näherung für die Einstellung von PWM_GRAD berechnet werden:

$$PWM_GRAD = C_{BEMF}\left[\frac{V}{\frac{rad}{s}}\right] * 2\pi * \frac{f_{CLK} * 1.46}{V_M * MSPR}$$

C_{BEMF} ist die Gegen-EMK-Konstante des Motors in Volt pro Radiant/Sekunde.

MSPR ist die Anzahl der Mikroschritte pro Umdrehung unter der Annahme einer Auflösung von 256 Mikroschritten, z.B. 51200 = 256 Mikroschritte multipliziert mit 200 Vollschritten für einen 1,8°-Motor.

Geschwindigkeitsbasierte PWM-Skalierung (pwm_autoscale=0)



Die Werte für PWM_OFS und PWM_GRAD können leicht optimiert werden, indem der Motorstrom mit einer Stromsonde gemessen wird. Alternativ werden diese Werte durch das automatische Tuning ermittelt und können aus PWM_OFS_AUTO und PWM_GRAD_AUTO ausgelesen werden.

Motor Gegen-EMK Konstante

Die Gegen-EMK-Konstante ist die Spannung, die ein Motor erzeugt, wenn er sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit dreht. Häufig geben Motordatenblätter diesen Wert nicht an, da er aus dem Motordrehmoment und dem Spulenstrom abgeleitet werden kann. In SI-Einheiten hat der numerische Wert der Gegen-EMK-Konstante CBEMF den gleichen numerischen Wert wie der numerische Wert der Drehmomentkonstante.

Zum Beispiel: hat ein Motor mit einer Drehmomentkonstante von 1 Nm/A eine CBEMF von 1 V/rad/s. Dreht sich ein solcher Motor mit 1 U/s (1 U/s = 1 Umdrehung pro Sekunde = 6,28 rad/s) erzeugt eine Gegen-EMK-Spannung von 6,28 V.

Die Gegen-EMK-Konstante kann also wie folgt berechnet werden:

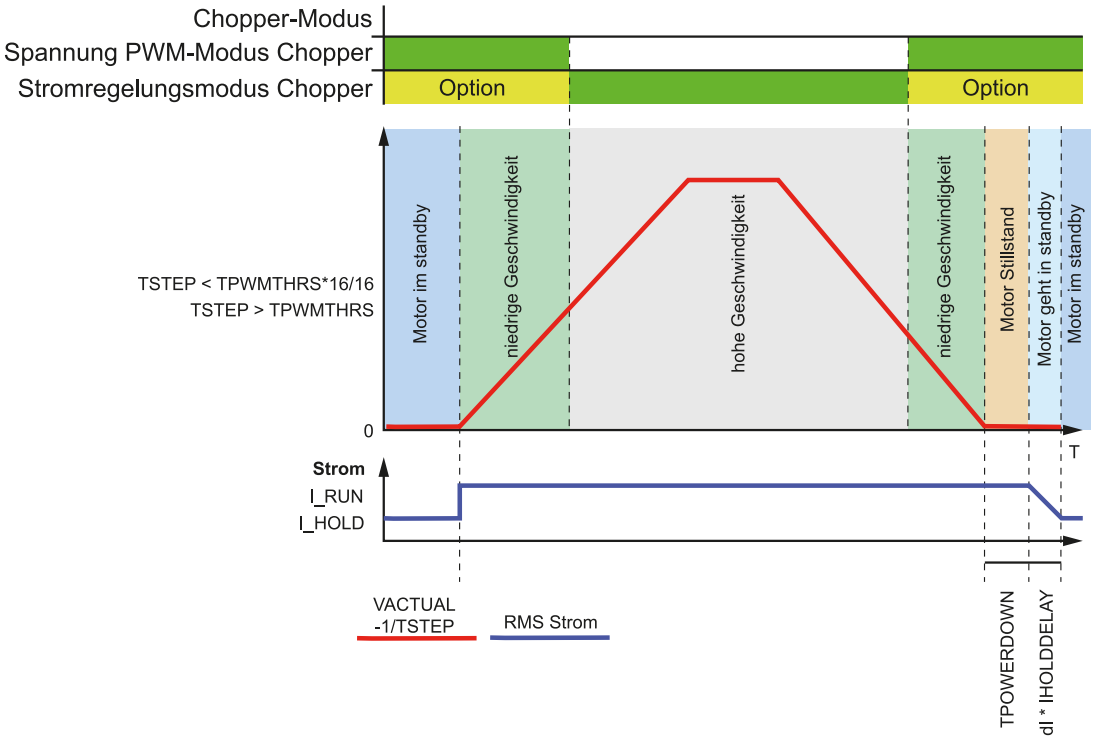
$$C_{BEMF}\left[\frac{V}{rad/s}\right] = \frac{HoldingTorque[Nm]}{2 * I_{COILNOM}[A]}$$

$I_{COILNOM}$ ist der Phasennennstrom des Motors für das angegebene Haltemoment. HoldingTorque ist das motorspezifische Haltedrehmoment, d. h. das bei $I_{COILNOM}$ auf beiden Spulen erreichte Drehmoment. Die Drehmomenteinheit ist [Nm], wobei 1 Nm = 100 Ncm = 1000 mNm. Die Spannung gilt als Effektivspannung pro Spule, daher wird der Nennstrom in dieser Formel mit 2 multipliziert, da der Nennstrom von einer Vollschrittposition ausgeht, bei der beide Spulen in Betrieb sind.

12.1.8 Kombination Spannung PWM-Modus Chopper mit Stromregelungsmodus-Chopper

Bei Anwendungen, die eine Bewegung mit hohen Geschwindigkeiten erfordern, kann der Stromregelungsmodus-Chopper einen stabileren Betrieb im oberen Geschwindigkeitsbereich bieten. Um einen geräuscharmen Betrieb mit höchster Dynamik zu kombinieren, ermöglicht die Schrittmotorendstufe die Kombination von Spannung PWM-Modus Chopper und Stromregelungsmodus-Chopper auf der Basis einer Geschwindigkeitsschwelle. Damit ist der Spannung PWM-Modus Chopper nur bei niedrigen Geschwindigkeiten aktiv.

TPWMTHRS für optionale Umschaltung auf Stromregelungsmodus-Chopper



In einem ersten Schritt sollen beide Chopper-Modis einzeln parametrisiert und optimiert werden. In einem nächsten Schritt muss eine Umschaltgeschwindigkeit festgelegt werden. Der Spannung PWM-Modus Chopper-Betrieb wird z.B. für eine präzise Positionierung mit niedriger Geschwindigkeitspositionierung verwendet, während der Stromregelungsmodus-Chopper für hochdynamische Bewegungen eingesetzt

werden soll. TPWMTHRS bestimmt die Umschaltgeschwindigkeit. Es ist T_{STEP} auszulesen, wenn sich der Motor mit der gewünschten Geschwindigkeit bewegt und daraus der resultierende Wert in TPWMTHRS zu schreiben. Um einen Ruck am Schaltpunkt zu vermeiden, sollte eine niedrige Umschaltgeschwindigkeit verwendet werden.

Ein Ruck tritt beim Umschalten mit höheren Geschwindigkeiten auf, weil die Gegen-EMK des Motors (die mit der Geschwindigkeit ansteigt) eine Phasenverschiebung von bis zu 90° zwischen Motorspannung und Motorstrom verursacht. Daher tritt beim Umschalten mit höheren Geschwindigkeiten dieser Ruck zwischen Spannung PWM-Modus Chopper und Stromregelungsmodus-Chopper mit erhöhter Intensität auf. Ein starker Ruck kann sogar zu einem vorübergehenden Überstrom führen (je nach dem Widerstand der Motorwicklung). Bei niedrigen Geschwindigkeiten (z.B. 1 bis einige 10 U/min) kann dies bei den meisten Motoren völlig vernachlässigt werden. Es ist daher der Umschaltruck bei der Wahl von TPWMTHRS zu berücksichtigen. Wenn man nur mit dem Spannung PWM-Modus Chopper arbeiten möchte, muss TPWMTHRS auf null gesetzt werden.

Bei der ersten Nutzung des Spannung PWM-Modus Chopper mit der automatischen Stromregelung aktivieren, muss der Motor stillstehen, um eine korrekte Stromregelung zu ermöglichen. Wenn die Motorendstufe bei einer höheren Geschwindigkeit in den Spannung PWM-Modus Chopper wechselt, wird die letzte Einstellung der Stromregelung gespeichert, bis der Motor wieder auf eine niedrigere Geschwindigkeit zurückkehrt. Auf diese Weise hat die Regelung einen bekannten Startpunkt, wenn der Motor zu dem niedrigeren bekannten Ausgangspunkt zurückkehrt, an dem der Spannung PWM-Modus Chopper wieder aktiviert wird. Daher dürfen weder die Geschwindigkeitsschwelle noch die Versorgungsspannung während der Phase, in welcher der Chopper in einen anderen Modus geschaltet wird, stark geändert werden, da der Motor sonst Schritte verlieren oder der Motorstrom zu hoch oder zu niedrig sein könnte. Eine Motorblockade oder eine plötzliche Änderung der Motordrehzahl kann dazu führen, dass die Motorendstufe einen Kurzschluss erkennt oder zu einem Fehlerzustand der automatischen Stromregelung führt. In diesem Fall wird ein Fehler erkannt und die Motorendstufe abgeschaltet. Damit die Endstufe wieder aktiviert werden kann, muss der Fehler vom Anwender quittiert werden.

12.1.9 Konfiguration/Inbetriebnahme Spannung PWM-Modus Chopper

In den Standardeinstellungen ist das Feature schon soweit vorbereitet, dass eine schnelle Aktivierung möglich ist. Folgende zwei Schritte aktivieren den Spannung PWM-Modus Chopper bis zu einer eingestellten Geschwindigkeit. Da das Modul interne Kalibrierungen während dem ersten Enablen durchführt, ist es wichtig, dass diese beiden Werte vor dem ersten Enablen der Achse geschrieben sind.

- Setzen von Register GCONF(Register Index 0x4001, Subindex 0x01) auf Subindex 0x04 (Bit 2 en_pwm_mode).
- Setzen der maximalen Geschwindigkeit für Spannung PWM-Modus Chopper. Schreiben auf Register TPWMTHRS (Register Index 0x4001, Subindex 0x14). Der Wert wird angegeben in Clock-Zyklen zwischen zwei 1/256 µSteps. Am einfachsten ist der Grenzwert zu bestimmen, in dem bei konstanter Wunschgeschwindigkeit, der aktuelle Wert aus Register TSTEP (Register Index 0x4001, Subindex 0x13) ausgelesen wird.

Mit diesen Einstellungen wird für Geschwindigkeiten unterhalb dieser Schwelle TSTEP ≥ TPWMTHRS bereits Spannung PWM-Modus Chopper verwendet.

Bei Verwendung der Standardeinstellungen bestimmt das Modul selbsttätig die richtige Verstärkung und Offset um den Sollstrom möglichst gut einzuhalten.

Beim Spannung PWM-Modus Chopper, kann es prinzipbedingt bei geringen Drehzahlen zu Abweichungen der eingestellten Stromsollwertvorgabe kommen. Damit eine zu geringe oder zu hohe Bestromung des Motors verhindert wird, ist daher für den verwendeten Drehzahlbereich, der Motorstrom in der Anwendung messtechnisch zu verifizieren.

Für eine genauere Stromamplitude beim Einschalten nach dem automatischen Tuning-Vorgang ist es möglich die Verstärkung und den Offset zu initialisieren. Dazu liest man in der typischen Fahrsituation den aktuellen Offset und Verstärkung aus Register PWM_AUTO (Register Index 0x4001, Subindex 0x73). Diese Werte können dann mit Register PWM_OFS (Register Index 0x400E, Subindex 0x01) und Register PWM_GRAD (Register Index 0x400E, Subindex 0x02) als Initialwert verwendet werden. Für eine gute Bestimmung des Offset ist es sinnvoll die Achse mehrmalig in den Stillstand gebracht zu haben bevor der Wert ausgelesen wird.

12.2 Sensorlose Lastbestimmung

Die sensorlose Lastbestimmung erlaubt es eine Aussage über die aktuelle Last und Momentenreserve des angeschlossenen Motors zu treffen. Dieses Verfahren ist abhängig von der vorhandenen Gegen-EMK des Motors und kann daher nur im Geschwindigkeitsbereich genutzt werden in welchem die Gegen-EMK eine zuverlässige Aussage erlaubt. Bei sehr geringen Geschwindigkeiten oder sehr hohen Geschwindigkeiten ist daher der ausgerechnete Wert nicht nutzbar. Die Qualität des Werts ist durch die direkte Abhängigkeit von der messbaren Gegen-EMK auch abhängig vom Motortyp. Bei Verwendung des Spannung PWM-Modus ist eine Bestimmung nicht möglich.

Der verfügbare Wert skaliert zwischen 1023 und 0. Dabei bedeutet 1023 keine Last und 0 ein Lastszenario das zum potentiellen Stall des Motors führt.

Index	Subindex	Bezeichnung	Bedeutung
0x4000	0x6D Bit 0:9	POLLING_ STATUS/Sensorloser Lastwert (lesend)	Aktueller sensorloser Lastwert bestimmt durch die Bestimmung. 1023 entspricht keine Last, 0 entspricht dem Lastszenario in dem ein Motorstall erkannt wird.
0x4001	0x6E Bit 16:23	COOLCONF/Sensorloser Lastskalierungsfaktor	Skalierung der Sensibilität der Bestimmung des sensorlosen Lastwertes. Der Standardwert ist 0. Die Einstellung lässt eine Veränderung zwischen -64 und 63 zu. Eine Erhöhung des Werts verringert die Sensibilität der sensorlosen Lastbestimmung. Typische Werte bewegen sich zwischen -10 und 10.

12.2.1 Konfiguration/Inbetriebnahme

Ziel ist die Berechnung des sensorlosen Lastwertes so zu konfigurieren, dass beim Zielstrom und bei der Zielgeschwindigkeit unter:

- Leerlauf der sensorlose Lastwert im Bereich einiger hundert Einheiten ist
- voller Last der sensorlose Lastwert klein ist, ohne null zu erreichen bevor der Motor stallt.

Der Motor muss einmalig mit einer variablen Last vermessen werden. Eine variable Last kann sein:

- gekoppelte Achse (zweiter Schrittmotor, Servomotor)
- statische Last mit veränderbarer Last (Gewichte)

Fahren bei konstanter Geschwindigkeit und Erhöhen der Last bis Motor stallt. Verringern der Last auf etwa 90 % und Auslesen des sensorlosen Lastwertes aus Bit 0-9 aus Register Index 0x4000, Subindex 0x6D. Ein Wert von 0 bedeutet potentieller Stall erkannt.

Wenn aktueller Wert:

- 0 ist -> Erhöhen des sensorlosen Lastskalierungsfaktors (Bit 16:23, Register Index 0x4001, Subindex 0x6E)
- selten 0 ist -> Veränderung von sensorlosen Lastskalierungsfaktor (Bit 16:23, Register Index 0x4001, Subindex 0x6E) um ±1 und Bewertung ob Stabilität verbessert ist
- nie 0 wird und noch mehrere Ganzzahlen von 0 entfernt ist -> verringern des sensorlosen Lastskalierungsfaktor (Bit 16:23, Register Index 0x4001, Subindex 0x6E) bis sensorlosen Lastwerts nahe 0 ist.

12.2.2 Stop on Stall

Das Modul kann ein Signal liefern welches zum Stoppen des Motors genutzt werden kann. Es kann alternativ auch der aktuelle sensorlose Lastwert gelesen werden, aus Bit 0-9 aus Register Index 0x4000, Subindex 0x6D und das Stoppen ohne Event des Chips in der Applikation ausgeführt werden. In diesem Fall ist keine Freischalteprozedur in der Applikation notwendig.

Es muss eine Geschwindigkeit gewählt werden, ab welcher ein „Stop on Stall“ Event getriggert wird. Wahl der Geschwindigkeit in pps an Register VSTALL_LIMIT (Register Index 0x4000, Subindex 0x68). Ein „Stop on Stall“-Event kann nur getriggert werden, wenn gilt |Istgeschwindigkeit (Register Index 0x4000, Subindex 0x23)| > VSTALL_LIMIT.

Folgender Ablauf muss zur Bedienung des Features eingehalten werden:

- Aktivieren von „Stop on Stall“ durch Setzen von Bit 26 in Register Index 0x4000, Subindex 0x02.
- Abfrage des Events durch Lesen von Register Index 0x4000, Subindex 0xF Bit 29.
- Zurücksetzen des Events durch Schreiben von Register Index 0x4000, Subindex 0x0F mit Wert 0x20000000.
- Freigeben des Antriebs durch „Drive after Stall“, Setzen von Bit 27 in Register Index 0x4000, Subindex 0x02.
- Starten der Bewegung (Motor muss in Bewegung sein)
- Zurücksetzen von „Drive after Stall“, Rücksetzen von Bit 27 in Register Index 0x4000, Subindex 0x02.

INFORMATION

Bei Verwendung von Spannung PWM-Modus findet keine sensorlose Bestimmung der Last statt. Alle Funktionalitäten, welche auf der sensorlosen Bestimmung der Last aufbauen können damit nicht genutzt werden.

12.3 Sensorlose lastabhängige Motorstromvorgabe

Wenn die sensorlose Lastabhängigkeit korrekt eingestellt ist, kann damit direkt darauf aufbauend, die Stromamplitude gesteuert werden. Das erlaubt eine Reduzierung des Strom- und Energieverbrauchs für Modul und Motor. Allgemein ist keine Aussage möglich, ob die Schwingungen oder die Lautstärke des Motors besser oder schlechter durch Änderung der Stromamplitude sind, da dies abhängig von Motor und mechanischem Aufbau ist.

Die Einstellung der sensorlosen lastabhängigen Motorstromvorgabe erfolgt durch folgende Parameter:

Index	Subindex	Bezeichnung	Bedeutung
0x4001	0x6E Bit 0:3	COOLCONF semin0-semin3/Untere Schwellgrenze sensorloser Lastwert	Ausgabe maximaler Strom wenn sensorloser Lastwert < (Untere Schwellgrenze sensorloser Lastwert)*32
0x4001	0x6E Bit 5:6	COOLCONF seup0 – seup1 / Änderungsrate Stromerhöhung	Stromerhöhung bei Änderung sensorloser Lastwert in Schritten
0x4001	0x6E Bit 8:11	COOLCONF semax0-semax3/Obere Schwellgrenze sensorloser Lastwert	Ausgabe maximaler Strom wenn sensorloser Lastwert > (Untere Schwellgrenze sensorloser Lastwert + Obere Schwellgrenze sensorloser Lastwert + 1)*32
0x4001	0x6E Bit 13:14	COOLCONF sedn0-sedn1/Änderungsrate Stromreduzierung	%00: Stromreduzierung bei Verkleinerung alle 32 Einheiten des sensorlosen Lastwertes %01: Stromreduzierung bei Verkleinerung alle 8 Einheiten des sensorlosen Lastwertes %10: Stromreduzierung bei Verkleinerung alle 2 Einheiten des sensorlosen Lastwertes %11: Stromreduzierung bei Verkleinerung des sensorlosen Lastwertes
0x4001	0x6E Bit 15	COOLCONF seimin/Minimalstrom lastabhängige Stromreduzierung	0 … Minimalstrom ist die Hälfte des Maximalstroms 1 … Minimalstrom ist ein Viertel des Maximalstroms
0x4000	0x6D, Bit 0:9	POLLING_STATUS SG_RESULT/ sensorloser Lastwert	Aktueller sensorloser Lastwert zwischen 0 und 1023. Ein höherer Wert entspricht einer geringeren Last.

Der maximale Wert bei Stillstand oder Stillstand des sensorlosen Lastwertes ist abhängig vom Motor und der Einstellung des sensorlosen Lastskalierungsfaktor (Bit 16:23, Register Index 0x4000, Subindex 0x6E).

Um eine zu verzögerte Reaktion (Erhöhung der Stromamplitude) zu vermeiden, muss die untere Schwellgrenze des sensorlosen Lastwertes so gewählt werden, dass bei hoher Last bereits der maximale Strom ausgegeben wird. Umgekehrt gilt, dass der Summenwert aus unterer und oberer Schwellgrenze des sensorloser Lastwertes so gewählt werden muss, dass sicher der minimale Strom ausgegeben wird. So wird der Skalierungsbereich gut genutzt.

Zusätzlich muss noch der Bereich definiert werden, in welchem die sensorlose lastabhängige Motorstromvorgabereduzierung genutzt werden soll. Die Grenzen werden durch zwei Geschwindigkeitswerte definiert. Diese Geschwindigkeitswerte werden auch für die Bestimmung des sensorlosen Lastwertes angewendet.

Index	Subindex	Bezeichnung	Bedeutung
0x4001	0x15	TCOOLTHRS/Startgeschwindigkeit lastabhängige Stromreduzierung	Lastabhängige Stromreduzierung ist aktiv, wenn TSTEP Register Index 0x4001, Subindex 0x13 < Einstellwert und wenn Bedingung aus Register Index 0x4001, Subindex 0x16 nicht aktiv ist.
0x4001	0x16	THIGH/Endgeschwindigkeit lastabhängige Stromreduzierung	Lastabhängige Stromreduzierung wird deaktiviert, wenn TSTEP Register Index0x4001, Subindex 0x13 < Einstellwert.

Damit kann der Arbeitsbereich der lastabhängigen Stromreduzierung in den Bereich gelegt werden, in welchem die Bestimmung des sensorlosen Lastwertes zuverlässig funktioniert. Bei korrekter Einstellung wird die Stromamplitude wird so reguliert, dass die Achse mit reduziertem Strom stabil läuft.

12.4 Closed Loop-Regler

Das Modul ST 152 hat für Closed Loop Positions- und Geschwindigkeitsregelung einen integrierten Regler.

Eine Closed Loop-Regelung am Modul bietet Vorteile bei folgenden Anwendungen:

- präzise Regelung von Position
- Unterdrückung von Schwingungen und Oszillationen
- Regelung ohne Schrittverlust und ohne Stall des Motors
- energieoptimierter Betrieb durch lastabhängige Stromreduzierung

Diese Eigenschaften machen es attraktiv, die Closed Loop-Regelung direkt am Modul zu verwenden. Das Modul verfügt über Standardparameter, welche einen Betrieb in Closed Loop-Regelung, direkt ohne weiteres Tuning erlaubt. Es ist von der Verwendung abzuraten, wenn das eigene System einen Geber mit geringer Auflösung verwendet oder wenn der Motor möglichst geräuscharm bei geringen Drehzahlen betrieben werden soll.

Standardmäßig soll zuerst der Positionsregler eingestellt werden. Auf Basis einer guten Positionsregelung lässt sich der Stromregler mit der Stromskalierung einstellen. In Ausnahmefällen kann dann noch die Ausgleichgeschwindigkeit des Geschwindigkeitsregler eingestellt werden.

12.4.1 Funktionsweise Closed Loop-Regelung

Die Closed Loop-Regelung besteht aus drei Hauptkomponenten:

1. einer Positionskorrektur im Zusammenspiel mit einem P-Regler für die Positionsabweichung. Zusätzlich verfügt die Positionskorrektur über eine Komponente, welche die Effekte der Gegen-EMK ausgleicht.
2. einer dynamischen Stromhöhenregelung (abhängig von der Positionsabweichung). Diese wirkt damit indirekt als Stromamplitudenregelung, die lastabhängig über die Auswirkung einer steigenden Positionsabweichung ist.
3. einer Geschwindigkeitsregelung, welche zur vorgesteuerten Geschwindigkeit, additiv eine Komponente zur Sollgeschwindigkeit hinzufügt. Damit ist es möglich die Zielgeschwindigkeit anzupassen, wenn der Rotor des Schrittmotors über das Maß des Ausgleichs, mit der Stromhöhe vor- oder nacheilt.

Die erste und die zweite Komponente sind jene, welche im Gesamtkonzept den wichtigeren Beitrag übernehmen. Die Positionsregelung muss zuerst eingestellt werden und auf Basis dieser Regelung wird die Stromamplitudenregelung angewendet.

12.4.1.1 Positionsregelung

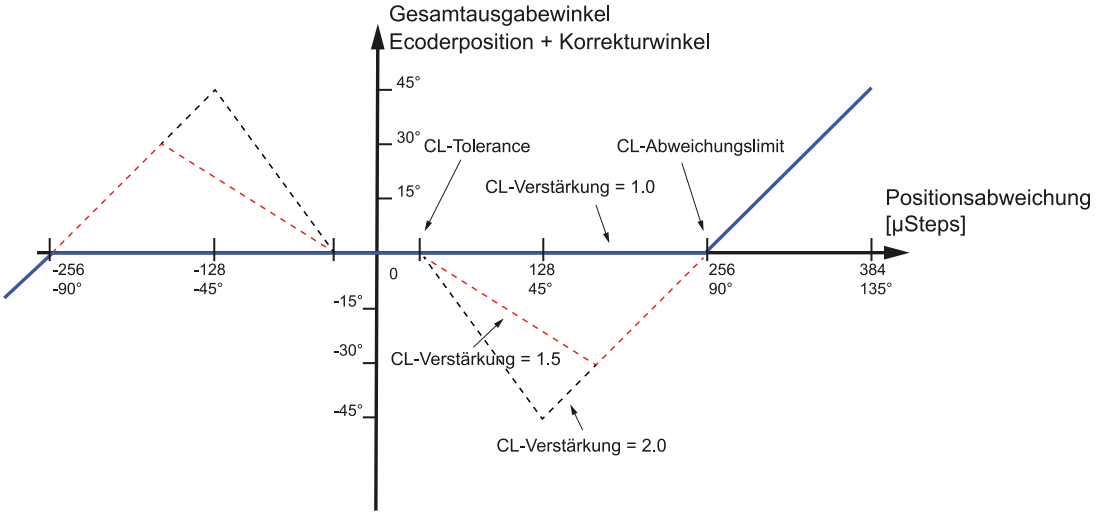
Die Positionsregelung arbeitet zur Sollposition innerhalb eines Schrittes, mit der Positionsabweichung des Encoders. Der Motor kann nur dann stabil geregelt werden, wenn der Encoder sich innerhalb eines Schrittes zur Sollposition befindet. Um diese Effekte auszugleichen und länger das volle Drehmoment zur Verfügung zu haben, wird der elektrische Winkel des Stroms so angepasst, dass die aktuelle Abweichung ausgeglichen wird. Das ist das dahinterstehende Reglerprinzip. Die Umsetzung im Modul durch Verschieben der Zielposition funktioniert, was über die Sinustabelle einem Verschieben des elektrischen Winkels entspricht.

In einem einfachen Modell ohne Gegen-EMK, bei Verwendung der Standardparameter, ist eine stabile Regelung bis zu einer Abweichung von 90° im elektrischen Winkel möglich. Eine stabile Regelung ist so lange möglich, so lange die Abweichung kleiner ist als dieser Winkel. Bei Abweichungen im Bereich zwischen -90° und +90° kann das elektrische Feld so verschoben werden, dass die Regelung den Sollstrom in ein Sollmoment umsetzen kann. Wenn die Abweichung weiter wächst kann das elektrische Feld nicht mehr weiter nachgeregelt werden (der Fall von Feldschwächung beiseitegelassen, im Fall von Schrittmotoren ist das nur für den sehr erfahrenen Anwender sinnvoll). Es wird noch versucht die Abweichung mit dem Maximalwert von 90° auszugleichen. Dies ist bis zu einer maximalen Abweichung von 180° mit sinkendem Moment möglich. Das ist das Verhalten bei Verwendung der Standardparameter.

Das Modul bietet folgende Einstellungen um das Verhalten ausgehend von den Standardeinstellungen zu beeinflussen.

Index	Subindex	Bezeichnung	Bedeutung
0x4000	0x5D	CL Verstärkung/CL_ DELTA_P	Der CL Gain dient dazu das Verhalten der Achse steifer oder weicher zu stellen. Eine steifere Achse folgt der Vorgabe direkter, allerdings werden Störungen wie Oszillationen stärker angeregt. Eine weichere Achse folgt der Vorgabe schlechter, verhält sich dafür toleranter bezüglich Oszillationen. Der Standardwert ist 1.0 = 0x10000. Der Wert besteht aus 16 bit Nachkommastellen und 8 bit Ganzzahlstellen. 1.25 entspricht beispielsweise 0x14000. Der Dezimalwert ergibt sich aus 0x4000 dividiert mit 0x10000 = 0.25.
0x4000	0x60	CL Tolerance/CL_ TOLERANCE	CL Gain ist 1.0 wenn |Encoderabweichung| < CL_TOLERANCE. Dieser Wert sollte immer etwas größer sein als die Skalierung des Encoderinkrements auf µSteps, um nicht das Rauschen des Encoders weiter zu verstärken. Der Standardwert ist 20.
0x4000	0x1D Bit 0:8	CL Abweichungslimit/CL_ BETA	Das CL Abweichungslimit definiert den maximalen Korrekturwert des elektrischen Winkels für die CL Position. Bei einer realen größeren Abweichung wird dieser Wert als Maximalwert verwendet. Der Standardwert ist 255.

Die Positionskorrektur kann man sich grafisch abhängig von den Einstellwerten folgend vorstellen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist das CL-Abweichungslimit auf dem Standardwert von 255 dargestellt.



Um die Effekte der Gegen-EMK auszugleichen, kann zusätzlich der Ausgabewinkel durch einen geschwindigkeitsabhängigen Wert korrigiert werden. Damit wird durch den CL-Regler nur die richtige Abweichung ausgeglichen, die sich durch den Antrieb ergibt, und es muss nicht der mit der Geschwindigkeit steigende Effekt der Gegen-EMK ausgeglichen werden.

Die Kennlinie vom Gegen-EMK und die Kompensation durch den Regler sind Motortypen abhängig. Die Startgeschwindigkeit sollte in dem Bereich gewählt werden, in welchem die Encoderabweichung ansteigt und vom CL-Regler bereits spürbar ausgeglichen wird.Da die Gegen-EMK-Korrektur den Effekt im Idealfall ausgleicht, bleibt die Encoderabweichung ab dieser Geschwindigkeit bis zur Endgeschwindigkeit konstant.

Index	Subindex	Bezeichnung	Bedeutung
0x4000	0x61	Gegen-EMK-Korrektur Startgeschwindigkeit/FS_VEL/CL_VMIN_EMF	Startgeschwindigkeit ab welcher die Gegen-EMK-Korrektur startet in pps. Der Standardwert ist 250000 pps.
0x4000	0x62	Gegen-EMK-Korrektur-geschwindigkeitsbereich/CL_VADD_EMF	Die Gegen-EMK wird linear interpoliert. Die Korrektur ist 0 bei Gegen-EMK-Korrektur Startgeschwindigkeit und maximal (CL-Max. Back-EMF-Korrektur) bei (Gegen-EMK-Korrektur Startgeschwindigkeit + Gegen-EMK-Korrektur Geschwindigkeitsbereich).
0x4000	0x1D Bit 16:23	CL-Max. Gegen-EMK-Korrektur/CL_GAMMA	Das CL-Abweichungslimit definiert den maximalen Korrekturwert des elektrischen Winkels für die CL-Position. Bei einer realen größeren Abweichung wird dieser Wert als Maximalwert verwendet.

12.4.1.2 Stromregler

Der Stromregler entspricht einer reinen Regelung der Stromamplitude und erlaubt, abhängig von der Encoderabweichung, eine Reduktion oder Erhöhung.

Die Stromamplitude wird zwischen dem Minimalwert skaliert, wenn die Abweichung kleiner ist als 50 µSchritte und dem Maximalwert, wenn die Encoderabweichung den Wert von CL-Abweichungslimit erreicht hat oder überschritten hat.

Das Modul nutzt Standardwerte für die minimale Abweichung, ab welcher der Strom erhöht wird (50 µSteps) und für die Änderungsrate des Stroms bei Erhöhung (0,0625 ms) und Verringerung (6,25 ms). Eine Änderung durch den Nutzer ist nicht vorgesehen.

12.4.1.3 Geschwindigkeitsregler

Die Idee des Geschwindigkeitsreglers ist vom Ansatz mit dem Positionsregler zu vergleichen. Es wird eine zusätzliche Geschwindigkeit bestimmt, welche additiv zur Sollgeschwindigkeit dazugezählt wird. Die Gesamtgeschwindigkeit ergibt sich aus der Summe der Ansteuergeschwindigkeit und der Zusatzgeschwindigkeit.

Die Regelung dieser Größe erfolgt über einen PI-Regler mit einer Begrenzung auf eine maximalen Zusatzgeschwindigkeit.

Index	Subindex	Bezeichnung	Bedeutung
0x4000	0x5B	P-Verstärkung PI-Regler Zusatzgeschwindigkeit	P-Verstärkung des PI-Regler der Zusatzgeschwindigkeit. Der Standardwert ist 200.
0x4000	0x5C	I-Verstärkung PI-Regler Zusatzgeschwindigkeits	I-Verstärkung des PI-Regler der Zusatzgeschwindigkeit. Der Standardwert ist 50.
0x4000	0x5F	Maximale Zusatzgeschwindigkeit	Die maximale Zusatzgeschwindigkeit die zur aktuellen Geschwindigkeit dazugezählt wird. Der Standardwert ist 100000.

Die maximale Zusatzgeschwindigkeit wird in den Standardeinstellungen nicht angewendet, da die Verwendung einer maximalen Zusatzgeschwindigkeit stark von der Anwendung abhängig ist.

Um die Limitierung der Zusatzgeschwindigkeit zu aktivieren, muss Bit 27 von ENC_IN_CONF Index 0x4000, Subindex 0x08 gesetzt werden.

12.4.1.4 Vorgehensweise Closed Loop-Tuning

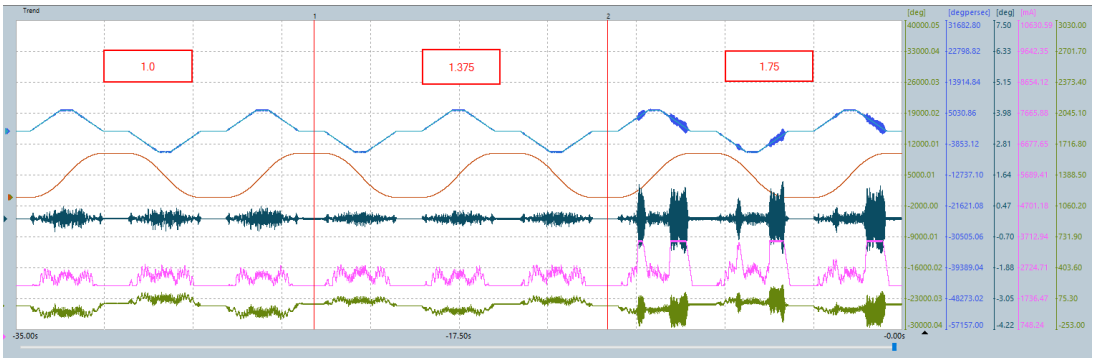
Wenn bei der Analyse der Reglergüte festgestellt wurde, dass die Standardeinstellung des Moduls nicht zufriedenstellend sind kann der Closed Loop Regler getuned werden.

Der wichtigste Tuningfaktor für den CL-Regler wurde im Zuge der Inbetriebnahme typischerweise bereits eingestellt, durch die Festlegung von „minimaler Strom“ und „maximaler Strom“. Diese Einstellung hat auf das anregen von Oszillationen typischerweise die größte Auswirkung. Die Standardeinstellung des Positionsreglers ist mit einer Verstärkung von 1.0 sanft eingestellt und regt damit im Normalfall nicht aktiv Oszillation an. Vor den nächsten Schritten ist es also notwendig nochmals sicherzustellen, dass die Wahl des „minimalen Stroms“ und des „maximalen Stroms“ bereits erfolgt ist.

Als erster Schritt des Closed Loop Regler Tunings wird die Positionsregelung eingestellt. Für den Start sollte die CL Tolerance kontrolliert werden. Wenn die CL Verstärkung ungleich 1.0 ist hat dieser Wert eine Auswirkung (mit Standardverstärkung 1.0 ändert sich nichts im gesamten Bereich bis CL Abweichungslimit). Die CL Tolerance sollte so gewählt werden, dass der Wert etwas größer ist als die „Skalierung des Encoderinkrements auf µSteps“. Dieser Skalierungswert kann aus dem Modul ausgelesen werden durch ENC_CONST Index 0x4000, Subindex 0x55. Der Wert besteht aus 16 Nachkommastellen und 15 Ganzzahlstellen. Die CL Tolerance soll etwas größer eingestellt werden als der Skalierungswert, um das Encoderrauschen nicht in die CL Regelung einfließen zu lassen.

Danach kann die CL-Verstärkung eingestellt werden. Die Vorgehensweise ist ähnlich zu Servoantrieben. Falls die Encoderabweichung mit steigender Drehzahl deutlich steigt oder die Achse eine überlagerte Schwingung zeigt kann die Achse durch Erhöhen der CL-Verstärkung steifer gemacht werden. Der Regler erhöht damit früher den Ausgleichswinkel der Position und gleicht damit die Encoderabweichung stärker aus. Gleichbleibende Schwingungen können auch Resultat eines zu geringen Maximalstroms sein der zum Ausregeln dieser Schwingungen nicht reicht. Im Allgemeinen ist hier ein Abwägung zwischen CL-Verstärkung und Stromamplitude zu treffen um die beste Regelgüte zu erhalten.

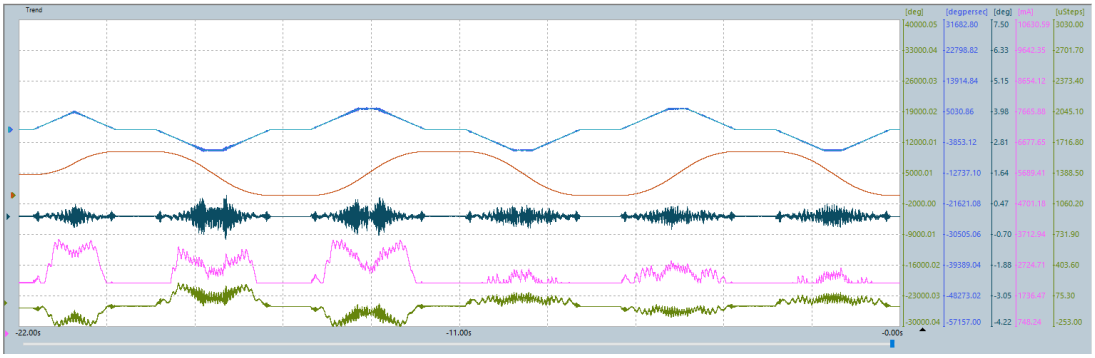
Falls umgekehrt die Achse bereits mit den Standardeinstellung Oszillationen zeigt kann die Achse weicher gemacht werden. Hier ist es sinnvoll, bei Reduktion der Verstärkung um x% auch den Wert von CL Abweichungslimit um x% zu verringern. Eine reale Abweichung von 255 µSteps soll bereits dem Maximum von CL Abweichungslimit entsprechen für eine gute Regelung. Die Auswirkung der CL-Verstärkung anhand einer realen Achse ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Es wird gestartet mit den Standardwerten des Moduls, anschließend wird die Verstärkung schrittweise auf 1.375 und 1.75 erhöht. Man sieht bei 1.375 zuerst, dass die steifere Achse die Oszillationen zum Teil unterdrücken kann, mit einer weiteren Erhöhung auf 1.75 werden die Oszillationen aktiv angeregt.



Der nächste Schritt ist die Einstellung der Gegen-EMK Korrektur. Dazu beschleunigt man die Achse am besten langsam (falls dies möglich ist ohne Resonanzfrequenzen anzuregen). Ab der Geschwindigkeit von Gegen-EMK Korrektur Startgeschwindigkeit (Standardwert = 250000 pps) sollte eine Verringerung der Encoderabweichung sichtbar sein oder kein weiteres ansteigen. Der Wert von Gegen-EMK Korrekturgeschwindigkeitsbereich soll so gewählt werden, dass die Encoderabweichung näherungsweise konstant gehalten wird.

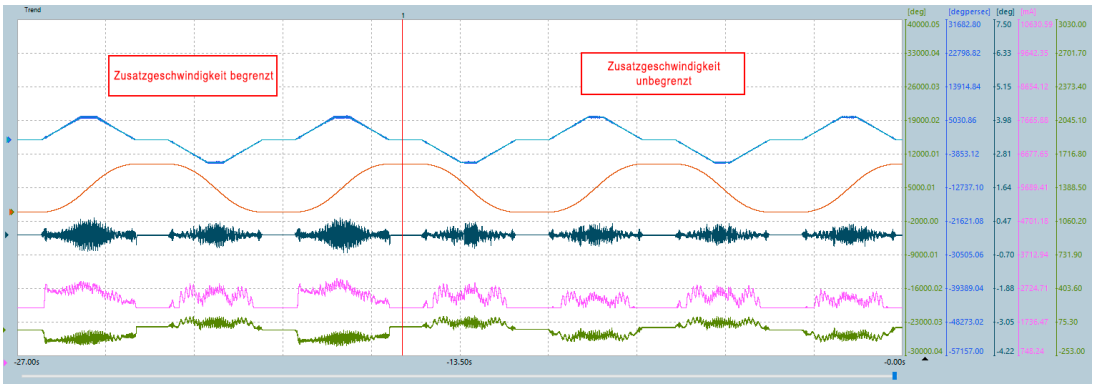
Nachfolgend ist ein Vergleich zwischen zwei Einstellungen der Gegen-EMK Korrektur Startgeschwindigkeit. Zuerst wird 400000 pps verwendet (ein Wert, der noch ein stabiles Fahren erlaubt), nach drei Zyklen wird umgeschaltet auf 200000 pps (ein guter Wert für diesen Motor). Die maximale Geschwindigkeit liegt bei 850000 pps. Im ersten Teil sieht man die Wirkung sobald die Gegen-EMK Korrektur wirkt, davor hat sich allerdings bereits eine große Encoderabweichung aufgebaut. Bei Start der Gegen-EMK Korrektur in der zweiten Hälfte bleibt die aktive Encoderabweichung annähernd konstant. Die indirekte Wirkung auf den Strom sieht man deutlich, da die Achse bei gleicher Last schwächer schwingt. Mit gut eingestellter Gegen-EMK Kompensation wird also ein geringerer Strom benötigt.

Die indirekte Wirkung auf den Strom sieht man auch deutlich, da die Achse mit gut eingestellter Gegen-EMK-Kompensation, ruhiger mit weniger Oszillationen und bei gleicher Last, mit weniger Strom fährt.



Im Fall des Stromregler hat der Anwender nur Zugriff auf den minimalen und maximalen Strom. Wie auch im Fall des OpenLoop-Mode lässt sich keine generelle Anleitung geben, wie die Stromamplitude verändert werden muss, um Schwingungen und Oszillationen zu beeinflussen. Als grobe Regel kann gelten, dass Schwingungen bei höheren Strömen tendenziell abnehmen, Oszillationen zunehmen. Vor allem bei Oszillationen bei geringen Geschwindigkeiten gilt allerdings auch, dass ein höherer Strom das Anregen der Resonanz vermindern kann. Hier ist es also notwendig, dass der Nutzer die Stromamplituden des minimalen und maximalen Stromes anwendungsspezifisch einstellt. Als Startwert kann für den maximalen Strom 100 % und für den minimalen Strom 50 % bei Closed-Loop-Regelung verwendet werden. Zwischen dem Startwert von 50 µSteps und dem Wert von CL-Abweichungslimit wird der Strom linear vom Minimalstrom zum Maximalstrom skaliert. Die Wirkungsweise von der Stromskalierung ist auf den oberen Abbildungen sichtbar.

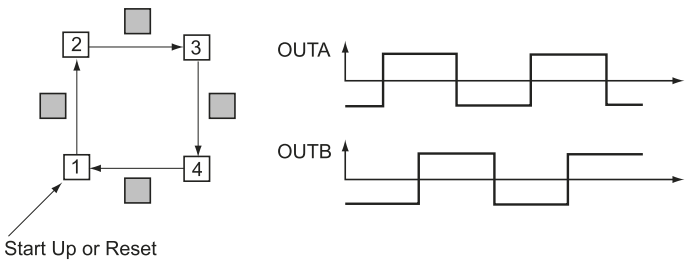
Die Zusatzgeschwindigkeit die durch den PI-Regler des Geschwindigkeitsregler bestimmt wird, wird zur Sollgeschwindigkeit dazu addiert, um der Änderungen der Position zu folgen und zusätzlich aufholen oder zurückfallen zu können. Diese Geschwindigkeit hat daher auf die Gesamtperformance des CL-Reglers den geringsten Einfluss. Bei Nutzung der Standardeinstellungen folgt die Zusatzgeschwindigkeit direkt den Positionsänderungen und wird nicht begrenzt. Ein Vergleich zwischen dem Betrieb mit und ohne Begrenzung zeigt die folgende Abbildung. Die Begrenzung wird gerechnet mit P-Verstärkung PI-Regler Zusatzgeschwindigkeit = 30000 und I-Verstärkung PI-Regler Zusatzgeschwindigkeit = 400 und der hohen Beschränkung Maximale Zusatzgeschwindigkeit = 2000 pps. Da die Belastung nicht symmetrisch wirkt, sieht man den Effekt der Begrenzung nur in eine Bewegungsrichtung.



12.5 Unterstützte Schrittbetriebsmodi

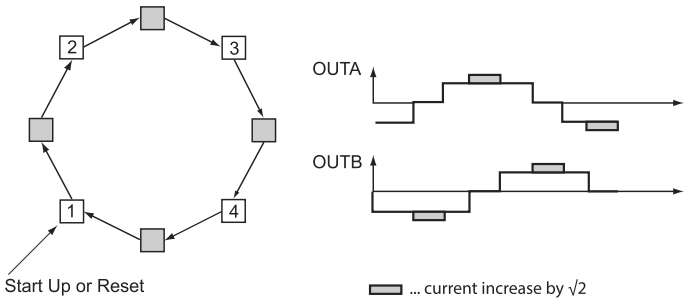
12.5.1 Vollschrittbetrieb

Im Vollschrittbetrieb werden die Wicklungen wie unten dargestellt bestromt. Dies hat zur Folge, dass der Motor nur volle Schritte ausführt. Er führt also bei einer Umdrehung die Nennschrittzahl des Motors aus.Die Schrittmodusauswahl mit Vollschritt, Halbschritt, 4-/8-/16-/32-/64-/128-/256-fach Mikroschritt erfolgt automatisch.



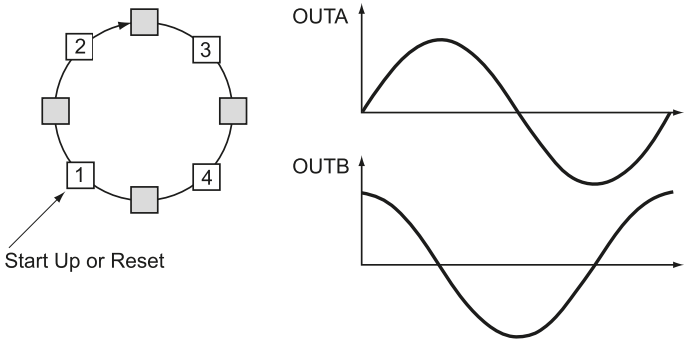
12.5.2 Halbschrittbetrieb

Im Halbschrittbetrieb werden die Wicklungen wie unten dargestellt bestromt. Es wird nun zwischen jedem Vollschritt ein Zwischenschritt ausgeführt. Die Auflösung pro Umdrehung wird dadurch verdoppelt.



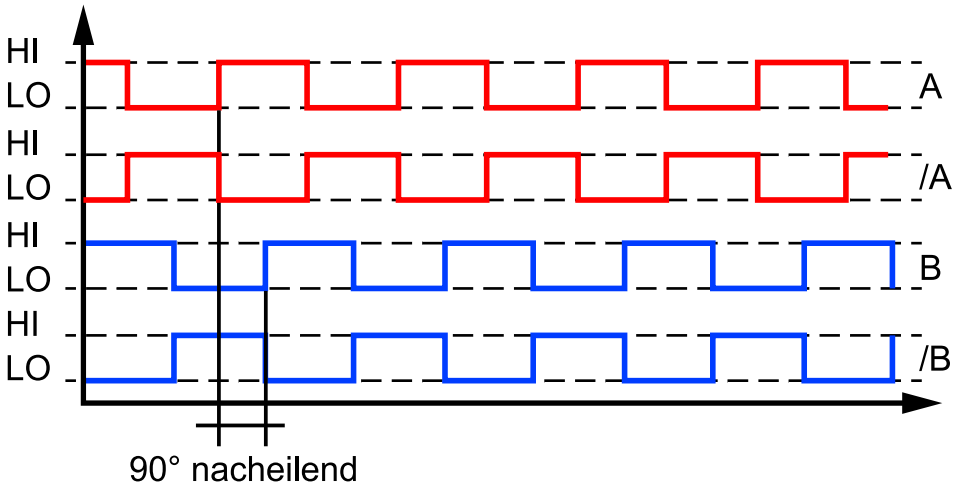
12.5.3 Mikroschrittbetrieb

Beim Mikroschrittbetrieb werden die einzelnen Wicklungen mit einem annähernd sinusförmigen Strom beaufschlagt. Beim ST 152 wird die Sinusschwingung mit 1024 Schritten aufgelöst. Daraus ergeben sich 256 Mikroschritte pro Vollschritt.

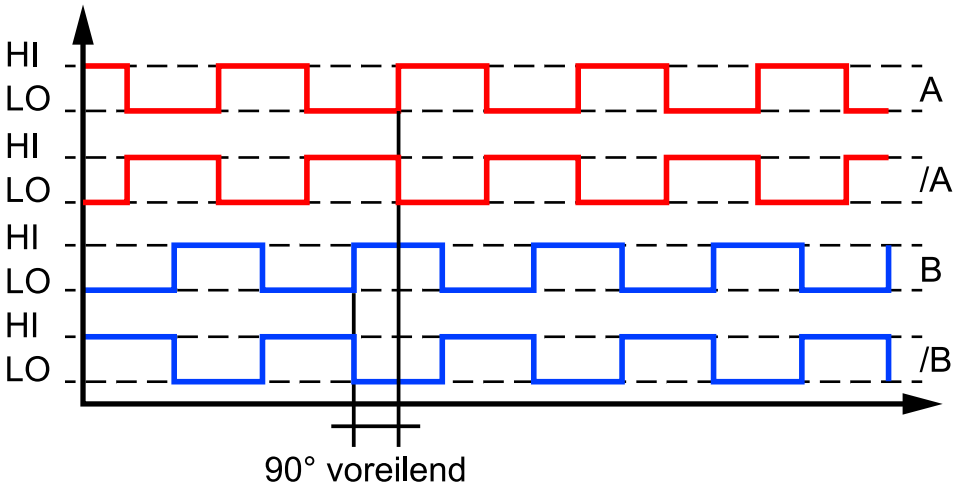


12.6 Inkrementalgeber

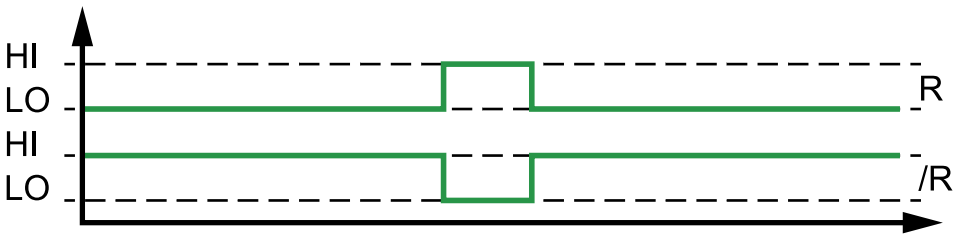
12.6.1 Signalverlauf „Count UP“



12.6.2 Signalverlauf „Count DOWN“



12.6.3 Signalverlauf „Referenzimpuls (Zero Position)“



12.6.4 Latch-Funktion

Diese Funktion wird vorwiegend für die Referenzfahrt verwendet.

Die Inkrementalgeberdaten und Taktzählerwerte können zum Zeitpunkt eines Events an einem gewählten Eingang gespeichert (gelatched) werden. Über Latch-Register sind die Event-Quelle (Eingang) und die Event-Art (Flanke) einstellbar.

12.7 Objektverzeichnis Übersicht

Index	Subindex	Name
0x1001	0x00	Error Register
0x100A	0x00	FW Version
0x2001	0x00	FW-Status
0x1600	0x00	RPDO Mapping
0x1600	0x01-0x0A	Mapping Eintrag 1-10
0x1A00	0x00	TPDO Mapping
0x1A00	0x01-0x0A	Mapping Eintrag 1-10
0x4000	0x00	Motion Controller Parameter
0x4000	0x02	REFERENCE_CONF
0x4000	0x08	ENC_IN_CONF
0x4000	0x0F	EVENTS
0x4000	0x1D	CL_BETA/CL_GAMMA
0x4000	0x22	XACTUAL
0x4000	0x23	VACTUAL
0x4000	0x34	VIRT_STOP_LEFT
0x4000	0x35	VIRT_STOP_RIGHT
0x4000	0x51	ENC_POS
0x4000	0x53	ENC_POS_DEV/CL_TR_ TOLERANCE
0x4000	0x54	ENC_POS_DEV_TOL
0x4000	0x55	ENC_CONST
0x4000	0x5B	CL_VMAX_CALC_P
0x4000	0x5C	CL_VMAX_CALC_I
0x4000	0x5D	CL_DELTA_P
0x4000	0x60	CL_TOLERANCE
0x4000	0x61	FS_VEL/CL_VMIN_EMF
0x4000	0x62	CL_VADD_EMF

Index	Subindex	Name
0x4000	0x67	V_ENC_MEAN
0x4000	0x68	VSTALL_LIMIT
0x4000	0x7D	SCALE_PARAM
0x4001	0x00	Motor Controller Parameter
0x4001	0x01	GCONF
0x4001	0x0C	GLOBALSCALER
0x4001	0x11	IHOLD_IRUN
0x4001	0x13	TSTEP
0x4001	0x14	TPWMTHRS
0x4001	0x15	TCOOLTHRS
0x4001	0x16	THIGH
0x4001	0x6E	COOLCONF
0x4001	0x72	PWM_SCALE
0x4001	0x73	PWM_AUTO
0x4002	0x00	Controller Mode
0x4003	0x00	Set Device State
0x4004	0x00	Act Device State
0x4005	0x00	Position Mode
0x4006	0x00	Chopper Config
0x4006	0x01	Chopper Enable
0x4006	0x02	Chopper Resistor
0x4006	0x03	Power of Resistor
0x4006	0x04	Time Constant of Resistor
0x4006	0x05	Utilisation Resistor
0x4006	0x06	Maximum On Time

Index	Subindex	Name
0x4006	0x07	Blocking Time
0x4006	0x08	Upper Voltage Limit
0x4006	0x09	Lower Voltage Limit
0x4006	0x0A	Warning Threshold Utilisation
0x4007	0x00	Motion Profile
0x400A	0x00	Analog Werte
0x400A	0x01	Motor Versorgungspannung
0x400A	0x02	Temperatur
0x400B	0x00	Latch Position
0x400B	0x01-0x02	Latch Position Input 1/2
0x4008	0x00	Position Latch Config
0x4008	0x01-0x02	Latch Config Input 1/2
0x400C	0x00	Chopper Values
0x400C	0x06	Utilisation Value
0x400C	0x09	Chopper Enabled
0x400D	0x00	Chop Conf Values
0x400D	0x02	HSTRT
0x400D	0x03	HEND
0x400D	0x04	VHIGHFS
0x400E	0x01	PWM_OFS
0x400E	0x02	PWM_GRAD
0x400E	0x03	PWM_AUTOSCALE
0x400E	0x04	PWM_AUTOGRAD
0x400E	0x06	PWM_LIM

Index	Subindex	Name
0x400F	0x00	Scale Value
0x400F	0x01	OL DRV1_SCALE_VAL/ CL CL_ IMAX
0x400F	0x02	OL HOLD_SCALE_VAL/ CL CL_ IMIN
0x400F	0x03	OL DRV2_SCALE_VAL/ CL_ START_UP
0x400F	0x04	OL BOOST_SCALE_VAL/ CL_ START_DOWN
0x4009	0x00	Digital Inputs
0x4010	0x00	Error Info Detail
0x4011	0x00	Warning Register
0x4012	0x00	Warning Info Detail
0x4018	0x00	Motion Controller Infos
0x4018	0x01	Motion Controller Status
0x4018	0x02	Motor Controller Status
0x4018	0x03	Motion Controller Events
0x4018	0x04	Motion Controller SPI STATUS Flags
0x4019	0x00	PDO Info
0x4019	0x01	RPDO Mapping Size
0x4019	0x02	TPDO Mapping Size
0x4019	0x03	RPDO Motion Controller Para
0x4019	0x04	TPDO Motion Controller Para
0x401A	0x00	Closed Loop Settings
0x401A	0x01	EMF Enable
0x401A	0x02	VLIMIT Enable
0x401B	0x00	Motor Current
0x401B	0x01	Global Scaler

Index	Subindex	Name
0x401B	0x02	IRUN
0x401B	0x03	IHOLD
0x6041	0x00	Status Word
0x6061	0x00	Modes of Operation Display
0x6064	0x00	Actual Position
0x606C	0x00	Actual Speed
0x6040	0x00	Conrtol Word
0x6073	0x00	Max Motor Current
0x6060	0x00	Modes of Operation
0x607A	0x00	Target Position
0x60FF	0x00	Target Speed

Index	Subindex	Name
0X6080	0x00	Motor Max Speed
0x60C5	0x00	Motor Max Acceleration
0x60C6	0x00	Motor Max Deceleration
0x6083	0x00	Motor Profile Acceleration
0x6084	0x00	Motor Profile Deceleration
0x6410	0x00	Motor Data
0x6410	0x01	Full Steps One Turn
0x6410	0x02	Encoder Resolution
0x6410	0x03	Encoder Direction
0x6410	0x04	Encoder Signal Mode

12.8 Detailliertes Objektverzeichnis

Name	**Error Register**	Index	**0x1001**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Zeigt Fehlerbits in einem Bitfeld von 0-31 an.					
Bit 0-1: Reserved.					
Bit 2: Voltage error (siehe Kapitel Spezifikation Schrittmotorausgang).					
Bit 3: Temperature error (siehe Kapitel Spezifikation Schrittmotorausgang).					
Bit 4: Switch to OP error (invalid configuration).					
Bit 5-7: Reserved.					
Bit 8: Safety STO input off.					
Bit 9: Safety error.					
Bit 10: Open- or Closed Loop calibration not OK.					
Bit 11: Chopper initialization not OK.					
Bit 12: Latch initialization not OK.					
Bit 13: Chopper not OK.					
Bit 14: Bridge short error.					
Bit 15: Chopper short error.					
Bit 16: Encoder short error.					
Bit 17: Flash calibration data error.					
Bit 18: S-DIAS bus time or sync error.					
Bit 19: Motor current calibration error (invalid "MaxMotorCurrent").					
Bit 20: Encoder failure on Motion Controller.					
Bit 21: Temperature error on Motor Controller.					
Bit 22: Stall error recognized.					
Bit 23: Error recognized on Motor Controller.					
Bit 24: Communication Error to Motor or Motion Controller					
Bit 25: Communication Error to CPLD					
Bit 26-31: Reserved.					

Name	**FW Version**	Index	**0x100A**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**2**
Zeigt die FW Version in xx.yy an. Zb. 0x0100 = Version 1.0					

Name	**FW-Status**	Index	**0x2001**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**2**
Zeigt FW-Status Bits an.					
Bit 0: DC not OK (not used).					
Bit 1: Not synchronized (no sync).					
Bit 2: Flash error (normalization data invalid).					
Bit 3: RAM error (cyclic RAM check detected errors.					
Bit 4: Flash unsafe (normalization data unsafe).					
Bit 5: S-DIAS bus time error (invalid SDIAS bus time).					
Bits 6-15: Reserved for later use.					

Name	**RPDO Mapping**	Index	**0x1600**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**1**
Anzahl der Subindex 0-10 erlaubt. Konfiguriert die PDOs die vom ST 152 empfangen werden. Es können maximal 5 PDOs direkt zum Motion Controller konfiguriert werden.					

Name	**Mapping Eintrag 1-10**	Index	**0x1600**	Sub-Index	**0x01-0x0A**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
uint16_t index: Gibt den Mapping Index an uint8_t subindex: Gibt den Mapping Subindex an uint8_t len:Gibt die Länge des Mapping Parameters an					

Name	**TPDO Mapping**	Index	**0x1A00**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**1**
Anzahl der Subindex 0-10 erlaubt. Konfiguriert die PDOs die von der ST 152 gesendet werden. Es können maximal 4 PDOs direkt zum Motion Controller konfiguriert werden.					

Name	**Mapping Eintrag 1-10**	Index	**0x1A00**	Sub-Index	**0x01-0x0A**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
uint16_t index: Gibt den Mapping Index an uint8_t subindex: Gibt den Mapping Subindex an uint8_t len: Gibt die Länge des Mapping Parameters an [byte]					

Name	**Motion Controller Parameter**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**1**
Subindex 1-128 Parameter Motion Controller. Wichtig! Es dürfen nur die aufgelisteten Subindices verwendet werden.					

Name	**REFERENCE_ CONF**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x02**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Anwendung User: stop_on_stall (Bit 26) drive_after_stall (Bit 27) Virtual Stop Limits aktivieren (Bit 6, Bit 7) Das Referenzschalter-Konfigurationsregister (REFERENCE_CONF 0x01) enthält mehrere Steuerbits für die Verwaltung von Referenzschaltern und Stoppereignissen bei der Motorsteuerung. Nachfolgend finden Sie eine Aufschlüsselung der Bits und ihrer Bedeutung:					
Bits 0-5: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden					
Bit 6: virtual_left_limit_en 0: Deaktiviert die virtuelle linke Positionsgrenze (VIRT_STOP_LEFT). 1: Aktiviert die virtuelle linke Positionsbegrenzung. Default Wert = 0					
Bit 7: virtual_right_limit_en 0: Deaktiviert die virtuelle rechte Positionsgrenze (VIRT_STOP_RIGHT). 1: Aktiviert die virtuelle rechte Positionsbegrenzung. Default Wert = 0					
Bits 8-9: virt_stop_mode 0: Reserviert. 1: Harter Stopp; setzt die Geschwindigkeit bei einem virtuellen Stoppereignis auf 0. 2: Weicher Stopp mit einer linearen Rampe auf 0. 3: Reserviert. Default Wert = 0					
Bits 10-20: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden					
Bit 21: clr_pos_at_target 0: Rampe stoppt, wenn XTARGET erreicht ist. 1: Setzt XACTUAL nach Erreichen von XTARGET auf 0, sodass die nächste Rampe sofort beginnen kann. Default Wert = 0					
Bit 22: circular_movement_en 0: XACTUAL ist nicht begrenzt (reicht von -2^{31} bis $2^{31}-1$). 1: XACTUAL ist durch den festgelegten Bereich (X_RANGE) begrenzt. Default Wert = 0					
Bits 23-24: pos_comp_output 0: TARGET_REACHED wird durch das Flag TARGET_REACHED ausgelöst. 1: TARGET_REACHED wird durch das VELOCITY_REACHED-Flag ausgelöst. 2: TARGET_REACHED wird durch das ENC_FAIL-Flag ausgelöst. 3: TARGET_REACHED wird durch das POSCOMP_REACHED-Flag ausgelöst. Default Wert = 0					
Bit 25: pos_comp_source 0: Vergleicht POS_COMP mit der internen Position (XACTUAL). 1: Vergleicht POS_COMP mit einer externen Position (ENC_POS). Default Wert = 0					
Bit 26: stop_on_stall 0: SPI- und S/D-Ausgangsschnittstelle bleiben während eines „Stall“-Ereignisses aktiv. 1: SPI und S/D-Ausgangsschnittstelle stoppen die Bewegung während eines Stall-Ereignisses (harter Stopp). Default Wert = 0					
Bit 27: drv_after_stall 0: Keine weitere Bewegung nach einem „stall“-Ereignis. 1: Erlaubt die Bewegung nach dem Zurücksetzen eines Stop-on-Stall-Ereignisses. Default Wert = 0					
Bits 28-29: modified_pos_compare 0: Das Ereignis POS_COMP_REACHED_F basiert auf dem Vergleich zwischen XACTUAL und POS_COMP.					

1: Das Ereignis POS_COMP_REACHED_F basiert auf einem Vergleich mit X_HOME. 2: Das Ereignis POS_COMP_REACHED_F basiert auf einem Vergleich mit X_LATCH oder ENC_LATCH. 3: Das Ereignis POS_COMP_REACHED_F basiert auf einem Vergleich mit REV_CNT. Default Wert = 0
Bit 30: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden
Bit 31: circular_enc_en 0: ENC_POS ist nicht begrenzt (Bereich von -2^{31} bis $2^{31}-1$). 1: ENC_POS ist durch X_RANGE begrenzt (reicht von -X_RANGE bis X_RANGE - 1). Default Wert = 0

Name	**ENC_IN_CONF**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x08**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Geber-Signal-Konfiguration Invertierung Encoder sind abgedeckt durch 0x6410. Bit 0: enc_sel_decimal 0: Die Encoder-Konstante stellt eine Binärzahl dar. 1: Geberkonstante stellt eine Dezimalzahl dar (nur für ABN-Geber). Default Wert = 0					
Bit 1: clear_on_n 0: ENC_POS wird nicht auf ENC_RESET_VAL gesetzt. 1: ENC_POS wird bei jedem N-Ereignis auf ENC_RESET_VAL gesetzt, wenn clr_latch_cont_on_n = 1 oder beim nächsten N-Ereignis, wenn clr_latch_once_on_n = 1. **Hinweis:** Diese Einstellung darf nicht im Regelbetrieb verwendet werden. Default Wert = 0					
Bit 2: clr_latch_cont_on_n 0: ENC_POS wird bei jedem N-Ereignis nicht gelöscht/gesperrt. 1: ENC_POS wird bei jedem N-Ereignis gelöscht/verriegelt. Default Wert = 0					
Bit 3: clr_latch_once_on_n 0: ENC_POS wird beim nächsten N-Ereignis nicht gelöscht/eingespeichert. 1: ENC_POS wird bei dem nächsten N-Ereignis gelöscht/eingespeichert. Dieses Bit wird nach einmaligem Auftreten auf 0 zurückgesetzt. Default Wert = 0					
Bit 4: pol_n 0: Aktive Polarität für N-Ereignis ist low aktiv. 1: Die aktive Polarität für das N-Ereignis ist hoch aktiv. Default Wert = 0					
Bits 5-6: n_chan_sensitivity 0: N-Ereignis ist aktiv, solange N gleich der aktiven Polarität ist. 1: N-Ereignis wird ausgelöst, wenn N auf aktive Polarität umschaltet. 2: N-Ereignis wird ausgelöst, wenn N auf inaktive Polarität umschaltet. 3: N-Ereignis wird bei beiden Flanken ausgelöst (Wechsel zwischen aktiver und inaktiver Polarität). Default Wert = 0					
Bit 7: pol_a_für_n 0: Für ein gültiges N-Ereignis muss eine Polarität niedrig sein. 1: Für ein gültiges N-Ereignis muss eine Polarität hoch sein. Default Wert = 0					
Bit 8: pol_b_für_n 0: Die B-Polarität muss für ein gültiges N-Ereignis niedrig sein. 1: Die B-Polarität muss für ein gültiges N-Ereignis hoch sein. Default Wert = 0					
Bit 9: ignore_ab 0: A- und B-Polaritäten werden für ein gültiges N-Ereignis berücksichtigt. 1: Die Polarität von A- und B-Signalen wird für ein gültiges N-Ereignis ignoriert. Default Wert = 0					

Bit 10: latch_enc_on_n 0: ENC_POS wird nicht zwischengespeichert. 1: ENC_POS wird bei jedem N-Ereignis in ENC_LATCH zwischengespeichert, wenn clr_latch_cont_on_n = 1 oder beim nächsten N-Ereignis, wenn clr_latch_once_on_n = 1. Default Wert = 0
Bit 11: latch_x_on_n 0: XACTUAL wird nicht gelatcht. 1: XACTUAL wird bei jedem N-Ereignis in X_LATCH zwischengespeichert, wenn clr_latch_cont_on_n = 1 oder beim nächsten N-Ereignis, wenn clr_latch_once_on_n = 1. Default Wert = 0
Bit 12: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden
Bit 13: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden
Bit 14: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden
Bit 15: use_usteps_instead_of_xrange 0: X_RANGE ist gültig, wenn die Kreisbewegung für Encoder aktiviert ist. 1: USTEPS_PER_REV ist gültig, wenn die Kreisbewegung für Geber aktiviert ist. Default Wert = 0
Bits 16-21: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden
Bits 22-23: Interne Verwendung -> darf nicht geändert werden
Bit 24: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden
Bit 25: cl_emf_en (nur im Closed Loop-Betrieb) 0: Die Gegen-EMK-Kompensation ist im Regelbetrieb deaktiviert. 1: Die Gegen-EMK-Kompensation ist aktiviert, wenn |VACTUAL| > CL_VMIN. Default Wert = 1
Bit 26: cl_clr_xact (nur bei Betrieb im geschlossenen Regelkreis) 0: XACTUAL wird während des Closed Loop-Betriebs nicht auf ENC_POS zurückgesetzt. 1: XACTUAL wird auf ENC_POS gesetzt, wenn |ENC_POS_DEV| im Regelbetrieb ENC_POS_DEV_TOL überschreitet. **Hinweis:** Verwenden Sie diese Funktion nur, wenn Sie sie vollständig verstanden haben. Default Wert = 0
Bit 27: cl_vlimit_en (nur im geregelten Betrieb) 0: Keine Begrenzung der Aufholgeschwindigkeit während des Regelbetriebs. 1: Aufholgeschwindigkeit wird während des Regelbetriebs durch den internen PI-Regler begrenzt. Default Wert = 0
Bit 28: cl_velocity_mode_en (nur bei Betrieb mit geschlossenem Regelkreis): 0: Der Geschwindigkeitsmodus ist ausgeschaltet. 1: Der Geschwindigkeitsmodus ist aktiviert. Wenn |ENC_POS_DEV| > 768, wird XACTUAL entsprechend angepasst. Default Wert = 0
Bit 29: invert_enc_dir 0: Die Geberrichtung wird nicht invertiert. 1: Die Geberrichtung wird intern invertiert. Default Wert = 1
Bit 30: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden
Bit 31: no_enc_vel_preproc (Inkrementaler ABN-Geber) 0: AB-Signal wird für die interne Encoder-Geschwindigkeitsberechnung vorverarbeitet. 1: Es wird keine Vorverarbeitung des AB-Signals durchgeführt. **Hinweis:** Die Vorverarbeitung wird empfohlen, um Encoderresonanzen zu filtern. Default Wert = 0

Name	**EVENTS**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x0F**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**

Umsetzung Stop on Stall durch User Bit Beschreibung:

0: TARGET_REACHED: Das Bewegungsziel wurde erreicht. Default Wert = 0

1: POS_COMP_REACHED: Positionskomparator wurde ausgelöst. Default Wert = 0

2: VEL_REACHED: Gewünschte Geschwindigkeit wurde erreicht. Default Wert = 0

3: VEL_STATE = b'00: Geschwindigkeit ist Null (VACTUAL = 0). Default Wert = 0

4: VEL_STATE = b'01: Geschwindigkeit ist positiv (VACTUAL > 0). Default Wert = 0

5: VEL_STATE = b'10: Die Geschwindigkeit ist negativ (VACTUAL < 0). Default Wert = 0

6: RAMP_STATE = b'00: Rampenstatus ist konstante Geschwindigkeit (AACTUAL = 0, VACTUAL ist konstant). Default Wert = 0

7: RAMP_STATE = b'01: Rampenstatus steigende Geschwindigkeit. Default Wert = 0

8: RAMP_STATE = b'10: Rampenzustand abnehmende Geschwindigkeit. Default Wert = 0

9: MAX_PHASE_TRAP: Die trapezförmige Rampe hat ihre maximale Geschwindigkeit erreicht. Default Wert = 0

10: FROZEN: Einfrieren der Bewegung erkannt, NFREEZE hat auf low geschaltet. Für eine weitere Bewegung ist ein Reset erforderlich. Default Wert = 0

11-12: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden

13: VSTOPL_ACTIVE: Virtueller Stopp links wurde aktiviert. Keine weitere Bewegung in die negative Richtung, bis das Ereignis gelöscht wird. Default Wert = 0

14: VSTOPR_ACTIVE: Virtueller Stopp rechts wurde ausgelöst. Keine weitere Bewegung in positiver Richtung bis zur Freigabe. Default Wert = 0

15: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden

16: XLATCH_DONE: Verriegelung der X-Position abgeschlossen oder Referenzfahrt abgeschlossen. Default Wert = 0

17: FS_ACTIVE: Die Vollschrittbewegung wurde aktiviert. Default Wert = 0

18: ENC_FAIL: Eine Abweichung zwischen XACTUAL und ENC_POS hat den angegebenen Grenzwert überschritten. Default Wert = 0

19: N_ACTIVE: N-Ereignis ausgelöst (nur aktiviert, wenn clr_latch_cont_on_n oder clr_latch_once_on_n in ENC_IN_CONF-Register 0x07 aktiviert ist). Default Wert = 0

20: ENC_DONE: Zeigt an, dass ENC_LATCH neu geschrieben wurde. Default Wert = 0

21: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden

22: Reserviert. Default Wert = 0

23-24: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden

25: COVER_DONE: SPI-Datagramm wurde an den Motortreiber gesendet. Default Wert = 0

26: ENC_VEL0: Encoder-Geschwindigkeit hat Null erreicht. Default Wert = 0

27: CL_MAX: Der Kommutierungswinkel im geschlossenen Regelkreis hat den Maximalwert erreicht. Default Wert = 0

28: CL_FIT: Die Regelkreisabweichung hat den inneren Grenzwert erreicht. Default Wert = 0

29: STOP_ON_STALL: Motorstillstand erkannt, und die Motorrampe wurde angehalten. Default Wert = 0

30: MOTOR_EV: Einer der ausgewählten Motortreiber-Flags wurde ausgelöst. Default Wert = 0

31: RST_EV: Reset wurde ausgelöst. Default Wert = 0

Name	**CL_BETA / CL_ GAMMA**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x1D**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
CL_BETA und CL_GAMMA Konfiguration Bits 0-8 - CL_BETA: 0x0FF: Legt den maximalen Kommutierungswinkel für die Regelung fest. **Hinweis:** Ein Wert von 255 (0x0FF) wird für beste Leistung empfohlen. Die Einstellung von CL_BETA über 255 sollte mit Vorsicht erfolgen, insbesondere wenn cl_vlimit_en aktiviert ist. Bits 16-23 - CL_GAMMA (Voreinstellung: 0xFF): Definiert den maximalen Ausgleichswinkel zur Kompensation von Gegen-EMK bei höheren Geschwindigkeiten während der Regelung. Voreinstellung: 0xFF (255)					

Name	**XACTUAL**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x22**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Aktuelle interne Motorposition in [µSteps]. Wird bei Mode of Operation = Open Loop auf den Parameter 0x6064 gemapped.					

Name	**VACTUAL**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x23**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Aktuelle interne Rampengeneratorgeschwindigkeit [µSteps pro Sekunde].					

Name	**VIRT_STOP_ LEFT**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x34**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Virtuelle linke Stop-Position in [µSteps].					

Name	**VIRT_STOP_ RIGHT**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x35**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Virtuelle rechte Stop-Position in [µSteps].					

Name	**ENC_POS**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x51**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Aktuelle Encoder Motorposition in [µSteps]. Wird bei Mode of Operation = Closed Loop auf den Parameter 0x6064 gemapped.					

Name	**ENC_POS_DEV / CL_TR_ TOLERANCE**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x53**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
ENC_POS_DEV und CL_TR_TOLERANCE Konfiguration: Bits 0-31 - ENC_POS_DEV (Voreinstellung: 0x00000000) Nur Lesen (R): Dies stellt die Abweichung zwischen der aktuellen Position XACTUAL und der Encoderposition ENC_POS dar. Für Open Loop-Betrieb: ENC_POS_DEV = ENC_POS - XACTUAL. Für Closed Loop- oder PID-Betrieb: ENC_POS_DEV = ENC_POS - XACTUAL - CL_OFFSET. Je nachdem, ob die Regelung oder die Steuerung aktiv ist, wird die Abweichung unterschiedlich berechnet. Bits 0-31 - CL_TR_TOLERANZ (Voreinstellung: 0x00000100) Nur schreiben (W): Definiert die tolerierte absolute Differenz zwischen XACTUAL und ENC_POS, die die Bedingung TARGET_REACHED auslöst, einschließlich des Setzens des TARGET_REACHED_FLAG und des Auslösens eines Ereignisses.					

Name	**ENC_POS_DEV_ TOL**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x54**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
ENC_POS_DEV_TOL (Voreinstellung: 0x000FFFFF). Maximal tolerierter Wert von ENC_POS_DEV , der nicht als Fehler gekennzeichnet wird.					

Name	**ENC_CONST**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x55**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Encoder Konstante Bit 0-30 Wertdarstellung: 15 Ziffern und 16 Dezimalstellen.					

Name	**CL_VMAX_ CALC_P**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x5B**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
PID-Konfiguration, Default Wert = 0xC8 Bits 0-23 - PID_P (Voreinstellung: 0x000000). Nur schreiben (W): Parameter P des PID-Reglers. Proportional term = PID_E · PID_P/256. Bits 0-31 - CL_VMAX_CALC_P Nur schreiben (W): Parameter P des PI-Reglers, der die Begrenzung der maximalen Aufholgeschwindigkeit im Closed Loop-Betrieb steuert. Bits 0-31 - PID_VEL Nur Lesen (R): Tatsächliche PID-Ausgangsgeschwindigkeit in Impulsen pro Sekunde (pps).					

Name	**CL_VMAX_ CALC_I**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x5C**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
PID-Integral-Konfiguration, Default Wert = 0x32 Bits 0-23 - PID_I Nur schreiben (W): Parameter I des PID-Reglers. Integralwert = (PID_ISUM / 256) × (PID_I/256). Bits 0-31 - CL_VMAX_CALC_I Nur schreiben (W): Parameter I des PI-Reglers, der die maximale Begrenzung der Aufholgeschwindigkeit im Regelbetrieb steuert. Bits 0-31 - PID_ISUM_RD Nur Lesen (R): Aktuelle PID-Integratorsumme. Aktualisierungsfrequenz = f_CLK/128.					

Name	**CL_DELTA_P**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x5D**
Device State	**OP**	RW	**WO**	Größe [byte]	**4**
Konfiguration der PID-Ableitung, Default Wert = 0x10000 Bits 0-23 - PID_D Nur schreiben (W): Parameter D des PID-Reglers. Der Derivatanteil wird wie folgt berechnet: Ableitungsterm = (PID_E_LAST - PID_E_ACTUAL) × PID_D. PID_E wird mit f_CLK / 128 / PID_D_CLKDIV abgetastet. Bits 0-31 - CL_DELTA_P Nur schreiben (W): Verstärkungsparameter multipliziert mit der aktuellen Positionsdifferenz zur Berechnung des Kommutierungswinkels für die Positionserhaltungssteifigkeit. Der Wert wird bei CL_BETA abgeschnitten. Realwert = CL_DELTA_P/2^{16} (z. B. 65536 -> 1,0, Verstärkung = 1). Wertdarstellung: 8 Ziffern und 16 Dezimalstellen.					

Name	**CL_TOLERANCE**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x60**
Device State	**OP**	RW	**WO**	Größe [byte]	**4**
PID- und Closed Loop-Toleranz-Konfiguration Tuning User wenn Auflösung Encoder kleiner 2560 CPR/640 PPR, kann für hochauflösende Geber auch reduziert werden. Bits 0-19 - PID_TOLERANZ (Voreinstellung: 0x00000) Nur schreiben (W): tolerierte Positionsabweichung. PID_E = 0, wenn |PID_E| < PID_TOLERANCE. Bits 0-7 - CL_TOLERANZ (Voreinstellung: 0x14) Nur schreiben (W): tolerierte Positionsabweichung. CL_DELTA_P = 65536 (Verstärkung = 1), wenn |ENC_POS_DEV| < CL_TOLERANCE.					

Name	**FS_VEL / CL_ VMIN_EMF**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x61**
Device State	**OP**	RW	**WO**	Größe [byte]	**4**
Closed Loop-Minimum-Encoder-Geschwindigkeit Konfiguration CL_VMIN_EMF (Voreinstellung: 0x0003D090) Lesen/Schreiben (U): Encoder-Geschwindigkeit, bei der die Gegen-EMK-Kompensation beginnt.					

Name	**CL_VADD_EMF**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x62**
Device State	**OP**	RW	**WO**	Größe [byte]	**4**
Closed Loop Additional Velocity Configuration CL_VADD_EMF (Default: 0x0006DDD0) Lesen/Schreiben (U): Zusätzlicher Geschwindigkeitswert zur Berechnung der Encoder-Geschwindigkeit, bei der die Gegen-EMK-Kompensation den maximalen Winkel CL_GAMMA erreicht.					

Name	**V_ENC_MEAN**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x67**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
V_ENC_MEAN (Standard:0x00000000). Gefilterte Encoder-Geschwindigkeit [pps]. Gemapped auf 0x606C, wenn Position von Encoder kommt, für Nutzer auslesbar.					

Name	**VSTALL_LIMIT**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x68**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Stall Velocity Konfiguration VSTALL_LIMIT (Default Wert: 0x0000C800) Lesen/Schreiben (U): Stop on stall Geschwindigkeitsgrenze in Impulsen pro Sekunde (pps). Nur wenn die tatsächliche Geschwindigkeit diesen Grenzwert überschreitet, führt ein aktiver Stall zu einem Stopp beim Stall, falls aktiviert.					

Name	**SCALE_PARAM**	Index	**0x4000**	Sub-Index	**0x7D**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Konfiguration der Skalenparameter SCALE_PARAM Lesen Bit 0-8: Aktuell verwendeter Skalenparameter. Schreiben Bit 0-31: Wird auch als CIRCULAR_DEC für Schreibzugriffe verwendet. Default Wert = 0x00000000					

Name	**Motor Controller Parameter**	Index	**0x4001**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**1**
Subindex 1-128 Parameter Motor Controller. **Wichtig!** Es dürfen nur die aufgelisteten Subindices verwendet werden.					

Name	**GCONF**	Index	**0x4001**	Sub-Index	**0x01**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**

GCONF Register, Default Wert = 0x00010000
Bit-Beschreibungen:
Bit 0: Neu kalibrieren
1: Neukalibrierung des Nulldurchgangs bei Treibersperre (über DRV_ENN oder TOFF-Einstellung).
Default Wert = 0

Bit 1: faststandstill
Timeout für die Schrittausführung bis zur Stillstandserkennung:
1: Kurze Zeit: 2^{18} Takte
0: Normale Zeit: 2^{20} Takte
Default Wert = 0

Bit 2: en_pwm_mode
1: Stromregelungsmodus Chopper-Spannungs-PWM-Modus aktiviert (abhängig von Geschwindigkeitsschwellenwerten). Umschaltung vom Aus-Zustand in den Ein-Zustand nur im Stillstand und bei IHOLD = Nennstrom IRUN.
Default Wert = 0

Bit 3 - multistep_filt: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden

Bit 4: Welle
1: Inverse Motordrehrichtung.
Default Wert = 0

Bit 5 - diag0_error: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden

Bit 6 - diag0_otpw: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden

Bits 7-15: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden

Bit 16: direkter_Modus
0: Normaler Betrieb.
1: Ströme und Polarität der Motorspulen werden direkt über die serielle Schnittstelle programmiert:
Das Register XDIRECT (0x2D) gibt den vorzeichenbehafteten Strom der Spule A (Bits 0-8) und den Strom der Spule B (Bits 16-24) an. In diesem Modus wird der Strom durch die IHOLD-Einstellung skaliert. Die geschwindigkeitsbasierte Stromregelung des Stromregelungsmodus Chopper ist in diesem Modus nicht verfügbar. Die automatische Stromregelungsmodus Chopper-Stromregelung funktioniert nur bei niedrigen Schrittmotorgeschwindigkeiten.
Default Wert = 1

Bit 17: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden

Name	**GLOBALSCALER**	Index	**0x4001**	Sub-Index	**0x0C**
Device State	**OP**	RW	**WO**	Größe [byte]	**4**

GLOBALSCALER Register, Default Wert = 0x00000000
Schreiben (W): Globale Skalierung des Motorstroms. Dieser Wert wird mit der Stromskalierung multipliziert, um einen Antrieb an einen bestimmten Motortyp anzupassen. Dieser Wert sollte vor dem Tuning anderer Einstellungen gewählt werden, da er auch die Chopper-Hysterese beeinflusst.
Bit-Beschreibungen:
Bits 0-7:
0: Skalenendwert (oder 256 schreiben).
1-31: Für den Betrieb nicht zulässig.
32-255: 32/256 ... 255/256 des maximalen Stroms.
Hinweis: Werte > 128 werden für beste Ergebnisse empfohlen.

Name	**IHOLD_IRUN**	Index	**0x4001**	Sub-Index	**0x11**
Device State	**OP**	RW	**WO**	Größe [byte]	**4**

IHOLD- und IRUN-Konfiguration, Default Wert = 0x00071003
IHOLD:
Bits 0-4:
Diese Einstellung legt den Stillstandsstrom fest. Er kann zwischen 0 und 31 liegen, wobei 0 1/32 des maximalen Stroms und 31 32/32 (voller Strom) entspricht. In Kombination mit dem Stromregelungsmodus Chopper-Modus ermöglicht die Einstellung von IHOLD auf 0 dem Benutzer die Wahl zwischen Freilauf oder Spulenkurzschluss für den Motorstillstand.
IRUN:
Bits 8-12:
Mit diesem Parameter wird der Motorlaufstrom eingestellt, ebenfalls im Bereich von 0 bis 31. Ähnlich wie bei IHOLD entspricht 0 1/32 des maximalen Stroms, während 31 dem vollen Strom entspricht (32/32).
Hinweis: Es ist ratsam, die Messwiderstände so zu wählen, dass der normale IRUN zwischen 16 und 31 liegt, um eine optimale Mikroschrittleistung zu erzielen.
IHOLDDELAY:
Bits 16-19:
Dieses Feld steuert die Anzahl der Taktzyklen für die Motorabschaltung, nachdem eine Bewegung erkannt wurde (wenn stst=1) und die TPOWERDOWN-Zeit abgelaufen ist. Dieser sanfte Übergang hilft, ein Ruckeln des Motors während des Abschaltens zu vermeiden.
Optionen:
0: Sofortige Abschaltung.
1-15: Verzögerung pro Stromreduzierungsschritt, in Vielfachen von 2^{18} Taktzyklen.

Name	**TSTEP**	Index	**0x4001**	Sub-Index	**0x13**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**

TSTEP Register, Default Wert = 0x0000000A
Tatsächlich gemessene Zeit zwischen zwei 1/256 Mikroschritten, abgeleitet von der Schrittfrequenz in Einheiten von 1/fCLK. Der gemessene Wert ist (2^{20})-1 bei Überlauf oder Stillstand.
Alle TSTEP-bezogenen Schwellenwerte verwenden eine Hysterese von 1/16 des Referenzwertes.
Vergleichswertes, um Jitter im Takt oder in der Schrittfrequenz zu kompensieren.
Frequenz zu kompensieren. Das Flag small_hysteresis ändert die Hysterese auf einen einen kleineren Wert von 1/32.
(Txxx*15/16)-1 oder
(Txxx*31/32)-1 wird als zweiter Vergleichswert für jede Vergleichswert verwendet.
Dies bedeutet, dass die untere Schaltgeschwindigkeit gleich der berechneten Einstellung ist, die obere Schaltgeschwindigkeit jedoch höher als die durch die Hysterese-Einstellung durch die Hysterese-Einstellung definiert ist.

Name	**TPWMTHRS**	Index	**0x4001**	Sub-Index	**0x14**
Device State	**OP**	RW	**WO**	Größe [byte]	**4**

TPWMTHRS Register, Default Wert = 0x00061A80
Dies ist die obere Geschwindigkeit für den Stromregelungsmodus-Chopper Spannungs PWM-Modus.
TSTEP ≥ TPWMTHRS
- Stromregelungsmodus-Chopper PWM-Modus ist aktiviert, falls konfiguriert.

Name	**TCOOLTHRS**	Index	**0x4001**	Sub-Index	**0x15**
Device State	**OP**	RW	**WO**	Größe [byte]	**4**

TCOOLTHRS Register, Default Wert = 0x000000C8
Dies ist die untere Grenzgeschwindigkeit für das Einschalten der smart Energie, sensorlose lastabhängige Motorstromvorgabe und sensorloser Lastwert. Setzen Sie diesen Parameter, um die sensorlose lastabhängige Motorstromvorgabe bei niedrigen Geschwindigkeiten zu deaktivieren, wo es nicht zuverlässig arbeiten kann. Das Stall-Ausgangssignal wird aktiviert wenn diese Geschwindigkeit überschritten wird.
TCOOLTHRS ≥ TSTEP ≥ THIGH:
- Die sensorlose lastabhängige Motorstromvorgabe ist aktiviert, falls konfiguriert.
- Der Stromregelungsmodus-Chopper Spannungs PWM-Modus ist deaktiviert.

Name	**THIGH**	Index	**0x4001**	Sub-Index	**0x16**
Device State	**OP**	RW	**WO**	Größe [byte]	**4**

THIGH Register, Default Wert = 0x00000032
Diese Geschwindigkeitseinstellung ermöglicht ein geschwindigkeitsabhängiges Umschalten in einen anderen Chopper-Modus und Fullstepping zur Maximierung des Drehmoments. (ohne Vorzeichen)
Die Stallerkennung wird für 2-3 elektrische Perioden abgeschaltet elektrische Perioden abgeschaltet, wenn der THIGH-Schwellenwert überschritten um den Effekt des Umschaltens zu kompensieren.
TSTEP ≤ THIGH:
- Die sensorlose lastabhängige Motorstromvorgabe ist deaktiviert (Motor läuft mit normaler Strom Skala).
- Der Stromregelungsmodus Chopper-Spannungs-PWM-Modus ist deaktiviert.
- Wenn vhighchm gesetzt ist, schaltet der Chopper auf chm=1 mit TFD=0 (nur konstante Aus-Zeit mit langsamem Abklingen).

Name	**COOLCONF**	Index	**0x4001**	Sub-Index	**0x6E**
Device State	**OP**	RW	**WO**	Größe [byte]	**4**

COOLCONF Register, Default Wert = 0x0100A220
Bits 0-3: semin0, semin1, semin2, semin3
Funktion: Minimaler sensorloser Lastwert-Wert für Smart Current Control und Smart Current Enable.
Anmerkung: Wenn das sensorloser Lastwert-Ergebnis unter SEMIN * 32 fällt, wird der Motorstrom erhöht, um den Motorlastwinkel zu reduzieren.
%0000: Intelligente Stromregelung der sensorlosen Motorstromvorgabe aus %0001 ... %1111: 1 ... 15
Default Wert = 0

Bit 4: Reserviert.
Funktion: Reserviert, auf 0 gesetzt.
Default Wert = 0

Bits 5-6: seup0, seup1
Funktion: Aktuelle Aufwärtsschrittweite.
Bemerkung: Aktuelle Aufwärtsschrittweite pro gemessenem sensorloser Lastwert-Wert.
%00 ... %11: 1, 2, 4, 8
Bit 5: Default Wert = 1
Bit 6: Default Wert = 0

Bit 7: Reserviert. Default Wert = 0

Bits 8-11: semax0, semax1, semax2, semax3
Funktion: Sensorloser Lastwert Hysteresewert für intelligente Stromregelung.
Bemerkung: Wenn das sensorloser Lastwert-Ergebnis gleich oder größer ist als (SEMIN + SEMAX + 1) * 32, wird der Motorstrom verringert, um Energie zu sparen. Bereich: %0000 ... %1111: 0 ... 15
Bit 8: Default Wert = 0
Bit 9: Default Wert = 1
Bits 10-11: Default Wert = 0

Bit 12: Reserviert. Default Wert = 0

Bits 13-14: sedn0, sedn1
Funktion: Aktuelle Abwärtsschrittgeschwindigkeit.
Bemerkung:
%00: Stromreduzierung bei Verkleinerung alle 32 Einheiten des sensorlosen Lastwertes.
%01: Stromreduzierung bei Verkleinerung alle 8 Einheiten des sensorlosen Lastwertes.
%10: Stromreduzierung bei Verkleinerung alle 2 Einheiten des sensorlosen Lastwertes.
%11: Stromreduzierung bei Verkleinerung des sensorlosen Lastwertes.
Bit 13: Default Wert = 1
Bit 14: Default Wert = 0

Bit 15: seimin
Funktion: Mindeststrom für intelligente Stromregelung.
Bemerkung:
0: 1/2 des eingestellten Stroms (IRUN).
1: 1/4 des eingestellten Stroms (IRUN).
Default Wert = 1

Bits 16-22: sgt0, sgt1, sgt2, sgt3, sgt4, sgt5, sgt6
Funktion: Sensorloser Lastwert-Schwellenwert
Bemerkung: Dieser vorzeichenbehaftete Wert steuert den sensorloser Lastwert-Pegel für die Stall-Ausgabe und legt den optimalen Messbereich für die Auslesung fest. Ein kleinerer Wert ergibt eine höhere Empfindlichkeit. Null ist der Startwert, der mit den meisten Motoren funktioniert.
Bereich: -64 bis +63
Ein höherer Wert macht sensorloser Lastwert weniger empfindlich und erfordert mehr Drehmoment, um einen Strömungsabriss anzuzeigen.
Default Wert = 0

Bit 23: Reserviert.
Funktion: Reserviert, auf 0 gesetzt.
Default Wert = 0

Bit 24: sfilt
Funktion: Sensorloser Lastwert-Filter-Freigabe.
Bemerkung:
0: Standardmodus, hohe Zeitauflösung für sensorloser Lastwert.
1: Gefilterter Modus, sensorloser Lastwert-Signal wird nur für jeweils vier Vollschritte (bzw. sechs Vollschritte bei 3-Phasen-Motoren) aktualisiert, um Motorpoltoleranzen auszugleichen.
Default Wert = 1

Bits 25-31: Reserviert.
Funktion: Reserviert, auf 0 gesetzt.
Default Wert = 0

Name	**PWM_SCALE**	Index	**0x4001**	Sub-Index	**0x72**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**

Analyse Stromregelungsmodus Chopper durch aktuelle Skalierung.
Dieser Abschnitt zeigt die Ergebnisse des Stromregelungsmodus Chopper Amplitudenreglers. Die Werte können verwendet werden, um die automatische PWM-Amplitudenskalierung zu überwachen, wobei 255 die maximale Spannung darstellt.
PWM_SCALE_SUMME:
Bits 0-7:
Dieser Wert stellt das tatsächliche PWM-Tastverhältnis dar. Er wird für die Skalierung der aus der Sinuswellen-Tabelle gelesenen Werte von CUR_A und CUR_B verwendet.
Bereich: 0-255
PWM_SCALE_AUTO:

Bits 16-24:
Dies ist ein 9-Bit-Offset mit Vorzeichen, der zum berechneten PWM-Tastverhältnis addiert wird. Er spiegelt das Ergebnis der automatischen Amplitudenregelung auf der Grundlage der Strommessung wider. Bereich: -255 bis +255

Name	**PWM_AUTO**	Index	**0x4001**	Sub-Index	**0x73**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**

Dies sind automatisch generierte Werte, die ausgelesen werden können, um Standard- oder Einschalt-Einstellungen für PWM_GRAD und PWM_OFS zu bestimmen.
PWM_OFS_AUTO:
Bits 0-7:
Dies ist der automatisch ermittelte Offset-Wert.
Bereich: 0-255
PWM_GRAD_AUTO:

Bits 16-23:
Dies ist der automatisch ermittelte Gradientenwert. Bereich: 0 bis 255

Name	**Controller Mode**	Index	**0x4002**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**

Legt den Controller Mode fest.
0: Open Loop
1: Closed Loop

Name	**Set Device State**	Index	**0x4003**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Wechselt den Device State durch Schreiben auf den Parameter. 2: Wechsel in PreOp 3: Wechsel in Operational					

Name	**Act Device State**	Index	**0x4004**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Gibt den aktuellen Device State des Moduls zurück. 0: BootUp 1: Init 2: PreOP 8: Operational					

Name	**Position Mode**	Index	**0x4005**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Legt fest ob der interne Zähler oder der Inkrementalgeber verwendete werden soll. 0: Interner Schrittzähler 1: Encoder					

Name	**Chopper Config**	Index	**0x4006**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**1**
Anzahl der Subindex 10 für die Bremswiderstands-Konfiguration.					

Name	**Chopper Enable**	Index	**0x4006**	Sub-Index	**0x01**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Einstellung für Chopper Enable 0: Bremswiderstand ist deaktiviert 1: Bremswiderstand ist aktivert					

Name	**Chopper Resistor**	Index	**0x4006**	Sub-Index	**0x02**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Einstellung Bremswiderstand in Ω/10 Wertebereich: 150-100000 Default: 250					

Name	**Power of Resistor**	Index	**0x4006**	Sub-Index	**0x03**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Einstellung Bremswiderstand Leistung W/10 Wertebereich: 1-100000 Default: 750					

Name	**Time Constant of Resistor**	Index	**0x4006**	Sub-Index	**0x04**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Zeitkonstante für Bremswiderstand [ms] Wertebereich: 1-100000 Default: 1000					

Name	**Utilisation Resistor**	Index	**0x4006**	Sub-Index	**0x05**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Auslastung Bremswiderstand [‰] Wertebereich: 1-1000 Bei erreichen des eingestellten Werts wird im StatusWord das Fehlerflag gesetzt und er der Antrieb wird abgeschalten. Default: 1000					

Name	**Maximum On Time**	Index	**0x4006**	Sub-Index	**0x06**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Maximale durchgehende Einschaltzeit des Bremswiderstand [ms] Wertebereich: 1-100000 Default: 3000					

Name	**Blocking Time**	Index	**0x4006**	Sub-Index	**0x07**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Beschreibung	Ausschaltzeit nach erreichen der maximalen Einschaltzeit des Bremswiderstand [ms] Wertebereich: 1-100000 Default: 1000				

Name	**Upper Voltage Limit**	Index	**0x4006**	Sub-Index	**0x08**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Einschaltschwelle für Bremswiderstand [mV] Wertebereich: 1-65000 Default: 60000					

Name	**Lower Voltage Limit**	Index	**0x4006**	Sub-Index	**0x09**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Ausschaltschwelle für Bremswiderstand [mV] Wertebereich: 1-60000 Default: 55000					

Name	**Warning Threshold Utilisation**	Index	**0x4006**	Sub-Index	**0x0A**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Warnschwelle Bremswiderstand [‰] Wertebereich: 1-1000 Bei erreichen des Wertes wird im StateWord das Warnungsflag gesetzt. Default: 980					

Name	**Motion Profile**	Index	**0x4007**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Einstellung für Motion Profile. (Motion Controller 0x20 Bit 0-1) 0: Keine Rampe 1: Trapez Rampe (default) 2: S-Shaped Rampe					

Name	**Analog Werte**	Index	**0x400A**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**1**
Anzahl der Subindices = 2					

Name	**Motor Versorgungs-spannung**	Index	**0x400A**	Sub-Index	**0x01**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Liefert die Motor Versorgungsspannung in [mV]					

Name	**Temperatur**	Index	**0x400A**	Sub-Index	**0x02**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Liefert die Temperatur in [C°/10]					

Name	**Position Latch Config**	Index	**0x4008**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**1**
Anzahl der Subindices = 2					

Name	**Latch Config Input 1/2**	Index	**0x4008**	Sub-Index	**0x01-0x02**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Legt das Verhalten für den Position Latch Trigger von Input 1/2 fest. 0: Deaktiviert 1: Bei steigender Flanke 2: Bei fallender Flanke 3: Bei steigender und fallender Flanke					

Name	**Latch Position**	Index	**0x400B**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**1**
Anzahl der Subindices = 2					

Name	**Latch Position Input 1/2**	Index	**0x400B**	Sub-Index	**0x01-0x02**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Liefert die Position des zuletzt aufgetretenenn Latch-Ereignisses an Eingang 1 bzw. 2 zurück. Der Zeitpunkt, zu dem die Position gelatcht wird, wird über „Position Latch Config“ festgelegt.					

Name	**Chopper Values**	Index	**0x400C**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**1**
Anzahl der Subindices = 9					

Name	**Utilisation Value**	Index	**0x400C**	Sub-Index	**0x06**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Zeigt die aktuelle Auslastung des Bremswiderstands an [‰] Wertebereich: 0-1000					

Name	**Chopper Enabled**	Index	**0x400C**	Sub-Index	**0x09**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Zeigt den aktuellen Zustand des Bremswiderstands an. 0: Ausgeschaltet 1: Eingeschaltet					

Name	**Chop Conf Values**	Index	**0x400D**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**1**
Anzahl Subindices = 5. Ändert Werte im Motor Controller 0x6D					

Name	**HSTRT**	Index	**0x400D**	Sub-Index	**0x02**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Wertebereich: 0-7 HSTRT (2:0): Diese drei Bits definieren den Hysterese-Startwert, der zum Hysterese-Endwert (HEND) addiert wird, wenn chm (Chopper-Modus) = 0. Hysterese-Einstellung: Die Werte von %000 bis %111 entsprechen der Addition von 1 bis 8 zu HEND. Dieser eingestellte Wert trägt zur Steuerung des Treiberstroms bei. Effektiver Bereich: Stellen Sie sicher, dass die Summe von HEND + HSTRT für einen ordnungsgemäßen Betrieb 16 nicht überschreitet. Default: 2					

Name	**HEND**	Index	**0x400D**	Sub-Index	**0x03**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Wertebereich: 0-15 HEND (3:0): Diese vier Bits definieren den unteren Hysteresewert (HEND). Hysterese-Werte: Die Einstellung reicht von -3 bis 12 (0-15) und ermöglicht eine Feinsteuerung der Stromregelung durch Anpassung des Hysteresefensters. Hysterese-Funktionalität: Dieser Hysteresewert wird vom Chopper für die Stromregelung verwendet. Der Wert beeinflusst, wie stark der Treiberstrom während des Betriebs schwankt. Default: 4					

Name	**VHIGHFS**	Index	**0x400D**	Sub-Index	**0x04**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
vhighfs high velocity fullstep selection Wertebereich: 0-1 Dieses Bit ermöglicht das Umschalten auf Vollschritt, wenn VHIGH überschritten wird. Die Umschaltung erfolgt nur bei 45°-Position. Der Vollschritt-Sollstrom verwendet den Stromwert aus der Mikroschritttabelle bei der 45°-Position. Default: 0					

Name	**PWM_OFS**	Index	**0x400E**	Sub-Index	**0x01**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
PWM_OFS Benutzerdefinierte Amplitude (Offset) Wertebereich: 0-255 Benutzerdefinierter PWM-Amplitudenoffset (0-255) bezogen auf den vollen Motorstrom (CS_ACTUAL=31) im Stillstand (Reset default=30). Verwenden Sie PWM_OFS als Anfangswert für die automatische Skalierung, um den automatischen Tuningprozess zu beschleunigen. Setzen Sie dazu PWM_OFS mit pwm_autoscale=0 auf den ermittelten, anwendungsspezifischen Wert und erst danach auf pwm_autoscale=1. Aktivieren Sie Stromregelungsmodus Chopper, wenn Sie fertig sind. Mit PWM_OFS = 0 wird das Herunterskalieren des Motorstroms unter eine motorspezifische untere Messschwelle deaktiviert. Diese Einstellung sollte nur unter bestimmten Bedingungen verwendet werden, d.h. wenn die Versorgungsspannung um den Faktor zwei oder mehr schwanken kann. Sie verhindert, dass der Motor aus der Regelung gerät, aber auch, dass der Strom unter die Regelgrenze sinkt. PWM_OFS > 0 ermöglicht eine automatische Skalierung auf niedrige PWM-Tastverhältnisse auch unterhalb der unteren Regelschwelle. Dies ermöglicht niedrige (Stillstands-)Stromeinstellungen auf der Grundlage der aktuellen (Halte-)Stromskala (IHOLD_IRUN). Default: 0x1E					

Name	**PWM_GRAD**	Index	**0x400E**	Sub-Index	**0x02**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**

PWM_ GRAD Benutzerdefinierter Amplitudengradient
Wertebereich: 0-255
Geschwindigkeitsabhängiger Gradient für die PWM-Amplitude: PWM_GRAD * 256 / TSTEP Dieser Wert wird zu PWM_ OFS addiert, um die geschwindigkeitsabhängige Motor-Gegen-EMK zu kompensieren. Verwenden Sie PWM_GRAD als Anfangswert für die automatische Skalierung, um den automatischen Tuningprozess zu beschleunigen. Dazu setzen Sie PWM_GRAD mit pwm_autoscale=0 auf den ermittelten, anwendungsspezifischen Wert und erst danach pwm_ autoscale=1. Aktivieren Sie Stromregelungsmodus Chopper, wenn Sie fertig sind. Tipp: Nach der Erstanpassung kann der gewünschte Anfangswert aus PWM_GRAD_AUTO ausgelesen werden.
Default: 0x0F

Name	**PWM_ AUTOSCALE**	Index	**0x400E**	Sub-Index	**0x03**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**

pwm_ autoscale PWM automatische Amplitudenskalierung
Wertebereich: 0-1
0: Benutzerdefinierte Vorwärts-PWM-Amplitude. Die Stromeinstellungen IRUN und IHOLD werden nicht durch die Regelung erzwungen, sondern skalieren nur die PWM-Amplitude! Die resultierende PWM-Amplitude (begrenzt auf 0-255) ist: PWM_OFS * ((CS_ACTUAL+1) / 32) + PWM_GRAD * 256 / TSTEP
1: Freigabe der automatischen Stromregelung (Voreinstellung)
Default: 1

Name	**PWM_ AUTOGRAD**	Index	**0x400E**	Sub-Index	**0x04**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**

pwm_ autograd PWM automatische Gradient Anpassung
Wertebereich: 0-1
0: Fixed Wert für PWM_GRAD (PWM_GRAD_AUTO = PWM_GRAD)
1: Automatic Tuning (nur mit pwm_autoscale=1) (Reset Standard)
PWM_GRAD_AUTO ist initialisiert mit PWM_GRAD während pwm_autograd=0 und wird automatisch während der Bewegung optimiert.
Vorbedingungen
1. PWM_OFS_AUTO wurde automatisch initialisiert. Dies erfordert Stillstand an IRUN für > 130 ms um a) den Stillstand zu erkennen b) > 128 Chopperzyklen an IRUN zu warten und c) PWM_OFS_AUTO so zu regeln, dass -1 < PWM_SCALE_ AUTO < 1
2. Motor läuft und PWM_SCALE_SUM < 255 und 1,5 * PWM_OFS_AUTO * (IRUN+1)/32 < PWM_SCALE_SUM < 4* PWM_OFS_AUTO * (IRUN+1)/32. Zeitbedarf für das Tuning von PWM_GRAD_AUTO Etwa 8 Vollschritte pro Änderung von ±1. Ermöglicht auch die Verwendung einer reduzierten Chopperfrequenz für das Tuning von PWM_OFS_AUTO.
Default: 1

Name	**PWM_LIM**	Index	**0x400E**	Sub-Index	**0x06**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**

PWM_LIM PWM automatische Skalenamplitudenbegrenzung beim Einschalten.
Wertebereich: 0-15
Default: 0x0C
Grenzwert für PWM_SCALE_AUTO beim Zurückschalten von Spannungs PWM-Modus Chopper auf Stromregelungsmodus Chopper. Dieser Wert definiert die Obergrenze für die Bits 3 bis 0 der automatischen Stromregelung beim Zurückschalten. Er kann eingestellt werden, um den Stromsprung während des Moduswechsels zurück zu Stromregelungsmodus Chopper zu reduzieren. Er begrenzt nicht den Offset von PWM_GRAD oder PWM_ GRAD_AUTO. (Voreinstellung = 12)

Name	**Scale Value**	Index	**0x400F**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**1**
Anzahl Subindices = 4 Ändert Werte im Motion Controller 0x06 zur Stromskalierung. Hat je nach Controller Mode eine unterschiedliche Bedeutung.					

Name	**OL DRV1_ SCALE_VAL / CL CL_IMAX**	Index	**0x400F**	Sub-Index	**0x01**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Skalierung in [‰] mit Verwendung je nach gewähltem "Controller Mode" (Index 0x4002). Wertebereich: 0-1000 Controller Mode Open Loop: OL DRV1_SCALE_VAL * erster Drive Skalierungswert Controller Mode Closed Loop: CL CL_IMAX * Maximaler Skalierungswert					

Name	**OL HOLD_ SCALE_VAL / CL CL_IMIN**	Index	**0x400F**	Sub-Index	**0x02**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Skalierung in [‰] mit Verwendung je nach gewähltem "Controller Mode" (Index 0x4002). Wertebereich: 0-1000 Controller Mode Open Loop: OL HOLD_SCALE_VAL * Stillstands-Skalierungswert Controller Mode Closed Loop: CL CL_IMIN * Minimaler Skalierungswert					

Name	**OL DRV2_ SCALE_VAL / CL_START_UP**	Index	**0x400F**	Sub-Index	**0x03**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Skalierung je nach gewähltem "Controller Mode" (Index 0x4002). Wertebereich: 0-255 Controller Mode Open Loop: OL DRV2_SCALE_VAL * erster Drive Skalierungswert Controller Mode Closed Loop: CL_START_UP * |ENC_POS_DEV | Wert, bei dem die Closed Loop Skalierung den aktuellen Skalierungswert über CL_IMIN hebt.					

Name	**OL BOOST_ SCALE_VAL / CL_START_ DOWN**	Index	**0x400F**	Sub-Index	**0x04**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Skalierung je nach gewähltem "Controller Mode" (Index 0x4002). Wertebereich: 0-255 Controller Mode Open Loop: OL BOOST_SCALE_VAL * Skalierungswert erhöhen. Controller Mode Closed Loop: CL_START_DOWN * |ENC_POS_DEV | Wert, bei dem die Closed Loop Skalierung den aktuellen Skalierungswert unter CL_IMAX senkt. Empfohlen: Auf 0 setzen, um automatisch CL_BETA zuzuweisen.					

Name	**Digital Inputs**	Index	**0x4009**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**2**
Zeigt den Zustand der Eingänge in einem Bitfeld an. Bit 0: Enable Eingang 1 Bit 1: Enable Eingang 2 Bit 2: Latch Eingang 1 Bit 3: Latch Eingang 2 Bit 4-7: Reserviert Bit 8: Motor-Versorgung OK Bit 9: Motor-Controller Versorgung OK Bit10: Encoder-Versorgung OK Bits 11-15: Reserviert					

Name	**Error Info Detail**	Index	**0x4010**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Liefert eine detaillierte Error Info, wenn im Error ein Fehler gesetzt ist.					

Name	**Warning Register**	Index	**0x4011**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Zeigt Warnungsbits in einem Bitfeld von 0-31 an. Durch auslesen des Registers werden die aktuellen gesetzten Bits zurück gesetzt. Bit 0: Temperatur hat die Warngrenze erreicht (103 °C). Bit 1: Bremswiderstand Auslastung hat Warngrenze erreicht. Bit 2: Motor Controller Chip hat Temperatur Warnschwelle erreicht. Bit 3-31: Reserviert.					

Name	**Warning Info Detail**	Index	**0x4012**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Liefert eine detaillierte Warning Info, wenn im Warning ein Warning Flag gesetzt ist.					

Name	**Motion Controller Infos**	Index	**0x4018**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**1**
Anzahl der Subindices = 4					

Name	**Motion Controller Status**	Index	**0x4018**	Sub-Index	**0x01**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**

Gibt in einer 32 Bit Variable die Statusinfos des Motion Controllers an.

Bit 0: TARGET_REACHED_F - XACTUAL = XTARGET (Ziel erreicht). Default Wert = 0

Bit 1: POS_COMP_REACHED_F - XACTUAL = POS_COMP (Positionsvergleich erreicht). Default Wert = 0

Bit 2: VEL_REACHED_F - VACTUAL = |VMAX| (Geschwindigkeit erreicht). Default Wert = 0

Bits 3-4: VEL_STATE_F - Zustand der aktuellen Geschwindigkeit (VACTUAL). Default Wert = 0

Bits 5-6: RAMP_STATE_F - Zustand der aktuellen Beschleunigung (AACTUAL). Default Wert = 0

Bits 7-8: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden

Bit 9: VSTOPL_ACTIVE_F - Linker virtueller Endschalter aktiv. Default Wert = 0

Bit 10: VSTOPR_ACTIVE_F - Rechter virtueller Endschalter aktiv. Default Wert = 0

Bit 11: ACTIVE_STALL_F - Motorausfall (Stall) erkannt. Default Wert = 0

Bit 12: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden

Bit 13: FS_ACTIVE_F - Vollschrittbetrieb aktiv. Default Wert = 0

Bit 14: ENC_FAIL_F - Abweichung zwischen XACTUAL und ENC_POS (Encoderfehler). Default Wert = 0

Bit 15: N_ACTIVE_F - N-Ereignis aktiv. Default Wert = 0

Bit 16: ENC_LATCH_F - ENC_LATCH wurde überschrieben. Default Wert = 0

Bit 17: MULTI_CYCLE_FAIL_F - Fehler bei der Auswertung von Multi-Cycle-Daten. Default Wert = 0

Bit 18: Reserviert. Default Wert = 0

Bit 19: CL_FIT_F - ENC_POS_DEV < CL_TOLERANCE (Geschlossene Schleife fit). Default Wert = 0

Bits 20-23: Default Wert = 0 -> darf nicht geändert werden

Bit 24: SG_UV_SF - Sensorloser Lastwert-Status oder Unterspannungs-Flag. Default Wert = 0

Bit 25: OT - Übertemperaturabschaltung. Default Wert = 0

Bit 26: OTPW - Übertemperaturwarnung. Default Wert = 0

Bit 27: S2GA_OCA - Kurzschluss oder Überstrom auf Brücke A. Default Wert = 0

Bit 28: S2GB_OCB - Kurzschluss oder Überstrom auf Brücke B. Default Wert = 0

Bit 29: OLA - Openload-Anzeige für Spule A. Default Wert = 0

Bit 30: OLB - Openload-Anzeige für Spule B. Default Wert = 0

Bit 31: STST_OCHS - Stillstandsanzeige oder Überstrom auf der High-Side. Default Wert = 0

Name	**Motor Controller Status**	Index	**0x4018**	Sub-Index	**0x02**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**

Gibt in einer 32 Bit Variable die Statusinfos des Motor Controllers an.

Bits 0-19: LOST_STEPS - Anzahl der übersprungenen Schritte aufgrund von Last.
Zählt nach 2^{20} Schritten wieder von vorne.

Bits 20-27: PWM_SCALE - Ergebnis des Stromregelungsmodus Chopper-Amplitudenreglers. Tatsächliches PWM-Tastverhältnis (0-255), das zur Skalierung von CUR_A und CUR_B verwendet wird.

Bits 28-31: GSTAT - Globale Statusflags, die den Status des Treibers und des IC anzeigen.

Bit 28: RESET - IC-Reset-Flag. (1: IC wurde zurückgesetzt, alle auf Reset-Werte zurückgesetzt).

Bit 29: DRV_ERR - Treiberabschaltung aufgrund von Übertemperatur oder Kurzschluss. Details in DRV_STATUS nachlesen.

Bit 30: UV_CP - Unterspannung der Ladungspumpe. Der Treiber ist während der Unterspannung deaktiviert, dieses Flag bleibt gesetzt.

Name	**Motion Controller Events**	Index	**0x4018**	Sub-Index	**0x03**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Ist nur in Vorbereitung für zukünftige Anwendungen und wir noch nicht verwendet.					

Name	**Motion Controller SPI STATUS Flags**	Index	**0x4018**	Sub-Index	**0x04**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Enthält 8 Bit gemapped aus dem Event des Motion Controllers. Die Flags bis auf Bit 6 werden durch Auslesen des Eventregisters (Index 0x4000, Subindex 0x0F) zurück gesetzt. Bit 0: target_reached - wird auf 1 gesetzt, wenn die Zielposition erreicht ist. Bit 1: pos_comp_reached - wird auf 1 gesetzt, wenn die Positionsvergleichsschwelle erreicht ist. Bit 2: vel_reached - wird auf 1 gesetzt, wenn die Zielgeschwindigkeit erreicht ist. Bit 3: frozen - wird auf 1 gesetzt, wenn der Motor oder der Controller in einem eingefrorenen Zustand ist. Bit 4: enc_fail - wird auf 1 gesetzt, wenn ein Encoder-Fehler erkannt wird. Bit 5: cover_done - wird auf 1 gesetzt, wenn der Cover-Befehl abgeschlossen ist. Bit 6: stop_on_stall - wird auf 1 gesetzt, wenn der Motor aufgrund einer Stallerkennung stoppt. Bit 7: motor_ev - wird auf 1 gesetzt, wenn ein Motorereignis auftritt.					

Name	**PDO Info**	Index	**0x4019**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**1**
Anzahl der Subindices = 4					

Name	**RPDO Mapping Size**	Index	**0x4019**	Sub-Index	**0x01**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Größe der RPDO Daten (aus ST 152 Sicht) in [byte]					

Name	**TPDO Mapping Size**	Index	**0x4019**	Sub-Index	**0x02**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Größe der TPDO Daten (aus ST 152 Sicht) in [byte]					

Name	**RPDO Motion Controller Para**	Index	**0x4019**	Sub-Index	**0x03**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Anzahl der Parameter die zum Motion Controller geschrieben werden (maximal sind 5 möglich).					

Name	**TPDO Motion Controller Para**	Index	**0x4019**	Sub-Index	**0x04**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Anzahl der Parameter die vom Motion Controller gelesen werden (maximal sind 4 möglich).					

Name	**Closed Loop Settings**	Index	**0x401A**	Sub-Index	**0x00**

Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**1**
Anzahl der Subindices = 2					

Name	**EMF Enable**	Index	**0x401A**	Sub-Index	**0x01**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Einstellung der Gegen-EMK-Kompensation: 0: Die Gegen-EMK-Kompensation ist während des Regelbetriebs deaktiviert. 1: Die Gegen-EMK-Kompensation ist während des Regelbetriebs aktiviert. In diesem Modus kompensiert der geregelte Betrieb die Gegen-EMK, wenn der absolute Wert von VACTUAL größer als CL_VMIN ist.					

Name	**VLIMIT Enable**	Index	**0x401A**	Sub-Index	**0x02**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Einstellung der Aufholgeschwindigkeitsgrenze: 0: Während der Regelung wird keine Aufholgeschwindigkeitsgrenze angewendet. 1: Die Aufholgeschwindigkeit während des Regelbetriebs wird durch den internen PI-Regler begrenzt.					

Name	**Motor Current**	Index	**0x401B**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**1**
Anzahl der Subindices = 3					

Name	**Global Scaler**	Index	**0x401B**	Sub-Index	**0x01**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Wert für Global Scaler (0-255) nur lesbar. Wird aus "Max Motor Current" Index 0x6073 bei Wechsel von PreOp in OP berechnet.					

Name	**IRUN**	Index	**0x401B**	Sub-Index	**0x02**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**
Wert für IRUN (0-31) Wird aus "Max Motor Current" Index 0x6073 bei Wechsel von PreOp in OP berechnet.					

Name	**IHOLD**	Index	**0x401B**	Sub-Index	**0x03**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Wert für IHOLD Schreiben: im PreOp 0-30: Wert muss kleiner sein als IRUN Wird bei Wechsel von PreOp in OP übernommen wenn der Wert kleiner als IRUN ist. Lesen: im OP Zustand 0-30: Wert wurde übernommen 255: Wert war ungültig (> IRUN)					

Name	**Status Word**	Index	**0x6041**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**2**
Zeigt das DS402 Statuswort in einem 16 Bit Bitfeld an. Bit 0: ready_to_switch_on - bereit zum Einschalten. Bit 1: switched_on - eingeschaltet. Bit 2: operation_enabled - betrieb aktiviert. Bit 3: fault - Fehler.					

Bit 4: voltage_enabled - Spannung aktiviert.

Bit 5: quick_stop - Schnellstopp.

Bit 6: switch_on_disabled - Einschalten deaktiviert.

Bit 7: warning - Warnung.

Bit 8: stoOK - Sicherheitsflag für den Zustand des Sicherheitseingangs.

Bit 9: remote - Fernbedienung aktiv.

Bit 10: target_reached - Ziel erreicht.

Bit 11: internal_limit_active - interne Begrenzung aktiv.

Bit 12: opSpecific1 - Betriebsmodus-spezifisch: Target Mode = set point acknowledge Flag.

Bit 13: opSpecific2 - Betriebsmodus-spezifisch

Bit 14: latchInput1 - Latcheingang 1.

Bit 15: latchInput2 - Latcheingang 2.

Name	**Modes of Operation Display**	Index	**0x6061**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**

Zeigt den aktuellen Mode of Operation an.
-1: Target Mode
-8: Position Mode
-9: Speed Mode

Name	**Actual Position**	Index	**0x6064**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**

Zeigt die aktuelle Position je nach gewähltem "Controller Mode" (Index 0x4002).
Controller Mode Open Loop: interner Zähler in [µSteps]
Controller Mode Closed Loop: Encoder in [µSteps]

Name	**Actual Speed**	Index	**0x606C**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**4**

Zeigt die aktuelle Geschwindigkeit je nach gewähltem "Controller Mode" (Index 0x4002)
Controller Mode Open Loop: interner Zähler in [µSteps/s]
Controller Mode Closed Loop: Encoder in [µSteps/s]

Name	**Control Word**	Index	**0x6040**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**

Zeigt das DS402 Kontrollwort in einem 16 Bit Bitfeld an.

Bit 0: switch_on - Einschalten.

Bit 1: enable_voltage - Spannung aktivieren.

Bit 2: quick_stop - Schnellstopp.

Bit 3: enable_operation - Betrieb aktivieren.

Bit 4: opSpecific1 - Betriebsmodus-spezifisch: Target Mode = Neue Sollwert Vorgabe

Bit 5: opSpecific2 - Betriebsmodus-spezifisch.

Bit 6: opSpecific3 - Betriebsmodus-spezifisch.

Bit 7: fault_reset - Fehler zurücksetzen.

Bit 8: halt - anhalten (ist nicht implementiert).

Bits 9-15: reserved2 - Reserviert.

Name	**Max Motor Current**	Index	**0x6073**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Legt den maximalen Ausgabestrom für den Motor in [mA] fest. Minimal Wert = 1 mA Maximal Wert = 5000 mA					

Name	**Modes of Operation**	Index	**0x6060**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Legt den aktuellen Mode of Operation fest. -1: Target Mode -8: Position Mode -9: Speed Mode					

Name	**Target Position**	Index	**0x607A**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Legt die Zielposition in [µSteps] fest.					

Name	**Target Speed**	Index	**0x60FF**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Legt die Zielgeschwindigkeit in [µSteps/s] fest.					

Name	**Motor Max Speed**	Index	**0x6080**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Legt die Maximale Geschwindigkeit in [µSteps] für den Motor fest. Ist nur aktiv wenn Modes of Operation auf "-1 .. Target Mode" ist."					

Name	**Motor Max Acceleration**	Index	**0x60C5**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Legt die maximale Beschleunigung in [µSteps*s²] fest.					

Name	**Motor Max Deceleration**	Index	**0x60C6**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Legt die maximale negative Beschleunigung (Abbremsen) in [µSteps*s²] fest.					

Name	**Motor Profile Acceleration**	Index	**0x6083**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Legt die maximale Beschleunigung in [µSteps*s²] fest. Ist für Zyklischen Änderung als PDO im Operational Zustand vorgesehen.					

Name	**Motor Profile Deceleration**	Index	**0x6084**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**

Legt die maximale negative Beschleunigung (Abbremsen) in [µSteps*s²] fest. Ist für Zyklischen Änderung als PDO im Operational Zustand vorgesehen.

Name	**Motor Data**	Index	**0x6410**	Sub-Index	**0x00**
Device State	**OP**	RW	**RO**	Größe [byte]	**1**
Anzahl der Subindices = 4					

Name	**Full Steps One Turn**	Index	**0x6410**	Sub-Index	**0x01**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Anzahl der Vollschritte des Motors für eine Umdrehung. Wertebereich: 1-100000 Default: 200					

Name	**Encoder Resolution**	Index	**0x6410**	Sub-Index	**0x02**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Auflösung des Encoders für eine Umdrehung. Wertebereich: 0-4.294.967.295 Default: 0					

Name	**Encoder Direction**	Index	**0x6410**	Sub-Index	**0x03**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Legt die Drehrichtung für den Encoder fest. Wertebereich: 0-1 Default: 0					

Name	**Encoder Signal Mode**	Index	**0x6410**	Sub-Index	**0x04**
Device State	**PreOP**	RW	**RW**	Größe [byte]	**4**
Legt den Encoder Modus fest. Wertebereich: 0-1 0: TTL Modus 1: RS422 Modus Default: 0					

12.9 Asynchrone Parameter - Fehler-Codes

Fehlercode	Beschreibung	SDO Abort Code
0x00000000	Kein Fehler aufgetreten oder Fehler wurde zurückgesetzt	SDO_ERROR_RESET_NO_ERROR
0x05040000	Internes Timeout beim erstellen der Antwort auf ein SDO	SDO_ABORT_SDOTIMEOUT
0x06010000	Nicht unterstützter Zugriff auf ein Objekt	SDO_ABORT_UNSUPPORTED
0x06010001	Objekt ist nicht lesbar	SDO_ABORT_WRITEONLY
0x06010002	Objekt ist nicht schreibbar	SDO_ABORT_READONLY
0x06010003	Versuch, SDO im falschen DeviceState zu schreiben	SDO_ABORT_NMT_STATE
0x06010004	Fehler beim RPDO Mapping	SDO_ABORT_RPDO_MAPPING

Fehlercode	Beschreibung	SDO Abort Code
0x06010005	Fehler beim TPDO-Mapping	SDO_ABORT_TPDO_MAPPING
0x06010010	Lesefehler für Motion Controller	SDO_ABORT_RD_TMC4361
0x06010011	Schreibfehler für Motion Controller	SDO_ABORT_WR_TMC4361
0x06010012	Daten beim Schreiben für Motion Controller stimmen nicht überein	SDO_ABORT_WR_TMC4361_DM
0x06010020	Lesefehler für Motorcontroller	SDO_ABORT_RD_TMC2160
0x06010021	Schreibfehler für Motor Controller	SDO_ABORT_WR_TMC2160
0x06010022	Daten beim Schreiben für Motor Controller stimmen nicht überein	SDO_ABORT_WR_TMC2160_DM
0x06020000	Objekt existiert nicht im Objektverzeichnis	SDO_ABORT_NOT_EXISTS
0x06090011	Sub-Index nicht vorhanden	SDO_ABORT_UNKNOWNSUB
0x06090031	Wert des Parameters verletzt das obere Limit	SDO_ABORT_VALUE_HIGH
0x06090032	Wert des Parameters verletzt das untere Limit	SDO_ABORT_VALUE_LOW
0x08000000	Allgemeiner Fehler	SDO_ABORT_GENERIC_ERROR

13 Montage/Installation

13.1 Lieferumfang prüfen

Überprüfen Sie den Lieferumfang auf Vollständigkeit und Unversehrtheit. Siehe dazu Kapitel 1.3 Lieferumfang.

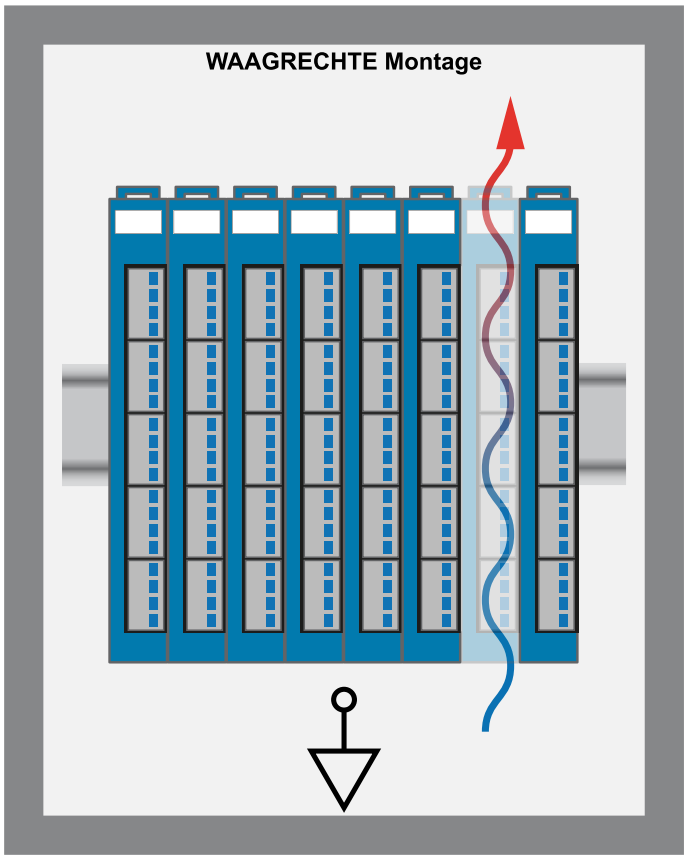
INFORMATION

Prüfen Sie bei Erhalt und vor dem Erstgebrauch das Gerät auf Beschädigungen. Ist das Gerät beschädigt, kontaktieren Sie unseren Kundendienst und installieren Sie es nicht in Ihr System.

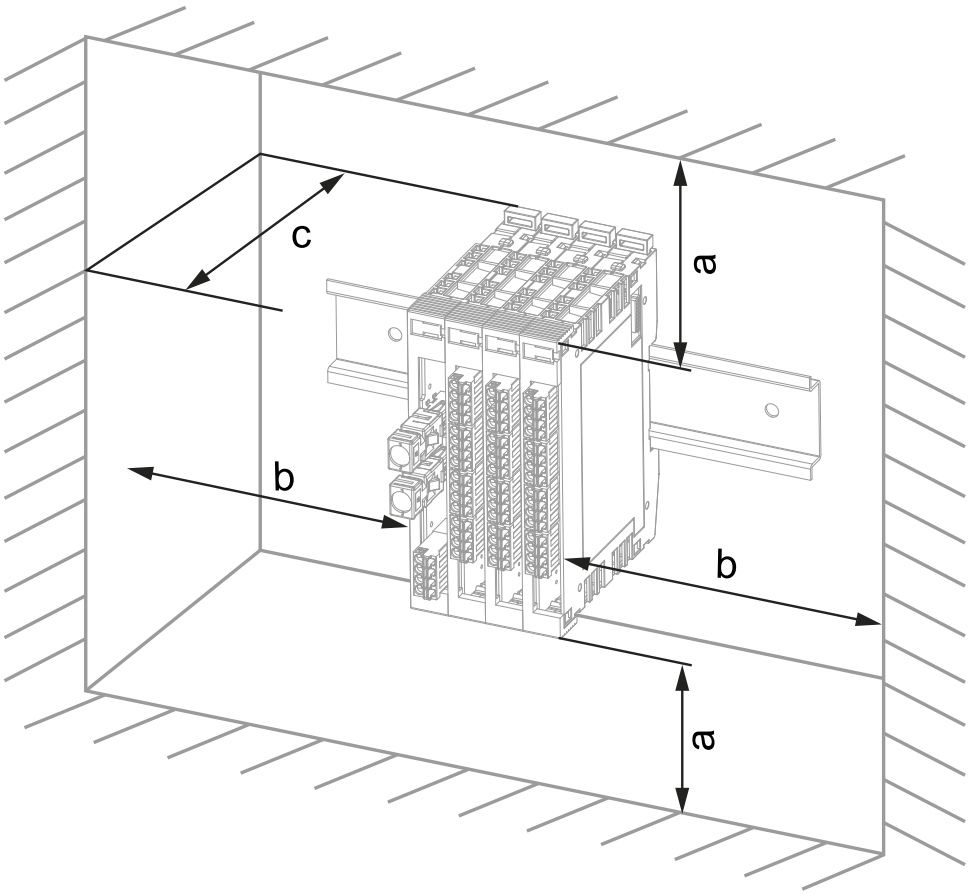
Beschädigte Komponenten können das System stören oder schädigen.

13.2 Einbau

Die S-DIAS Module sind für den Einbau im Schaltschrank vorgesehen. Zur Befestigung der Module ist eine Hutschiene erforderlich. Diese Hutschiene muss eine leitfähige Verbindung zur Schaltschrankrückwand herstellen. Die einzelnen S-DIAS Module werden aneinandergereiht in die Hutschiene eingehängt und durch Schließen der Rasthaken fixiert. Über die Erdungslasche auf der Rückseite der S-DIAS Module wird die Funktionserdverbindung vom Modul zur Hutschiene ausgeführt. Es ist nur die waagrechte Einbaulage (Modulbezeichnung oben) mit ausreichend Abstand der Lüftungsschlitze des S-DIAS Modulblocks zu umgebenden Komponenten bzw. der Schaltschrankwand zulässig. Das ist erforderlich, um die optimale Kühlung und Luftzirkulation zu erreichen, sodass die Funktionalität bis zur maximalen Betriebstemperatur gewährleistet ist.



Empfohlene Minimalabstände der S-DIAS Module zu umgebenden Komponenten bzw. der Schaltschrankwand:



a	b	c
30 mm (1.18″)	**30 mm** (1.18″)	**100 mm** (3.94″)

a, b, c … Abstände in mm (inch)

14 Transport/Lagerung

Bei diesem Gerät handelt es sich um sensible Elektronik. Vermeiden Sie deshalb beim Transport, sowie während der Lagerung, große mechanische Belastungen.

Für Lagerung und Transport sind dieselben Werte für Feuchtigkeit und Erschütterung (Schock, Vibration) einzuhalten wie während des Betriebes!

Während des Transportes kann es zu Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsschwankungen kommen. Achten Sie darauf, dass im und auf dem Gerät keine Feuchtigkeit kondensiert, indem Sie das Gerät im ausgeschalteten Zustand an die Raumtemperatur akklimatisieren lassen.

Wenn möglich sollte das Gerät in der Originalverpackung transportiert werden. Andernfalls ist eine Verpackung zu wählen, die das Produkt ausreichend gegen äußere mechanische Einflüsse schützt, wie z.B. Karton gefüllt mit Luftpolster.

15 Aufbewahrung

Lagern Sie das Gerät bei Nichtgebrauch lt. Lagerbedingungen. Siehe hierfür Kapitel 14 Transport/Lagerung.

INFORMATION

Achten Sie darauf, dass während der Aufbewahrung alle Schutzkappen (sofern vorhanden) korrekt aufgesetzt sind, sodass das Gerät nicht verschmutzt oder Fremdkörper bzw. Flüssigkeiten eindringen können.

16 Instandhaltung

Beachten Sie bei der Instandhaltung sowie bei der Wartung die Sicherheitshinweise aus Kapitel 2 Grundlegende Sicherheitshinweise.

16.1 Wartung

Dieses Produkt wurde für den wartungsarmen Betrieb konstruiert.

16.2 Reparaturen

Senden Sie das Gerät im Falle eines Defektes/einer Reparatur zusammen mit einer ausführlichen Fehlerbeschreibung an die zu Beginn dieses Dokumentes angeführte Adresse.
Transportbedingungen siehe Kapitel 14 Transport/Lagerung.

17 Entsorgung

INFORMATION

Sollten Sie das Gerät entsorgen wollen, sind die nationalen Entsorgungsvorschriften unbedingt einzuhalten.

Das Gerät darf nicht mit dem Hausmüll entsorgt werden.

Änderungschart

Änderungs-datum	Betroffene Seite(n)	Kapitel	Vermerk
24.10.2024	15	6.4 Spezifikation Latch-/Digitaleingänge	Signalpegelwerte geändert
	9	3 IT-Security	Kapitel hinzugefügt
25.10.2024	36	12 Funktionsbeschreibung	in verschiedene Kapitel aufgeteilt
	36	12.1 Stromreglermodi	Kapitel hinzugefügt
	54	12.4 Closed Loop-Regler	Kapitel hinzugefügt
	60	12.5 Unterstützte Schrittbetriebsmodi	Kapitel hinzugefügt
	62	12.6 Inkrementalgeber	Kapitel verschoben
	65	12.8 Detailliertes Objektverzeichnis	Kapitel hinzugefügt
28.10.2024	13	6.1 Spezifikation Schrittmotorausgang	Schrittmotorauflösung hinzugefügt
	60	12.5 Unterstützte Schrittbetriebsmodi	
04.11.2024	63	12.7 Objektverzeichnis Übersicht	Kapitel hinzugefügt
04.11.2024	24	9.2 Hinweise	Info bzgl. Leitungslänge aktualisiert
06.11.2024	12	5 Typenschild	Neues Typenschild eingefügt
21.11.2024		Dokument	Formale Ergänzungen und Zusammenfassungen
17.12.2024		Dokument	EN IEC 61508 hinzugefügt
20.12.2024	24	9.2 Hinweise	ESD Hinweis hinzugefügt
19.03.2025		Dokument	Layout
01.04.2025	18	6.7 Sonstiges	EG-Baumustergeprüft
18.02.2026	63	12.7 Objektverzeichnis Übersicht	Adressierung erweitert
	65	12.8 Detailliertes Objektverzeichnis	
15.05.2026	25	10 Zusätzliche Sicherheitshinweise	Info Kabel geändert
11.08.2026	11	4.4 Sicherheitsrelevante Kenngrößen	Sicherheitskennwerte Nachkommastellen entfernt
23.10.2026	25	10 Zusätzliche Sicherheitshinweise	Kapitel Funktionsprüfung entfernt