

PowerXL™

DA1 Frequenzumrichter

Betrieb von Permanentmagnet- und Brushless DC-Motoren



Level 3	1 – Fundamental – keine weiteren Kenntnisse nötig 2 – Basic – Grundwissen empfehlenswert 3 – Fortgeschritten – Grundwissen notwendig 4 – Expert – Praxiserfahrung in dem Thema empfehlenswert
---------	---

Inhalt

Gefahr! - Gefährliche elektrische Spannung!	3
Gewährleistungsausschluss und Haftungsbeschränkung	4
Allgemeines	5
Vorwahl des Steuerungsmodus.....	6
Steuerungsmodus (P4-01)	6
Eingabe der Motordaten	7
Motor-Nennspannung (P1-07)	7
Motor-Nennstrom (P1-08)	8
Motor-Nennfrequenz (P1-09)	8
Motor-Nennzahl (P1-10).....	8
Schaltfrequenz (P2-24)	8
Motor-Identifikation (P4-02)	9
Motor Stator-Widerstand (P7-01)	9
Motor Stator-Induktivität (P7-03)	9
Streuinduktivität Rel (P7-05)	9
Parameter-Adaption (P7-08)	10
Optimierung des Motorverhaltens bei Start und kleinen Drehzahlen.....	11
Drehmomentanhebung (P7-14) und Drehmomentanhebung Bereoch (P7-15)	11
PM-MotorSignalIn (P7-16) und PM-MotorSignalInLevel (P-17).....	11
Reihenfolge bei der Einstellung.....	12
Anpassung an das Trägheitsmoment der Last	13
LoadInertiaFactor (P7-10).....	13
Optimieren des Drehzahlreglers	14
MSC _{Kp} Proportionalverstärkung des Drehzahlreglers (P4-03).....	14
MSC _{Ti} Integralzeitkonstante des Drehzahlreglers (P4-04).....	14
Anpassen der Magnetisierungszeit und der Drehmomentgrenzen.....	15
t-Erregung-U/f (P7-12)	15
M-Max Motorbetrieb (P4-07) und M-Max Generatorbetrieb (P4-09).....	15
Tipps und Tricks bei der Optimierung	16
Überprüfung des Magnetisierungsstroms mit P0-14.....	16
Fehler und mögliche Ursachen.....	17
Beispiel für die Eingabe von Motorparametern.....	18

Gefahr! - Gefährliche elektrische Spannung!

- Gerät spannungsfrei schalten.
- Gegen Wiedereinschalten sichern.
- Spannungsfreiheit feststellen.
- Erden und kurzschließen.
- Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschränken.
- Die für das Gerät angegebenen Montagehinweise (IL) sind zu beachten.
- Nur entsprechend qualifiziertes Personal gemäß EN 50110-1/-2 (VDE 0105 Teil 100) darf Eingriffe an diesem Gerät/System vornehmen.
- Achten Sie bei Installationsarbeiten darauf, dass Sie sich statisch entladen, bevor Sie das Gerät berühren.
- Die Funktionserde (FE, PES) muss an die Schutzterde (PE) oder den Potenzialausgleich angeschlossen werden.
- Die Ausführung dieser Verbindung liegt in der Verantwortung des Errichters.
- Anschluss- und Signalleitungen sind so zu installieren, dass induktive und kapazitive Einstreuungen keine Beeinträchtigung der Funktionen verursachen.
- Damit ein Leitungs- oder Aderbruch auf der Signalseite nicht zu undefinierten Zuständen führen kann, sind hard- und softwareseitig entsprechende Sicherheitsvorkehrungen zu treffen.
- Schwankungen bzw. Abweichungen der Netzspannung vom Nennwert dürfen die in den technischen Daten angegebenen Toleranzgrenzen nicht überschreiten, andernfalls sind Funktionsausfälle und Gefahrenzustände nicht auszuschließen.
- NOT-AUS-Einrichtungen nach IEC/EN 60204-1 müssen in allen Betriebsarten wirksam bleiben. Entriegeln der NOT-AUS-Einrichtungen darf keinen Wiederanlauf bewirken.
- Einbaugeräte für Gehäuse oder Schränke dürfen nur im eingebauten Zustand betrieben und bedient werden.
- An Orten, an denen auftretende Fehler Personen- oder Sachschäden verursachen können, müssen externe Vorkehrungen getroffen werden, die auch im Fehler- oder Störfall einen sicheren Betriebszustand gewährleisten beziehungsweise erzwingen (z. B. durch unabhängige Grenzwertschalter, mechanische Verriegelungen usw.).
- Während des Betriebs können Frequenzumrichter heiße Oberflächen besitzen.
- Das unzulässige Entfernen der erforderlichen Abdeckung, die unsachgemäße Installation und falsche Bedienung von Motor oder Frequenzumrichter, kann zum Ausfall des Geräts führen und schwerste gesundheitliche Schäden oder Materialschäden verursachen.
- Bei Arbeiten an unter Spannung stehenden Frequenzumrichter sind die geltenden nationalen Unfallverhütungsvorschriften (z. B. BGV A3) zu beachten.
- Die elektrische Installation ist nach den einschlägigen Vorschriften durchzuführen (z. B. Leitungsquerschnitte, Absicherungen, Schutzleiteranbindung).
- Alle Arbeiten zum Transport, zur Installation, zur Inbetriebnahme und zur Instandhaltung dürfen nur von qualifiziertem
- Fachpersonal durchgeführt werden (IEC 60364 bzw. HD 384 oder DIN VDE 0100 und nationale Unfallverhütungsvorschriften beachten).
- Anlagen, in die Frequenzumrichter eingebaut sind, müssen ggf. mit zusätzlichen Überwachungs- und Schutzeinrichtungen gemäß den jeweils gültigen Sicherheitsbestimmungen, z. B. Gesetz über technische Arbeitsmittel, Unfallverhütungsvorschriften usw. ausgerüstet werden.
- Während des Betriebs sind alle Abdeckungen und Türen geschlossen zu halten.
- Der Anwender muss in seiner Maschinenkonstruktion Maßnahmen berücksichtigen, die die Folgen bei Fehlfunktion oder Versagen des Frequenzumrichters (Erhöhung der Motordrehzahl oder plötzliches Stehenbleiben des Motors) begrenzen, so dass keine Gefahren für Personen oder Sachen verursacht werden können, z. B.: – Weitere unabhängige Einrichtungen zur Überwachung sicherheitsrelevanter Größen (Drehzahl, Fahrweg, Endlagen usw.). Elektrische oder nichtelektrische Schutzeinrichtungen (Verriegelungen oder mechanische Sperren) systemumfassende Maßnahmen. Nach dem Trennen der Frequenzumrichter von der Versorgungsspannung dürfen spannungsführende Geräteteile und Leistungsanschlüsse wegen möglicherweise aufgeladener Kondensatoren nicht sofort berührt werden. Hierzu sind die entsprechenden Hinweisschilder auf dem Frequenzumrichter zu beachten.

Gewährleistungsausschluss und Haftungsbeschränkung

Die Informationen, Empfehlungen, Beschreibungen und Sicherheitshinweise in diesem Dokument basieren auf den Erfahrungen und Einschätzungen der Eaton Corp. Und berücksichtigen möglicherweise nicht alle Eventualitäten.

Wenn Sie weitere Informationen benötigen, wenden Sie sich bitte an ein Verkaufsbüro von Eaton. Der Verkauf der in diesen Unterlagen dargestellten Produkte erfolgt zu den Bedingungen und Konditionen, die in den entsprechenden Verkaufsrichtlinien von Eaton oder sonstigen vertraglichen Vereinbarungen zwischen Eaton und dem Käufer enthalten sind. Es existieren keine Abreden, Vereinbarungen, Gewährleistungen ausdrücklicher oder stillschweigender Art, einschließlich einer Gewährleistung der Eignung für einen bestimmten Zweck oder der Marktgängigkeit, außer soweit in einem bestehenden Vertrag zwischen den Parteien ausdrücklich vereinbart. Jeder solche Vertrag stellt die Verpflichtung von Eaton abschließend dar.

Der Inhalt dieses Dokumentes wird weder Bestandteil eines Vertrages zwischen den Parteien noch führt er zu dessen Änderung. Eaton übernimmt gegenüber dem Käufer oder Nutzer in keinem Fall eine vertragliche, deliktische (einschließlich Fahrlässigkeit), verschuldensunabhängige oder sonstige Haftung für außergewöhnliche, indirekte oder mittelbare Schäden, Folgeschäden bzw. –verluste irgendeiner Art – unter anderem einschließlich, aber nicht beschränkt auf Schäden an bzw. Nutzungsausfälle von Geräten, Anlagen oder Stromanlagen, von Vermögensschäden, Stromausfällen, Zusatzkosten in Verbindung mit der Nutzung bestehender Stromanlagen, oder Schadensersatzforderungen gegenüber dem Käufer oder Nutzer durch deren Kunden – infolge der Verwendung der hierin enthaltenen Informationen, Empfehlungen und Beschreibungen. Wir behalten uns Änderungen der in diesem Handbuch enthaltenen Informationen vor. Fotos und Abbildungen dienen lediglich als Hinweis und begründen keine Verpflichtung oder Haftung seitens Eaton.

Allgemeines

Die Geräte der Reihe **PowerXL™ DA1** sind Frequenzumrichter zum Anschluss von Drehstrommotoren. Werkseitig sind sie so konfiguriert, dass Induktionsmotoren der entsprechenden Leistungsklasse ohne Veränderung der Einstellung betrieben werden können. Der Anschluss von Permanentmagnet Motoren (PM-Motoren) und Brushless DC-Motoren (BLDC-Motoren) ist ebenfalls möglich, erfordert jedoch die Vorwahl der entsprechenden Betriebsart, sowie die Anpassung einiger Parameter.

Die Gerätereihe DA1 betreibt PM-Motoren und BLDC-Motoren im „Open Loop“, also ohne Rückführung über Geber. Sie werden hauptsächlich wegen der gegenüber Induktionsmotoren kleineren Bauform und des besseren Wirkungsgrades eingesetzt. Die Anwendungen sind ähnlich wie bei Induktionsmotoren, jedoch mit mehr Dynamik. Die Gerätereihe DA1 ist NICHT für Servo-Anwendungen mit PM- oder BLDC-Motoren vorgesehen, und hat somit auch keine diesbezüglichen Funktionalitäten, wie z. B. Positionierung.....

In dieser Application Note werden folgende Aspekte betrachtet:

- Vorwahl des Steuerungsmodus
- Anpassung an den angeschlossenen Motor
- Optimierung der Anwendung
- Fehlersuche
- Einstellungsbeispiel PM-Motor

Einige der hier erforderlichen Parameter befinden sich in den Menus des Level 3. Diese Menus sind durch Eingabe des „Kennwort Level3“ (P6-30) bei P1-14 (Kennwort) zu aktivieren. Das werkseitig eingestellte Kennwort ist „201“.

Diese Application Note setzt voraus, dass der Leser mit der Vektorregelung von Induktionsmotoren und der Einstellung der entsprechenden Parameter vertraut ist, sowie mit der Optimierung von Drehzahlregelkreisen.

Die hier beschriebenen Funktionen beziehen sich auf eine Version der Applikationssoftware ab 2.0 (siehe Parameter P0-79).

Vorwahl des Steuerungsmodus

PM-Motoren und BLDC-Motoren benötigen einen anderen Steuerungsalgorithmus als Induktionsmotoren, für die die Geräte der Reihe DA1 werkseitig eingestellt sind. Die entsprechende Vorwahl erfolgt mit Parameter P4-01.

Im Falle der Benutzung eines PM-Motors in Applikationen mit Drehmomentregelung (P4-01 = 4), ist zu beachten, dass die Einstellungen zunächst im Steuerungsmodus für Drehzahlregelung (P4-01 = 3) vorgenommen werden. Nach Abschluss der Einstellungen und Optimierung erfolgt erst die Umstellung in den Modus für Drehmomentregelung.

Hinweis: PM-Motoren und BLDC-Motoren unterscheiden sich hauptsächlich durch die unterschiedliche Kurvenform der seitens der Motoren induzierten Spannung (Back-EMF). Die Steuerungsmodi der Geräte DA1 sind darauf optimiert. Am Markt wird zwischen diesen beiden Motorarten nicht immer sauber differenziert und man findet manchmal BLDC-Motoren, die als PM-Motoren bezeichnet sind bzw. PM-Motoren, die eine ähnliche induzierte Spannung wie ein BLDC-Motor haben. Sollte es also im vorgewählten Modus für PM-Motoren (P4-01 = 3) zu unregelmäßigem Lauf kommen, kann durch ein Umschalten auf den Modus für BLDC-Motoren (P4-01 = 5) in manchen Fällen eine Verbesserung erzielt werden.

Steuerungsmodus (P4-01)

Dieser Parameter passt das Gerät an die Art des angeschlossenen Motors an und bestimmt das Steuerverfahren. Die in dieser Application Note gemachten Angaben sind für PM-Motoren und BLDC-Motoren gültig und beziehen sich auf die Einstellungen P4-01 = 3, 4 und 5.

Angaben für einen Betrieb mit Induktionsmotoren (P4-01 = 0, 1 und 2) finden Sie in der Application Note AP040018DE.

PNU	Parameter	Name	Wertebereich	Werk
255.0	P4-01	Steuerungsmodus	0: Drehzahlregelung mit Drehmomentbegrenzung (Vektor) 1: Drehmomentregelung mit Drehzahlbegrenzung (Vektor) 2: Drehzahlsteuerung (erweitertes U/f) 3: PM Motor Drehzahlregelung 4: PM Motor Drehmomentregelung 5: Brushless DC Motor Drehzahlregelung 6: Synchronous Reluctance Motor Drehzahlregelung	2

Eingabe der Motordaten

Vor dem Einschalten des Motors sind die Motordaten laut Typenschild bzw. Datenblatt des Motorherstellers einzugeben und eine automatische Motor-Identifikation vorzunehmen.

Motor-Nennspannung (P1-07)

Dieser Parameter muss auf den Wert eingestellt werden, den die Magnete im Motor bei Nenndrehzahl induzieren (Back-EMF). Der hier einzugebende Wert ist die Spannung zwischen zwei Phasen. Gibt der Hersteller den Wert zwischen einer Phase und N an, so ist dieser mit $\sqrt{3}$ zu multiplizieren.

In der Dokumentation der Motorhersteller findet man die hier erforderliche Angabe in unterschiedlicher Form.

- als Angabe eines Spannungswertes (teilweise auch als Nennspannung bezeichnet)
- als Spannungskonstante (induzierte Spannung bei einer bestimmten Drehzahl, meist 1000 U / min). In diesem Fall ist die Spannung bei der gewünschten Drehzahl zu berechnen.

Beispiel:

- Spannungskonstante = 50 V / 1000 U/min
- Gewünschte max. Drehzahl = 3000 U/min

$$P1-07 = \frac{50 \text{ V}}{1000 \text{ U/min}} \cdot 3000 \text{ U/min} = 150 \text{ V}$$

PNU	Parameter	Name	Wertebereich	Werk
211.0	P1-07	Motor Nennspannung	0 / 20 V ... U _e	U _e

U_e = Bemessungsspannung des Gerätes, z.B. 230 V oder 400 V, je nach Gerätetyp

Hinweis: Die seitens der Motorhersteller angegebene Spannung kann unterschiedliche Bedeutungen haben.

- Die bei Nenndrehzahl induzierte Spannung (Back-EMF). In diesem Fall ist das der einzugebende Wert
- Die Spannung, die bei Nenndrehzahl und Nennlast vorhanden ist. Dieser Wert ist höher als die induzierte Spannung. Das kann möglicherweise dazu führen, dass der Motor mehr Strom zieht bzw. ein schlechtes Laufverhalten zeigt. Welche Möglichkeiten gibt es, den richtigen Wert zu ermitteln?
 - Überprüfung des Magnetisierungsstroms mit P0-14 (siehe unter „Tipps und Tricks bei der Optimierung“)
 - Motor auf Nenndrehzahl fahren und abschalten. Mit einem Oszilloskop die induzierte Spannung direkt nach dem Abschalten messen.

Motor-Nennstrom (P1-08)

Parameter P1-08 „Motor-Nennstrom“ ist werkseitig auf den Bemessungsstrom I_e des Frequenzumrichters eingestellt. Er dient gleichzeitig als Einstellwert für den thermischen Schutz des Motors. Hat der Motor einen abweichenden Nennstrom, so ist dieser mit P1-08 einzustellen, um einen Motorschutz zu gewährleisten.

PNU	Parameter	Name	Wertebereich	Werk
210.0	P1-08	Motor Nennstrom	$0.25 \cdot I_e \dots I_e$	I_e

I_e = Bemessungsstrom des Gerätes

Motor-Nennfrequenz (P1-09)

Eingabe der Frequenz, die für die angegebene Motordrehzahl erforderlich ist. Meist ist sie als Angabe der Nennfrequenz auf dem Typenschild oder im Datenblatt zu finden. Ist das nicht der Fall, kann sie aus Drehzahl und Polzahl p errechnet werden.

$$P1-09 [Hz] = n [U/min] \cdot \frac{p}{2 \cdot 60 \text{ s/min}}$$

PNU	Parameter	Name	Wertebereich	Werk
216.0	P1-09	Motor Nennfrequenz	25 ... 500 Hz	50 Hz bzw. 60 Hz

Motor-Nenndrehzahl (P1-10)

Eingabe der Motor-Nenndrehzahl in U/min. Das ist die Drehzahl bei der mit P1-09 eingestellten Frequenz.

PNU	Parameter	Name	Wertebereich	Werk
217.0	P1-10	Motor Nenndrehzahl	0 / 200 ... 30000 U/min	0 U/min

Schaltfrequenz (P2-24)

Schaltfrequenz des Leistungsteils. Beim Betrieb von PM-Motoren und BLDC-Motoren wird ein Wert von mindestens 16 kHz empfohlen (= Wert im Auslieferungszustand). Das Einstellen der Schaltfrequenz ist immer ein Kompromiss zwischen dem optimalen Rundlauf bei höheren Werten und den daraus resultierenden zusätzlichen Verlusten. Bei Werten oberhalb von 16 kHz ist zu beachten, dass das Gerät möglicherweise nicht mit der vollen Leistung betrieben werden darf und entsprechend größer auszuwählen ist.

PNU	Parameter	Name	Wertebereich	Werk
390.0	P2-24	Schaltfrequenz	0 = 4 kHz 1 = 8 kHz 2 = 12 kHz 3 = 16 kHz 4 = 24 kHz 5 = 32 kHz	3 = 16 kHz

Motor-Identifikation (P4-02)

Diese Funktion MUSS beim Betrieb von PM-Motoren bzw. BLDC-Motoren an Geräten der Reihe DA1 (P4-01 = 3, 4 oder 5) ausgeführt werden, damit die für ein optimales Verhalten des Motors erforderlichen Parameter automatisch ermittelt werden können. Nach der Durchführung der Motor-Identifikation ist der Antrieb betriebsbereit. Weitere Optimierungen siehe weiter unten.

Die Motor-Identifikation ermittelt die richtigen Werte für die Parameter

Motor Stator-Widerstand (P7-01)

Motor Stator-Induktivität (P7-03)

Streuinduktivität Rel (P7-05)

Die entsprechenden Werte können auch manuell eingegeben werden, falls sie seitens des Herstellers zur Verfügung stehen. Es wird jedoch empfohlen, auf die automatische Identifikation zurückzugreifen, da diese sehr genaue Werte liefert und ein optimales Verhalten sicherstellt.

Die Motor-Identifikation wird bei stehendem Motor durchgeführt. Die hier ermittelten Daten benutzt das Motormodell für die optimale Ansteuerung des angeschlossenen Motors.

Vorgehensweise:

- Echtzeit-Bearbeitungsmodus einer eventuell angeschlossenen DrivesConnect Software deaktivieren. Besser: Stecker an der RJ45-Buchse für die Dauer der Motor-Identifikation ziehen.
- DA1 darf nicht freigegeben sein (kein START-Befehl); STO-Signal (Safe Torque OFF) an den Klemmen 13 und 14 muss vorhanden sein.
- Parameter P4-02 vorwählen
- **OK** drücken
- Es wird **0** angezeigt
- Wert auf **1** stellen
- **OK** betätigen → Die Identifikation startet automatisch, Anzeige: **Auto-t** bzw. **Auto-tuning** (OLED-display)
- Danach wird der Wert automatisch wieder auf **0** gesetzt. Anzeige: **STOP**
- Das Gerät hat nun die erforderlichen Parameter ermittelt.

Hinweis: Die Motor-Identifikation muss immer am Gerät selbst durchgeführt werden. Es ist NICHT möglich, sie über die Parametrier-Software DrivesConnect zu aktivieren. Die Motorparameter P1-07, P1-08, P1-09 müssen vor der Durchführung der Motor-Identifikation eingegeben sein.

PNU	Parameter	Name	Wertebereich	Werk
340.0	P4-02	Motor-Identifikation	0 = AUS 1 = EIN	0

Parameter-Adaption (P7-08)

In Einzelfällen kann es vorkommen, dass die bei der Motor-Identifikation ermittelten Parameter während des Betriebs angepasst werden müssen. Hintergrund sind temperaturabhängige Werte der Motordaten. In den meisten Fällen sind die Abweichungen gering und fallen nicht ins Gewicht.

Die Frequenzumrichter der Reihe DA1 bieten die Möglichkeit, die bei der Motor-Identifikation ermittelten Motorparameter automatisch nachzuführen. Es erfolgt hierzu keine neue Identifikation, sondern die Veränderung der Werte basiert auf Berechnungen im Motormodell.

Ist das Nachführen der Motordaten erforderlich, muss dies mit „Parameter-Adaption“ (P7-08) aktiviert werden.

- P7-08 = 0: Die Motor-Parameter werden während der Motor-Identifikation einmalig ermittelt und bleiben danach unverändert.
- P7-08 = 1: Die Motor-Parameter werden während der Motor-Identifikation ermittelt. Diese Werte werden beim Start des Motors verwendet. Während des Betriebs berechnet DA1 automatisch die aktuellen Werte und benutzt diese. Hintergrund: Veränderungen z.B. des Widerstands aufgrund von Temperaturänderungen.

PNU	Parameter	Name	Wertebereich	Werk
625.1	P7-08	ParameterAdaption	0 = Motorparameter einmalig ermitteln und behalten 1 = Motorparameter nachführen	0

Optimierung des Motorverhaltens bei Start und kleinen Drehzahlen

Üblicherweise können PM-Motoren und BLDC-Motoren in einem Drehzahlbereich bis 20:1 betrieben werden. Die Geräte der Reihe DA1 besitzen eine Boost-Funktion, die das Drehmoment im unteren Bereich anhebt und so das Startverhalten und den Rundlauf im unteren Drehzahlbereich verbessert. Darüber hinaus kann durch das injizieren eines höherfrequenten Signals eine Vergrößerung des Drehzahlbereichs, sowie eine Verbesserung der Erkennung der Rotorposition erzielt werden.

Drehmomentanhebung (P7-14) und Drehmomentanhebung Bereich (P7-15)

Hierbei wird ein mit P7-14 vorzugebender Strom (in Prozent des Motor-Nennstroms P1-08) in den Motor injiziert. Dabei definiert P7-15 die Frequenz (in Prozent der Motor-Nennfrequenz P1-09), bis zu der diese Funktion wirksam ist. Ziel ist es, die Rundlaufeigenschaften und das Drehmomentverhalten im unteren Frequenzbereich zu verbessern.

PNU	Parameter	Name	Wertebereich	Werk
32.0	P7-14	Drehmomentanhebung	0.0 ... 100.0 % P1-08	0.0 %
33.0	P7-15	Drehmomentanhebung Bereich	0.0 ... 100.0 % P1-09	0.0 %

Einstellung von P7-14:

- Motor bei der niedrigsten Drehzahl, die für die Anwendung erforderlich ist, betreiben.
- Wert von P7-14 erhöhen, bis sowohl das erforderliche Drehmoment vorhanden ist, als auch ein gleichmäßiger Betrieb des Motors.
- Bei zu kleinen Werten von P7-14 kann es sein, dass der Antrieb während des Starts abschaltet, insbesondere unter Last.
- Bei zu hohen Werten ist es möglich, dass der Motor zu sehr erwärmt wird und es zu einer Abschaltung aufgrund thermischer Überlast kommt (**lt.trp**).
- Ein typischer Wert für P7-14, bei dem meistens ein zuverlässiger Betrieb erreicht wird, ist 10 %.

Einstellung von P7-15:

- Grenze einstellen, bis zu der die Drehmomentanhebung wirksam sein soll.
- Ein typischer Wert für P7-15 ist 10 %, der im Bedarfsfall erhöht werden kann.

PM-MotorSignalIn (P7-16) und PM-MotorSignalInLevel (P-17)

Bei aktivierter Funktion (P7-16 = 1, 2, 3) wird dem Motor ein Signal höherer Frequenz injiziert. Dies ermöglicht eine verbesserte Erkennung der Rotorposition und ermöglicht in vielen Fällen auch eine Erweiterung des Drehzahlstellbereichs (> 20:1).

Im Auslieferungszustand ist diese Funktion deaktiviert (P7-16 = 0). Die Einstellung von P7-16 legt fest, wann die Funktion aktiv ist, die Amplitude des Signals wird mit P7-17 bestimmt. Die Einstellung von P7-17 ist applikationsabhängig. Sie ist so vorzunehmen, dass die Funktion wirksam ist, der Antrieb aber auf der anderen Seite nicht wegen eines Fehlers abschaltet.

Hinweis: Das höherfrequente Signal verursacht eine Geräuschbildung im Motor.

PNU	Parameter	Name	Wertebereich	Werk
230.0	P7-16	PM-MotorSignalIn	0 = gesperrt 1 = aktiv während der Magnetisierungsperiode 2 = aktiv bei kleinen Drehzahlen 3 = aktiv während der Magnetisierungsperiode und bei kleinen Drehzahlen	0
231.0	P7-17	PM-MotorSignalInLevel	0 ... 100	10

Reihenfolge bei der Einstellung

- Einstellung des richtigen Wertes von P1-07. Hierbei sollen die Funktionen für weitere Optimierungen gesperrt sein:
 - P7-12 = Werkseinstellung
 - P7-14 = 0.0 %
 - P7-15 = 0.0 %
 - P7-16 = 0
- P7-14 und P7-15 einstellen, wie oben beschrieben (Drehmomentanhebung (P7-14) und Drehmomentanhebung Bereich (P7-15)).
- Falls erforderlich, P7-12 anpassen (Anpassen der Magnetisierungszeit und der Drehmomentgrenzen)
- Wenn ein Betrieb bei kleinen Drehzahlen erforderlich ist, P7-16 und P7-17 anpassen. Dabei ist der Wert von P7-17 möglichst niedrig zu halten, um Abschaltungen zu vermeiden.

Anpassung an das Trägheitsmoment der Last

LoadInertiaFactor (P7-10)

Der Parameter P7-10 ermöglicht es, das Verhältnis der Trägheitsmomente von Last und Motor bei der internen Berechnung zu berücksichtigen. Um schnell reagieren zu können arbeitet der interne Algorithmus mit einer Vorsteuerung (Feed Forward), deren Verhalten vom Wert in P7-10 abhängt. Die Eingabe des richtigen Verhältnisses hilft, Drehmoment und Dynamik auf den Anwendungsfall anzupassen. Sollten die Trägheitsmomente nicht bekannt sein, wird empfohlen, die Werkseinstellung (10) zu nicht zu verändern.

Der einzugebende Wert errechnet sich aus

$$P7-10 = \frac{J_{Tot}}{J_{Mot}} \cdot 10$$

J_{Tot} Totales Trägheitsmoment (Motor, Last Kupplung)

J_{Mot} Trägheitsmoment des Motors

Das Trägheitsmoment des Motors ist eine Herstellerangabe innerhalb des Datenblatts. Das Trägheitsmoment der Last ist entweder dem Maschinenkonstrukteur bekannt oder muss durch Messungen ermittelt werden.

Optimieren des Drehzahlreglers

Die Steuerung für PM-Motoren und BLDC-Motoren basiert auf einem Vektor-Algorithmus und der Drehzahlregelkreis kann optimiert werden. Die werkseitig eingestellten Werte sind für Induktionsmotoren bestimmt. PM-Motoren und BLDC-Motoren erlauben höhere Verstärkungen und damit kürzere Reaktionszeiten und verbessertes Verhalten.

Die für PM-Motoren und BLDC-Motoren empfohlenen Werte sind:

- P4-03 „MSC K_p“ (Proportionalverstärkung des Drehzahlreglers): 50 [%]
- P4-04 „MSC T_i“ (Integralzeitkonstante): 100 [ms]

Änderungen an den Werten von P4-03 und P4-04 sollten nur schrittweise vorgenommen werden, während man deren Einfluss auf das Systemverhalten genau beobachtet.

MSC_{Kp} Proportionalverstärkung des Drehzahlreglers (P4-03)

Die Proportionalverstärkung wird benutzt, um den Fehler zwischen der gewünschten und der tatsächlichen Drehzahl proportional an den Ausgang des Gerätes weiterzugeben. Die Reaktion des Antriebs ist daher vom Wert von P4-03 abhängig. Eine Erhöhung dieses Wertes führt zu einer stärkeren Reaktion und damit zu einer Verkürzung der Reaktionszeit.

Ist der Wert von P4-03 zu niedrig eingestellt führt dies zu einer langsamen Reaktion, zu hohe Werte können zur Instabilität des Systems führen.

MSC_{Ti} Integralzeitkonstante des Drehzahlreglers (P4-04)

Die Integralverstärkung ist eine kumulierende Verstärkung, die nicht nur die Differenz zwischen Sollwert und Istwert, sondern auch deren Dauer berücksichtigt, um dauerhafte Regelabweichungen zu vermeiden. Die Zeitkonstante wird mit P4-04 in s eingestellt. Je kleiner diese Zeit (Integrationszeit) ist, umso direkter ist die Auswirkung einer Regelabweichung auf den Ausgang, was bei zu kleinen Werten zur Instabilität führen kann. Kleine Veränderungen der Integrationszeitkonstante können signifikante Änderungen am Ausgang des Gerätes zur Folge haben.

PNU	Parameter	Name	Wertebereich	Werk
2400.0	P4-03	MSC _{Kp}	0.1 ... 400 %	50.0 %
2401.0	P4-04	MSC _{Ti}	0.001 ... 2.000 s	0.050 s

Vorgehensweise bei der Optimierung des Drehzahlreglers

- P4-04 auf den höchsten Wert setzen (2.000 s)
- P4-03 so einstellen, dass der Antrieb optimal reagiert ohne instabil zu sein.
- Danach P4-04 so einstellen, dass bleibende Regelabweichungen eliminiert werden.

Anpassen der Magnetisierungszeit und der Drehmomentgrenzen

t-Erregung-U/f (P7-12)

Die mit P-12 einstellbare Magnetisierungszeit bewirkt eine Verzögerung zwischen der Freigabe und dem Hochfahren der Ausgangsfrequenz. Dies wird zum Ausrichten des Rotors und zur Erzeugung des Magnetisierungsstroms in den Motorwicklungen benutzt. Der Magnetisierungsstrom beträgt 50 % des mit P1-08 (Motor-Nennstrom) eingestellten Wertes.

Diese Funktion bewirkt eine Verzögerung beim Start. Ist die Zeit für die Magnetisierung und das Ausrichten des Rotors zu kurz, kann es zu Einbußen im Regelverhalten bis hin zu Abschaltungen während des Starts kommen. Im Bedarfsfall muss der Wert von P7-12 erhöht werden.

In Fällen, in denen eine Reduzierung der Magnetisierungszeit gefordert wird, ist sicherzustellen, dass dies nicht zu Problemen beim Starten des Motors führt.

PNU	Parameter	Name	Wertebereich	Werk
25.0	P7-12	t-Erregung-U/f	0... 5000 ms	$f(I_e)$

$f(I_e)$ = abhängig vom Bemessungsstrom des Gerätes

M-Max Motorbetrieb (P4-07) und M-Max Generatorbetrieb (P4-09)

PM-Motoren und BLDC-Motoren haben ein hohes Spitzenmoment. Die werkseitig eingestellten Werte für P4-07 (im Motorbetrieb) und P4-09 (im Generatorbetrieb) brauchen normalerweise sind geändert zu werden. Es besteht aber die Möglichkeit, die Werte anzupassen, falls erforderlich.

PNU	Parameter	Name	Wertebereich	Werk
30.1	P4-07	M-Max Motorbetrieb	0 ... 200 %	150 %
31.1	P4-09	M-Max Generatorbetrieb	0 ... 200 %	100 %

Tipps und Tricks bei der Optimierung

Es gibt viele unterschiedliche Typen von PM-Motoren und BLDC-Motoren und qualitativ sehr unterschiedliche zugehörige Informationen seitens der Motorhersteller. Es kann daher sehr zeitraubend sein, bis man die richtigen Einstellungen gefunden und mögliche Probleme beseitigt hat. Dieser Abschnitt bietet eine Hilfe, um zu überprüfen, ob die Parameter korrekt eingestellt sind.

Überprüfung des Magnetisierungsstroms mit P0-14

Nachdem die Motordaten eingegeben und die automatische Motoridentifikation ausgeführt ist, kann der Antrieb gestartet werden. Beobachten Sie den Wert von P0-14 während des Betriebs im Bereich von 50 ... 70 % der Nenndrehzahl.

PM-Motoren und BLDC-Motoren benötigen keinen Magnetisierungsstrom, daher sollte der Wert von P0-14 0 A sein, wobei ein Wert von 0.1 A auch akzeptabel ist. Sollte dies nicht der Fall sein, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass der Wert für P1-07 „Motor-Nennspannung“ (Back-EMF) nicht richtig eingegeben ist. Bitte den Wert anpassen und es nochmal versuchen!

Fehler und mögliche Ursachen

Allgemeine Fehlermeldungen und deren Ursachen sind in der allgemeinen Beschreibung der Geräte-
reihe DA1 zu finden. Die hier aufgeführten Fehler beziehen sich speziell auf den Betrieb mit PM-
Motoren und BLDC-Motoren.

Symptom	Mögliche Ursache und Abhilfe
P4-01 zur Vorwahl des Steuerungsmodus kann nicht eingestellt werden.	Der Level 3 des Parameter Menüs ist nicht freigegeben. In P1-14 das Passwort für den Level 3 (vorgewählt mit P6-30. Werkseinstellung = 201) eingeben.
Verzögerungszeit zwischen Freigabe des Antriebs und dem Start des Motors	Es gibt eine durch P7-12 definierte Verzögerungszeit zur Erzeugung des Magnetisierungsstroms und zum Ausrichten des Rotors. Optimierung siehe Abschnitt „Anpassen der Magnetisierungszeit“
Schlechtes Drehmomentverhalten bei kleinen Drehzahlen	Siehe „Optimierung des Motorverhaltens bei Start und kleinen Drehzahlen“
Zuviel Strom führt zur Erwärmung des Motors	- Prüfen, ob die Motor-Nennspannung (P1-07) richtig eingestellt ist - Prüfen, ob der Motor-Nennstrom (P1-08) richtig eingestellt ist - Falls der Antrieb über längere Zeit bei kleinen Drehzahlen betrieben wurde: Parameter für Drehmomentanhebung (P7-14 / P7-15) überprüfen
Motor kippt	- Verbindung zum Motor überprüfen - Werte der Motorparameter (P1-07 ... P1-10) überprüfen - Motoridentifikation überprüfen, evtl. wiederholen - Last zu hoch → reduzieren - Beschleunigungs- (P1-03) und Verzögerungszeit (P1-04) zu kurz → verlängern - Nächsthöhere Baugröße von Frequenzumrichter / Motor verwenden
Instabile Drehzahl	- Überprüfen, ob die Schaltfrequenz (P2-24) mindestens 16 kHz beträgt - Werte der Motorparameter (P1-07 ... P1-10) überprüfen - Motoridentifikation überprüfen, evtl. wiederholen - Einstellungen des Drehzahlreglers überprüfen (P4-03 / P4-04), eventuell Verstärkungen reduzieren
Schlechte Dynamik des Motors, lange Reaktionszeiten	- Werte der Motorparameter (P1-07 ... P1-10) überprüfen - Motoridentifikation überprüfen, evtl. wiederholen - Einstellungen des Drehzahlreglers überprüfen (P4-03 / P4-04), eventuell Verstärkungen erhöhen

Beispiel für die Eingabe von Motorparametern

Aus dem Datenblatt eines Motorherstellers:

n_N [r/min]	M_O [Nm]	M_{max} [Nm]	M_N [Nm]	P_N [kW]	I_O [A]	I_N [A]	I_{max} [A]	$U_{N,AC}$ [V]	f_N [Hz]
3600	11.0	29.0	7.50	2.80	10.0	7.50	33.0	295	240
$N_{100\%}$ [%]	J [kgcm]	$KE_{LL150^\circ C}$ [V / 1000rpm]		$R_{UV20^\circ C}$ [Ω]	$R_{UV150^\circ C}$ [Ω]	L_N [mH]	$K_{t0\ 150^\circ C}$ [Nm/A]	$N_{max}^{2)}$ [r/min]	$m^{1)}$ [kg]
92	8.10	64.2		1.00	1.35	12.5	1.09	6000	10.7

Eingestellte Motor-Parameter:

- P1-07 = $KE \cdot n_N = 64,2 \text{ V} / 1000 \text{ rpm} \cdot 3600 \text{ r/min} = 231 \text{ V}^*$
- P1-08 = 7.5 A
- P1-09 = 240 Hz
- P1-10 = 3600 r/min

Weitere wichtige Einstellungen

- Menu Level 3 freigeben. (Wert von P6-30 in P1-14 eingeben. Werkseinstellung: 201)
- Die Schaltfrequenz (P2-24) muss mindestens 16 kHz betragen (= Werkseinstellung)
- Steuerungsmodus mit P4-01 vorwählen (hier: 3 → PM-Motor mit Drehzahlregelung)
- Motoridentifikation mit P4-02 durchführen
- Motorverhalten bei Start und kleinen Drehzahlen optimieren. In diesem Beispiel waren folgende Parameter optimal: P7-14 = 25 %, P7-15 = 10 %. Die Werte sind applikationsabhängig!
- Drehzahlregler, falls erforderlich, optimieren.
- Magnetisierungszeit mit P7-12, falls erforderlich. optimieren