

PowerXL™

DG1 Frequenzumrichter Lastverteilung in Mehrmotorenanwendungen



Level 1	<ul style="list-style-type: none">1 – Fundamental – keine weiteren Kenntnisse nötig2 – Basic – Grundwissen empfehlenswert3 – Fortgeschritten – Grundwissen notwendig4 – Expert – Praxiserfahrung in dem Thema empfehlenswert
---------	---

EATON

Powering Business Worldwide

Inhalt

1	Allgemeines	5
2	Lastaufteilung über den Schlupf.....	6
3	Lastaufteilung mit Hilfe der Droop-Funktion	7
3.1	Anwendungsbeispiel	8
4	Einstellbare Lastaufteilung durch Drehmomentregelung.....	9

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 die 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, Verfahrweg, 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.

1 Allgemeines

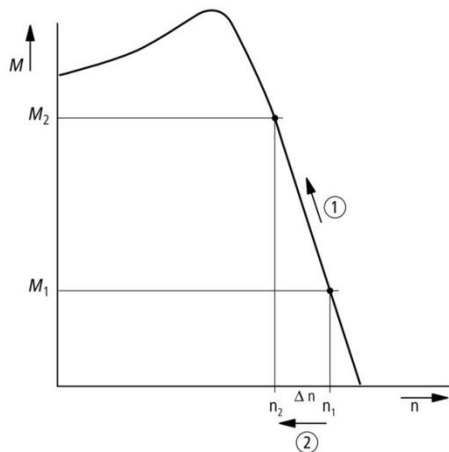
In den Fällen, in denen mehrere Motoren mechanisch fest oder durch Reibschluss miteinander verbunden sind, besteht die Forderung nach einer gleichmäßigen Aufteilung der Last. Bereits kleinste Abweichungen in der mechanischen Ausführung der am System beteiligten Antriebe oder aber Fertigungstoleranzen können zu einer ungleichmäßigen Lastaufteilung führen. Um ein ordnungsgemäßes Funktionieren der Applikation zu gewährleisten und thermische Überlastung einzelner Motoren zu verhindern, gibt es neben einer Überdimensionierung weitere Maßnahmen, um die Last gleichmäßig zu verteilen.

Wie in vielen anderen Fällen auch, gibt es hier verschiedene Lösungen, die sich in Komplexität und Kosten voneinander unterscheiden. Grundsätzlich ist man daran interessiert, die Variante mit dem besten Preis/Leistungs-Verhältnis zu wählen, letztendlich bestimmt aber die Applikation, welche technische Lösung einsetzbar ist. Diese Application Note beschreibt drei der möglichen Lösungen in Verbindung mit geregelten Antrieben und gibt Hinweise auf die richtige Auswahl.

Die folgenden Kapitel beschreiben die Funktionsweise der verschiedenen Lösungen. Unten stehende Tabelle gibt einen Überblick über die wesentlichen Merkmale / Unterschiede.

	Steuerung über den Schlupf	Droop-Funktion	Gleichlastregelung
Art der Regelung	Drehzahlregelung	Drehzahlregelung	1 Motor mit Drehzahlregelung alle anderen mit Drehmomentregelung
Anzahl der Frequenzumrichter	1 Frequenzumrichter pro Motor; Parallelschaltung von Motoren an einem Gerät ist möglich.	1 Frequenzumrichter pro Motor	1 Frequenzumrichter pro Motor
Lastaufteilung durch	Schlupf	lastabhängiger Korrekturwert	Drehmomentregelung
Genauigkeit der Aufteilung	+	++	+++
Motoren (Leistung, Hersteller...)	gleiche Motoren erforderlich	unterschiedliche Motoren möglich	unterschiedliche Motoren möglich
Kraftübertragung zwischen den Antrieben	vorzugsweise Reibschluss, starre Kopplung in einigen Anwendungsfällen möglich.	vorzugsweise Reibschluss, starre Kopplung in einigen Anwendungsfällen möglich.	starre Kopplung und Reibschluss möglich. Im Falle von Reibschluss wird eine Drehzahlbegrenzung empfohlen.

2 Lastaufteilung über den Schlupf



Die Drehzahl eines Drehstrom-Asynchronmotors ist lastabhängig. Versorgt man ihn mit der auf dem Typenschild angegebenen Spannung und Frequenz, so dreht er im Leerlauf fast bis zur synchronen Drehzahl, während die Drehzahl bei Nennlast der auf dem Typenschild angegebenen Nenndrehzahl entspricht. Bei einem Netz von 50 Hz und einem vierpoligen Motor bedeutet dies, dass der Motor im Leerlauf mit annähernd 1500 min^{-1} dreht und bei Nennlast mit z.B. 1470 min^{-1} . Die Differenz zwischen der synchronen Drehzahl (= Drehfeld-drehzahl) und der Drehzahl der Motorwelle nennt man Schlupf.

Im linken Beispiel ist der Motor mit dem Moment M_1 belastet und dreht mit Drehzahl n_1 . Die Belastung wird auf M_2 erhöht ① → Konsequenz: die Drehzahl sinkt auf n_2 ②.

Dieses Verhalten nutzt man bei einer schlupfabhängigen Aufteilung der Last. Diese einfachste Art der „automatischen“ Lastaufteilung setzt voraus, dass sowohl die Mechanik als auch die Motoren der am System beteiligten Antriebe identisch ist. In der Theorie haben die Motoren alleine per Definition in solchen Fällen die gleiche Belastung, aber Toleranzen, Temperaturverhalten und kleinere mechanische Abweichungen lässt die Belastung auseinanderdriften, selbst wenn sie beim Einschalten identisch war.

Wie funktioniert aber dann der Lastausgleich? Der mehr belastete Motor fällt in der Drehzahl etwas ab und der andere muss in diesem Fall automatisch mehr Last übernehmen. So lässt sich eine annähernd gleiche Lastaufteilung erzielen. Die Lastaufteilung lässt sich bei diesem Prinzip nicht einstellen, sondern ist durch das System gegeben. Daher ist etwas Reserve bei der Dimensionierung der Motorleistung sinnvoll.

Der Frequenzumrichter DG1 muss im Steuerungsmodus „U/f Regelung“ arbeiten ($P8.1 = 0$). Wenn jeder Motor über einen eigenen Frequenzumrichter versorgt wird, so ist die Parametrierung der Geräte identisch vorzunehmen.

Parameter	Name	Wertebereich	Werk
P8.1	Steuerungsmodus	U/f Regelung (0) Drehzahlregelung (1) Drehzahlregelung (OL) (5) Drehmomentregelung (OL) (6)	U/f Regelung (0)

Es besteht auch die Möglichkeit, mehrere Motoren parallel an einem Frequenzumrichter zu betreiben. Hierbei ist zu beachten, dass jeder Motor einen eigenen Überlastschutz haben muss, da innerhalb des Frequenzumrichters zwar der Summenstrom bekannt ist, nicht aber die Stromaufteilung zwischen den einzelnen Motoren.

3 Lastaufteilung mit Hilfe der Droop-Funktion

In den Fällen, in denen drehzahlgeregelte Antriebe durch Formschluss oder Reibung miteinander verbunden sind, übernimmt der jeweils schnellste Antrieb die Last und zieht die anderen Antriebe mit, die dann weniger, im Extremfall gar nicht belastet sind. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, wird der Drehzahlsollwert belastungsabhängig korrigiert. Bei einer Lasterhöhung reduziert die Droop-Funktion den resultierenden Drehzahlsollwert (vorgegebener Sollwert - Drehzahlreduzierung), der Antrieb fällt in der Drehzahl etwas zurück und die anderen am System beteiligten Antriebe übernehmen automatisch mehr Last.

Anwendungserfahrungen zeigen, dass es in vielen Fällen von Vorteil ist, wenn innerhalb eines Mehrmotorensystems ein Motor ohne freigegebene Droop-Funktion läuft (P8.13 „DroopMax“ = 0.00 %), während diese bei den anderen Motoren im System freigegeben ist (P8.13 „DroopMax“ ungleich 0.00 %). Der mit P8.13 vorgegebene Wert ist der Prozentsatz, um den die Drehzahl des Motors bei Motornennmoment reduziert wird. Bei geringerer Belastung reduziert sich der Korrekturwert entsprechend.

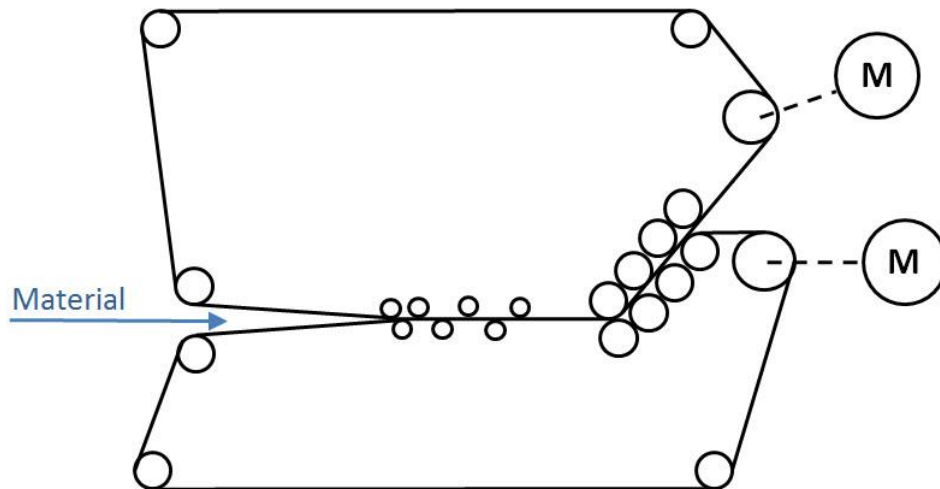
In Ausnahmefällen kann es aber auch günstiger sein, die Droop-Funktion bei allen Antrieben zu aktivieren.

Der Einstellwert von „DroopMax“ ist applikationsabhängig und kann nicht generell angegeben werden. Ein guter Wert zum Starten ist 5.0 %. Bei der Einstellung kann dieser Wert schrittweise verändert werden, bis eine gleichmäßige Lastverteilung auf die Antriebe erreicht ist. Der jeweilige Strom kann an der Bedieneinheit abgelesen werden.

Der Frequenzumrichter DG1 sollte im Steuerungsmodus „Drehzahlregelung (OL)“ arbeiten (P8.1 = 5), um das beste Ergebnis zu erzielen.

Parameter	Name	Wertebereich	Werk
P8.1	Steuerungsmodus	U/f Regelung (0) Drehzahlregelung (1) Drehzahlregelung (OL) (5) Drehmomentregelung (OL) (6)	U/f Regelung (0)
P8.13	DroopMax	0.00 % ... 100.00 %	0.00 %

3.1 Anwendungsbeispiel



Material wird zwischen zwei Bändern durch eine Maschine transportiert. Jedes Band wird durch einen eigenen Motor angetrieben. Durch den Anpressdruck sind beide Bänder mechanisch miteinander verbunden. Wenn einer der beiden Motoren nur ein wenig schneller zu laufen versucht als der andere, ergibt sich eine ungleiche Lastverteilung.

Ohne aktivierte Droop-Funktion ist Motor 1 mit 80 % seines Nennmoments belastet, Motor 2 mit 85 %. Motor 2 wird aufgrund der höheren Belastung wärmer werden als Motor 1, möglicherweise ist der Drehzahlunterschied auch auf dem Material sichtbar, das durch die Bänder transportiert wird..

Nun wird die Droop-Funktion mit P8.13 bei beiden Geräten aktiviert. Das System wird sich iterativ auf eine gleiche Belastung einstellen. Werte zu Beginn (Wir betrachten die Wirkungsweise bei 40 Hz / P1.9 = 50 Hz / P8.13 = 10.00 %):

$$\text{Sollwert für Motor 1: } 40 \text{ Hz} - ((10 \% \cdot 50 \text{ Hz}) \cdot 80 \%) = 36 \text{ Hz}$$

$$\text{Sollwert für Motor 2: } 40 \text{ Hz} - ((10 \% \cdot 50 \text{ Hz}) \cdot 85 \%) = 35,75 \text{ Hz}$$

Motor 2 läuft nun langsamer als Motor 1 → Die Belastung für Motor 1 steigt an → Dadurch wird Motor 2 entlastet Dieser Prozess wiederholt sich, bis eine gleiche Lastverteilung erreicht ist. Bleibende Unterschiede in der Stromaufnahme der beiden Motoren lassen sich über P8.13 anpassen.

4 Einstellbare Lastaufteilung durch Drehmomentregelung

In diesem System gibt es einen drehzahlgeregelten Antrieb und einen oder mehrere drehmomentgeregelte. Der drehzahlgeregelte Antrieb gibt die Drehzahl des Systems vor, während die Regelgröße für die anderen Antriebe das Drehmoment ist. Es ist hier möglich, auch Antriebe unterschiedlicher Leistung im System zu haben und nicht nur identische Belastungen, sondern auch Verhältnisse ... einzustellen. Eine Drehmomentregelung ist komplexer als die bisher in den Kapiteln 2 und 3 beschriebenen Möglichkeiten, bietet jedoch auch wesentlich mehr Möglichkeiten und ist genauer als die beiden anderen Prinzipien, die jedoch in einfacheren Anwendungen durchaus ihre Berechtigung haben, da einfach und kostengünstig.

Die Drehmomentregelung wird umfassend in der Application Note „AP040167DE Drehmomentregelung“ beschrieben.

Auf einen wichtigen Aspekt soll aber auch an dieser Stelle eingegangen werden: Bei einer Drehmomentregelung versucht der Antrieb immer, das geforderte Drehmoment (bzw. den Zug bei Linearbewegungen) auf die Last zu übertragen. Sollte das nicht der Fall sein, wird das Drehmoment zur Beschleunigung benutzt und der drehmomentgeregelte Antrieb läuft bis zu seiner maximal möglichen Drehzahl. Das ist unkritisch, sofern der drehzahlgeregelte und die drehmomentgeregelten Antriebe mechanisch starr miteinander verbunden sind, zum Beispiel durch Ritzel, die auf denselben Zahnkranz arbeiten. Sollten die Drehzahlen jedoch nicht mechanisch fest synchronisiert sein und es ist ein Schlupf möglich, so wird dringend empfohlen, die Drehzahl des drehmomentgeregelten Antriebs nach oben zu begrenzen. Die hierzu erforderlichen Einstellungen und Aspekte sind in der oben genannten Application Note AP040167DE ausführlich beschrieben.