

maxon motor ag Brünigstrasse 220 CH – 6072 Sachseln <a href="http://www.maxonmotor.com">www.maxonmotor.com</a>	<b>PWM Leistungsendstufen: Stromrippe &amp; externe Motordrosseln</b>	Version: 1.1 (Dt.) Autor: WJ Datum: 2022-07-05
---	---	--

## Steuerungen und Verstärker mit PWM Leistungsendstufen: Stromrippe und externe Motordrosseln?

Moderne Motorsteuerungen und Verstärker basieren auf einem PWM Leistungsausgang, bei welchem die notwendige Motorspannung durch eine permanente Variation der PWM Pulsbreite erzeugt wird. Die PWM gesteuerte Motorspannung verursacht einen Stromrippe bedingt durch den Stromanstieg und –rückgang in der Motorwicklung in jedem PWM Zyklus. Der Stromrippe kann zu einer zusätzlichen Erwärmung der Motorwicklung (selbst im Stillstand und ohne Last) führen. Der maximale Peak-to-Peak Wert ( $I_{PP}$ ) des Stromrippels hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab. Der Zusammenhang wird auch anhand der Formeln auf den beiden letzten Seiten dieses Dokuments sichtbar.

### Stromrippe: Einflussfaktoren

- Die PWM-Frequenz  $f_{PWM}$  der Leistungsendstufe:
  - Je höher die PWM-Frequenz, desto kleiner ist der Stromrippe.
- Das PWM-Schema der Leistungsendstufe:
  - Bei 4-Q Motorsteuerungen mit einem 2-Level PWM ist der Stromrippe grösser als bei 1-Q Motorsteuerungen oder 4-Q Motorsteuerungen mit 3-Level PWM.
- Die Versorgungsspannung  $V_{CC}$ :
  - Je kleiner die Versorgungsspannung, desto kleiner ist der Stromrippe.
- Die wirksame Gesamtinduktivität  $L_{tot}$  des Motors und eventuell vorhandener Motordrosseln:
  - Je höher die Induktivität  $L_{tot}$ , desto kleiner ist der Stromrippe.
- Die Last im Verhältnis zum Nennstrom  $I_{Cont}$  des Motors (siehe Katalogdatenblatt):
  - Je kleiner die Last, desto mehr Stromrippe ist zulässig ohne den Motor zu überhitzen.

### Motordrosseln?

Zusätzliche Drosseln (in Ergänzung zu der Induktivität der Motorwicklung) können den Stromrippe stark reduzieren. Solche Drosseln können bereits in die Leistungsendstufe der Steuerung integriert sein (wie bei maxon häufig üblich) oder können extern in Serie zu der Motorleitung verdrahtet werden.

Durch den Einsatz von Motordrosseln ergeben sich verschiedene Vorteile:

- Motordrosseln schützen den Motor vor Überhitzung durch übergrossen Stromrippe:
  - Durch zusätzliche Motordrosseln wird der durch die PWM verursachte Stromrippe verkleinert und damit die zusätzliche Wärmeentwicklung im Motor reduziert.
- Motordrosseln können in Spezialfällen notwendig sein um die Stabilität des Stromreglers zu garantieren:
  - Bei einzelnen Steuerung wird teilweise eine "minimal notwendige Anschlussinduktivität" spezifiziert.
- Motordrosseln verhindern das ungewollte Ansprechen der Spitzenwert-Strombegrenzung, z.B. bei „DEC Module 24/2“ und „DEC Module 50/5“ mit niederinduktiven Motoren an hoher Versorgungsspannung.
- Externe Motordrosseln sind beim Betrieb von bürstenbehafteten DC Motoren mit CLL-Scheiben an Verstärkern ohne eingebaute Drosseln dringend empfohlen.

## maxon motor control

maxon motor ag Brünigstrasse 220 CH – 6072 Sachseln <a href="http://www.maxonmotor.com">www.maxonmotor.com</a>	<b>PWM Leistungsendstufen:                  Stromripple                  &amp; externe Motordrosseln</b>	Version: 1.1 (Dt.) Autor: WJ Datum: 2022-07-05
---	--	--

### maxon Steuerungen und Verstärker:

Die meisten maxon Steuerungen besitzen direkt in der Endstufe integrierte Motordrosseln und hohe PWM-Frequenzen, durch welche häufig kein Bedarf für externe Drosseln mehr besteht. Die folgende Tabellen geben einen Überblick über die meisten maxon Steuerungen und Verstärker.

Die technischen Daten (PWM Frequenz, integrierte Drosseln) von nachfolgend nicht aufgelisteten Produktvarianten können den Datenblättern im maxon Katalog (-> <http://epaper.maxongroup.de>), den maxon Produktwebsites oder der «Hardware-Referenz» der gewählten Produktvariante entnommen werden. In allen diesen genannten Dokumenten finden sich auch weitere Spezifikationsdaten.

Von den integrierten (meist drei) Drosseln sind jeweils aufgrund der Wicklungskommutierung (bei bürstenlosen Motoren) immer nur zwei aktiv, d.h. die relevante Induktivität berechnet sich als Summe der Induktivität von jeweils nur zwei Drosseln. Dies gilt ebenfalls auch bei bürstenbehafteten Motoren. Hier wird eine Drosseln gar nie bestromt.

### Aktuelle maxon Steuerungen und Verstärker:

maxon Steuerungen bzw. Verstärker	PWM Frequenz $f_{\text{PWM}}$	PWM Schema	Integrierte Motordrosseln $L_{\text{int}}$ (Phase-Phase)	Minimale Anschluss-induktivität
<b>EPOS4 Produktlinie</b> (Auszug des Produktprogramms)				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prinzipiell besitzen alle EPOS4 Produktvarianten eine «3-Level PWM».</li> <li>• Module besitzen prinzipiell keine Drosseln. Diese müssen auf dem sogenannte Motherboard vorgesehen werden. Beachten Sie die Hinweise im Kapitel «Motherboard Design Guide» der jeweiligen «Hardware-Referenz».</li> </ul>				
EPOS4 Micro 24/5	50 kHz	3-Level (4-Q)	-	-
EPOS4 Module 24/1.5	100 kHz	3-Level (4-Q)	-	-
EPOS4 Compact 24/1.5 CAN	100 kHz	3-Level (4-Q)	188 $\mu\text{H}$ (=94 $\mu\text{H}$ + 94 $\mu\text{H}$ )	-
EPOS4 Compact 24/1.5 EtherCAT	100 kHz	3-Level (4-Q)	200 $\mu\text{H}$ (=100 $\mu\text{H}$ + 100 $\mu\text{H}$ )	-
EPOS4 Module 50/5	50 kHz	3-Level (4-Q)	-	-
EPOS4 Compact 50/5 CAN	50 kHz	3-Level (4-Q)	18.8 $\mu\text{H}$ (=9.4 $\mu\text{H}$ + 9.4 $\mu\text{H}$ )	-
EPOS4 Compact 50/5 EtherCAT	50 kHz	3-Level (4-Q)	20 $\mu\text{H}$ (=10 $\mu\text{H}$ + 10 $\mu\text{H}$ )	-
EPOS4 Module 50/8	50 kHz	3-Level (4-Q)	-	-
EPOS4 Compact 50/8 CAN	50 kHz	3-Level (4-Q)	4.4 $\mu\text{H}$ (=2.2 $\mu\text{H}$ + 2.2 $\mu\text{H}$ )	-
EPOS4 Compact 50/8 EtherCAT	50 kHz	3-Level (4-Q)	4.4 $\mu\text{H}$ (=2.2 $\mu\text{H}$ + 2.2 $\mu\text{H}$ )	-
EPOS4 Module 50/15	50 kHz	3-Level (4-Q)	-	-
EPOS4 Compact 50/15 CAN	50 kHz	3-Level (4-Q)	4.4 $\mu\text{H}$ (=2.2 $\mu\text{H}$ + 2.2 $\mu\text{H}$ )	-
EPOS4 Compact 50/15 EtherCAT	50 kHz	3-Level (4-Q)	4.4 $\mu\text{H}$ (=2.2 $\mu\text{H}$ + 2.2 $\mu\text{H}$ )	-
EPOS4 50/5	50 kHz	3-Level (4-Q)	30 $\mu\text{H}$ (=15 $\mu\text{H}$ + 15 $\mu\text{H}$ )	-

## maxon motor control

maxon motor ag Brünigstrasse 220 CH – 6072 Sachseln <a href="http://www.maxonmotor.com">www.maxonmotor.com</a>	<b>PWM Leistungsendstufen:                  Stromripple                  &amp; externe Motordrosseln</b>	Version: 1.1 (Dt.) Autor: WJ Datum: 2022-07-05
---	--	--

maxon Steuerungen bzw. Verstärker	PWM Frequenz $f_{\text{PWM}}$	PWM Schema	Integrierte Motordrosseln $L_{\text{int}}$ (Phase-Phase)	Minimale Anschluss-induktivität
EPOS4 70/15	50 kHz	3-Level (4-Q)	30 $\mu\text{H}$ (=15 $\mu\text{H}$ + 15 $\mu\text{H}$ )	-
EPOS4 Disk 60/8 CAN	50 kHz	3-Level (4-Q)	-	-
EPOS4 Disk 60/8 EtherCAT	50 kHz	3-Level (4-Q)	-	-
EPOS4 Disk 60/12 CAN	50 kHz	3-Level (4-Q)	-	-
EPOS4 Disk 60/12 EtherCAT	50 kHz	3-Level (4-Q)	-	-
<b>ESCON Produktlinie</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausser der «ESCON EC-S» (= sensorlose Steuerung) besitzen alle ESCON-Produktvarianten eine «3-Level PWM». Nur bei der «ESCON EC-S» kommt aufgrund der Gegen-EMK Detektion zur sensorlosen Kommutierung eine 2-Level PWM zum Einsatz.</li> <li>• Module besitzen prinzipiell keine Drosseln. Diese müssen auf dem sogenannte Motherboard vorgesehen werden. Beachten Sie die Hinweise im Kapitel «Motherboard Design Guide» der jeweiligen «Hardware-Referenz».</li> </ul>				
ESCON Module 24/2	53.6 kHz	3-Level (4-Q)	-	-
ESCON 36/2 DC	53.6 kHz	3-Level (4-Q)	300 $\mu\text{H}$	-
ESCON 36/3 EC	53.6 kHz	3-Level (4-Q)	94 $\mu\text{H}$ (=47 $\mu\text{H}$ + 47 $\mu\text{H}$ )	-
ESCON Module 50/4 EC-S	53.6 kHz	<b>2-Level (4-Q)</b>	-	-
ESCON 50/5	53.6 kHz	3-Level (4-Q)	60 $\mu\text{H}$ (=30 $\mu\text{H}$ + 30 $\mu\text{H}$ )	-
ESCON Module 50/5	53.6 kHz	3-Level (4-Q)	-	-
ESCON Module 50/8 (HE)	53.6 kHz	3-Level (4-Q)	-	-
ESCON 70/10	53.6 kHz	3-Level (4-Q)	30 $\mu\text{H}$ (=15 $\mu\text{H}$ + 15 $\mu\text{H}$ )	-
<b>DEC Module</b>				
DEC Module 24/2	46.8 kHz	1Q	-	-
DEC Module 50/5	46.8 kHz	1Q	-	-

## maxon motor control

maxon motor ag Brünigstrasse 220 CH – 6072 Sachseln <a href="http://www.maxonmotor.com">www.maxonmotor.com</a>	<b>PWM Leistungsendstufen:                  Stromripple                  &amp; externe Motordrosseln</b>	Version: 1.1 (Dt.) Autor: WJ Datum: 2022-07-05
---	--	--

### NRND (= nicht empfohlen für Neuprojekte) und abgekündigte Produkte

maxon Steuerungen bzw. Verstärker	PWM Frequenz $f_{\text{PWM}}$	PWM Schema	Integrierte Motordrosseln $L_{\text{int}}$ (Phase-Phase)	Minimale Anschluss-induktivität
<b>MAXPOS Produktlinie</b>				
MAXPOS 50/5	100 kHz	3-Level (4-Q)	20 $\mu\text{H}$ (=10 $\mu\text{H}$ + 10 $\mu\text{H}$ )	-
<b>EPOS3 Produktlinie</b>				
EPOS3 70/10	50 kHz	3-Level (4-Q)	44 $\mu\text{H}$ (=22 $\mu\text{H}$ + 22 $\mu\text{H}$ )	-
<b>EPOS2 Produktlinie</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prinzipiell besitzen alle EPOS2 Produktvarianten eine «3-Level PWM».</li> </ul>				
EPOS2 24/2	100 kHz	3-Level (4-Q)	94 $\mu\text{H}$ (=47 $\mu\text{H}$ + 47 $\mu\text{H}$ )	-
EPOS2 Module 36/2	50 kHz	3-Level (4-Q)	20 $\mu\text{H}$ (=10 $\mu\text{H}$ + 10 $\mu\text{H}$ )	-
EPOS2 24/5 EPOS2 P 24/5	50 kHz	3-Level (4-Q)	30 $\mu\text{H}$ (=15 $\mu\text{H}$ + 15 $\mu\text{H}$ )	-
EPOS2 50/5	50 kHz	3-Level (4-Q)	44 $\mu\text{H}$ (=22 $\mu\text{H}$ + 22 $\mu\text{H}$ )	-
EPOS2 70/10	50 kHz	3-Level (4-Q)	50 $\mu\text{H}$ (=25 $\mu\text{H}$ + 25 $\mu\text{H}$ )	-
<b>EPOS Produktlinie</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prinzipiell besitzen alle EPOS Produktvarianten eine «3-Level PWM»</li> </ul>				
EPOS 24/1 #280937, #302267, #302287	50 kHz	3-Level (4-Q)	300 $\mu\text{H}$ (=150 $\mu\text{H}$ + 150 $\mu\text{H}$ )	-
EPOS 24/1 #317270	50 kHz	3-Level (4-Q)	660 $\mu\text{H}$ (=330 $\mu\text{H}$ + 330 $\mu\text{H}$ )	-
EPOS 24/5 EPOS P 24/5	50 kHz	3-Level (4-Q)	30 $\mu\text{H}$ (=15 $\mu\text{H}$ + 15 $\mu\text{H}$ )	-
EPOS 70/10	50 kHz	3-Level (4-Q)	50 $\mu\text{H}$ (=25 $\mu\text{H}$ + 25 $\mu\text{H}$ )	-
<b>DEC Produktlinie</b>				
DEC 24/1	39 kHz	1Q	300 $\mu\text{H}$ (=150 $\mu\text{H}$ + 150 $\mu\text{H}$ )	-
DEC 24/3	39 kHz	1Q	-	-
DEC 50/5	39 kHz	1Q	-	-
DEC 70/10	50 kHz	2-Level (4-Q)	50 $\mu\text{H}$ (=25 $\mu\text{H}$ + 25 $\mu\text{H}$ )	-
DECS 50/5	50 kHz	1Q	-	-
DES 50/5	50 kHz	3-Level (4-Q)	320 $\mu\text{H}$ (=160 $\mu\text{H}$ + 160 $\mu\text{H}$ )	-
DES 70/10	50 kHz	3-Level (4-Q)	-	> 400 $\mu\text{H}$

## maxon motor control

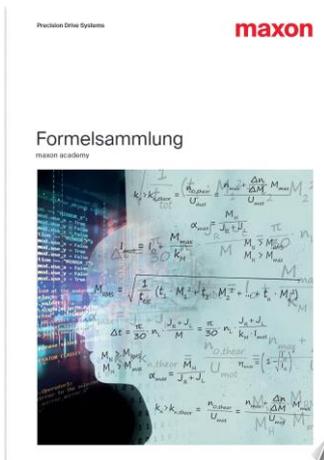
maxon motor ag Brünigstrasse 220 CH – 6072 Sachseln <a href="http://www.maxonmotor.com">www.maxonmotor.com</a>	<b>PWM Leistungsendstufen:                  Stromripple                  &amp; externe Motordrosseln</b>	Version: 1.1 (Dt.) Autor: WJ Datum: 2022-07-05
---	--	--

maxon Steuerungen bzw. Verstärker	PWM Frequenz $f_{\text{PWM}}$	PWM Schema	Integrierte Motordrosseln $L_{\text{int}}$ (Phase-Phase)	Minimale Anschluss-induktivität
<b>ADS Produktlinie</b>				
ADS 50/5 ADS_E 50/5	50 kHz	2-Level (4-Q)	150 $\mu\text{H}$	-
ADS 50/10 ADS_E 50/10	50 kHz	2-Level (4-Q)	75 $\mu\text{H}$	-
<b>MIP Produktlinie</b>				
MIP 10	60 kHz	3-Level (4-Q)	1000 $\mu\text{H}$	-
MIP 50	60 kHz	2-Level (4-Q)	320 $\mu\text{H}$ (=160 $\mu\text{H}$ + 160 $\mu\text{H}$ )	> 60 $\mu\text{H}$ @24VDC > 90 $\mu\text{H}$ @ 48VDC
MIP 100	60 kHz	3-Level (4-Q)	20 $\mu\text{H}$ (=10 $\mu\text{H}$ + 10 $\mu\text{H}$ )	> 35 $\mu\text{H}$ @24VDC > 90 $\mu\text{H}$ @48VDC

**Formeln, ....**

Um den Stromripple zu berechnen und die Notwendigkeit von zusätzlichen Motordrosseln zu überprüfen, gibt es ein paar einfache Formeln und "Daumenregeln".

Die Informationen auf den folgenden Seiten sind der maxon "Formelsammlung" (auf Seite 46) entnommen. (-> <http://formulaehandbook.maxongroup.de>)



Die maxon "Formelsammlung" ist die Basis für die Antriebsauslegung ausgehend von Anwendungsanforderungen.

Die "Formelsammlung" bietet einen umfassenden Überblick und eine Vielzahl an Formeln für die Bewertung von mechanischen, elektrischen und thermischen Aspekten der Antriebs- und Steuerungsauslegung.

Die maxon "Formelsammlung" ist kostenlos! Bitte fragen Sie bei Ihrem lokalen maxon Vertriebspartner für die gedruckte Version der Formelsammlung an oder laden Sie die PDF Version von der maxon Website.

Ihr maxon Vertriebspartner berät Sie auch gerne bei der Motor- und Steuerungsauswahl basierend auf den Anforderungen Ihrer Anwendung.

**Berechnung des Stromrippel**

Berechnung Stromrippel			
PWM Schema	1-Q	2-Level (4-Q)	3-Level (4-Q)
Maximaler Stromrippel Peak-to-Peak	$\Delta I_{PP,max} = \frac{V_{CC}}{4 \cdot L_{tot} \cdot f_{PWM}}$	$\Delta I_{PP,max} = \frac{V_{CC}}{2 \cdot L_{tot} \cdot f_{PWM}}$	$\Delta I_{PP,max} = \frac{V_{CC}}{4 \cdot L_{tot} \cdot f_{PWM}}$
Berechnung $L_{tot}$	$L_{tot} = L_{int} + 0.3...0.8 \cdot L_{mot} + L_{ext}$		
<p>Die effektiv wirkende Motorinduktivität bei rechteckförmiger PWM-Anregung beträgt nur ca. 30 – 80% des Katalogwertes <math>L_{mot}</math>.</p> <p>Der Katalogwert <math>L_{mot}</math> ist bei einer Frequenz von 1 kHz mit sinusförmiger Anregung definiert.</p>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bei Stromrippeln <math>\Delta I_{PP} \leq 1.5 \cdot I_N</math> kann der Motor noch bis etwa 90% des Nennstroms <math>I_N</math> (Katalogwert) belastet werden.</li> <li>– Bei Stromrippeln <math>\Delta I_{PP} &gt; 1.5 \cdot I_N</math> wird der Einsatz einer externen Motordrossel nach untenstehender Formel empfohlen.</li> </ul>			

maxon motor ag Brünigstrasse 220 CH – 6072 Sachseln <a href="http://www.maxonmotor.com">www.maxonmotor.com</a>	<b>PWM Leistungsendstufen: Stromripple &amp; externe Motordrosseln</b>	Version: 1.1 (Dt.) Autor: WJ Datum: 2022-07-05
---	--	--

## Daumenregeln

- maxon's 4-Q Steuerungen basieren auf einem 3-Level PWM Schema. Es kann deshalb die Formel  $I_{PP} = V_{CC} / (4 * L_{tot} * f_{PWM})$  zur Abschätzung des Stromrippels zugrunde gelegt werden, welche für 1-Q und 4Q (3-Level PWM) Steuerungen gilt.
- Die effektive Induktivität der Motorwicklungen beträgt bei PWM Frequenzen von 50 – 100 kHz lediglich 30-80% des spezifizierten Werts im Motor-Datenblatt (bei welchem die Angabe auf einer Frequenz von 1 kHz basiert). Zu Berechnung der effektiven Induktivität sollte der spezifizierte Wert deshalb mit 0.3 multipliziert werden.
- In die Gesamtinduktivität  $L_{tot}$  muss ebenfalls die Induktivität der internen Drosseln der Steuerung einberechnet werden. Es sind jeweils nur zwei der internen Drosseln (Phase – Phase) gleichzeitig bestromt.
- Falls der Stromripple  $I_{PP}$  kleiner ist als der 1.5-fache Motor-Nennstrom (gemäss Motordatenblatt) und die Motorlast ist tiefer als 90% des spezifizierten Motor-Nennmoments sind keine externen Motordrosseln erforderlich.

## Beispiel

- Motor: ECi-40, #449464
  - Nennstrom: 2.8 A
  - Anschlussinduktivität: 0.39 mH
- ESCON 50/5, #409510
  - PWM Frequenz: 53.6 kHz
  - Eingebaute Motordrossel: 3 x 30  $\mu$ H
- Versorgungsspannung:
  - $V_{CC}$ : 24 V
- Gesamtinduktivität:
  - $L_{tot} = (0.3 * 0.39 \text{ mH}) + (2 * 0.03 \text{ mH})$   
 $L_{tot} = 0.177 \text{ mH}$
- Stromripple:
  - $I_{PP} = V_{CC} / (4 * L_{tot} * f_{PWM})$
  - $I_{PP} = 24 \text{ V} / (4 * 0.177 \text{ mH} * 53.6 \text{ kHz})$   
 $I_{PP} = 0.63 \text{ A}$
- Schlussfolgerung:
  - Der Stromripple (= 0.63A) ist deutlich kleiner als der spezifizierte Nennstrom des Motors (= 2.8A), d.h. es sind keine zusätzlichen Massnahmen (w.e externe Motordrosseln) für den Betrieb erforderlich.

## maxon motor control

maxon motor ag  
Brünigstrasse 220  
CH – 6072 Sachseln  
[www.maxonmotor.com](http://www.maxonmotor.com)

### PWM Leistungsendstufen: Stromripple & externe Motordrosseln

Version: 1.1 (Dt.)  
Autor: WJ  
Datum: 2022-07-05

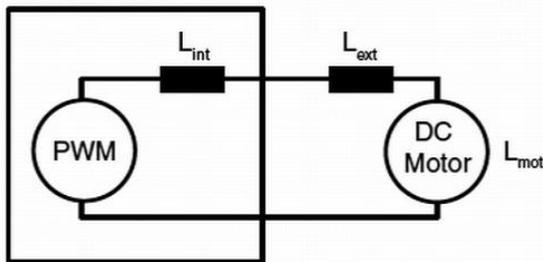
### Abschätzung der Notwendigkeit zusätzlicher Motordrosseln

#### Berechnung zusätzliche externe Motordrossel

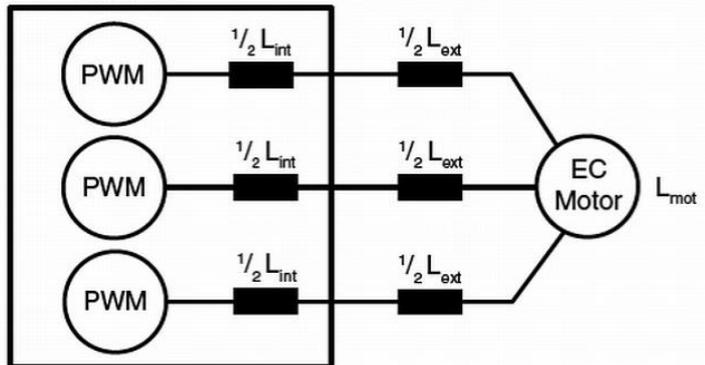
PWM-Schema	1-Q und 3-Level (4-Q)	2-Level (4-Q)
Faustformel	$L_{ext} = \frac{V_{CC}}{6 \cdot I_N \cdot f_{PWM}} - L_{int} - 0.3 \cdot L_{mot}$	$L_{ext} = \frac{V_{CC}}{3 \cdot I_N \cdot f_{PWM}} - L_{int} - 0.3 \cdot L_{mot}$

$L_{ext} \leq 0$     keine zusätzliche Motordrossel notwendig  
 $L_{ext} > 0$     zusätzliche Motordrossel empfohlen

DC Verstärker



EC Verstärker



Symbol	Name	SI	Symbol	Name	SI
$I_N$	Nennstrom Motor (Katalogwert)	A	$L_{tot}$	Gesamtinduktivität	H
$L_{ext}$	Induktivität, zusätzliche externe Motordrossel	H	$V_{CC}$	Versorgungsspannung	V
$L_{int}$	Induktivität, eingebaute Drossel Regler	H	$f_{PWM}$	PWM Frequenz	Hz
$L_{mot}$	Anschlussinduktivität Motor (Katalogwert)	H	$\Delta I_{PP}$	Stromripple Peak-to-Peak	A
			$\Delta I_{PP,max}$	Maximaler Stromripple Peak-to-Peak	A

#### Anmerkung:

maxon Steuerungen nutzen hohe PWM Frequenzen (50 – 100 kHz), ein 3-Level PWM Schema und besitzen häufig integrierte Motordrosseln passend zu dem typischen Einsatzbereich an Motoren. In der Summe können hierdurch bei einem möglichen Verzicht auf externe Motordrosseln die Verdrahtungs- und Systemkosten reduziert werden.

**Bei dem Einsatz von maxon Steuerungen werden in den meisten Fällen keine zusätzlichen Drosseln benötigt.** Nichtsdestotrotz sollten die obigen Formeln zur Überprüfung bei einer zu starken Motorerwärmung oder bei dem Einsatz von Produktvarianten in „Module“ Ausführung (ohne integrierte Drosseln) herangezogen werden.