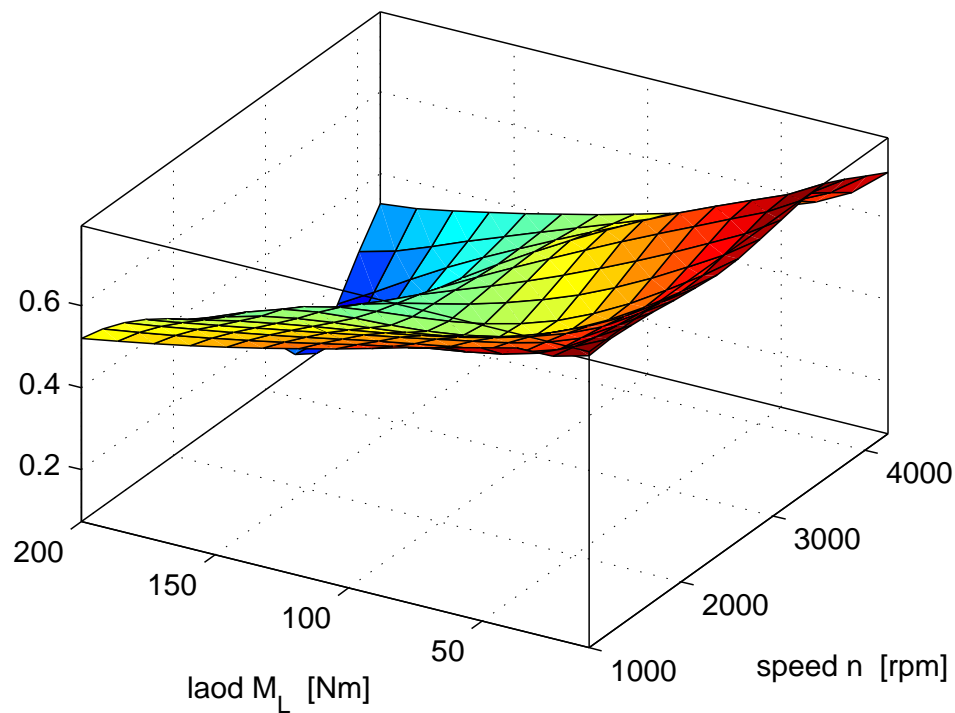


Bachelor Thesis

L^AT_EX -Template for Student
Projects

Spring Term 2020





Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Declaration of originality

The signed declaration of originality is a component of every semester paper, Bachelor's thesis, Master's thesis and any other degree paper undertaken during the course of studies, including the respective electronic versions.

Lecturers may also require a declaration of originality for other written papers compiled for their courses.

I hereby confirm that I am the sole author of the written work here enclosed and that I have compiled it in my own words. Parts excepted are corrections of form and content by the supervisor.

Title of work (in block letters):

Authored by (in block letters):

For papers written by groups the names of all authors are required.

Name(s):

First name(s):

With my signature I confirm that

- I have committed none of the forms of plagiarism described in the '[Citation etiquette](#)' information sheet.
- I have documented all methods, data and processes truthfully.
- I have not manipulated any data.
- I have mentioned all persons who were significant facilitators of the work.

I am aware that the work may be screened electronically for plagiarism.

Place, date

Signature(s)

For papers written by groups the names of all authors are required. Their signatures collectively guarantee the entire content of the written paper.

Abstract

Hier kommt der Abstact hin ...

Preface

Bla bla ...

Symbols

Symbols

ϕ, θ, ψ	roll, pitch and yaw angle
b	gyroscope bias
Ω_m	3-axis gyroscope measurement

Indices

x	x axis
y	y axis

Acronyms and Abbreviations

ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
EKF	Extended Kalman Filter
IMU	Inertial Measurement Unit
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UKF	Unscented Kalman Filter

Contents

Abstract	v
Preface	vii
Symbols	ix
1 Introduction	1
2 Einige wichtige Hinweise zum Arbeiten mit \LaTeX	3
2.1 Basics	3
2.2 Gliederungen	3
2.3 Referenzen und Verweise	3
2.4 Aufzählungen	4
2.5 Erstellen einer Tabelle	4
2.6 Einbinden einer Grafik	5
2.7 Mathematische Formeln	6
2.8 Weitere nützliche Befehle	6
2.8.1 Tiefe der Gliederung	6
Bibliography	9
A Irgendwas	11
B Datasheets	13

Chapter 1

Introduction

Hier kommt die Einleitung

Chapter 2

Einige wichtige Hinweise zum Arbeiten mit L^AT_EX

Nachfolgend wird die Codierung einiger oft verwendeten Elemente kurz beschrieben. Das Einbinden von Bildern ist in L^AT_EX nicht ganz unproblematisch und hängt auch stark vom verwendeten Compiler ab. Typisches Format für Bilder in L^AT_EX ist EPS¹ oder PDF².

2.1 Basics

Text kann durch die Befehle `\textit` (*italic*), `\texttt` (typewriter) und `\textbf` (**bold**) formatiert werden. Zeilenumbrüche im Text werden auch im PDF übernommen. Um eine leere Zeile einzufügen muss ein Zeilenumbruch (`\`) hinzugefügt werden.

Um Position weiter zu beeinflussen können die Befehle für `\vspace[Distanz]` und `\hspace[Distanz]` benutzt werden. Es können auch Kommentare im Code eingefügt werden mit `%`.

2.2 Gliederungen

Ein Text kann mit den Befehlen `\chapter{.}`, `\section{.}`, `\subsection{.}` und `\subsubsection{.}` gegliedert werden. Weiterhin kann das ganze Dokument in verschiedene Dateien gegliedert werden, welche durch den Befehl `\input{.}` eingefügt werden können.

2.3 Referenzen und Verweise

Literaturreferenzen werden mit dem Befehl `\citep{.}` und `\citet{.}` erzeugt. Beispiele: ein Buch [1], ein Buch und ein Journal Paper [1, 2], ein Konferenz Paper mit Erwähnung des Autors: Pratt and Williamson [3].

Zur Erzeugung von Fussnoten wird der Befehl `\footnote{.}` verwendet. Auch hier ein Beispiel³.

¹Encapsulated Postscript

²Portable Document Format

³Bla bla.

Bibliografieeinträge können einfach falls vorhanden von den jeweiligen Seiten eingefügt werden, mit dem Program Jabref⁴, welches auch eine Suchmaschine beinhaltet, generiert werden oder von Hand selber hinzugefügt werden. Dabei ist auf die Aufzählung der Autoren zu achten, welche immer mit einem trennenden **and** hinzugefügt werden müssen.

Querverweise im Text werden mit `\label{.}` verankert und mit `\cref{.}` erzeugt. Beispiel einer Referenz auf das zweite Kapitel: chapter 2.

2.4 Aufzählungen

Folgendes Beispiel einer Aufzählung ohne Numerierung,

- Punkt 1
- Punkt 2

wurde erzeugt mit:

```
\begin{itemize}
  \item Punkt 1
  \item Punkt 2
\end{itemize}
```

Folgendes Beispiel einer Aufzählung mit Numerierung,

1. Punkt 1
2. Punkt 2

wurde erzeugt mit:

```
\begin{enumerate}
  \item Punkt 1
  \item Punkt 2
\end{enumerate}
```

Folgendes Beispiel einer Auflistung,

- P1** Punkt 1
- P2** Punkt 2

wurde erzeugt mit:

```
\begin{description}
  \item[P1] Punkt 1
  \item[P2] Punkt 2
\end{description}
```

2.5 Erstellen einer Tabelle

Ein Beispiel einer Tabelle (siehe Table 2.1).
Die Tabelle wurde erzeugt mit:

⁴<https://www.jabref.org>

Table 2.1: Daten der Fahrzyklen ECE, EUDC, NEFZ.

Kennzahl	Einheit	ECE	EUDC	NEFZ
Dauer	s	780	400	1180
Distanz	km	4.052	6.955	11.007
Durchschnittsgeschwindigkeit	km/h	18.7	62.6	33.6
Leerlaufanteil	%	36	10	27

```

\begin{table}[ht]
\begin{center}
\caption{Daten der Fahrzyklen ECE, EUDC, NEFZ.}\vspace{1ex}
\label{tab:tabnefz}
\begin{tabular}{ll|ccc}
\hline
Kennzahl & Einheit & ECE & EUDC & NEFZ \\ \hline
Dauer & s & 780 & 400 & 1180 \\
Distanz & km & 4.052 & 6.955 & 11.007 \\
Durchschnittsgeschwindigkeit & km/h & 18.7 & 62.6 & 33.6 \\
Leerlaufanteil & \% & 36 & 10 & 27 \\
\hline
\end{tabular}
\end{center}
\end{table}

```

2.6 Einbinden einer Grafik

Das Einbinden von Graphiken kann wie folgt bewerkstelligt werden:

```

\begin{figure}[hbp]
\centering
\includegraphics[width=0.75\textwidth]{images/k_surf.pdf}
\caption{Ein Bild.}
\label{fig:k_surf}
\end{figure}

```

Das `[hbp]` macht, dass das Bild entweder an dieser Stelle im Layout eingebettet wird, wenn das nicht geht am Ende der Seite und wenn dies auch nicht geht, am Ende der nächsten Seite. Referenzieren der Bilder geht am besten mit `\Cref{.}` (Figure 2.2a) oder `\cref{.}` (fig. 2.2a).

Zwei Bilder nebeneinander einfügen mit:

```

\begin{figure}[hbp]
\begin{subfigure}[t]{0.48\textwidth}
\includegraphics[width = \textwidth]{images/cycle_we.pdf}
\caption{Bild 1}
\label{pics:cycle:1}
\end{subfigure}
\hfill
\begin{subfigure}[t]{0.48\textwidth}
\includegraphics[width = \textwidth]{images/cycle_ml.pdf}
\caption{Bild 2}

```

```

\label{pics:cycle:2}
\end{subfigure}
\caption{Zwei Bilder nebeneinander}
\label{pics:cycle}
\end{figure}

```

Tikz ist kein Zeichnungsprogramm, aber ein praktisches Tool um inline in Latex Dokumenten Vektorgrafiken zu erstellen (see Figure 2.3). Viele weitere Möglichkeiten findest du in der Dokumentation⁵.

2.7 Mathematische Formeln

Einfache mathematische Formeln werden mit der equation-Umgebung erzeugt:

$$p_{me0f}(T_e, \omega_e) = k_1(T_e) \cdot (k_2 + k_3 S^2 \omega_e^2) \cdot \Pi_{\max} \cdot \sqrt{\frac{k_4}{B}} \quad [\text{bar}]. \quad (2.1)$$

Der Code dazu lautet:

```

\begin{equation}
p_{\text{me0f}}(T_e, \omega_e) \ = \ k_1(T_e) \ \cdot \ (k_2 + k_3 \ S^2 \ \omega_e^2) \ \cdot \ \Pi_{\max} \ \cdot \ \sqrt{\frac{k_4}{B}} \ \quad [\text{bar}] \ .
\end{equation}

```

Mathematische Ausdrücke im Text werden mit `$formel$` erzeugt (z.B.: $a^2 + b^2 = c^2$). Vektoren und Matrizen werden mit den Befehlen `\vec{.}` und `\mat{.}` erzeugt (z.B. \mathbf{v} , \mathbf{M}). Matrizen kann man aber auch explizit in Formeln verwenden. Bsp:

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 \\ 7 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Um Text, oder unformatierte Zeichen in Gleichungen einzufügen braucht man eine Textumgebung `\text{.}`.

Leerzeichen in Gleichungen erhält man durch `\`, und grössere mit `\quad` oder `\qquad`.

2.8 Weitere nützliche Befehle

Hervorhebungen im Text sehen so aus: *hervorgehoben*. Erzeugt werden sie mit dem `\epmh{.}` Befehl.

Einheiten werden mit den Befehlen `\unit[1]{m}` (z.B. 1 m) und `\unitfrac[1]{m}{s}` (z.B. 1 m/s) gesetzt. Alternativ kann auch bei einfachen Einheiten ein Umbruchgeschütztes Leerzeichen verwendet werden: 1 \, m (1 m).

2.8.1 Tiefe der Gliederung

Dies ist ein Abschnitt auf der dritten Hierarchiestufe.

Zwischentitel

Dies ist ein Abschnitt auf der vierten Hierarchiestufe. Diese ist unnummeriert und geht nicht ins Inhaltsverzeichnis ein.

⁵<https://mirror.kumi.systems/ctan/graphics/pgf/base/doc/pgfmanual.pdf>

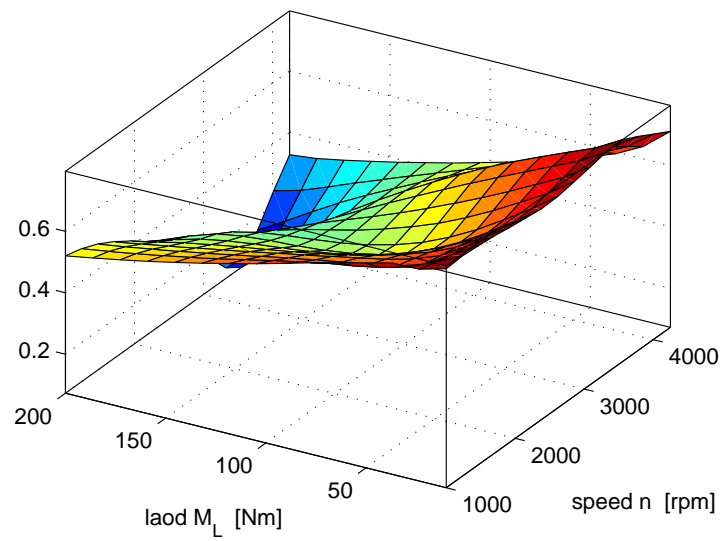
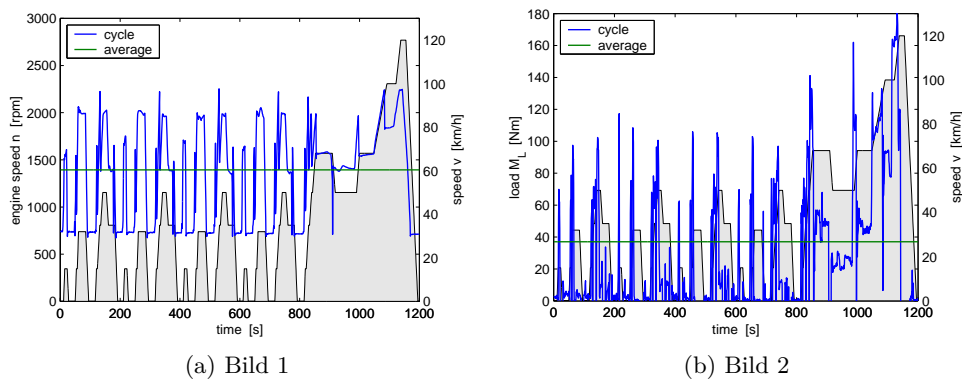


Figure 2.1: Ein Bild



(a) Bild 1

(b) Bild 2

Figure 2.2: Zwei Bilder nebeneinander

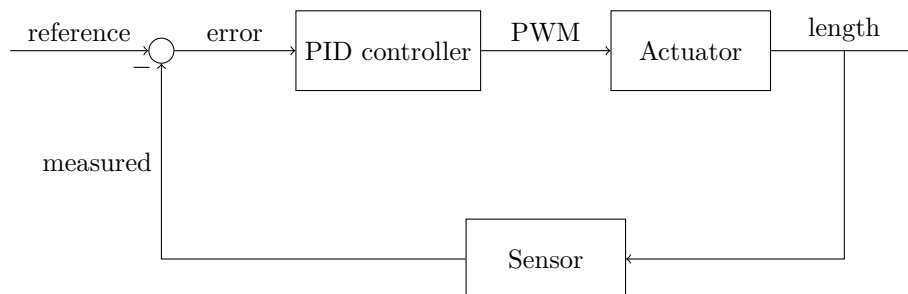


Figure 2.3: Ein Beispiel von Tikz

Bibliography

- [1] M. Raibert, *Legged Robots That Balance*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.
- [2] M. Vukobratović and B. Borovac, “Zero-moment point — thirty five years of its life,” *International Journal of Humanoid Robotics*, vol. 1, no. 01, pp. 157–173, 2004.
- [3] G. A. Pratt and M. M. Williamson, “Series elastic actuators,” in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 1995, pp. 3137–3181.

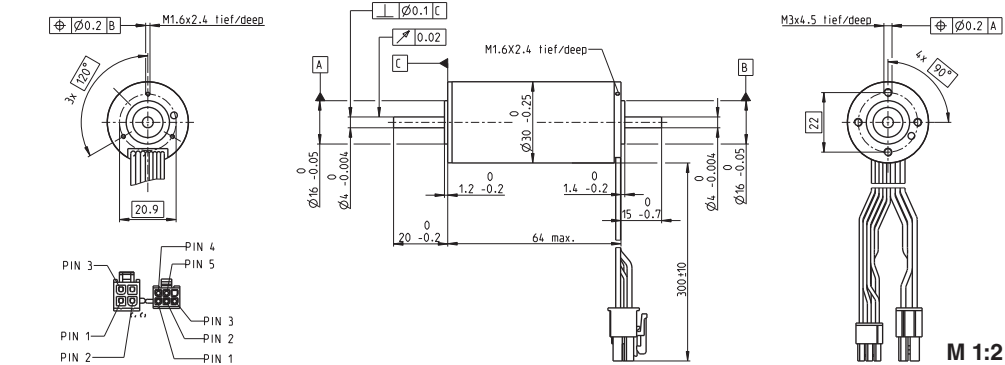
Appendix A

Irgendwas

Bla bla ...

Appendix B

Datasheets

EC-max 30 Ø30 mm, brushless, 60 Watt

maxon EC-max

■ Stock program
 Standard program
 Special program (on request)

Part Numbers

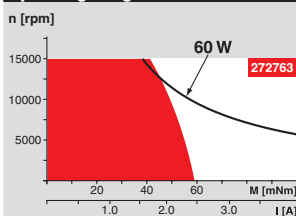
Motor Data		272762	272763	272764	272765
Values at nominal voltage					
1 Nominal voltage	V	12	24	36	48
2 No load speed	rpm	7980	9340	9490	9350
3 No load current	mA	302	191	130	95.4
4 Nominal speed	rpm	6590	8040	8270	8130
5 Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	63.6	60.7	63.7	64.1
6 Nominal current (max. continuous current)	A	4.72	2.66	1.88	1.4
7 Stall torque	mNm	381	458	522	519
8 Starting current	A	26.8	18.8	14.5	10.7
9 Max. efficiency	%	80	81	82	82
Characteristics					
10 Terminal resistance phase to phase	Ω	0.447	1.27	2.48	4.49
11 Terminal inductance phase to phase	mH	0.049	0.143	0.312	0.573
12 Torque constant	mNm/A	14.2	24.3	35.9	48.6
13 Speed constant	rpm/V	672	393	266	197
14 Speed/torque gradient	rpm/mNm	21.2	20.6	18.4	18.2
15 Mechanical time constant	ms	4.86	4.73	4.21	4.17
16 Rotor inertia	gcm ²	21.9	21.9	21.9	21.9

Specifications

Thermal data	
17 Thermal resistance housing-ambient	7.4 K/W
18 Thermal resistance winding-housing	0.5 K/W
19 Thermal time constant winding	2.76 s
20 Thermal time constant motor	1000 s
21 Ambient temperature	-40...+100°C
22 Max. permissible winding temperature	+155°C
Mechanical data (preloaded ball bearings)	
23 Max. permissible speed	15000 rpm
24 Axial play at axial load < 6.0 N	0 mm
	> 6.0 N 0.14 mm
25 Radial play	preloaded
26 Max. axial load (dynamic)	5 N
27 Max. force for press fits (static) (static, shaft supported)	98 N
28 Max. radial loading, 5 mm from flange	1300 N
	25 N

Other specifications

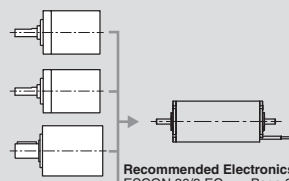
29 Number of pole pairs	1
30 Number of phases	3
31 Weight of motor	305 g
Values listed in the table are nominal.	
Connection motor (Cable AWG 20)	
red	Motor winding 1 Pin 1
black	Motor winding 2 Pin 2
white	Motor winding 3 Pin 3
	N.C. Pin 4
Connector	
Molex	Part number 39-01-2040
Connection Sensors (Cable AWG 26)	
yellow	Hall sensor 1 Pin 1
brown	Hall sensor 2 Pin 2
grey	Hall sensor 3 Pin 3
blue	GND Pin 4
green	V _{DD} 3...24 VDC Pin 5
	N.C. Pin 6
Connector	
Molex	Part number 430-25-0600
Wiring diagram for Hall sensors see p. 35	

Operating Range**Comments**

- **Continuous operation**
In observation of above listed thermal resistance (lines 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient.
= Thermal limit.
- Short term operation**
The motor may be briefly overloaded (recurring).
- **Assigned power rating**

maxon Modular System

1 Planetary Gearhead
 Ø32 mm
 8.0 Nm
 Page 266
 Koaxdrive
 Ø32 mm
 1.0 - 4.5 Nm
 Page 268
 Planetary Gearhead
 Ø42 mm
 3 - 15 Nm
 Page 271



Recommended Electronics:
 ESCON 36/3 EC Page 320
 ESCON 50/5, Module 50/5 321
 ESCON 70/10 321
 DECS 50/5 324
 DEC Module 24/2 325
 DEC Module 50/5 325
 EPOS2 24/5, 50/5 331
 EPOS2 P 24/5 334
 EPOS3 70/10 EtherCAT 337
Notes 24

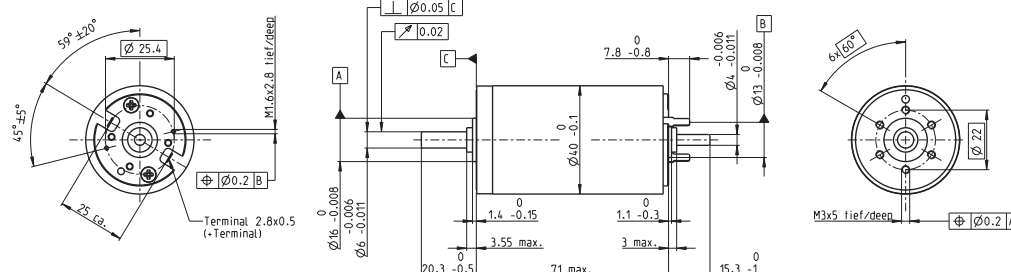
Overview on page 20 - 25

Encoder MR
 500/1000 CPT,
 3 channels
 Page 302
Encoder HEDL 5540
 500 CPT,
 3 channels
 Page 308
Brake AB 20
 24 VDC
 0.1 Nm
 Page 346

RE 40 Ø40 mm, Precious Metal Brushes, 25 Watt

NEW

maxon DC motor



M 1:2

■ Stock program
 □ Standard program
 ▨ Special program (on request)

Part Numbers

Motor Data		448588	448589	448590	448591	448592
Values at nominal voltage						
1 Nominal voltage	V	9	18	24	42	48
2 No load speed	rpm	2850	2850	2780	2920	2690
3 No load current	mA	49.7	24.8	18.1	11	8.62
4 Nominal speed	rpm	2610	2600	2480	2640	2410
5 Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	87.8	87.8	88.2	87.6	87.6
6 Nominal current (max. continuous current)	A	2.96	1.48	1.09	0.65	0.524
7 Stall torque	mNm	873	956	794	895	818
8 Starting current	A	29	15.9	9.66	6.53	4.81
9 Max. efficiency	%	92	92	92	92	92
Characteristics						
10 Terminal resistance	Ω	0.311	1.14	2.49	6.43	9.97
11 Terminal inductance	mH	0.0624	0.33	0.613	1.7	2.62
12 Torque constant	mNm/A	30.2	60.3	82.2	137	170
13 Speed constant	rpm/V	317	158	116	69.7	56.2
14 Speed / torque gradient	rpm/mNm	3.27	2.98	3.51	3.27	3.3
15 Mechanical time constant	ms	4.85	4.29	4.36	4.14	4.13
16 Rotor inertia	gcm ²	142	137	119	121	120

Specifications

Thermal data	
17 Thermal resistance housing-ambient	4.65 K/W
18 Thermal resistance winding-housing	1.93 K/W
19 Thermal time constant winding	41.5 s
20 Thermal time constant motor	809 s
21 Ambient temperature	-20...+85°C
22 Max. permissible winding temperature	+100°C

Mechanical data (ball bearings)	
23 Max. permissible speed	3330 rpm
24 Axial play	0.05 - 0.15 mm
25 Radial play	0.025 mm
26 Max. axial load (dynamic)	5.6 N
27 Max. force for press fits (static) (static, shaft supported)	110 N
28 Max. radial loading, 5 mm from flange	1200 N
	28 N

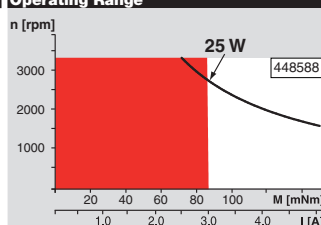
Other specifications	
29 Number of pole pairs	1
30 Number of commutator segments	13
31 Weight of motor	480 g

Values listed in the table are nominal.
Explanation of the figures on page 71.

Option

Preloaded ball bearings

Operating Range



Comments

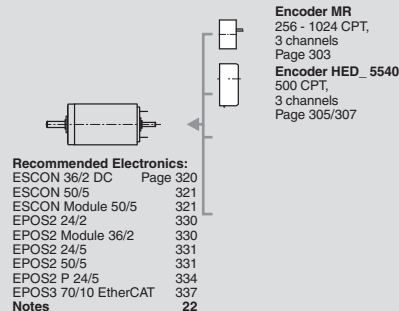
Continuous operation
 In observation of above listed thermal resistance (lines 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient.
 = Thermal limit.

Short term operation
 The motor may be briefly overloaded (recurring).

— Assigned power rating

maxon Modular System

Overview on page 20 - 25



maxon DC motor