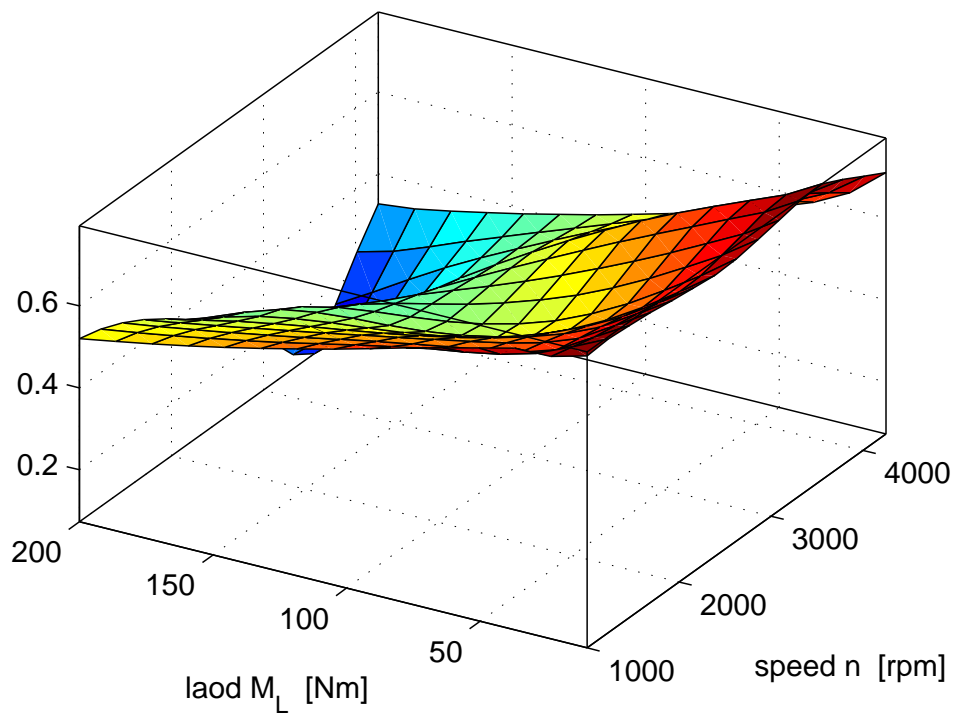


Bachelor Thesis

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 |
| 2.9 Dokumentation | 6 |
| 2.9.1 Tiefe der Gliederung | 8 |
| 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 der Quelle übernommen 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. Verwendet wird dabei das Package `cleverref` 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 den Packages `caption` und `subcaption`:

```

\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 findet man 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_{\text{max}} \ \cdot \ \sqrt{\frac{k_4}{B}} \ \text{quad} \ [\text{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 können mit dem Package `siunitx` generiert werden und werden mit den Befehlen `\SI{1}{\meter}` (z.B. 1 m) und `\SI{1}{\meter \per \second}` (z.B. 1 m s⁻¹) gesetzt. Alternativ kann auch bei einfachen Einheiten ein Umbruchgeschütztes Leerzeichen verwendet werden: `1\,m` (1 m).

2.9 Dokumentation

Alle verwendeten Packages haben eine Dokumentation auf CTAN.org. Falls Fragen oder Unklarheiten bestehen sollte das die beste Anlaufstelle sein. Alternativ haben auch Wikipedia sowie Overleaf ausführliche Beispiele der verwendeten Packages.

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

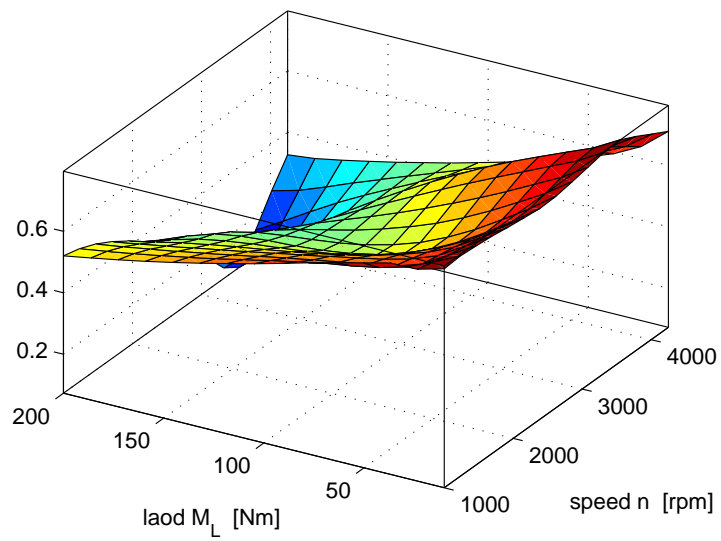
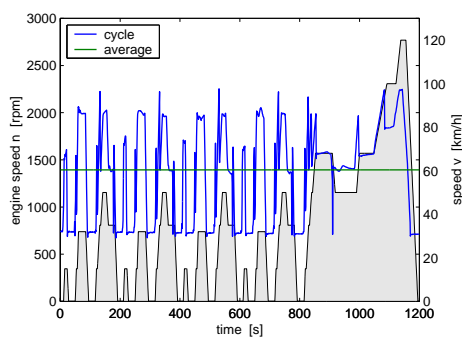
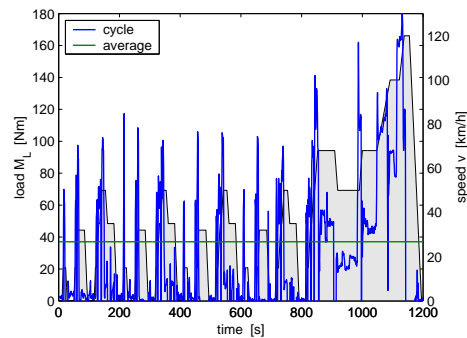


Figure 2.1: Ein Bild



(a) Bild 1



(b) Bild 2

Figure 2.2: Zwei Bilder nebeneinander

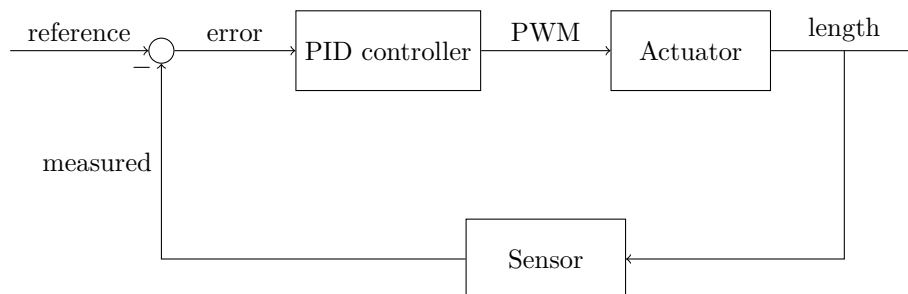


Figure 2.3: Ein Beispiel von Tikz

2.9.1 Tiefe der Gliederung

Dies ist ein Abschnitt auf der dritten Hierarchistufe.

Zwischentitel

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

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.

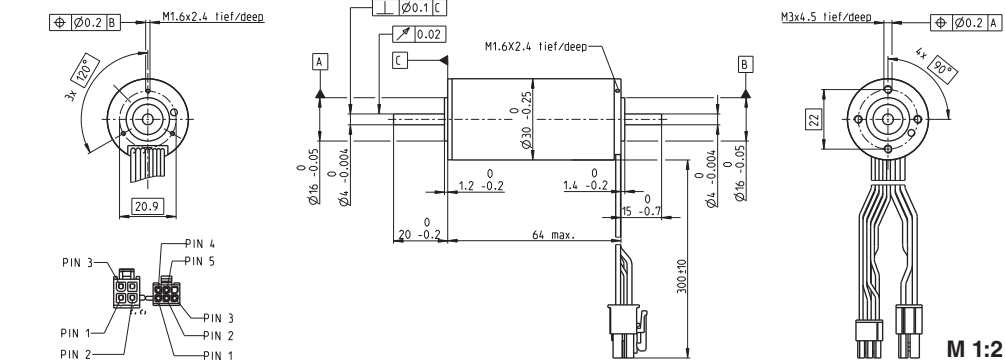
Appendix A

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

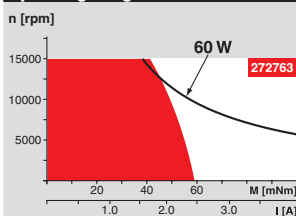
| | | 272762 | 272763 | 272764 | 272765 | | | | |
|---------------------------|---|---------|--------|--------|--------|-------|--|--|--|
| Motor Data | | | | | | | | | |
| Values at nominal voltage | | | | | | | | | |
| 1 | Nominal voltage | V | 12 | 24 | 36 | 48 | | | |
| 2 | No load speed | rpm | 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 | gcm² | 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 |
| 24 Axial play at axial load > 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 |
| 28 Max. radial loading, 5 mm from flange | 25 N |

Other specifications

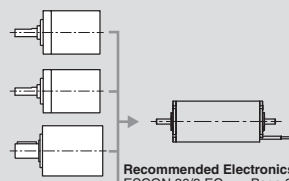
| | |
|---|----------------------------------|
| 29 Number of pole pairs | 1 |
| 30 Number of phases | 3 |
| 31 Weight of motor | 305 g |
| Values listed in the table are nominal. | |
| Connection motor (Cable AWG 20) | |
| red | Motor winding 1 Pin 1 |
| black | Motor winding 2 Pin 2 |
| white | Motor 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

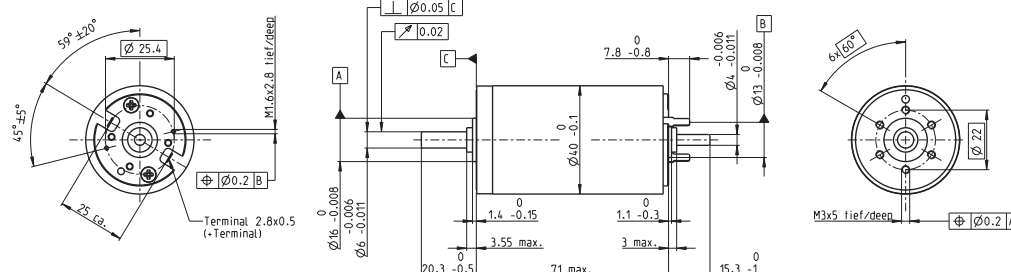
Overview on page 20 - 25

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 |

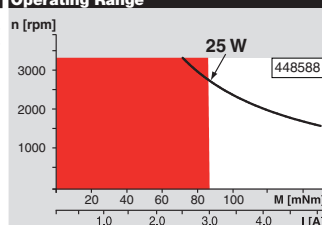
| | |
|----------------------------------|-------|
| Other specifications | |
| 29 Number of pole pairs | 1 |
| 30 Number of commutator segments | 13 |
| 31 Weight of motor | 480 g |

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

