

Diplomarbeit

Höhere Technische Bundes- Lehr- und Versuchsanstalt Salzburg
Abteilung für Elektrotechnik

Entwicklung eines emissionsfreien Sportmotorrades

Entwicklung der Zentralsteuerung / Projektleitung

Martin Kronberger 5AHET Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) Johannes Ferner

Entwicklung des Antriebssystems

Jakob Lackner 5AHET Betreuer: Prof. Dipl.-Ing. MBA Adolf Reinhart

Entwicklung des Akkusystems

Simon Kern 5AHET Betreuer: Prof. Dipl.-Ing. Reinhold Benedikter

Entwicklung der mechanischen Komponenten

Tobias Schmeisser 5AHET Betreuer: Prof. Dipl.-Ing. Peter Lindmoser

Höhere Technische Bundeslehr-
und Versuchsanstalt Salzburg

Itzlinger Hauptstraße 30

A-5022 Salzburg

www.htl-salzburg.ac.at



Eidesstaatliche Erklärung

Wir erklären an Eides statt, dass wir die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht haben. Wir versichern, dass wir dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin oder einem Beurteiler) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt haben.

Gendererklärung

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Diplomarbeit die Sprachform des generischen Maskulinums angewendet. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll.

Martin Kronberger

Ort, Datum

Jakob Lackner

Ort, Datum

Simon Kern

Ort, Datum

Tobias Schmeisser

Ort, Datum

Vorwort

In immer mehr Großstätten werden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren verboten. Viele Motorräder und Autos können nicht mehr produziert werden, da sie die immer strenger werdenden Abgasnormen nicht mehr einhalten können und das Thema der Klimaerwärmung wird immer präsenter und immer mehr Menschen versuchen ihren „carbon footprint“ zu verkleinern.

Doch leider gibt es für Motorradfahrer zumeist keine wirklichen alternativen, um für ihr Hobby auf eine emissionsfreie Alternative umzusteigen. Denn zumeist ist das Preis-Leistungsverhältnis, oder auch das Produkt selbst, nicht sehr einladend. Daher ist unser Ziel die Entwicklung in diesem Bereich voranzutreiben und dadurch den Markt zu vergrößern, wodurch immer mehr und bessere Produkte angeboten werden können.

Danksagung

TEXT DANKSAGUNG

DIPLOMARBEIT

DOKUMENTATION

DIPLOMA THESIS

DOCUMENTATION

Erklärung

Die unterfertigten Kandidaten haben gemäß §34 (3) SchUG in Verbindung mit §22 (1) Zi. 3 lit. b der Verordnung über die abschließenden Prüfungen in den berufsbildenden mittleren und höheren Schulen, BGBl. II Nr. 70 vom 24.02.2000 (Prüfungsordnung BMHS), die Ausarbeitung einer Diplomarbeit mit der umseitig angeführten Aufgabenstellung gewählt. Die Kandidaten nehmen zur Kenntnis, dass die Diplomarbeit in eigenständiger Weise und außerhalb des Unterrichtes zu bearbeiten und anzufertigen ist, wobei Ergebnisse des Unterrichtes mit einbezogen werden können. Die Abgabe der vollständigen Diplomarbeit hat bis spätestens

03.04.2020

beim zuständigen Betreuer zu erfolgen. Die Kandidaten nehmen weiters zur Kenntnis, dass gemäß §9 (6) der Prüfungsordnung BMHS nur der Schulleiter bis spätestens Ende des vorletzten Semesters den Abbruch einer Diplomarbeit anordnen kann, wenn diese aus nicht beim Prüfungskandidaten / bei den Prüfungskandidaten gelegenen Gründen nicht fertiggestellt werden kann.

Kandidaten / Kandidatinnen	Unterschrift
Martin Kronberger	
Jakob Lackner	
Simon Kern	
Tobias Schmeisser	

Prof. Dipl.-Ing. Reinhold Benedikter
Prüfer

Dipl.-Ing. (FH) Johannes Ferner
Prüfer

Prof. Dipl.-Ing. MBA Adolf Reinhart
Prüfer

Lindmoser, Prof. Dipl.-Ing. Peter
Prüfer

Prof. Dipl.-Ing. (FH) Roland Holzer
Abteilungsvorstand

Dipl.-Ing. Dr.techn. Franz Landertshamer
Direktor

Inhaltsverzeichnis

I Einführung	2
1 Projektteam	2
2 Projektbetreuer	3
3 Aufgabeneinteilung	3
II Einleitung	5
1 Motivation	5
2 Zielsetzung	5
3 Topologie des Gesamtsystems	5
4 Leitfaden	5
III Stand der Technik	6
1 Synchronmaschine mit Dauermagneterregung	6
1.1 Auswertung der Antriebswelle	6
2 Curtis Controller	6
2.1 Allgemeines	6
2.2 Feldorientierte Regelung	6
3 Leonard-Umformer	6
3.1 Allgemeines	6
3.2	6
IV Mechanische Umsetzung	7
1 Section	7
V Human-Computer Interaction System	8
VI Antriebsstrang	9
1 Übersicht	9
1.1 Grundfunktionen des Systems	9
2 Hardwareaufbau des Antriebssystems	10
2.1 Mechanische Umsetzung	11
2.2 Der Laststromkreis	12
2.2.1 Elektrische Energieübertragung	13
2.2.2 Leitungsschutzorgane	14
2.3 Der Steuerstromkreis	15
2.3.1 Übersicht Ein- Ausgänge	15
2.3.2 Digitale Eingänge (Digital Inputs)	16
2.3.3 Analoge Eingänge (Analog Inputs)	16
2.3.4 Gas- und Bremseneingänge (Throttle and Brake Inputs)	17
2.3.5 Positionsrückmeldung vom Encoder (Position-feedback Input)	17
2.3.6 Prozessorversorgung und Spulenrücklauf (KSI and Coil Return)	18
2.3.7 Analoge Ausgänge (Analog Outputs)	18
2.3.8 Digitale und Pulsweitenmodulierbare Ausgänge (Digital and PWM Outputs)	19
2.3.9 Spannungsversorgungs-Ausgänge (Power Supply Outputs)	19
2.3.10 Kommunikations-Ports	20

3	Softwareaufbau des Antriebssystems	21
3.1	Steuerung der Ein- und Ausgänge (I/O Assingment)	21
3.1.1	Funktionen	21
3.1.2	Zuweisung	21
3.2	Drehmomentsteuerung (Torquecontrol)	21
3.2.1	Grundfunktion	21
3.2.2	Parameter	21
3.3	Vehicle-Control-Language (VCL) Programmierung	21
3.3.1	Grundfunktion	21
3.3.2	Kommunikation (CAN-Bus)	21
4	Inbetriebnahme	22
4.1	Leonard-Versuchsaufbau	22
4.2	Bleiakku-Versuchsaufbau	23
VII Akku und Ladekonzept		24
1	Section	24
VIII Endergebnis		25
1	Section	25
A Arbeitsnachweis		26
1	Zeitplan	26
2	Kosten	26
B Programmier-Code		27
C CAD-Zeichnungen		28
D Schaltpläne		29
Literaturverzeichnis		29
Abbildungsverzeichnis		29
Tabellenverzeichnis		30
Codeverzeichnis		31

Kapitel I

Einführung

1 Projektteam



Martin Kronberger



Jakob Lackner



Simon Kern



Schmeisser Tobias

2 Projektbetreuer

Prof. Dipl.-Ing. Reinhold Benedikter

unterstützte Jakob Lackner bei der Entwicklung des Akku- und Ladesystems

Dipl.-Ing. (FH) Johannes Ferner

unterstützte Martin Kronberger bei der Entwicklung des Human-Computer Interaction Systems

Prof. Dipl.-Ing. MBA Adolf Reinhart

unterstützte Jakob Lackner bei der Entwicklung des Antriebssystems

Lindmoser, Prof. Dipl.-Ing. Peter

unterstützte Tobias Schmeisser bei der Entwicklung der mechanischen Komponenten

3 Aufgabeneinteilung

Martin Kronberger

- Projektleitung
- Projektfindung und Projektplanung
- Projektaufteilung
- Erstellen der Einreichdokumente
- Entwickeln der Hardware des Human-Computer Interaction Systems
- Entwickeln der Software des Human-Computer Interaction Systems
- Planung und Umsetzung der elektrischen Installation
- Verfassen der Dokumentation

Jakob Lackner

- Projektleitung
- Projektfindung und Projektplanung
- Projektaufteilung
- Entwicklung des Antriebssystems
- Entwicklung der Software des Motorsteuergerätes
- Erstellen der Einreichdokumente
- Verfassen der Dokumentation

Simon Kern

- Projektleitung
- Projektfindung und Projektplanung
- Projektaufteilung
- Entwicklung des Akkusystems
- Erstellen der Einreichdokumente
- Verfassen der Dokumentation

Tobias Schmeisser

- Projektleitung
- Projektfindung und Projektplanung
- Projektaufteilung
- Entwicklung der mechanischen Komponenten
- Entwicklung der Getriebemechanik
- Erstellen der Einreichdokumente
- Verfassen der Dokumentation

Kapitel II

Einleitung

- 1 Motivation
- 2 Zielsetzung
- 3 Topologie des Gesamtsystems
- 4 Leitfaden

Kapitel III

Stand der Technik

1 Synchronmaschine mit Dauermagneterregung

1.1 Auswertung der Antriebswelle

2 Curtis Controller

2.1 Allgemeines

2.2 Feldorientierte Regelung

3 Leonard-Umformer

3.1 Allgemeines

3.2

Kapitel IV

Mechanische Umsetzung

1 Section

Kapitel V

Human-Computer Interaction System

Kapitel VI

Antriebsstrang

1 Übersicht

Die Hauptaufgabe des Antriebssystems ist die Umwandlung der, von dem Akkumulator zur Verfügung gestellten, elektrischen Energie in die kinetische Antriebsenergie. Diese tritt zuerst kreisförmig am Motor auf und wird zunächst über das Direkt-Getriebe umgeformt bzw. auf die passende Drehzahl gebracht, anschließend wird die kreisförmige kinetische Energie mithilfe des Hinterrades auf die Straße übertragen und das ganze Motorrad beschleunigt. Neben dem Antrieb des Motorrades hat die Motorsteuerung noch weitere Bedeutung als Steuereinheit, diese fungiert als Bindemittel zwischen dem Human-Computer Interacting System und den elektrischen Anforderungen an das Gesamtsystem.

1.1 Grundfunktionen des Systems

Die geplanten Funktionen des Antriebssystems lassen sich grob in zwei Grundfunktionen einteilen:

- Der Antrieb - Translation ist eine Grundfunktion eines jeden Verkehrsmittels
Durch die Umwandlung der elektrischen Energie in kinetische Energie erfährt das gesamte System eine Beschleunigung in Fahrtrichtung.
- Die Steuereinheit - Steuerung und Kommunikation mit anderen Betriebsmitteln
Realisiert durch In- und Outputs, Datenübertragung mithilfe des CAN-Buses

Um auf die einzelnen Details des Antriebssystems besser eingehen zu können, unterscheiden wir zwischen dem Hardwareaufbau und dem Softwareaufbau des Antriebssystems.

2 Hardwareaufbau des Antriebssystems

Der grundsätzliche Hardwareaufbau des Antriebssystems lässt sich in zwei galvanisch getrennte Stromkreise und der mechanischen Umsetzung unterscheiden:

- **Mechanische Umsetzung (Kraftübertragung und Montage)**

Umfasst das Getriebe und die Befestigung aller Komponenten am Rahmen.

- **Der Laststromkreis**

Beinhaltet die Verbindung des Motorcontrollers mit dem Motor und dem Akkumulator.

- **Der Steuerstromkreis**

Beinhaltet alle elektrischen Verbindungen, welche mithilfe des 35-poligen Niederleistungs-Steckers mit dem Motorcontroller verbunden sind.

2.1 Mechanische Umsetzung

Die Fertigung des Getriebes und die Montage der einzelnen Betriebsmittel wurde vollständig von Tobias Schmeisser übernommen.

2.2 Der Laststromkreis

Der Laststromkreis befasst sich mit allen leistungsführenden Betriebsmitteln des Antriebssystems. Hierbei unterscheiden wir zwischen zwei Grundfunktionen:

- **Elektrische Energieübertragung**

Umfasst die elektrische Verbindung von Motor, Motorcontroller und Akkumulator. Realisiert durch einfache Leitungen, um Leistungen übertragen zu können.

- **Schutz der Komponenten vor Beschädigungen (Leitungsschutzorgane)**

Beinhaltet eine Schmelzsicherung zum Schutz vor Überströmen und ein Hochleistungs-Relais, um im Fehlerfall den Kreis öffnen zu können und damit eine galvanische Trennung des Antriebs und der Energieversorgung gewährleisten zu können.

Abbildung VI.1: Grundaufbau des Laststromkreises

2.2.1 Elektrische Energieübertragung

Um die benötigte elektrische Energie übertragen zu können, müssen die Leitungen an den Leistungsverbrauch des Verbrauchers (Motor) angepasst werden. Bei einer zu hohen Stromaufnahme (Überlast) des Motors kann es zu einer übermäßigen Erwärmung der Leitungen bis hin zu dauerhaften Beschädigungen, wie durchschmorren der Isolierung oder sogar einen Leitungsbrand, führen. Um dies verhindern zu können, müssen die Leitungen an die Stromaufnahme des Motors angepasst werden. Das heißt, der zulässige Dauerstrom der Leitungen muss den maximalen Dauerstrom des Motors bzw. den maximalen Dauerstrom, welcher durch den Akkumulator zur Verfügung gestellt werden kann, übersteigen.

Berechnung:

In diesem Abschnitt befassen wir uns zunächst mit der Berechnung aller Ströme, die wir zur Auswahl der richtigen Leitungen benötigen. Bei der Auswahl von Leitungen muss man grundsätzlich den Querschnitt und die Länge der Leitung an die benötigte Stromaufnahme des Motors anpassen.

Anzahl der Zellen die parallel Verschalten werden: 40

$$I_{Zmax} = 14 \text{ A}$$

$$I_{max} = 40 \cdot I_{Zmax} = 40 \cdot 14 \text{ A} = 560 \text{ A}$$

Auswahl:

text

Fazit:

text

2.2.2 Leitungsschutzorgane

Die Aufgabe der Leitungsschutzorgane ist es, bei unerwarteten Überströmen oder in einem Fehlerfall den Laststromkreis zu öffnen und damit den Motor bzw. Motorcontroller und den Akkumulator galvanisch zu trennen, um mögliche Beschädigungen an den Komponenten oder an den Leitungen verhindern zu können. Da jedoch ungewünschte Fehlauslösungen zum sofortigen Stillstand des Motorrads führen und eventuell sogar benötigte Wartungen (Wechsel der durchgebrannten Schmelzsicherung) nach sich ziehen, müssen diese Leitungsschutzorgane sehr sorgfältig ausgewählt werden. Eine Überdimensionierung ist ebenso unerwünscht, denn dies hat nicht nur höhere Anschaffungskosten zur Folge. Bei Überdimensionierung der Schmelzsicherung, löst diese zu spät aus und hat damit nur mehr eine sehr geringe bis gar keine Schutzfunktion mehr.

Berechnung:

In diesem Abschnitt befassen wir uns zunächst mit der Berechnung aller Ströme, die wir zur Auswahl der richtigen Leitungen benötigen. Bei der Auswahl von Leitungen muss man grundsätzlich den Querschnitt und die Länge der Leitung an die benötigte Stromaufnahme des Motors anpassen.

Auswahl:

text

Fazit:

text

2.3 Der Steuerstromkreis

2.3.1 Übersicht Ein- Ausgänge

Der Steuerstromkreis befasst sich mit allen elektrischen Verbindungen, welche über den 35-poligen Niederleistungs-Stecker mit dem Motorcontroller verbunden sind. Hierbei unterscheiden wir grundsätzlich zwischen drei verschiedenen Ports, welche nochmals unterkategorisiert werden können:

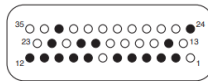
- Eingänge (Inputs)
 - Digitale Eingänge (Digital Inputs)
 - Analoge Eingänge (Analog Inputs)
 - Gas- und Bremsengänge (Throttle and Brake Inputs)
 - Positionsrückmeldung vom Encoder (Position-feedback Input)
 - Prozessorversorgung und Spulenrücklauf (KSI and Coil Return)
- Ausgänge (Outputs)
 - Analoge Ausgänge (Analog Outputs)
 - Digitale und Pulsweitenmodulierbare Ausgänge (Digital and PWM Outputs)
 - Spannungsversorgungs-Ausgänge (Power Supply Outputs)
- Kommunikation (Communication)
 - CAN-Bus (CAN-Port)
 - Serielle Schnittstelle (Serial-Port)

Der Motorcontroller verfügt über viele Pins, welche über mehrere Funktionen verfügen, es muss jedoch eine dieser Funktionen ausgewählt werden. Pin 6 zum Beispiel wird eigentlich als digitaler und phasenmodulierbarer Ausgang verwendet, bei richtiger Konfiguration kann dieser jedoch auch als digitaler Input verwendet werden. Weiteres kann frei konfiguriert werden, ob man mit diesem Ausgang zum Beispiel das Hochleistungs-Relais oder einen Spannungswandler ansteuern möchte. Um den passenden Pin für eine Anwendung auswählen zu können, muss man jedoch die elektrischen Eigenschaften der Pins genauer unter die Lupe nehmen. Oftmals haben auch die Pins der selben Unterkategorie verschiedene Funktionen, Eingangsimpedanzen oder Toleranzen.

Abbildung VI.2: Grundaufbau des Steuerstromkreises

2.3.2 Digitale Eingänge (Digital Inputs)

Es gibt insgesamt 16 Pins, die als digitale Eingänge genutzt werden können, jedoch werden sieben Pins davon eigentlich als Ausgänge konfiguriert.



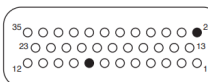
DIGITAL INPUT SPECIFICATIONS

Name	Pin	Logic Thresholds	Input impedance*	Voltage range†	ESD Tolerance
Switch 1	24	Rising edge= 4.4V max Falling edge= 1.5V min	24-36V models: 7.0 kΩ, 7.2 kΩ 36-48V models: 10.8 kΩ, 11.2 kΩ 48-80V models: 25.2 kΩ, 27.3 kΩ 72-96V models: n/a, 29.4 kΩ	-10V to (MaxV + 10 V)	± 8 kV (direct strike)
Switch 2	8				
Switch 3	9				
Switch 4	10				
Switch 5	11				
Switch 6	12				
Switch 7	22				
Switch 8	33				
Switch 16	14				
Digital Out 6	19				
Digital Out 7	20		150 kΩ to 300 kΩ	-5V to (MaxV + 10 V)	
Driver 1	6				
Driver 2	5				
Driver 3	4				
Driver 4	3				
Prop Driver	2				

Abbildung VI.3: Digital Input Specifications

2.3.3 Analoge Eingänge (Analog Inputs)

Es gibt insgesamt zwei Pins die als analoge Eingänge verwendet werden können. Ein Pin davon wird jedoch im Normalfall für den Motortemperatur-Sensor verwendet. Die Eingänge, die für das Gas- und Bremspotentiometer verwendet werden, sind in dieser Kategorie nicht aufgelistet, obwohl diese ebenfalls als analoge Eingänge genutzt werden. Diese Pins sind jedoch speziell für die Gas- und Bremssteuerung konfiguriert und sollten im Normalfall auch dafür hergenommen werden.



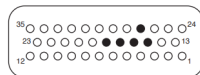
ANALOG INPUT SPECIFICATIONS

Signal Name	Pin	Operating Voltage	Input impedance*	Protected Voltage	ESD Tolerance
Analog 1	24	0 to 10V in 1024 steps	24-36 V models: 6.9 kΩ, 7.1 kΩ 36-48 V models: 10.5 kΩ, 11.0 kΩ 48-80 V models: 23.8 kΩ, 28.1 kΩ 72-96 V models: n/a, 28.1 kΩ	-10 V to (MaxV + 10 V)	± 8 kV (direct strike)
Analog 2	8				

Abbildung VI.4: Analog Input Specifications

2.3.4 Gas- und Bremseingänge (Throttle and Brake Inputs)

Die zwei Gas- oder Bremssteuerungs-Eingänge können unabhängig von einander programmiert werden. Sie sind optimiert für die Anwendung mittels Spannungssteuerung, 2-Draht Widerstandssteuerung oder 3-Draht Widerstandssteuerung. Bei der Spannungssteuerung benötigt man die Pins Pot Wiper und I/O Ground, bei der 2-Draht Widerstandssteuerung Pot Wiper und Pot Low und bei der 3-Draht Widerstandssteuerung Pot High, Pot Wiper und Pot Low. In unserem Fall benutzen wir beide Steuerungs-Eingänge für die 3-Draht Widerstandssteuerung, da der Gasdrehgriff über eine Drahtbrucherkennung verfügt. Das heißt, der Gasdrehgriff hat insgesamt zwei unabhängige 3-Draht Potentiometer-Ausgänge, welche beide für den Gaseingang benutzt werden.



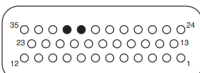
THROTTLE INPUT SPECIFICATIONS

Signal Name	Pin	Operating Voltage	Input Impedance	S/Sink Current	Protected Voltage	ESD Tolerance
Throttle Pot High	15	0 V (shorted to Pot Low) 5 V (open circuit)	N/A	1 mA nominal (source)	−0.5 V to (MaxV + 10 V)	± 8 kV (direct strike)
Pot2 High	27					
Throttle Pot Wiper	16	0 to 6.25 V	100 kΩ min	0.76 mA nominal (source, 2-wire)	−1 V to (MaxV + 10 V)	
Pot2 Wiper	17					
Pot Low	18	0 to 0.25 V	20 Ω nom.	Faults if above 15 mA (sink)		

Abbildung VI.5: Throttle Input Specifications

2.3.5 Positionsrückmeldung vom Encoder (Position-feedback Input)

Diese zwei Pins sind intern dafür konfiguriert, die aktuelle Position der Motorwelle einzulesen, um eine optimale feldorientierte Ansteuerung des Motors durchführen zu können. Dabei gibt es die Möglichkeiten über einen Quadratur-Encoder oder einen Sin/Cos-Encoder. Da in dem Ashwoods-Motor ein Sin/Cos-Sensor verbaut ist, wurde dies vorab bei dem Motorcontroller eingestellt.



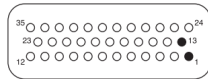
SIN/COS SENSOR INPUT SPECIFICATIONS

Signal Name	Pin	Operating Voltage	Input Impedance	Max. Frequency	Protected Voltage	ESD Tolerance
Position Feedback A	31	0 to 5 V	150 kΩ for voltages ≤ 5 V 75 kΩ for voltages > 5 V	500 Hz	-5 V to (MaxV + 10 V)	± 8 kV (direct strike)
Position Feedback B	32					

Abbildung VI.6: Sin/Cos Sensor Input Specifications

2.3.6 Prozessorversorgung und Spulenrücklauf (KSI and Coil Return)

Der KSI-Eingang stellt die elektrische Versorgung aller Niederleistungs-Schaltkreise zur Verfügung. Dies beinhaltet ebenfalls die Versorgung aller Ausgänge und die Kondensator-Vorlade-Funktion, welche dazu dient, die Kondensatoren vorzuladen, um hohe Einschaltströme zu verhindern. Der Spulenrücklauf ist speziell für den Rücklauf der pulsweitenmodulierbaren Ausgänge konfiguriert worden, um ein übermäßiges Schaltrauschen zu verhindern.



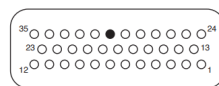
KSI and COIL RETURN INPUT SPECIFICATIONS

Signal Name	Pin	Operating Voltage	Input Current	Protected Voltage	ESD Tolerance
KSI	1	Between under- and overvoltage cutbacks	13 A max * continuous	$\pm (\text{MaxV} + 10 \text{ V})$	$\pm 8 \text{ kV}$ (direct strike)
Coil Return	13		10 A or 12 A max **	(KSI - 0.3 V) to (MaxV + 10 V)	

Abbildung VI.7: KSI and Coil Return Input Specifications

2.3.7 Analoge Ausgänge (Analog Outputs)

Der analoge Ausgang kann ein Spannungssignal von 0 bis 10V ausgeben. Dieser Ausgang ist für die Ausgabe über Anzeigeinstrumente, wie zum Beispiel eine Anzeige über den aktuellen Ladestand des Akkumulators, vorgesehen.



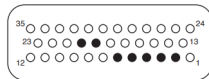
ANALOG OUTPUT SPECIFICATIONS

Signal Name	Pin	Output Voltage	Output Current	Protected Voltage	ESD Tolerance
Analog Out	30	0 to 10 V	10 mA	-1 V to (MaxV + 10 V)	$\pm 8 \text{ kV}$ (direct strike)

Abbildung VI.8: Analog Output Specifications

2.3.8 Digitale und Pulsweitenmodulierbare Ausgänge (Digital and PWM Outputs)

Es gibt insgesamt 7 digitale Ausgänge, wovon jedoch nur 5 für eine Pulsweitenmodulation konfiguriert werden können. Diese Ausgänge sind für induktive Lasten, wie zum Beispiel den Hauptschütz oder eine elektromagnetische Bremse, vorgesehen. Rein ohmsche Lasten können ebenfalls gesteuert werden, jedoch darf der zulässige Spitzenstrom nicht überschritten werden. Der Proportional-Driver kann bei richtiger Konfiguration auch für die Anzeige eines Tachometers hergenommen werden. Diese Gruppe kann ebenfalls als digitaler Eingang benutzt werden.



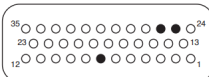
DIGITAL and PWM OUTPUT SPECIFICATIONS

Name	Pin	PWM	PV Current	Frequency	Output Current	Protected Voltage	ESD Tolerance
Driver 1	6	0 to 100% Duty Cycle	N/A	120 to 1000 Hz *	2A Max	-0.5 V to (MaxV + 10 V)	± 8 kV (direct strike)
Driver 2	5				3A Max		
Driver 3	4				2A Max		
Driver 4	3						
Prop Driver	2		0 to 2A in 607 nominal steps	18 kHz			
Digital Out 6	19	On / Off	N/A	N/A	1A Max		
Digital Out 7	20						

Abbildung VI.9: Digital and PWM Output Specifications

2.3.9 Spannungsversorgungs-Ausgänge (Power Supply Outputs)

Um kleine Schaltkreise, wie zum Beispiel einen LED-Indikator oder die Positionsrückmeldung vom Encoder, mit Spannung versorgen zu können, gibt es zwei dafür vorgesehene Spannungsversorgungs-Ausgänge mit einem Pin für 5V und 12V. Für diese Anwendungen gibt es ebenfalls noch einen Rücklauf, der als I/O Ground definiert wurde.



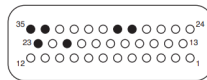
POWER SUPPLY OUTPUT SPECIFICATIONS

Signal Name	Pin	Output Voltage	Output Current	Protected Voltage	ESD Tolerance
+12 V Out	25	11.5 to 14.5 V	100 mA max for +12 Out 100 mA max for +5 Out 200 mA max (combined total)	-1 V to (MaxV + 10 V)	± 8 kV (direct strike)
+5 V Out	26	5 V ±10%			
I/O Ground	7	n/a	500 mA max	not protected	

Abbildung VI.10: Power Supply Output Specifications

2.3.10 Kommunikations-Ports

Für die Kommunikation mit anderen Betriebsmitteln stellt uns der Motorcontroller zwei Möglichkeiten zur Verfügung, den CAN-Bus und die serielle Schnittstelle. Da sich unser Projektteam auf die Nutzung des CAN-Buses geeinigt hat, wird die serielle Schnittstelle nicht verwendet. Die zwei Pins CAN Term High und CAN Term Low werden ebenfalls nicht benötigt, denn diese dienen nur dazu, den CAN-Bus vorübergehend funktionsunfähig zu schalten. Programmtechnisch gibt es drei Möglichkeiten vom Motorcontroller zur Konfiguration des CAN-Buses, dies wird jedoch im Punkt Software genauer erklärt.



COMMUNICATIONS PORT SPECIFICATIONS

Signal Name	Pin	Supported Protocol / Devices	Data Range	Protected Voltage	ESD Tolerance
CAN H	23	CANopen, other 11-bit or 29-bit identifier protocols	up to 1 Mbit/s	−0.5 V to (MaxV + 10 V)	± 8 kV (direct strike)
CAN L	35				
CAN Term H	21			(no connection to external wiring)	
CAN Term L	34				
Serial TX	28	Curtis 840 Display, 1313 Handhelp Programmer, 1314 PC Programming Station	as required, 9.6 kbit/s to 56 kbit/s	−0.3 V to 12 V	
Serial RX	29				

Abbildung VI.11: Communications Port Specifications

3 Softwareaufbau des Antriebssystems

Der Softwareaufbau des Antriebssystems kann grob in 3 Grundfunktionen unterteilt werden:

- **Steuerung der Ein- und Ausgänge (I/O Assignment)**
Umfasst alle Parameter und die vornehmbaren Konfigurationsmöglichkeiten.
- **Drehmomentsteuerung (Torquecontrol)**
Beinhaltet alle Parametereinstellungen, welche für die Drehmomentsteuerung ausschlaggebend sind.
- **Vehicle-Control-Language (VCL) Programmierung**
Umfasst das gesamte Programm, welches mit der Vehicle-Control-Language realisiert wurde. Ein Großteil dieses Programms beschäftigt sich hierbei mit der Kommunikation mit dem Raspberry PI.

3.1 Steuerung der Ein- und Ausgänge (I/O Assingment)

3.1.1 Funktionen

3.1.2 Zuweisung

3.2 Drehmomentsteuerung (Torquecontrol)

3.2.1 Grundfunktion

3.2.2 Parameter

3.3 Vehicle-Control-Language (VCL) Programmierung

3.3.1 Grundfunktion

3.3.2 Kommunikation (CAN-Bus)

4 Inbetriebnahme

4.1 Leonard-Versuchsaufbau

Grundidee:

Der Bau des Li-Ionen-Akkumulators hat sich leider sehr verzögert. Um effektiv an der Inbetriebnahme des Antriebssystems weiterarbeiten zu können, musste vorübergehend eine alternative Spannungsversorgung gefunden werden. Da der Motor und die Motorsteuerung jedoch eine bipolare Spannungsquelle benötigen, um ordnungsgemäß in Betrieb genommen werden zu können, erwies sich dies vorerst schwieriger als Gedacht. Die Beschaffung eines bipolaren Netzteils erwies sich als zu Kosten- und Zeitintensiv, weshalb mein Betreuungslehrer Herr Professor Reinhart vorschlug, die bipolare Spannungsquelle mittels einem Leonard-Umformer zu realisieren.

Fazit:

Der erste Schritt bei der Inbetriebnahme des Motors ist der Testlauf (Commissionierung) zur Ausmessung und Einstellung der Motorparameter. Bei der Durchführung dieses Testlaufs stoppte die Motorsteuerung jedoch immer wieder nach kurzer Zeit. Auch viele weitere Versuche bei geänderten Testparametern oder zusätzlichen parallelgeschalteten Kondensatoren brachten keine weiteren Erkenntnisse. Aufgrund des schwankenden Spannungspegels während den gescheiterten Test-Durchläufen nahmen wir genauere Messungen mittels einem Oszilloskop vor, um mögliche Fehlerursachen herausfinden zu können. Bei der Untersuchung des Gleichspannungs-Eingangs konnten wir feststellen, dass in einem Zeitbereich von circa 20ms eine unerwartet hohe Unterhöhung und Überhöhung der Spannung auftrat, welche einer Schwingung ähnelte. Aufgrund dessen konnten wir rückschließen, dass unsere Leonard-Spannungsquelle zu träge für die Motorsteuerung ist. Außerdem entstand aus den hohen Induktivitäten des Motors und den langen Leitungen kombiniert mit den großen Kondensatoren der Motorsteuerung eine Art Schwingkreis, welcher den Trägheitseffekt zusätzlich verstärkte.

Abbildung VI.12: Leonardumformer Versuchsaufbau

Abbildung VI.13: Leonardumformer Spannungsüberschwingung

4.2 Bleiakku-Versuchsaufbau

Grundidee:

Der Leonard-Versuchsaufbau hat aufgrund der Trägheit der Spannungsquelle nicht funktioniert. Übrig blieb deshalb nur die Realisierung der Spannungsquelle mithilfe eines Ersatz-Akkumulators. Zufälligerweise konnten wir im Projektraum vier Bleiakкумуляtoren ausfindig machen, welche wir nun seriell zu einer 48V-Spannungsquelle verschalten wollten. Die Bleiakkus waren zwar teils angeschlagen bzw. sehr tief entladen, mittels einem intelligenten Ladegerät konnten aber 3 von 4 Akkus wieder erfolgreich aufgeladen werden. Mit einer von mir Zuhause mitgebrachten Autobatterie und zusätzlichen Starterkabeln konnten letztendlich aber die 48V-Spannungsquelle realisiert werden.

Fazit:

Der Aufbau mit den Bleiakкумуляtoren hat vorübergehend ganz gut funktioniert. Ein Problem stellten vorerst aber die großen Einschaltströme dar, welche bei der Schließung des Stromkreises zu Lichtbögen führten. Um Beschädigungen an den Kondensatoren zu verhindern, konnte dieses Problem jedoch mithilfe von einem Vorladen der Kondensatoren mithilfe eines 48V Netzgerätes behoben werden.

Erste Inbetriebnahme:

Der Teslauf zur Einstellung der Motorparameter hat mithilfe der Bleiakкумуляtoren beim ersten Versuch erfolgreich funktioniert. Der Motor konnte nach weiteren Konfigurationen letztendlich auch eine bestimmte Drehzahl abhängig von einem Spannungssignal anfahren.

Abbildung VI.14: Bleiakku

Kapitel VII

Akku und Ladekonzept

1 Section

Kapitel VIII

Endergebnis

1 Section

Anhang A

Arbeitsnachweis

1 Zeitplan

2 Kosten

Anhang B

Programmier-Code

Anhang C

CAD-Zeichnungen

Anhang D

Schaltpläne

Abbildungsverzeichnis

VI.1 Grundaufbau des Laststromkreises	12
VI.2 Grundaufbau des Steuerstromkreises	15
VI.3 Digital Input Specifications	16
VI.4 Analog Input Specifications	16
VI.5 Throttle Input Specifications	17
VI.6 Sin/Cos Sensor Input Specifications	17
VI.7 KSI and Coil Return Input Specifications	18
VI.8 Analog Output Specifications	18
VI.9 Digital and PWM Output Specifications	19
VI.10 Power Supply Output Specifications	19
VI.11 Communications Port Specifications	20
VI.12 Leonardumformer Versuchsaufbau	22
VI.13 Leonardumformer Spannungsüberschwingung	22
VI.14 Bleiakku	23

Tabellenverzeichnis

Listings