

Technische Universität Berlin



Fakultät V
Institut für Konstruktion
Mikro- und Medizintechnik

Konstruktion einer passiven Freilaufkupplung zur Integration in humanoide Roboter

Tim Geppert

KM-B-020

08.05.2011

TU-Berlin
Fachgebiet Konstruktion von Maschinensystemen
Prof. Dr.-Ing. Henning Meyer
Sekr. W1
Straße des 17. Juni 144
10623 Berlin
www.km.tu-berlin.de

Erklärung

Die selbstständige und eigenständige Anfertigung versichert an Eides statt.

Berlin, den

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-------------|
| Erklärung | III |
| Abkürzungsverzeichnis | VII |
| Verzeichnis der Formelzeichen | VIII |
| Abbildungsverzeichnis | IX |
| Tabellenverzeichnis | X |
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Das Prinzip der bidirektionalen Freilaufkupplung | 2 |
| 2.1. Stand der Technik | 2 |
| 2.2. Anforderung an die Freilaufkupplung | 6 |
| 2.3. Aufbau und Funktionsprinzip der Freilaufkupplung | 7 |
| 2.4. Konstruktive Veränderungen der Freilaufkupplung | 10 |
| 3. Versuchsplanung | 13 |
| 3.1. Vergleichsgrößen zur Bewertung der Kupplung | 13 |
| 3.1.1. Maximal übertragbares Drehmoment | 13 |
| 3.1.2. Kupplungsverhalten | 13 |
| 3.2. Validierung des Versuchsaufbaus | 16 |
| 3.2.1. Drehmoment | 16 |
| 3.2.2. Winkelsensoren | 16 |
| 3.2.3. Drehfederkennlinie | 16 |
| 3.3. Übersicht der Versuchsplanung | 16 |
| 4. Versuchsaufbau | 18 |
| 4.1. Anforderungen an den Versuchsaufbau | 18 |
| 4.2. Anforderungsliste | 19 |
| 4.3. Welle-Nabe-Verbindungen | 20 |
| 4.4. Lagerung der Messwelle | 21 |
| 4.5. Messinstrumente | 21 |
| 4.5.1. Drehgeber | 21 |
| 4.5.2. Dynamischer Drehmomentsensor | 21 |
| 4.5.3. Messstrecke | 22 |

| | |
|--|-----------|
| 5. Versuchsergebnisse und Auswertung | 23 |
| 5.1. Validierung des Versuchsaufbaus | 23 |
| 5.1.1. Drehmoment | 23 |
| 5.1.2. Winkelsensoren | 26 |
| 5.1.3. Drehfederkennlinie | 26 |
| 5.2. Kupplungsversuche | 27 |
| 5.2.1. Drehfederkennlinien | 27 |
| 5.2.2. Pendelversuche | 29 |
| 5.3. Abnutzung der Reibflächen | 30 |
| 6. Zusammenfassung und Ausblick | 32 |
| 6.1. Zusammenfassung | 32 |
| 6.2. Ausblick | 32 |
| 6.2.1. Verbesserungen des Versuchsaufbaus | 32 |
| 6.2.2. Weiterentwicklung der Freilaufkupplung | 32 |
| 6.2.3. Integration der Freilaufkupplung in humanoide Roboter | 33 |
| Literaturverzeichnis | 34 |
| A. Anhang | 36 |
| A.1. Datenblätter | 36 |
| A.1.1. optischer Drehgeber – Hengstler AC36 | 36 |
| A.1.2. Drehmomentsensor – Megatron DFM2x-2.5 | 42 |
| A.1.3. Analog-Digital-Umsetzer – Texas Instruments ADS1014 | 48 |
| A.1.4. Ausgleichkupplung | 82 |
| A.1.5. Aktor – Robotis Dynamixel RX-28 | 84 |
| A.2. Stückliste | 87 |
| A.3. Konstruktionszeichnungen | 88 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------------|-----------------------------|
| NRL | Labor für Neurorobotik |
| FLK | Freilaufkupplung |
| NBR | Nitril-Butadien-Kautschuk |
| FEM | Finite-Elemente-Methode |
| ABS | Acrylnitril-Butadien-Styrol |
| ADC | Analog-Digital-Konverter |

Verzeichnis der Formelzeichen

| Formelzeichen | Bedeutung | SI-Einheit |
|---------------------|---|--------------------------|
| A | Fläche | m |
| b | Länge der Keilaußenfläche | m |
| F_d | Dämpfungskraft | $\frac{kg \cdot m}{s^2}$ |
| h | Höhe | m |
| p | Flächenpressung | $\frac{N}{mm^2}$ |
| p_{zul} | maximal zulässige Flächenpressung | $\frac{N}{mm^2}$ |
| q | Amplitudenverhältnis | 1 |
| r | Radius | m |
| t | Zeit | s |
| $T_{Antrieb}$ | Drehmoment am Antrieb | Nm |
| T_d | Schwingungsdauer | s |
| T_{max} | maximal auftretendes Drehmoment | Nm |
| U | Spannung | V |
| v_0 | Anfangsgeschwindigkeit | $\frac{m}{s}$ |
| y | Elongation, Auslenkung | m |
| \dot{y} | Momentangeschwindigkeit | $\frac{m}{s}$ |
| \ddot{y} | Momentanbeschleunigung | $\frac{m}{s^2}$ |
| \hat{y} | Amplitude | m |
| α | Winkel | $^\circ$ |
| β | Dämpfungskonstante | $\frac{kg}{s}$ |
| δ | Abklingkoeffizient | $\frac{1}{s}$ |
| $\varphi_{Abtrieb}$ | Winkel am Abtrieb | $^\circ$ |
| $\varphi_{Antrieb}$ | Winkel am Antrieb | $^\circ$ |
| φ_0 | Nullphasenwinkel | $^\circ$ |
| ω_0 | Eigenkreisfrequenz | $\frac{1}{s}$ |
| ω_d | Kreisfrequenz der gedämpften Schwingung | $\frac{1}{s}$ |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| 2.1.1. Übersicht: Wellen-Kupplungen nach VDI 2240 [19] | 3 |
| 2.1.2. Aufbauarten Freilaufkupplung nach [14]; Schlingfeder-Kupplung (1), Klemmrollenfreilauf (2), Klemmkörperfreilauf (3) und Klinkensperre (4) | 4 |
| 2.1.3. Klemmrollenfreilauf nach [9] (links), [3] (mitte) und [12] (rechts) | 5 |
| 2.1.4. Vorgänger der Freilaufkupplung des NRL: (1) seitliche Ansicht, (2) isometrische Ansicht, (3) Draufsicht, (4) Ansicht von unten | 6 |
| 2.3.1. Freilaufkupplung in vier Schnittebenen zur Erläuterung des inneren Aufbaus, aus [8] | 8 |
| 2.3.2. Explosionsansicht der Freilaufkupplung, aus [8] | 9 |
| 2.3.3. Die Erdung der Freilaufkupplung, aus [8] | 9 |
| 2.3.4. Funktionsweise der Freilaufkupplung, aus [8] | 10 |
| 2.3.5. Foto der Freilaufkupplung, aus [8] | 10 |
| 2.4.1. Geometrie des Abtriebes: (1) mit Gummierung als Reibfläche, (2) mit O-Ringen als Reibfläche | 11 |
| 3.1.1. Eingangssignal der Drehfederkennlinien | 14 |
| 3.1.2. Eingangssignal der Pendelversuche | 15 |
| 4.1.1. Versuchsaufbau: (1) Rahmen aus Profilsystem, (2) verschiebbare Messstrecke zum Einhängen, (3) kompletter Aufbau mit Rahmen und Messstrecke | 19 |
| 4.3.1. Draufsicht der Messstrecke mit Komponentenbeschriftung | 20 |
| 4.5.1. Prinzipskizze des Testaufbaus | 22 |
| 5.1.1. Graphen zur Analyse der gedämpften Schwingung | 23 |
| 5.1.2. Graph des errechneten Reibmoments | 24 |
| 5.1.3. Foto: Versuchsaufbau mit Newtonmeter zur Validierung des Drehmomentsensorsignals | 25 |
| 5.1.4. Darstellung des Korrekturfaktors für den Drehmomentsensor | 26 |
| 5.1.5. Drehfederkennlinie für den Testaufbau mit starrer Verbindung zwischen Antrieb und Messwelle | 27 |
| 5.2.1. Auswertung Drehfederkennlinie: Drehfederkennlinie der Kupplung mit 7 O-Ringen | 28 |
| 5.2.2. Auswertung Pendelversuche: (1) sofortiges Auskuppeln, (2) Auskuppeln nach einer Schwingung und (3) keine vollständige Entkupplung | 29 |
| 5.3.1. Abnutzung der Reibfläche; am Abtrieb | 31 |
| 5.3.2. Abnutzung der Reibfläche; am Keil | 31 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| 2.2.1. Übersicht der Änderungsanforderungen an die Freilaufkupplung nach [13] . . . | 7 |
| 2.4.1. Druck auf die Reibflächen bei 5 Nm | 12 |
| 3.3.1. Tabellarische Übersicht der Versuchsplanung | 17 |
| 4.2.1. Anforderungsliste des Versuchsaufbaus nach [13] | 19 |
| 5.2.1. Tabellarische Übersicht der Versuchsergebnisse | 30 |

1. Einleitung

Diese Arbeit ist am Labor für Neurorobotik (NRL) der Humboldt–Universität zu Berlin entstanden. Das NRL hat im Rahmen eines EU-Projektes einen humanoiden Roboter ("Myon") entwickelt. Die im Verlauf dieser Arbeit ausführlich beschriebene Kupplung soll eine Alternative zu den bisher verwendeten Kupplungen in dem genannten Roboter ermöglichen. Bei der Kupplung handelt es sich um eine Freilaufkupplung, die von Torsten Siedel und Manfred Hild erdacht und verwirklicht wurde.

Auslöser für die Entwicklung der Kupplung war es, die Antriebstechnik von humanoiden Robotern vollständig von dem sich daran anschließenden Abtrieb zu entkoppeln. Dies ist vorteilhaft um beispielsweise Reibung zu verhindern, die Antriebe vor Überlast zu schützen oder Gelenke zu entkoppeln. Der Begriff Freilauf beschreibt ein Konstruktionselement, welches abhängig von der Drehrichtung eine freie Bewegung realisiert bzw. eine Verbindung zwischen An- und Abtrieb herstellt.

Die in dieser Arbeit behandelte Kupplung unterscheidet sich dahingehend zu oben erwähnten Freilaufkupplungen, weil sie diese Richtungsabhängigkeit nicht besitzt. Die Kupplung kann in beide Drehrichtungen eine Verbindung zwischen Antrieb und Abtrieb aufbauen. Die Zielsetzung ist außerdem, diese Funktionsweise mit Hilfe von passiven Mechanismen umzusetzen. Weiterhin soll ein Versuchsaufbau zur Erprobung der Prototypen konstruiert und die vorhandenen Prototypen analysiert und verglichen werden. Mögliche Verbesserungen oder neue Wirkprinzipien werden aufgezeigt.

2. Das Prinzip der bidirektionalen Freilaufkupplung

2.1. Stand der Technik

Kupplungen umfassen ein großes Gebiet der Konstruktionslehre. Der Begriff beschreibt Funktionselemente, die die Verbindung zwischen An- und Abtrieben herstellen, um Drehmomente zu übertragen. Einen guten Einstieg in das Thema Kupplungen bietet dabei der Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau [6, ab G60].

Neben der Hauptfunktion, der Drehmomentübertragung, haben Kupplungen je nach Einsatzgebiet verschiedene Bauweisen, die zu unterschiedlichen Eigenschaften führen. Die Unterteilung von Kupplungen kann nach Funktionen und Eigenschaften erfolgen. Die Freilaufkupplung des Labor für Neurorobotik (NRL) entspricht nach der VDI 2240 Richtlinie dem roten Pfad in der Abbildung 2.1.1. Das Diagramm zeigt eine Unterteilung der Wellenkupplung nach ihren Eigenschaften. Der rote Pfad endet bei reibschlüssigen Kupplungen, dies ist nicht ganz richtig, denn die hier vorgestellte Kupplung ist eine Kombination aus Form- und Kraftschluss. Dies wird in Kapitel 2.3 näher erläutert.

2. Das Prinzip der bidirektionalen Freilaufkupplung

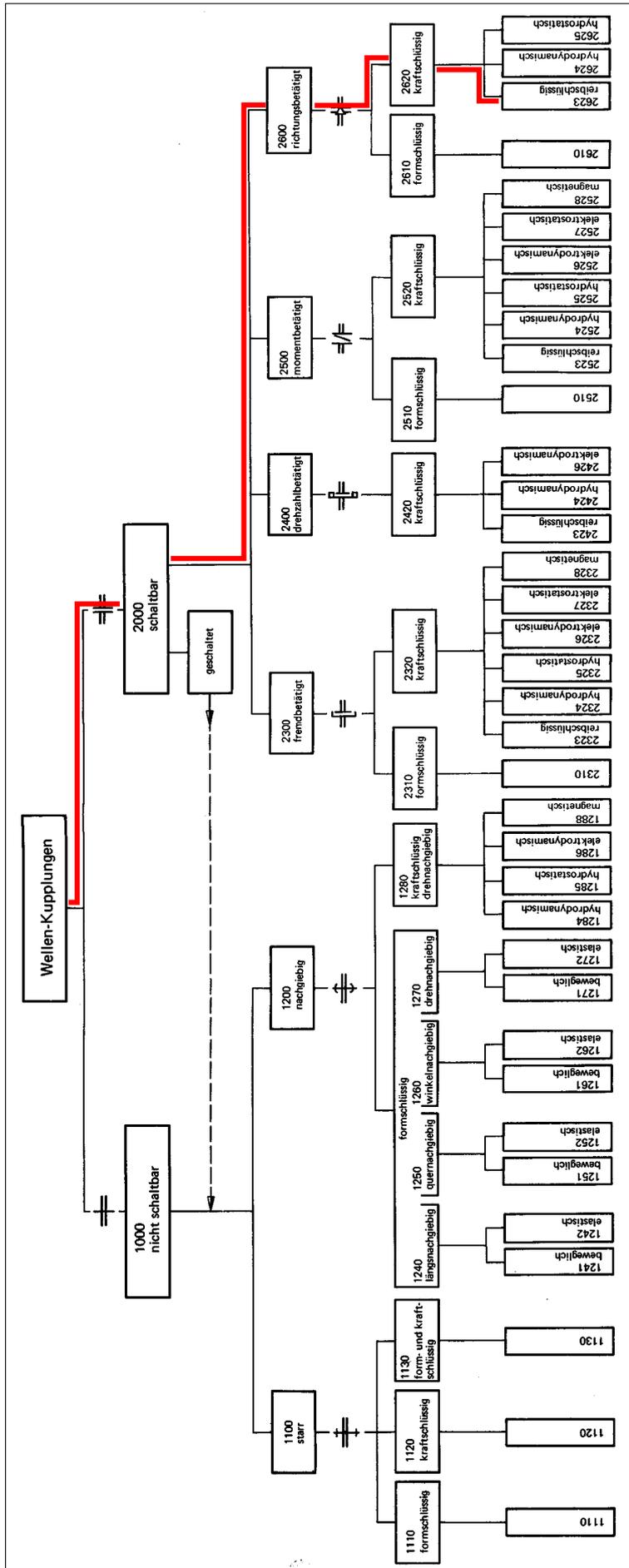


Abbildung 2.1.1.: Übersicht: Wellen-Kupplungen nach VDI 2240 [19]

2. Das Prinzip der bidirektionalen Freilaufkupplung

Der Begriff Freilaufkupplung (FLK) beschreibt eine spezielle Art der Kupplung. Die Kupplung ermöglicht in einem bestimmten Betriebszustand einen Freilauf. Die Realisierung des Aufbaus kann auf unterschiedliche Arten erfolgen. Was alle Kupplungen gemein haben, sind Klemmkörper, die dafür sorgen, dass das Drehmoment übertragen werden kann. Diese Klemmkörper klemmen sich zwischen An- und Abtrieb und stellen eine Verbindung her. Die Form und Funktionsweisen dieser Klemmkörper unterscheiden sich stark voneinander. Laut ROACH [14] gibt es im Wesentlichen vier verschiedene Aufbauarten. Diese sind in der folgenden Grafik 2.1.2 dargestellt. Die Kupplung (1) ist eine Schlingfeder-Kupplung. Sie

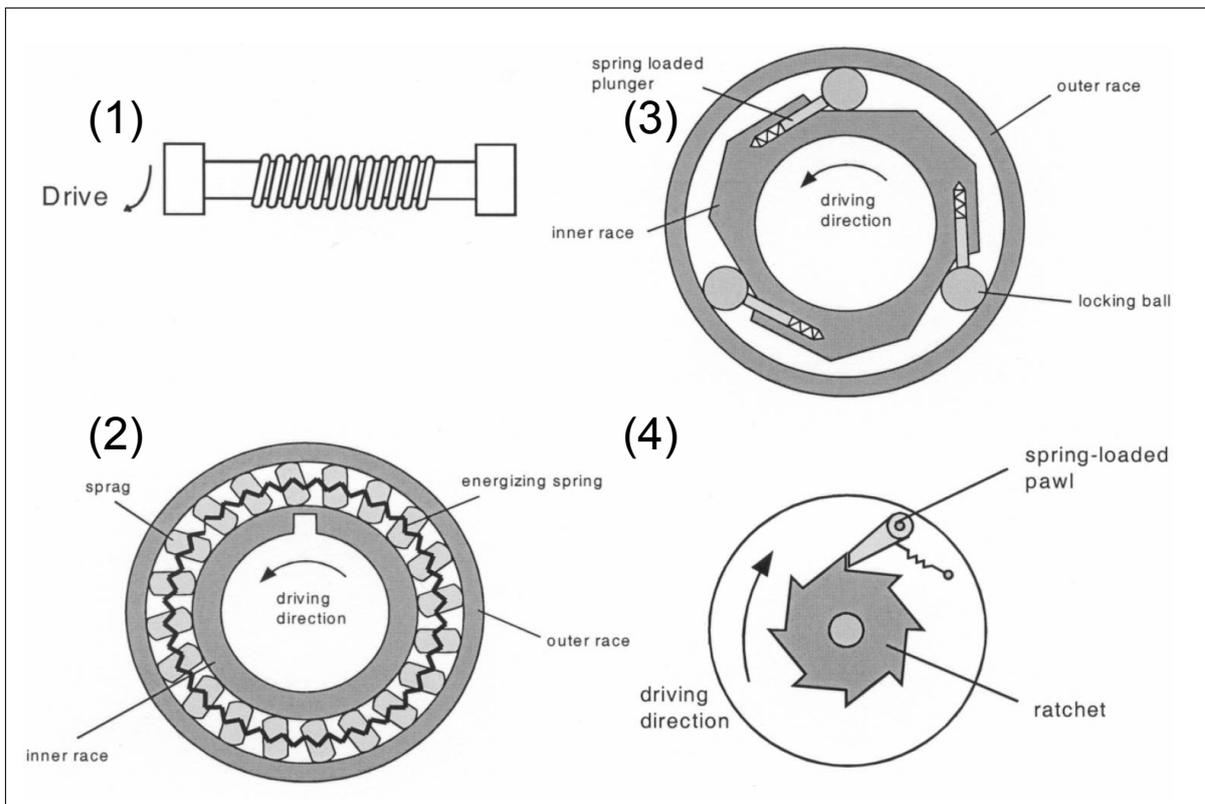


Abbildung 2.1.2.: Aufbauarten Freilaufkupplung nach [14]; Schlingfeder-Kupplung (1), Klemmrollenfreilauf (2), Klemmkörperfreilauf (3) und Klinkensperre (4)

besteht aus einer Antriebs- und einer Abtriebswelle und einer Spiralfeder. Sobald sich der Antrieb dreht, zieht sich die Feder an der Abtriebswelle zusammen und erhöht die Reibkraft. Diese Art der Freilauf- oder Überholkupplung kommt z.B. bei Druckern zum Einsatz.

Die zweite Abbildung (2) zeigt einen Klemmrollenfreilauf. Bei diesem Aufbau wird eine Kugel durch eine Feder gegen den Außenring gedrückt. Wenn der Antrieb in Freilaufrichtung gedreht wird, drückt der Außenring die Kugel nach innen. Es tritt Reibung auf, aber es wird nicht gesperrt. Bei Drehung in die entgegengesetzte Richtung wirken die Federkraft und die Tangentialkraft zwischen Außenring und Kugel in die selbe Richtung. Die Kugel verkeilt sich zwischen dem Abtrieb und der ebenen Fläche am Innenring und ermöglicht die Drehmomentübertragung.

Abbildung 2.1.2 (3) zeigt einen Klemmkörperfreilauf. Der Klemmkörper bei dieser Aufbauart kann verschiedene Formen haben. Die Grundidee ist die, dass der Klemmkörper um seine eigene Achse federnd gelagert ist. Dadurch ist eine Verdrehung möglich, welche ähnlich

2. Das Prinzip der bidirektionalen Freilaufkupplung

wie bei dem Klemmrollenfreilauf und abhängig von der Drehrichtung zu einer Verspannung zwischen Innen- und Außenring führt. Eine Übersicht über Geometrien und Berechnungsgrundlagen liefert DEPPENKEMPER [1].

Die vierte Möglichkeit (4) ist der Aufbau mithilfe von Klinken oder Klauen. In der in Abbildung 2.1.2 dargestellten Drehrichtung können die Klinken die Zahnflanken nicht überwinden und ermöglichen damit eine Drehmomentübertragung. In umgekehrter Richtung springt die Klinken über die einzelnen Zähne des inneren Zahnrades, was einen Freilauf ermöglicht. Dieser Aufbau kommt beispielsweise bei Förderbändern als Rücklaufsperre zum Einsatz. Freilaufkupplungen werden außerdem bei Fahrrädern für den Freilauf, als Sicherheitskupplungen oder als Drehzahlausgleich genutzt.

Die bisher vorgestellten Kupplungen ermöglichen das Durchrutschen in eine Richtung und eine Drehmomentübertragung in die andere. Es sollen im Folgenden einige Beispiele gezeigt werden, bei denen eine Drehmomentübertragung in beide Drehrichtungen möglich ist. In der Übersicht von SCLATER [17, S. 210] wird ein Klemmrollenfreilauf vorgestellt, der in zwei Richtungen ein Drehmoment überträgt und in Mittelposition einen Freilauf gewährleistet. Der Antriebsteil ist dabei ähnlich einer Polygonwelle gestaltet. An den abgeflachten Seitenflächen sitzen je zwei Klemmrollen, die mithilfe von Federn voneinander weggedrückt werden. Bei Drehung des Innenrings wird je eine Klemmrolle pro Paarung gegen den Außenring gedrückt. Somit kann das Drehmoment übertragen werden.

Die Literatur zu bidirektionalen Freiläufen ist begrenzt. Es gibt allerdings diverse Patente, die dieses Funktionsprinzip beschreiben.

In der Patentschrift von WAINE [20] ist eine Kupplung mit Feder beschrieben, die in beide

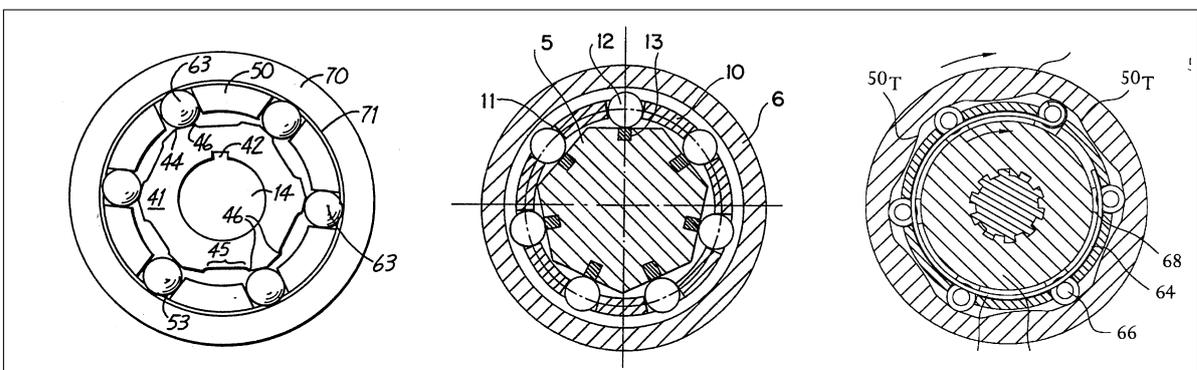


Abbildung 2.1.3.: Klemmrollenfreilauf nach [9] (links), [3] (mitte) und [12] (rechts)

Richtungen wirken kann. Die von GEISTHOFF [4], [5] verfassten Patentschriften beschreiben eine doppelte Klinkensperre, die durch Steuerhebel geschaltet werden können. In [9] hilft eine bidirektionale Überholkupplung den Allradantrieb eines Geländefahrzeugs zu steuern. Der Aufbau wird dort durch eine auf den ersten Blick aufwendige Antriebswelle in Kombination mit Klemmrollen ermöglicht (siehe Abbildung 2.1.3 (links)). Einen ähnlichen Aufbau bieten MACPHERSON [11] (Abbildung 2.1.3 (mitte)) und ROBINSON [15].

OCHAB [12] und SAIKO [16] benutzen die gleiche Funktionsweise. Allerdings ist der Antrieb hier am Außenring und der Abtrieb am Innenring (siehe Abbildung 2.1.3).

2. Das Prinzip der bidirektionalen Freilaufkupplung

Die vorgestellten Freiläufe sind mit Rollen, Klemmkörpern oder Klinken realisiert. Eine Kupplung, die von dieser Bauart abweicht, ist der Vorgänger der in dieser Arbeit beschriebenen Kupplung. Diese Kupplung des NRL wurde hauptsächlich durch Rapidprototyping-Verfahren hergestellt und besteht zu großen Teilen aus Kunststoff (ABS). Das Funktionsprinzip ist ähnlich zu den vorgestellten. Hauptunterschiede sind die verwendeten Materialien, die Aufhängung der Keile und die Position der mechanischen Erdung.

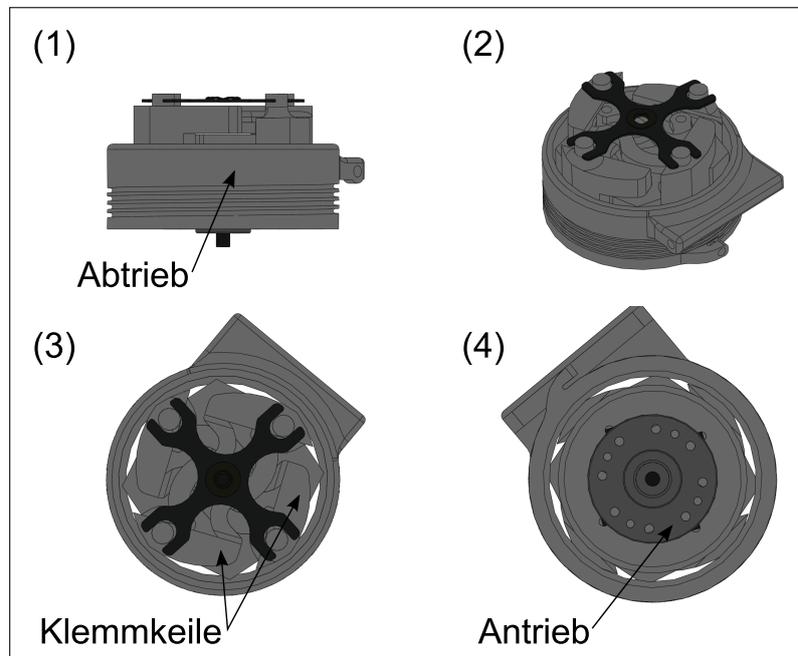


Abbildung 2.1.4.: Vorgänger der Freilaufkupplung des NRL: (1) seitliche Ansicht, (2) isometrische Ansicht, (3) Draufsicht, (4) Ansicht von unten

2.2. Anforderung an die Freilaufkupplung

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Anforderungen an die Freilaufkupplung, um die es in dieser Arbeit geht, aufgezeigt. Da die hier beschriebene Kupplung schon konstruiert wurde, handelt es sich lediglich um eine Änderungskonstruktion. Die Konstruktion der Kupplung soll auf einer passiven Funktionsweise beruhen. Das bedeutet, der Freilauf bzw. die Übertragung von Drehmomenten muss ohne ein zusätzliches Signal umgesetzt werden. Die Freilaufkupplung soll eine mögliche Alternative zu den bisher verbauten Federkupplungen in dem Roboter "Myon" [7] sein. Die Größe der Kupplung orientiert sich daher an den bisher verbauten Komponenten.

Das maximal zu übertragende Drehmoment wird durch den verwendeten Elektromotor, den Dynamixel RX-28 der Firma Robotis, vorgegeben.

Die Welle-Nabe-Verbindung ergibt sich auf der Antriebsseite durch das Ruderhorn, welches mit einer Zahnwelle auf den Motor montiert wird. Auf der Abtriebsseite ermöglicht der Drehmomentsensor die Nutzung einer Passfederverbindung.

In Tabelle 2.2.1 ist eine Anforderungsliste in Anlehnung an die von PAHL und BEITZ vermittelte methodische "Konstruktionslehre" [13] dargestellt. Dabei werden die oben genann-

2. Das Prinzip der bidirektionalen Freilaufkupplung

ten Anforderungen nach Wunsch bzw. Forderung unterteilt. Die geforderten Punkte müssen erfüllt werden, die Wünsche nur wenn umsetzbar.

Tabelle 2.2.1.: Übersicht der Änderungsanforderungen an die Freilaufkupplung nach [13]

| Änderung | Forderung(F) Wunsch(W) | Anforderung |
|----------|---------------------------|---|
| – | F | <i>Geometrie</i> |
| – | F | Höhe $\leq 3cm$ |
| – | F | Durchmesser ca. 40mm |
| – | F | Passfeder am Abtrieb für Drehmomentsensor |
| – | W | Hohlachse |
| – | F | <i>Kinematik</i> |
| – | F | bei Drehmoment sperren |
| – | F | übertragbares Drehmoment in beide Richtungen |
| – | F | ohne Drehmoment Freilauf |
| – | F | passiv |
| – | F | automatisches Entkoppeln wenn kein Drehmoment anliegt |
| – | F | symmetrische Keilgeometrie |
| – | F | symmetrische Keilanordnung |
| – | F | <i>Belastungen</i> |
| – | F | $5Nm \leq \text{Drehmoment} \leq 6Nm$ |
| – | F | dynamisches Drehmoment |
| – | W | möglichst wenig Reibung |
| – | F | <i>Materialien</i> |
| – | F | ABS-P400 (3D-Drucker) |
| – | F | Aluminium für Kupplungsbauteile |
| – | F | Belag für Reibflächen (NBR) |
| – | F | <i>Sonstiges</i> |
| – | F | geringe Materialkosten |
| – | W | einfache Fertigung |
| – | W | einfache Montage |
| – | F | geringe Stückzahl |
| | F | <i>Termin</i> |
| | F | Dezember 2010 |

2.3. Aufbau und Funktionsprinzip der Freilaufkupplung

Im Nachfolgenden werden der Aufbau und die Funktionsweise der Freilaufkupplung erläutert. In der Abbildung 2.3.1 ist die Kupplung in vier verschiedenen Schnittebenen dargestellt. Die erste Abbildung (A) zeigt den Abtriebsring (3), den Antriebsteil (2) und einen der vier Keile mit seinem Hebelarm. Die kleinen Buchstaben markieren die Drehpunkte des Antriebs (a) und des Keils (b). Wie in (B) zu erkennen, sind die Keile symmetrisch angeordnet. Um genügend Raum zu haben, befindet sich die Aufhängung der Keile in zwei verschiedenen Ebenen. Die Ansichten (A) und (B) zeigen die Kupplung in mittlerer Teilungsebene. Um die Keilaufhängung auf mittlerer Höhe des Keils anzubringen, ist der Antriebsteil zweigeteilt. Dies ist nötig, damit die angreifenden Kräfte den Keil nicht verdrehen. Die dritte Abbildung (C) zeigt die Kupplung in der Draufsicht. Das obere Antriebsteil ist montiert, die Aufhängung

2. Das Prinzip der bidirektionalen Freilaufkupplung

der Keile wird dadurch verdeckt. Auf der letzten Zeichnung (D) ist das Synchronkreuz zu erkennen. Dieses befindet sich unterhalb des Aufbaus und sorgt für einen gleichmäßigen Abstand der Keile zueinander.

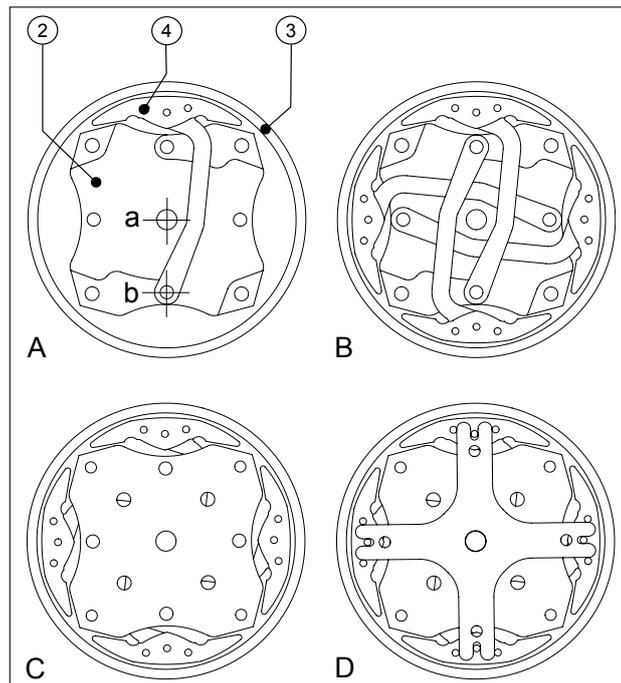


Abbildung 2.3.1.: Freilaufkupplung in vier Schnittebenen zur Erläuterung des inneren Aufbaus, aus [8]

In Abbildung 2.3.2 ist die Freilaufkupplung in Explosionsansicht dargestellt. Die Beschriftung ist auf die fünf Hauptbestandteile beschränkt. Die erste Komponente (1) ist die mechanische Erdung. Diese wird später in Abbildung 2.3.3 noch detailliert erläutert. In (2) sind die Antriebskomponenten der Kupplung dargestellt. Wie bereits oben erläutert, ist hier deutlich die Zweiteilung des Innenteils zu erkennen. Auf der linken und rechten Seite sieht man die beiden Lagerpunkte. Ein Dünnringlager (links) lagert die Kupplung und ein Miniaturlager (rechts) dient zur Lagerung des Abtriebs (3). Der Abtrieb ist eine Hohlwelle mit innenliegenden Reibflächen und einer Deckelscheibe. Diese wird in dem Testaufbau durch eine veränderte Version ersetzt, um eine Verbindung zum Drehmomentsensor herzustellen. Die Keile (4) stellen die Verbindung zwischen An- und Abtrieb her. Die letzte Komponente ist der Motor. Dieser ist an einer Aluminiumplatte befestigt, auf der sich auch die sogenannte mechanische Erdung befindet.

Die mechanische Erdung (Abbildung 2.3.3) sitzt am unteren Ende der Kupplung. Sie erzeugt eine Reibkraft (F), indem drei Federbleche (7) in gleichem Abstand, also 120° , gegen den Erdungsring (10) gedrückt werden. Der Erdungsring ist mit dem Synchronkreuz verbunden, welches den Abstand der Keile zueinander konstant hält. Dieses Moment wird benötigt, damit sich die Keile nach der Wegnahme des Drehmoments aus ihrer Verklebung lösen und durch Drehung des Antriebs, relativ zu diesem, in eine mittlere Position zurück bewegt werden. Die Erdung befindet sich in der gleichen Ebene (8) wie der Antrieb. Die Federbleche sind mittels Kunststoffteilen an einem Ende eingespannt. Am anderen Ende jedes Bleches befinden sich ebenfalls Kunststoffteile, das mittels Stellschrauben (6) die Größe der Druck-

2. Das Prinzip der bidirektionalen Freilaufkupplung

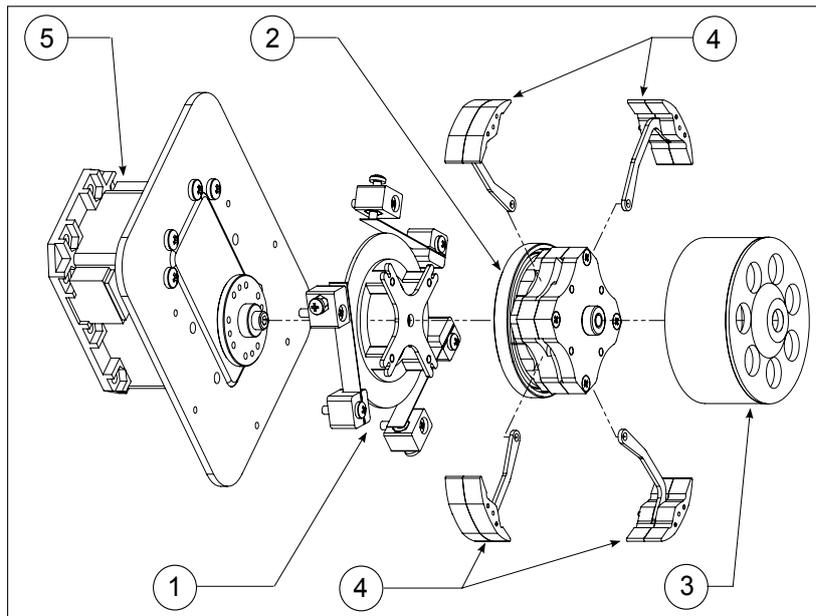


Abbildung 2.3.2.: Explosionsansicht der Freilaufkupplung, aus [8]

kraft auf das Federblech beeinflussen. Durch diese Druckkraft lässt sich ein Reibmoment erzeugen, das einstellbar ist.

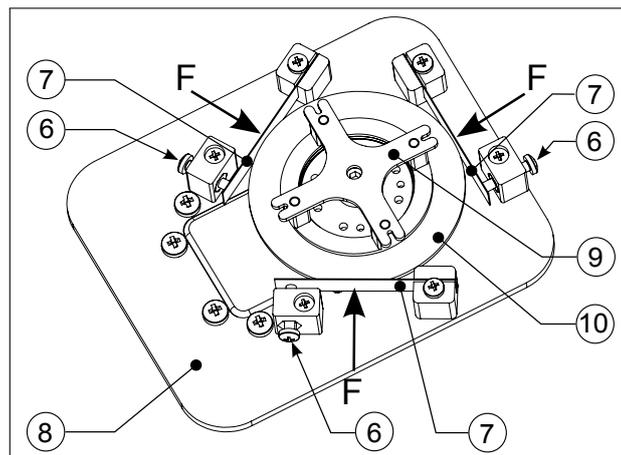


Abbildung 2.3.3.: Die Erdung der Freilaufkupplung, aus [8]

Wie in Abbildung 2.1.1 veranschaulicht, zählt diese Kupplung zu den reibschlüssigen Kupplungen. Die vier Klemmkeile stellen mit ihren Außenflächen den Kontakt zum Reibbelag, den O -Ringen, her. Auf der Innenseite der Keile wird allerdings ein Formschluss hergestellt. Der Innenring der Kupplung und die Keile besitzen ebene Flächen, die bei Drehmomentübertragung deckungsgleich sind und somit für die nötige Gegenkraft sorgen.

Die Abbildung 2.3.4 zeigt die drei Funktionsmodi der Kupplung. Wenn der Motor den Antriebsteil im Uhrzeigersinn dreht, dann bleiben die Klemmkeile solange in ihrer Position, bis die besagten Innenflächen der Keile an dem Antriebsteil anliegen. Die Keilaußenflächen werden dabei gegen den Abtrieb gedrückt und stellen den Reibschluss her. An- und Abtrieb drehen dann synchron in die gleiche Richtung.

Die mittlere Abbildung zeigt den Freilauf der Kupplung. Die Keilposition ist mittig, sodass der

2. Das Prinzip der bidirektionalen Freilaufkupplung

kein Kontakt zum Außenring besteht. Dieser ist in diesem Zustand frei drehbar. Auf der letzten Zeichnung ist der gleiche Funktionsablauf wie auf dem ersten Bild zu erkennen. Die Drehrichtung des Motors ist hier entgegengesetzt, sie dreht nach links.

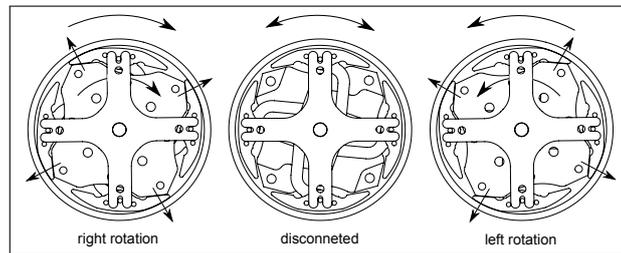


Abbildung 2.3.4.: Funktionsweise der Freilaufkupplung, aus [8]

In Abbildung 2.3.5 ist ein Foto des Aufbaus dargestellt. Die dazugehörigen Konstruktionszeichnungen und die Stückliste für die Kupplung befinden sich im Anhang.

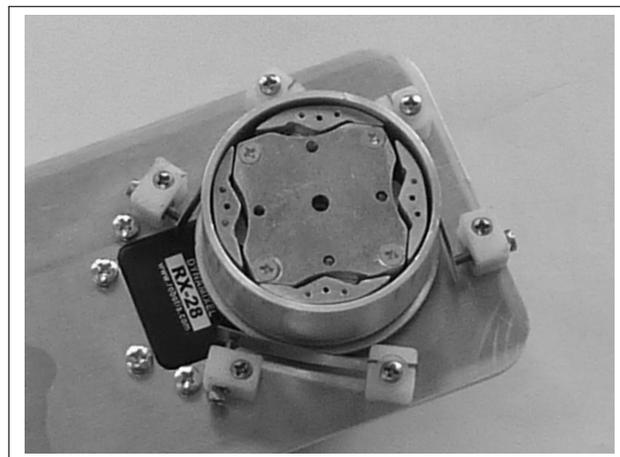


Abbildung 2.3.5.: Foto der Freilaufkupplung, aus [8]

2.4. Konstruktive Veränderungen der Freilaufkupplung

Bei der Entwicklung der Freilaufkupplung aus Aluminium sollte der Reibschluss, also die Verbindung zwischen An- und Abtrieb, ursprünglich durch eine Gummifläche hergestellt werden, die sich auf der Innenseite des Abtriebs befinden sollte (siehe Abb. 2.4.1 (1)). Die Anbringung der Reibfläche an die Innenseite der Zylinderfläche mithilfe einer Klebung, stellte sich bei Montageversuchen als schwierig und unzuverlässig heraus. Aus Montagegründen wurde beschlossen, diese Gummierung stattdessen auf den Außenflächen der beweglichen Keile anzubringen.

Nach einigen Testläufen war zu erkennen, dass die Reibfläche auch an dieser Stelle keinen zuverlässigen Betrieb für eine längere Zeit gewährleistet. Dies liegt zum einen an der ungleichmäßigen Klebung der Gummifläche an der Zylinderinnenfläche, wie bei dem ersten Versuch bereits deutlich wurde und zum anderen neigt die Reibfläche an dem spitzen Ende des Keils dazu, sich abzulösen und aufzurollen.

2. Das Prinzip der bidirektionalen Freilaufkupplung

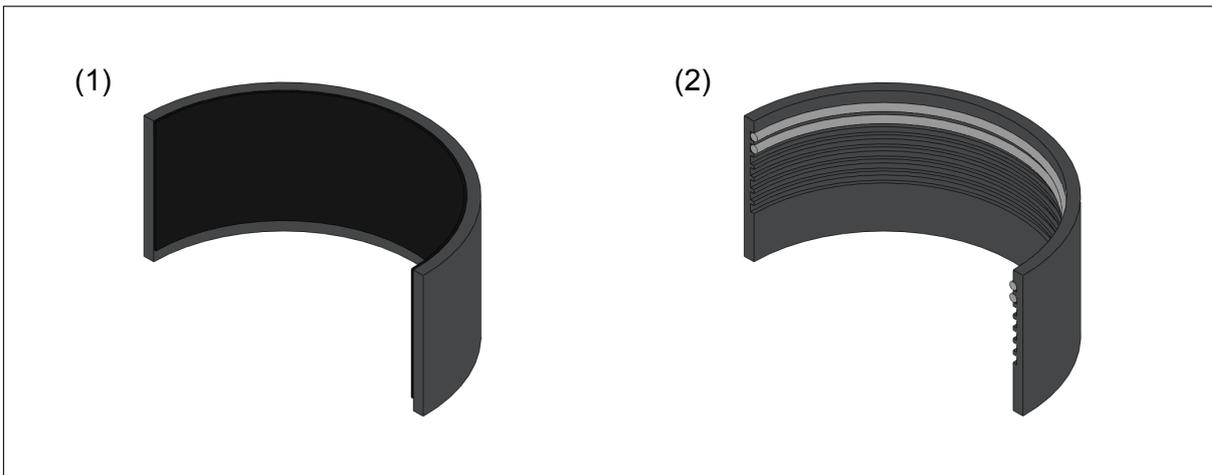


Abbildung 2.4.1.: Geometrie des Abtriebes: (1) mit Gummierung als Reibfläche, (2) mit O-Ringen als Reibfläche

Um dem Problem der Klebung vorzubeugen, wurde der Abtrieb umgestaltet. Der Abtrieb hatte bisher die Form eines Hohlzylinders. Diese Form wird auf der Innenseite mit Nuten versehen, in die dann der Reibbelag eingelegt wird. Bei dem Reibbelag handelt es sich um O-Ringe, die normalerweise als Dichtungen genutzt werden. Diese Ringe haben eine relativ gute Formstabilität, die in Kombination mit den Nuten ein Ablösen des Reibbelags verhindern soll.

Das Material der verwendeten Ringe ist Acrylnitril-Butadien-Kautschuk (NBR). Die Materialeigenschaften von NBR [10] sind für diesen Anwendungszweck gut geeignet. NBR weist ein gutes Abriebverhalten auf und bietet einen guten Verschleißwiderstand, diese sind abhängig vom Mischungsaufbau. Der thermische Anwendungsbereich liegt zwischen -30°C und 100°C . Dieser Temperaturbereich wird bei dem hier vorgestellten Verwendungszweck nicht ausgereizt.

Im Folgenden wird detailliert beschrieben, wie groß die Flächenpressung an den Reibbelägen der einzelnen Kupplungskonfiguration ist.

Durch den kreisförmigen Querschnitt der O-Ringe besteht im Prinzip nur ein Linienkontakt. Da sich NBR aber elastisch verformen kann, wird davon ausgegangen, dass die O-Ringe soweit zusammengedrückt werden, dass die Breite der entstehende Fläche dem Querschnitt der O-Ringe von 1mm entspricht.

Die errechnete Breite b ergibt sich aus dem gegebenem Radius r und dem Winkel α :

$$b = \frac{\pi\alpha r}{180^{\circ}} = 6,76\text{mm} \quad (2.1)$$

Die Fläche A ergibt sich bei vier Keilen aus Breite b und Höhe h :

$$A = 4bh \quad (2.2)$$

2. Das Prinzip der bidirektionalen Freilaufkupplung

Die Flächenpressung p ergibt sich aus dem maximalen Moment ($T_{Antrieb} = 5Nm$), der Reibfläche A und dem zugehörigen Hebelarm r der jeweiligen Konfiguration:

$$p = \frac{T_{Antrieb}}{Ar} \quad (2.3)$$

Tabelle 2.4.1.: Druck auf die Reibflächen bei 5 Nm

| Konfiguration des Abtriebs der Kupplung | Reibfläche A in mm^2 | Flächenpressung p in $\frac{N}{mm^2}$ |
|---|---------------------------|--|
| O-Ringe $\varnothing 36 \times 1mm$, Anzahl(1) | 27,03 | 10,22 |
| O-Ringe $\varnothing 36 \times 1mm$, 2 | 54,06 | 5,11 |
| O-Ringe $\varnothing 36 \times 1mm$, 3 | 81,09 | 3,41 |
| O-Ringe $\varnothing 36 \times 1mm$, 4 | 108,16 | 2,56 |
| O-Ringe $\varnothing 36 \times 1mm$, 5 | 135,14 | 2,04 |
| O-Ringe $\varnothing 36 \times 1mm$, 6 | 162,17 | 1,70 |
| O-Ringe $\varnothing 36 \times 1mm$, 7 | 189,20 | 1,46 |
| Gummierung mit $h = 10mm$ | 270,29 | 1,02 |

3. Versuchsplanung

In diesem Kapitel gilt es, die Versuche, die im Rahmen dieser Bachelorarbeit durchgeführt wurden vorzustellen. Des Weiteren sollen die damit zusammenhängenden Vergleichsgrößen vorgestellt und erläutert werden.

3.1. Vergleichsgrößen zur Bewertung der Kupplung

Ziel der Arbeit ist es, erste Anhaltspunkte über das Verhalten der Freilaufkupplung zu sammeln. Die unterschiedlichen Konfigurationen der Kupplung müssen durch vorher festgelegte Parameter miteinander vergleichbar gemacht werden. Es wird im Folgenden auf das Kupplungsverhalten eingegangen. Dabei sollen speziell der benötigte Weg und die benötigte Zeit, um ein- bzw. auszukoppeln, Anhaltspunkte geben. Des Weiteren soll die Drehfederkennlinie Auskünfte über das Verhalten im Detail geben.

3.1.1. Maximal übertragbares Drehmoment

In der Literatur zum Thema Freilaufkupplungen wird sich bei der Berechnung des maximal übertragbaren Moments meist auf die Hertz'sche Pressung [18] berufen.

Dieser Ansatz kann bei der in dieser Arbeit behandelten Kupplung nicht genutzt werden, da die Hertz'sche Pressung eine Linien- oder Punktlast als Kontaktkonstellation voraussetzt, dies ist bei dieser Kupplung nicht gegeben. Aufgrund der als Reibschluss ausgelegten Verbindung zwischen An- und Abtrieb muss eine möglichst große Fläche den Kontakt herstellen. Bei der Betrachtung des maximalen Drehmoments kann bei dieser Konstruktion zum einen der Reibbelag und zum anderen die Keilaufhängung als Schwachstelle gesehen werden. Der Reibbelag aus dem Werkstoff Nitril-Butadien-Kautschuk (NBR) wird normalerweise für Dichtungen genutzt. Der NBR weist eine Zugfestigkeit von $6 \frac{N}{mm^2}$ [2] auf. Wenn man diese Zugfestigkeit als die maximal zulässige Flächenpressung annimmt, ergibt sich je nach Anzahl der O-Ringe (1 bis 7), ein durch den Reibbelag maximal übertragbares Drehmoment von:

$$p_{zul} \cdot r \cdot A \approx 3Nm \leq T_{max} \leq 22Nm \quad (3.1)$$

Über die Beanspruchung der filigranen Keilaufhängung kann in dieser Arbeit keine Aussage gemacht werden, dazu ist eine Finite-Elemente-Methode (FEM)-Analyse nötig.

3.1.2. Kupplungsverhalten

Bei dem dynamischen Verhalten der Kupplung geht es um die Ein- und Auskupplungsvorgänge. Diese lassen sich anhand der Drehfederkennlinie, die nachfolgend näher beschrieben wird, erläutern.

Drehfederkennlinie

Die Drehfederkennlinie ist ein gutes Indiz für Verformungen, die in der Kupplung und im Versuchsaufbau auftreten. In TIMTNER [18] werden zwei Gründe genannt, weshalb die Drehfederkennlinie bei Freilaufkupplungen eine Rolle spielt. Erstens lassen sich Rückschlüsse auf das dynamische Verhalten des Systems führen und zweitens können durch die Betrachtung der Hystheresen die Schaltwege der Kupplung abgelesen werden. Wie im Kapitel über den Aufbau der Kupplung beschrieben, müssen die Keile einen gewissen Weg zurücklegen bis die Kupplung greift. Dieser ließe sich auch in der Konstruktionssoftware ablesen. Allerdings werden in diesem Fall die auftretenden Größen wie Reibung, Schlupf und Verformungen nicht berücksichtigt. In der Messkurve können diese Phänomene dann anhand der auftretenden Hystherese erklärt und beobachtet werden.

In Abbildung 3.1.1 ist das verwendete Eingangssignal für den Motor dargestellt. Auf dem Diagramm sind vier Perioden eines Rampensignals dargestellt. Bei der Durchführung der Versuche zur Drehfederkennlinie wurden zehn Perioden nacheinander angesteuert. Das Eingangssignal alterniert zwischen dem positiven und negativen Spannungswert und ändert damit bei jedem Vorzeichenwechsel des Anstiegs die Drehrichtung des Elektromotors. Auf den Plateaus bei $\pm 14,4V$ wird das Drehmoment gehalten. Durch dieses Signal wird der komplette Drehmomentbereich des Motors abgefahren. Alle Abschnitte des Signals haben ein gleich großes Zeitintervall von $0,2s$. Dadurch ergibt sich eine relativ kurze Gesamtdauer für einen Versuchsdurchlauf. Um eine Drehfederkennlinie aufzunehmen, muss der Abtrieb des Testaufbaus festgeklemmt werden. Für das gewünschte Diagramm, müssen die Winkel $\varphi_{Antrieb}$, $\varphi_{Abtrieb}$ und das Drehmoment T mitgeschrieben werden.

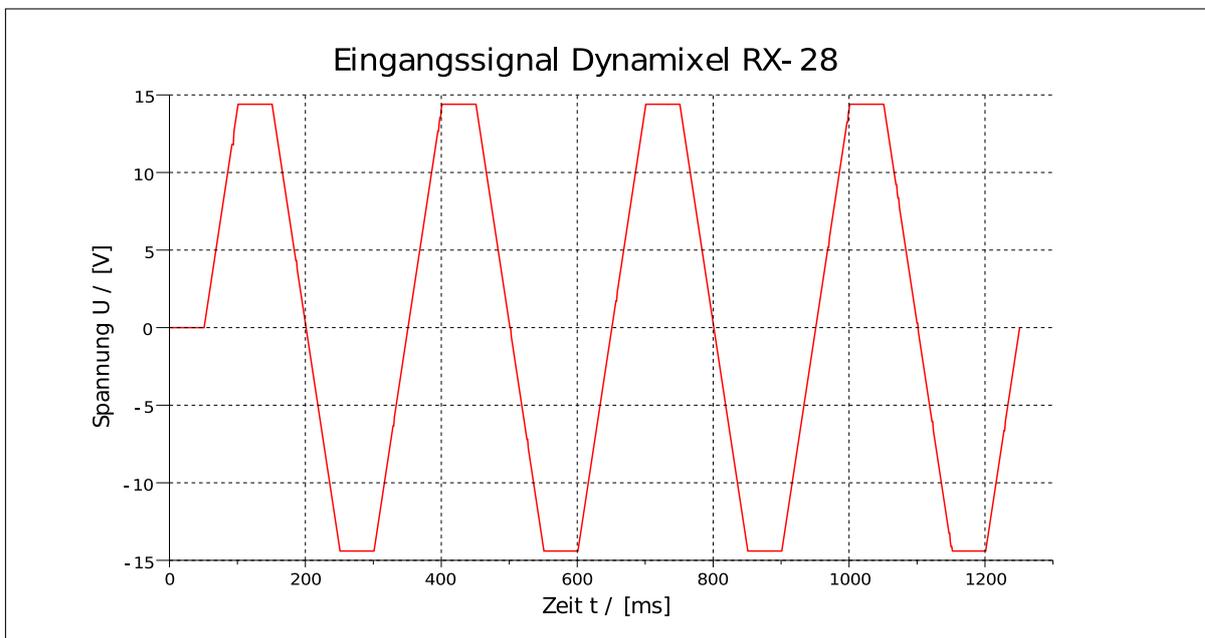


Abbildung 3.1.1.: Eingangssignal der Drehfederkennlinien

Pendelversuch

Bei dem Pendelversuch soll der Freilauf der Kupplung auf Funktion geprüft werden. Um den Motor mit einem Drehmoment zu belasten, wird ein Gewicht an einem Pendelarm angebracht. Das Lastmoment ist abhängig von der Position des Pendelarms, das maximale Moment wirkt bei waagerechter Lage bzw. einer Auslenkung von 90° . Das Maximum von $1,5Nm$ liegt knapp unter dem möglichen Moment, das der Motor aufbringen kann. Die Ansteuerung und das Gewicht sind so gewählt, dass der Pendelarm ab einem gewissen Punkt nicht höher gehoben werden kann. Für eine Zeitspanne von $0,2s$ wird der Motor versuchen, das Gewicht auf seiner Position zu halten. Das Haltemoment des Dynamixel beträgt laut vorheriger Messungen $5Nm$. Dies ist deutlich höher als die angebrachte Last. Durch das Halten kann man anhand der Winkel ein Durchrutschen der Kupplung erkennen. Das Eingangssignal wird dann sprungartig von $+1,0$ auf $-1,0$ geändert, was zur Folge hat, dass der Dynamixel in den Release-Modus geschaltet wird. In diesem Modus wird von der Motorseite kein Drehmoment mehr aufgebracht und das Pendel kann frei schwingen, sobald die Kupplung den Abtrieb vom Antrieb entkuppelt hat. Dieses Experiment wird in jede Richtung je zehnmal ausgeführt, um erste Aussagen über die Funktionstüchtigkeit der Kupplungen zu treffen.

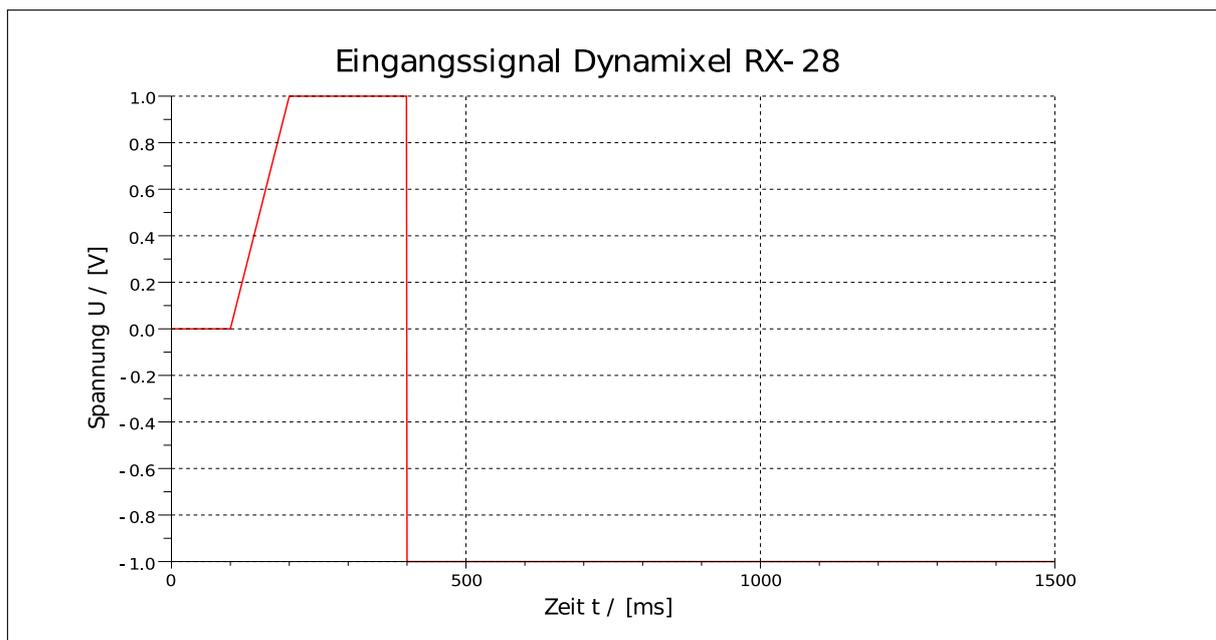


Abbildung 3.1.2.: Eingangssignal der Pendelversuche

3.2. Validierung des Versuchsaufbaus

3.2.1. Drehmoment

Zur Drehmoment-Validierung werden zwei unterschiedliche Versuche durchgeführt. Zunächst wird der Wert, den der dynamische Drehmomentsensor ausgibt, validiert. Dieser Versuch wird mithilfe eines Kraftmessgerätes durchgeführt. Dabei wird der Abtrieb des Testaufbaus so modifiziert, dass mittels eines Stahlseils an dem Newtonmeter eine Zugkraft erzeugt wird. Diese Kraft sollte mit dem Hebelarm zum Drehpunkt der Welle gleich dem Moment entsprechen, das der Drehmomentsensor ausgibt.

Der zweite Versuch zielt darauf ab, die Reibung des Testaufbaus zu ermitteln. Dabei soll am Pendelarm eine definierte Last angebracht werden. Der Arm wird dann per Hand um 90° auf eine waagerechte Position angehoben und anschließend losgelassen. Die Kupplung ist bei diesem Versuch nicht eingebaut, da lediglich das Reibmoment ohne die Reibung des Antriebs gemessen werden soll. Bei Versuchen mit aktivem Freilauf entspricht die Reibung dann dieser errechneten Reibgröße. Die Schwingung wird mit dem optischen Drehgeber am Abtrieb aufgezeichnet. Es wird eine Schwingungsanalyse durchgeführt, bei der das Reibmoment bestimmt werden kann.

3.2.2. Winkelsensoren

Um eine Abweichung der Winkelsensoren festzustellen, wird die Messwelle beliebig angesteuert sowohl mittels Aktor als auch durch Drehung des Abtriebs. Die Winkel vor und hinter der Kupplung werden ebenfalls aufgezeichnet und gegeneinander abgetragen. Da die Winkel bei der Auswertung mittels Software auf den gleichen Wert kalibriert werden, muss das Diagramm eine Winkelhalbierende im ersten Quadranten abbilden. Das Auftreten einer Hysteresis ist ein Anzeichen für Abweichungen, die die Messgenauigkeit beeinflussen.

3.2.3. Drehfederkennlinie

Der oben beschriebene Versuch zur Drehfederkennlinie wird für den Testaufbau analog durchgeführt. Dadurch lässt sich erkennen, ob die Messapparatur verwindungssteif ist. Das Eingangssignal ist dasselbe wie bei den Drehfederkennlinien mit Kupplung (siehe Abbildung 3.1.1).

3.3. Übersicht der Versuchsplanung

Die Versuche zur Ermittlung der Reibung des Testaufbaus und zur Validierung der Messgeräte wurden oben nicht erwähnt, da sie lediglich dazu dienen, den Versuchsaufbau und die Messdaten zu kalibrieren. In der nachfolgenden Tabelle sind alle durchgeführten Versuche aufgelistet. Die Ergebnisse zu den Kupplungsversuchen und der Drehfederkennlinie ohne Kupplung werden im Kapitel 5 detailliert betrachtet. Die Versuche werden mithilfe des Braindesigners durchgeführt. Der Braindesigner ist eine Software zur Ansteuerung und Programmierung des Roboters Myon und wurde am NRL von Christian Thiele entwickelt. Über

3. Versuchsplanung

den Brainsdesigner werden alle verwendeten Größen in einer Textdatei mitgeschrieben, um eine spätere Auswertung zu ermöglichen.

Tabelle 3.3.1.: Tabellarische Übersicht der Versuchsplanung

| Nr. | Beschreibung | Messgrößen | Konfiguration | Anzahl |
|-----|----------------------------------|--|-------------------|--------|
| 1.1 | Reibung Testaufbau | $t, T, \varphi_{Abtrieb}$ | Last 0,5Nm | 5 |
| 1.2 | Reibung Testaufbau | $t, T, \varphi_{Abtrieb}$ | Last 1,0Nm | 5 |
| 1.3 | Reibung Testaufbau | $t, T, \varphi_{Abtrieb}$ | Last 1,5Nm | 5 |
| 2.1 | Validierung Drehmomentsensor | $t, T, \varphi_{Abtrieb}$ | Spannung 0,2V | 5 |
| 2.2 | Validierung Drehmomentsensor | $t, T, \varphi_{Abtrieb}$ | Spannung 0,4V | 5 |
| 2.3 | Validierung Drehmomentsensor | $t, T, \varphi_{Abtrieb}$ | Spannung 0,6V | 5 |
| 2.4 | Validierung Drehmomentsensor | $t, T, \varphi_{Abtrieb}$ | Spannung 0,8V | 5 |
| 2.5 | Validierung Drehmomentsensor | $t, T, \varphi_{Abtrieb}$ | Spannung 1,0V | 5 |
| 3 | Validierung Winkelsensoren | $t, \varphi_{Antrieb}, \varphi_{Abtrieb}$ | starre Verbindung | 1 |
| 4 | Drehfederkennlinie ohne Kupplung | $t, T, \varphi_{Antrieb}, \varphi_{Abtrieb}$ | | 10 |
| 5.1 | Drehfederkennlinien mit Kupplung | $t, T, \varphi_{Antrieb}, \varphi_{Abtrieb}$ | 7 O-Ringe | 10 |
| 5.2 | Drehfederkennlinien mit Kupplung | $t, T, \varphi_{Antrieb}, \varphi_{Abtrieb}$ | 6 O-Ringe | 10 |
| 5.3 | Drehfederkennlinien mit Kupplung | $t, T, \varphi_{Antrieb}, \varphi_{Abtrieb}$ | 5 O-Ringe (1) | 10 |
| 5.4 | Drehfederkennlinien mit Kupplung | $t, T, \varphi_{Antrieb}, \varphi_{Abtrieb}$ | 5 O-Ringe (2) | 10 |
| 5.5 | Drehfederkennlinien mit Kupplung | $t, T, \varphi_{Antrieb}, \varphi_{Abtrieb}$ | 5 O-Ringe (3) | 10 |
| 5.6 | Drehfederkennlinien mit Kupplung | $t, T, \varphi_{Antrieb}, \varphi_{Abtrieb}$ | 4 O-Ringe | 10 |
| 6.1 | Pendelversuch | $t, T, \varphi_{Antrieb}, \varphi_{Abtrieb}$ | 7 O-Ringe | 20 |
| 6.2 | Pendelversuch | $t, T, \varphi_{Antrieb}, \varphi_{Abtrieb}$ | 6 O-Ringe | 20 |
| 6.3 | Pendelversuch | $t, T, \varphi_{Antrieb}, \varphi_{Abtrieb}$ | 5 O-Ringe (1) | 20 |
| 6.4 | Pendelversuch | $t, T, \varphi_{Antrieb}, \varphi_{Abtrieb}$ | 5 O-Ringe (2) | 20 |
| 6.5 | Pendelversuch | $t, T, \varphi_{Antrieb}, \varphi_{Abtrieb}$ | 5 O-Ringe (3) | 20 |
| 6.6 | Pendelversuch | $t, T, \varphi_{Antrieb}, \varphi_{Abtrieb}$ | 4 O-Ringe | 20 |

4. Versuchsaufbau

4.1. Anforderungen an den Versuchsaufbau

Die Anforderungen an den Testaufbau ergeben sich durch die geplanten Versuche aus dem vorherigen Kapitel und die dafür benötigten Messinstrumente. Um beispielsweise die Drehfederkennlinien aufnehmen zu können, müssen die Verdrehwinkel vor und hinter der Kupplung erfasst werden. Für eine einfachere Auswertung ist es sinnvoll, zwei identische Sensoren zu verwenden.

Außerdem ist die Messung des dynamischen Drehmoments an der Messwelle notwendig. Der Testaufbau soll für weitere Kupplungsversuche und ähnliche Kupplungsaufbauten erweiterbar und somit variabel gestaltet sein. Durch die Verwendung eines Profilsystems sind alle Bauelemente innerhalb des Testaufbaus verschiebbar und es lassen sich zusätzliche Komponenten anbringen. Die einzelnen Komponenten sind an Montageblechen befestigt, die senkrecht in das Rahmengestell eingehangen werden können. Die Montagebleche sind CNC-gefräste Aluminiumbleche mit Wandstärken von bis zu 5mm . Die Befestigung erfolgt mit zu dem Profilsystem passenden Winkeln und Nutensteinen. Durch die Verwendung der Winkel ist die Parallelität der Bleche zueinander gewährleistet und die Gefahr von möglichen Winkelversätzen an der Messwelle wird minimiert.

Um den Drehmomentsensor zusätzlich vor möglichen Querkräften durch Winkelversatz zu schützen, wird auf der Abtriebsseite des Sensors eine Ausgleichkupplung montiert. Die verwendete Kupplung kann Drehmomente von bis zu 6Nm übertragen und ist winkel- und quernachgiebig.

Der Antrieb ist so gestaltet, dass das Lastmoment variabel einstellbar ist.

Die Fertigung der Frästeile und das Drucken der Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)-Kunststoffteile im Rapid-Prototyping-Verfahren erfolgen in der Werkstatt des Labors für Neurorobotik. Die Konstruktionszeichnungen aller Teile und das Datenblatt der Ausgleichkupplung sind im Anhang (A) hinterlegt.

In Abbildung 4.1.1 ist der Versuchsaufbau in drei Ansichten dargestellt. Auf der ersten Abbildung (1) wird das Rahmengestell gezeigt, in das die Messtrecke (2) eingehangen werden kann. Die dritte Darstellung zeigt den gesamten Testaufbau mit Kupplung und Pendelarm.

4. Versuchsaufbau

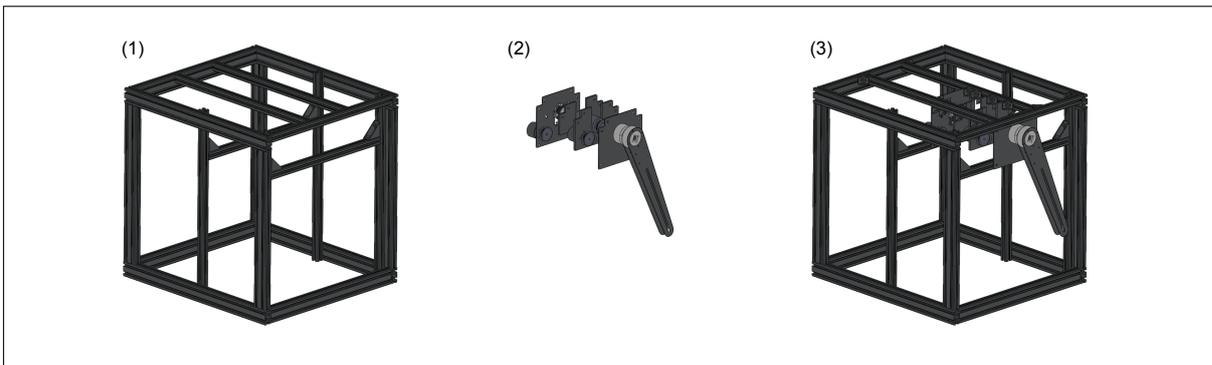


Abbildung 4.1.1.: Versuchsaufbau: (1) Rahmen aus Profilsystem, (2) verschiebbare Messstrecke zum Einhängen, (3) kompletter Aufbau mit Rahmen und Messstrecke

4.2. Anforderungsliste

Die Anforderungsliste gibt eine Übersicht über die bei der Konstruktion zu beachtenden Punkte. Wie in Tabelle 2.2.1 wird auch hier die Unterteilung und der Stil nach [13] eingehalten.

Tabelle 4.2.1.: Anforderungsliste des Versuchsaufbaus nach [13]

| Änderung | Forderung(F) Wunsch(W) | Anforderung |
|--|---------------------------|---|
| – – Februar 2011 – – – – – – | F | <i>Geometrie</i> Halterung für Antrieb (Dynamixel RX-28) |
| | F | Aufnahme für optischen Winkelsensor am Abtrieb |
| | F | Aufnahme für optischen Winkelsensor am Antrieb |
| | F | Aufnahme für Drehmomentsensor |
| | F | Lagerung der Abtriebswelle |
| | F | Halterung für Erdung der Kupplung |
| | F | Möglichkeit zur Anbringung einer Last an die Abtriebswelle |
| | F | variable Anordnung |
| | F | Erweiterung des Aufbaus möglich |
| – – | F | <i>Kinematik</i> Verbindung Abtrieb Kupplung mit Drehmomentsensorachse |
| | F | Verbindung der Drehwinkelgeber mit der Welle |
| – – – | F | <i>Belastungen</i> $5 \text{ Nm} \leq \text{Drehmoment} \leq 6 \text{ Nm}$ |
| | F | dynamisches Drehmoment |
| | W | geringe Reibung |
| – – | F | <i>Sonstiges</i> einfaches Austauschen der Kupplung |
| | F | einmaliger Aufbau |
| Februar 2011 | F | <i>Termin</i> März 2011 |

4.3. Welle-Nabe-Verbindungen

In diesem Abschnitt werden die verwendeten Welle-Nabe-Verbindungen beschrieben. Die Beschreibung wird nach Abbildung 4.3.1 von links nach rechts erfolgen.

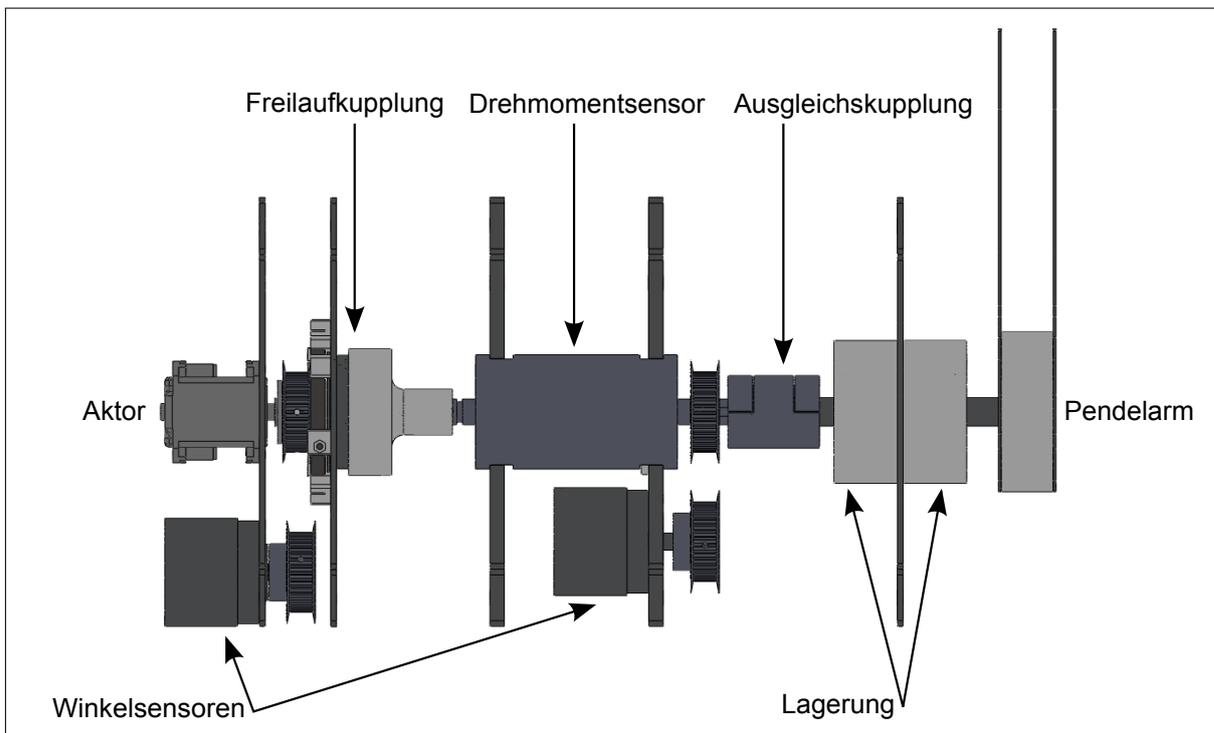


Abbildung 4.3.1.: Draufsicht der Messstrecke mit Komponentenbeschriftung

Die Welle des Dynamixel RX-28 ist mit einem Ruderhorn an der Messwelle verschraubt und verstiftet.

Die Wellen der Winkelsensoren werden mithilfe von Zahnriemen und jeweils zwei Zahnriemenrädern mit der Messwelle verbunden. Die Zahnriemenräder übertragen verschwindend geringe Drehmomente, da nur die Verdrehung weitergeleitet und das Reibmoment der Messwelle des Drehgebers überwunden werden muss. Die Zahnriemenräder werden daher lediglich mit senkrecht zur Welle stehenden Gewindestiften auf die Welle geklemmt. Man kann davon ausgehen, dass der Zahnriemen in gespanntem Zustand quasi schlupffrei arbeitet.

Der Abtrieb der Kupplung nutzt die gegebene Passfederverbindung (Passfeder DIN 6885 - A - 3x3x18) der Drehmomentsensorwelle. Die Passfedernut in der Nabe des Kupplungsabtriebs ist aufgrund der komplexen Geometrie mit einem 3D-Drucker gefertigt und besteht dementsprechend aus Kunststoff (ABS). Die Auslegung einer Passfederverbindung bezieht sich im Allgemeinen auf die Verwendung von Stahlwellen und -naben. Aufgrund der wechselnden Lastrichtung und der Verwendung von Kunststoff, wird die Kunststoffnabe zusätzlich von außen mit Aluminiumschalen zusammengepresst.

Auf der anderen Seite des Drehmomentsensors wird die Ausgleichskupplung auf die Sensorwelle geklemmt. Da die Ausgleichskupplung, laut Datenblatt, Drehmomente bis 6Nm übertragen kann, ist auch die Klemmung für diese Kräfte geeignet. Die Ausgleichskupplung wird mit Bohrungen von 8mm Durchmesser geliefert. Die Bohrungen können nachträglich vergrößert

4. Versuchsaufbau

Bert werden und wurden für diesen Aufbau auf die Welle des Drehmomentsensors (9mm) und die Abtriebswelle (10mm) angepasst.

Der Pendelarm wird an einem Druckteil befestigt, das mithilfe eines Spannsatzes reibschlüssig auf die Stahlwelle geklemmt wird.

Da hauptsächlich reibschlüssige Verbindungen verwendet werden, lässt sich die Kupplung im Testaufbau relativ schnell austauschen oder der Aufbau verändern.

4.4. Lagerung der Messwelle

Die Abtriebswelle, an der der Pendelarm befestigt ist, besteht aus einer Stahlwelle, die durch die Ausgleichkupplung mit der Welle des Drehmomentsensors verbunden ist. Dieser Aufbau macht eine Lagerung der Abtriebswelle nötig.

Die Belastungen, welche durch den Pendelarm verursacht werden, wirken nicht im Bereich zwischen den beiden Lager sondern außerhalb. Diese Art der Lagerung wird fliegende Lagerung genannt. Als Faustregel gilt, dass der Lagerabstand zwei- bis dreimal größer sein soll als der Überhang zum Punkt der Lasteinleitung.

Die verwendeten Lager sind Rillenkugellager (DIN 625 – 6000 – 2Z). Die Auswahl der Lager beruht hauptsächlich auf dem geometrischen Gesichtspunkt, dass die Abtriebswelle einen Durchmesser von 10mm vorgibt.

4.5. Messinstrumente

4.5.1. Drehgeber

Bei den Untersuchungen der Kupplung geht es vor allem um das Ein- und Auskupplungsverhalten. Um Aussagen über dieses Verhalten treffen zu können, müssen die Verdrehwinkel vor und hinter der Kupplung, also am Antrieb bzw. Abtrieb, in hoher Genauigkeit abgelesen werden können. Durch den Vergleich der beiden Winkel und die Auswertung können dann Aussagen über das Kupplungsverhalten getroffen werden.

Bei dem hier verwendeten Winkelsensor handelt es sich um den AC 36 der Firma Hengstler. Dieser ist ein optischer Drehwinkelgeber mit einem Messbereich von 360° bei 14Bit Auflösung. Das Datenblatt zu diesem Sensor ist im Anhang A.1.1 hinterlegt.

4.5.2. Dynamischer Drehmomentsensor

Der Drehmomentsensor, Megatron DFMX-5.0, ist ein hochdynamischer und berührungsloser Sensor, der über Dehnmessstreifen die Deformation der Messwelle misst und ein analoges Signal ausgibt. Das Ausgangssignal liegt zwischen $0,5\text{V}$ und $4,5\text{V}$. Der Sensor hat einen Messbereich von -5Nm bis 5Nm . Die Welle des Sensors ist eine Rundwelle mit Passfedernuten, welche für die Integration in den Messaufbau genutzt werden. Weitere Detailinformationen sind im hinterlegten Datenblatt im Anhang A.1.2 zu finden.

4.5.3. Messstrecke

Die Ansteuerung des Motors erfolgt mithilfe des Braindesigners.

Das digitale Ausgangssignal der Winkelsensoren kann somit direkt erfasst werden. Die Daten aus dem Drehmomentsensor müssen erst mittels Analog-Digital-Converter digitalisiert werden. Als ADC wird der ADS1014 von Texas Instruments verwendet. Dieser bietet eine Auflösung von 12Bit . Die Schaltung zur Auswertung der Messdaten wurde von Christian Benckendorff erarbeitet. Das Datenblatt des ADC ist im Anhang A.1.3 hinterlegt.

Die Abbildung 4.5.1 zeigt eine Prinzipskizze des Versuchsaufbaus.

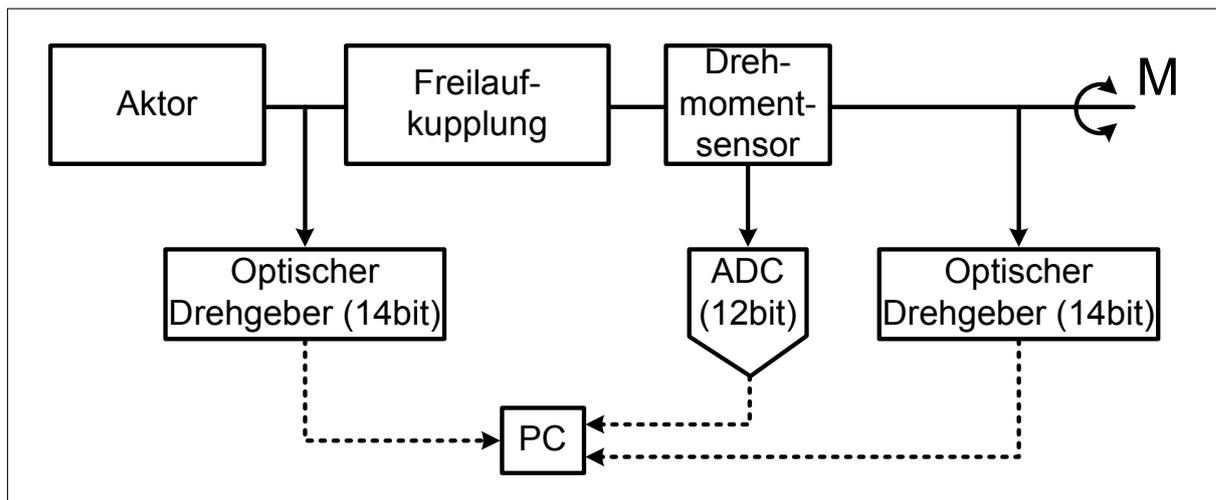


Abbildung 4.5.1.: Prinzipskizze des Testaufbaus

5. Versuchsergebnisse und Auswertung

5.1. Validierung des Versuchsaufbaus

Im Folgenden werden die geplanten Versuche aus Kapitel 3.3 ausgewertet und die Ergebnisse erläutert. Die Versuche in diesem Abschnitt dienen dazu, festzustellen ob der Versuchsaufbau den gestellten Anforderungen gerecht wird und ob hinreichend genaue Messungen mit der Kupplung möglich sind.

5.1.1. Drehmoment

Die ersten Versuche beziehen sich auf das gemessene Drehmoment und den Drehmomentensensor.

Reibung

Die nachfolgende Rechnung bezieht sich auf das Diagramm 5.1.1. Um das Reibmoment zu

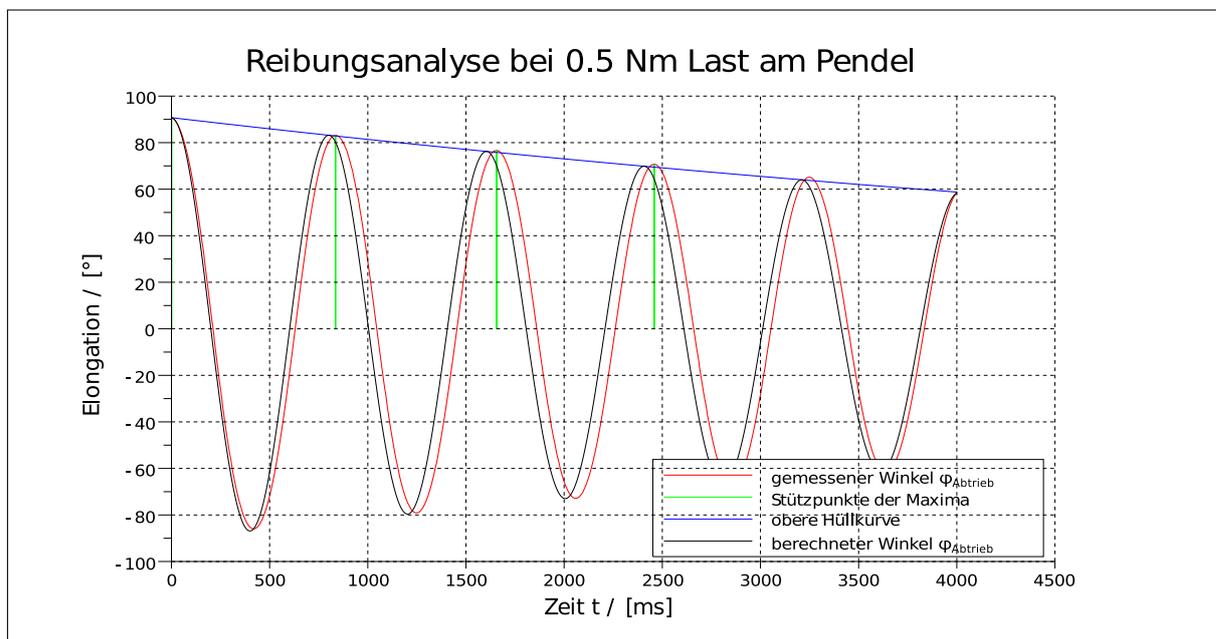


Abbildung 5.1.1.: Graphen zur Analyse der gedämpften Schwingung

bestimmen, wird die gemessene Schwingung y des Abtriebswinkels φ_{Abtrieb} analysiert. Aus dieser Schwingung kann dann die zugehörige Differentialgleichung (5.1) erstellt werden.

$$\ddot{y} + 2\delta\dot{y} + \omega_0^2 y = 0 \quad (5.1)$$

5. Versuchsergebnisse und Auswertung

Durch Verschiebung der Differentialgleichung entlang der x -Achse können die Anfangsbedingungen beeinflusst werden. Wenn ein Umkehrpunkt ($v = 0$) bei $x = 0$ liegt, ergeben sich die folgenden Anfangsbedingungen: $t = 0, v_0 = 0, y_0 = \hat{y}_0$ und $\varphi_0 = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$. Die allgemeine Differentialgleichung (5.1) vereinfacht sich dann auf diese Form:

$$y = \hat{y}_0 e^{-\delta t} \cos \omega_d t \quad (5.2)$$

Durch den Quotienten von zwei aufeinanderfolgenden Maxima \hat{y}_i kann man das Amplitudenverhältnis q errechnen. Im Diagramm sind diese Stützpunkte grün dargestellt.

$$\frac{\hat{y}_i}{\hat{y}_{i+1}} = q \quad (5.3)$$

Der Abstand der beiden Amplituden ergibt die Schwingungsdauer T_d . Mithilfe dieser und dem Amplitudenverhältnis kann nun der Abklingkoeffizient δ bestimmt werden.

$$e^{\delta T_d} = q \quad (5.4)$$

Um die Gleichung (5.2) lösen zu können, muss die Eigenkreisfrequenz ω_d der Schwingung herausgefunden werden. Dies geschieht durch den Zusammenhang:

$$\omega_d = 2\pi f_d \quad (5.5)$$

Die errechnete Kurve (rot) ist nun annähernd deckungsgleich mit der gemessenen (schwarz). Der Zusammenhang zwischen Abklingkoeffizient δ und der Dämpfungskonstante β folgt mit:

$$F_d = \beta \dot{y} \quad (5.6)$$

Mit der Dämpfungskraft (5.6) lässt sich das Reibmoment unter Berücksichtigung des Hebe-

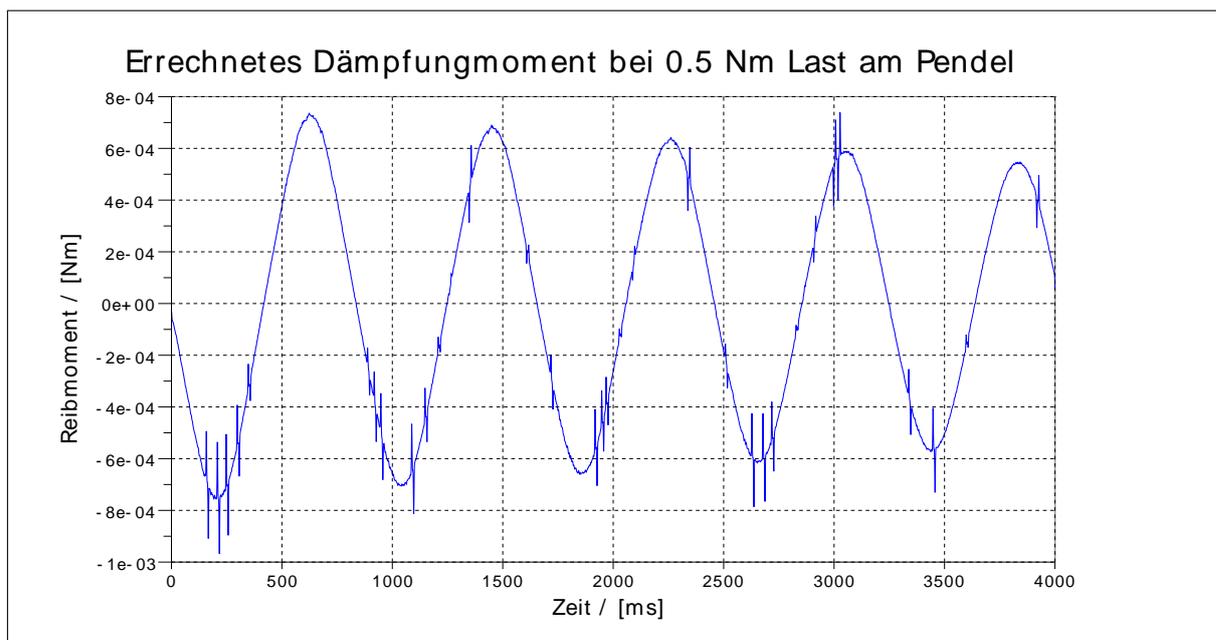


Abbildung 5.1.2.: Graph des errechneten Reibmoments

5. Versuchsergebnisse und Auswertung

larms und des Lastmoments bestimmen und ausgeben (siehe Abbildung 5.1.2). Das Reibmoment hat die Form einer Sinusschwingung, da auch die angebrachten Lastmomente, abhängig von der Position des Pendelarms, eine solche erzeugen. Die Maximalwerte werden bei 90° Auslenkung, das entspricht einer horizontalen Position, erreicht. Im Nulldurchgang (senkrecht) herrscht kein Moment. Die Peaks in der Kurve des errechneten Reibmoments werden durch die Bildung der Ableitung der Elongation erzeugt und entspringen Messfehlern der Auslenkung. Die Versuche zur Reibung wurden bei drei verschiedenen Drehmomentverläufen durchgeführt. Die gewählten Maxima lagen bei $0,5Nm$, $1,5Nm$ und $3Nm$. Die Ergebnisse zeigen, dass die Reibmomente bei allen Versuchen unterhalb von $0,16\%$ des Lastmoments liegen.

Größenordnung

Um zu überprüfen, ob die vom Drehmomentsensor ausgegebenen Werte korrekt sind, wurde zusätzlich ein Newtonmeter zuhelfe genommen. Wie auf dem Foto 5.1.3 zu erkennen wurde das Kraftmessgerät mit einem Seil an dem Kunststoffteil befestigt. Die gemessene Zugkraft kann unter Berücksichtigung des Hebels (mit einer Länge von ca. $3cm$) mit dem gemessenen Drehmoment verglichen werden. Bei der Auswertung wird deutlich, dass ein

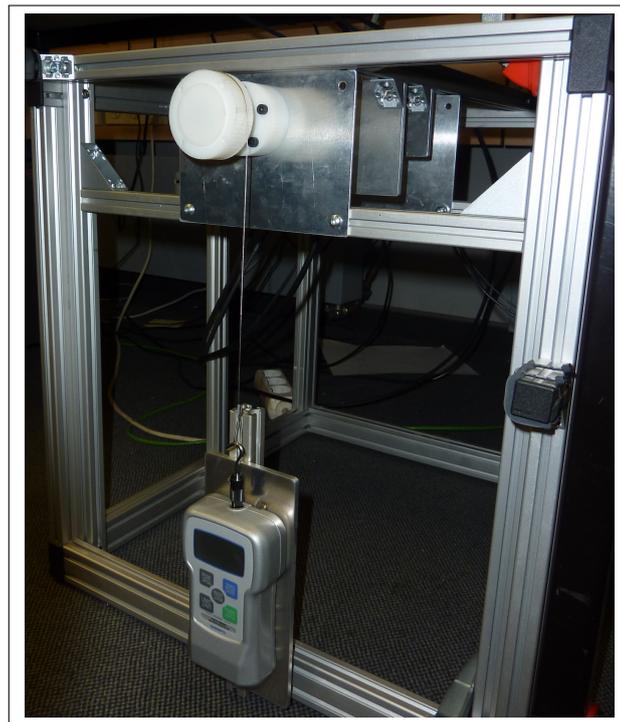


Abbildung 5.1.3.: Foto: Versuchsaufbau mit Newtonmeter zur Validierung des Drehmomentsensorsignals

Korrekturfaktor nötig ist, da sich bei Übereinstimmung der gemessenen Drehmomente eine Winkelhalbierende im ersten Quadranten ergeben müsste. Dies ist nicht der Fall.

Beide Darstellungen in Abbildung 5.1.4 zeigen bei gleichen Achseneinteilungen das Newtonmeter auf der x-Achse und den Drehmomentsensor auf der y-Achse. Da in beiden Fällen ein linearer Zusammenhang zwischen den Messgeräten besteht muss nur die Steigung der Geraden durch einen Faktor korrigiert werden. Auf der linken Abbildung ist die Messung oh-

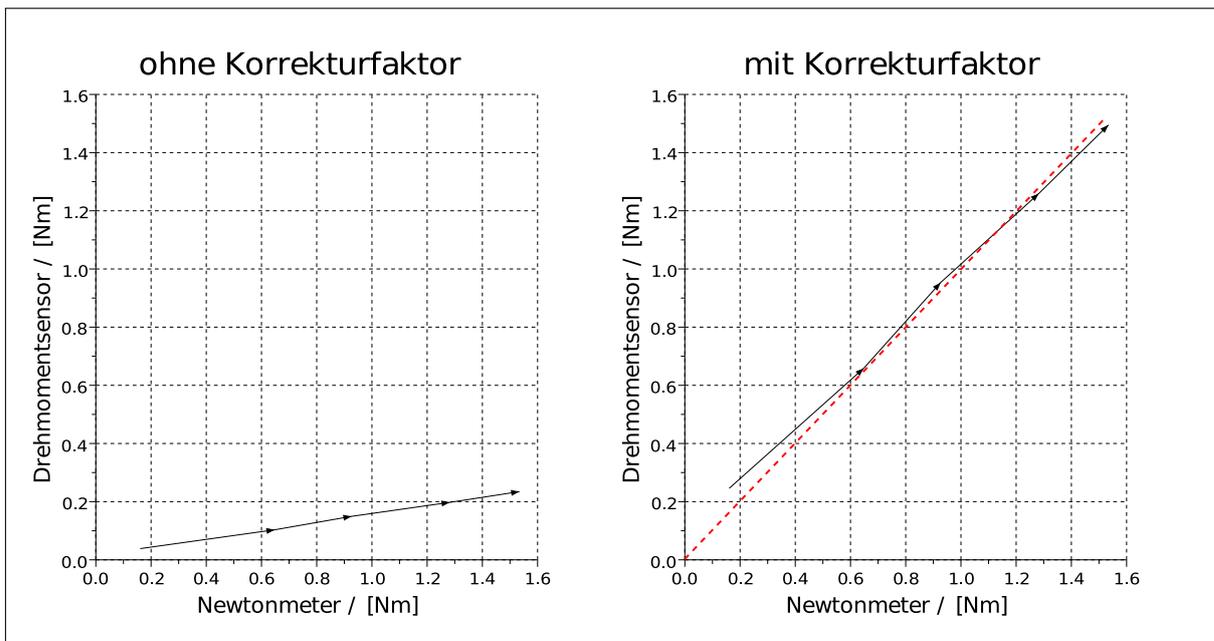


Abbildung 5.1.4.: Darstellung des Korrekturfaktors für den Drehmomentsensor

ne Korrektur aufgezeigt. Auf der rechten Seite wurde der errechnete Faktor ergänzt. Bei den weiteren Experimenten wurde der Korrekturfaktor berücksichtigt.

5.1.2. Winkelsensoren

Um herauszufinden, ob die beiden identischen Winkelsensoren synchron arbeiten, wurde die Messwelle mit der starren Verbindung zum Antrieb beliebig angesteuert und die beiden Winkelwerte mitgeschrieben. Der Versuch führt zu dem Ergebnis, dass die Synchronität gegeben ist. Es entsteht eine Winkelhalbierende, die bedingt durch die Genauigkeit der Winkelsensoren stufenförmig ist. Wie in Kapitel 4.5.1 beschrieben, besitzen die Sensoren eine Auflösung von 14Bit und einen Messbereich von 360° . Mit diesen Werten lässt sich eine Genauigkeit von ca. $0,022^\circ$ errechnen. Diese Genauigkeit entspricht den Stufen im Diagramm.

5.1.3. Drehfederkennlinie

Abbildung 5.1.5 zeigt die Drehfederkennlinie des Testaufbaus ohne Kupplung. Die Kupplung wurde durch ein Kunststoffteil ersetzt, welches eine starre Verbindung zwischen dem Antrieb und der Messwelle herstellt. Die Winkeldifferenz $\Delta\varphi$ auf der x-Achse errechnet sich aus dem Winkel vor und hinter der Kupplung.

$$\Delta\varphi = \varphi_{\text{Abtrieb}} - \varphi_{\text{Antrieb}} \quad (5.7)$$

Es lässt sich eine leichte Hysterese erkennen, die darauf hindeutet, dass elastische Verformungen in der Strecke zwischen den Winkelsensoren stattfinden. Wo diese Verformungen im Detail stattfinden oder wie groß diese an bestimmten Stellen sind, lässt sich mit der Drehfederkennlinie nicht feststellen. Mögliche Ursachen sind z.B. die Kunststoffteile, die ei-

5. Versuchsergebnisse und Auswertung

ne gewisse Elastizität aufweisen und die Zahnriemen, die möglicherweise nicht schlupffrei arbeiten.

Die zackige Form der Kurve wird durch die Winkelsensoren erzeugt, wie oben bei den Winkelsensoren beschrieben. Der Motor wird mit maximaler Spannung angesteuert, was zu einem erzeugten Drehmoment von $\pm 1,4 Nm$ führt. Dieses Drehmoment erzeugt eine Torsion der Messwelle von $\pm 0,8^\circ$. Die Abweichung, die hierbei entsteht, führt zu einer Messungenauigkeit, die bei den Versuchen mit der Kupplung nicht vernachlässigt werden kann.

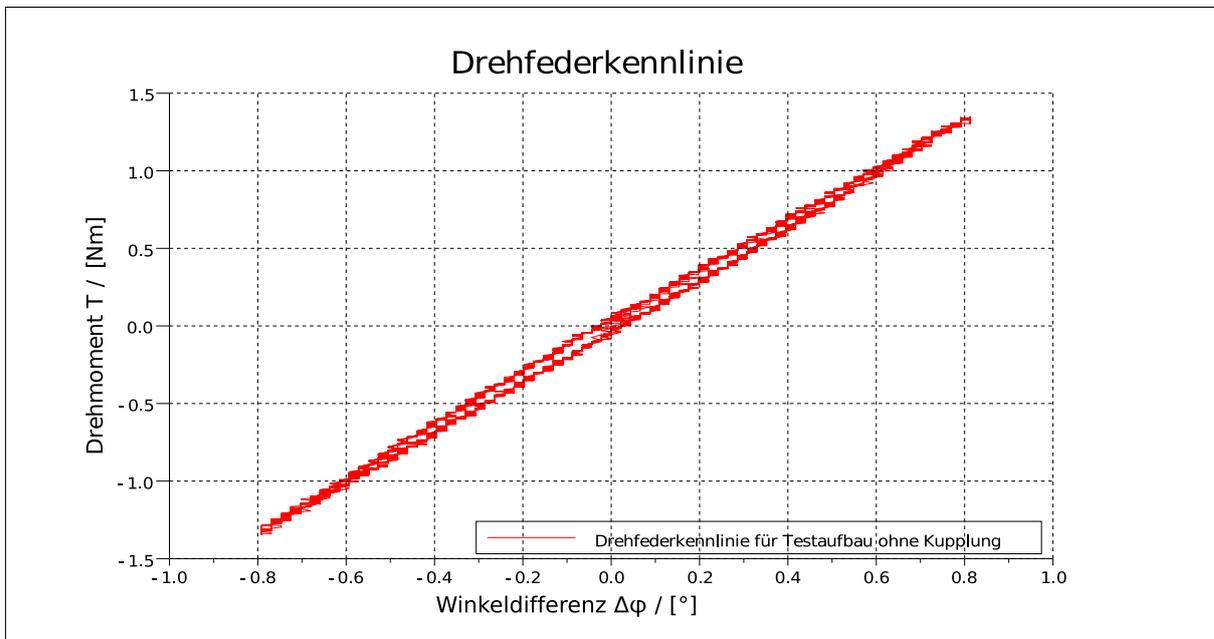


Abbildung 5.1.5.: Drehfederkennlinie für den Testaufbau mit starrer Verbindung zwischen Antrieb und Messwelle

5.2. Kupplungsversuche

In diesem Abschnitt erfolgt die Auswertung der Versuche mit der Freilaufkupplung.

5.2.1. Drehfederkennlinien

Bei allen Konfigurationen der Kupplung, also bei Variation der Anzahl und Anordnung der O-Ringe, sind ähnliche Drehfederkennlinien entstanden. Was sich unterscheidet, sind die Steigungen des Graphen und die Breite der Hysteresen. Die Auswertung der Drehfederkennlinie erfolgt im Nachfolgenden exemplarisch für die Konfiguration mit sieben O-Ringen.

Die Abbildung 5.2.1 ist die Drehfederkennlinie der Freilaufkupplung. Die maximalen Drehmomente liegen bei ca. $\pm 1,4 Nm$. Aufgrund der Symmetrie zum Ursprung arbeitet die Kupplung in beiden Drehrichtungen annähernd identisch. Da der Versuch zehnmal nacheinander durchgeführt wurde, sind zehn übereinanderliegende Graphen zu erkennen, die leicht voneinander abweichen. Der Ursprung der Abweichung sind ungewollte Schmutzeffekte wie beispielsweise Durchrutschen der Klemmkeile am Reibbelag. Es ist auch möglich, dass der

5. Versuchsergebnisse und Auswertung

Reibbelag in seiner Nut rutscht.

Die zackige Form am oberen bzw. unteren Ende der Kurve entsteht durch den Stick-Slip-Effekte im Getriebe des Aktors. Dies kann mit ziemlicher Sicherheit festgestellt werden, da diese Zacken erst ab einem Moment von ungefähr $1Nm$ auftreten und bei allen Versuchen an den selben Stellen zu beobachten sind.

Die Pfeile im Diagramm deuten die Drehrichtung, bzw. den auf- und absteigenden Ast an. Anhand der unterschiedlichen Steigungen kann das Kupplungsverhalten beschrieben werden. Beim Einkuppeln, der Ast mit der geringeren Steigung, wird das Drehmoment langsamer aufgebaut als beim Auskuppeln. Der Einkuppelungsvorgang beginnt bei ca. $\pm 3^\circ$ und ist bei ungefähr $\pm 8^\circ$ beendet. Beim Auskuppeln ist der Weg wesentlich kürzer, das Drehmoment wird innerhalb von 2° bis 3° abgebaut. In dem Bereich, wo der Graph auf der x-Achse verläuft, befindet sich die Kupplung im Freilauf. Der Weg vom Auskuppeln in der einen Richtung bis zum Eingriff der Klemmkeile in der anderen Richtung beträgt ungefähr $10 - 11^\circ$. Dieser Weg entspricht demnach der Länge des Freilaufs, bzw. ist das der Bereich, in dem sich die Keile ohne Einfluss auf den Abtrieb bewegen können.

Die Drehfederkennlinie der anderen Kupplungskonfigurationen sieht ähnlich aus. Was sich unterscheidet sind zum einen die Ein- und Auskuppelungswege und zum anderen neigt die Kupplung bei weniger Reibfläche dazu stärker durchzurutschen. Dies lässt sich daran erkennen, dass die Drehfederkennlinien der zehn Versuche nicht mehr übereinander liegen, sondern sich an der x-Achse entlang mit kleinen Abständen verteilen. Außerdem sinken die übertragbaren Momente, was sich an kleineren, maximalen Amplituden bemerkbar macht.

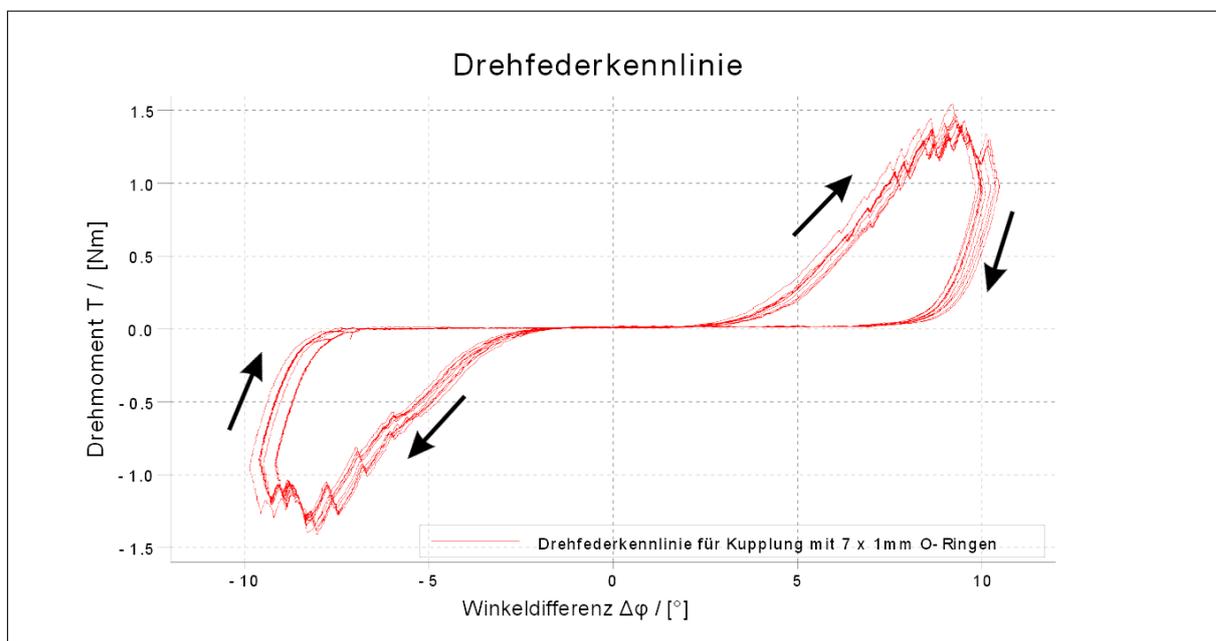


Abbildung 5.2.1.: Auswertung Drehfederkennlinie: Drehfederkennlinie der Kupplung mit 7 O-Ringen

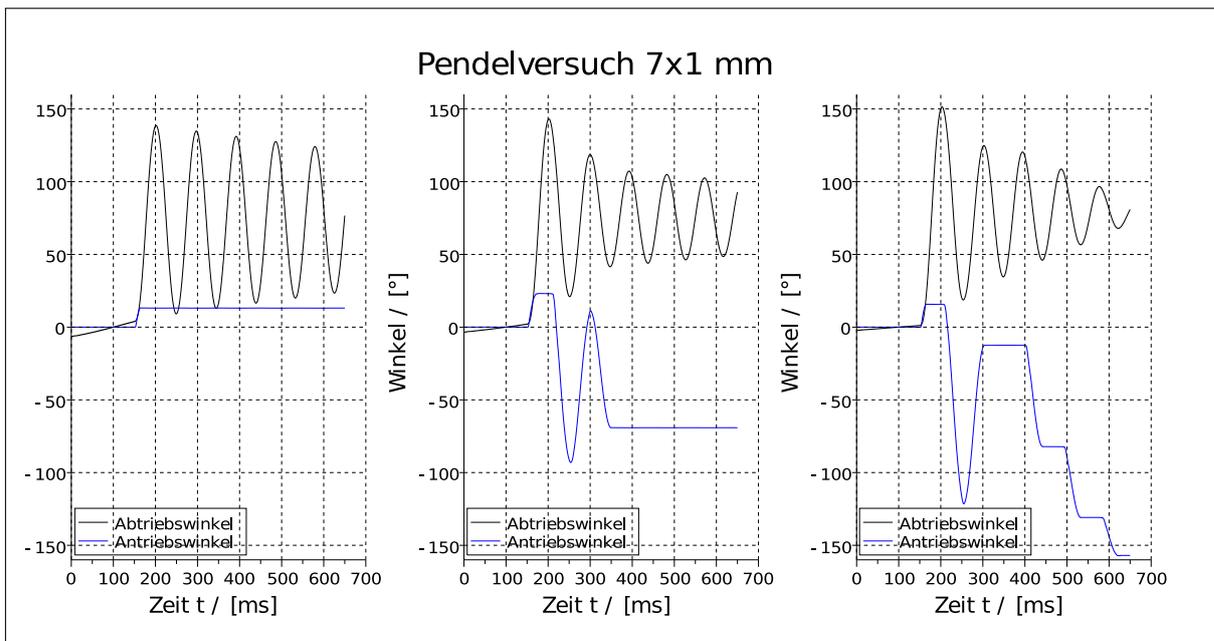


Abbildung 5.2.2.: Auswertung Pendelversuche: (1) sofortiges Auskuppeln, (2) Auskuppeln nach einer Schwingung und (3) keine vollständige Entkopplung

5.2.2. Pendelversuche

In der Grafik 5.2.2 sind exemplarisch drei Ergebnisse der Pendelversuche dargestellt. Alle drei Graphen zeigen die Winkel vor und hinter der Kupplung. Der Antriebswinkel ist blau dargestellt und der Abtriebswinkel ist schwarz. Bei den Versuchen hat sich herausgestellt, dass man die Ergebnisse in folgende drei Gruppen einteilen kann: der erste Graph (1) zeigt einen erfolgreichen Versuch. Es ist zu erkennen, dass bei ca. $t = 170\text{ms}$ das Auskuppeln stattfindet und der Pendelarm am Abtrieb in eine gedämpfte Schwingung übergeht. Die Verdrehung am Antrieb bleibt konstant, d.h. der Motor steht still.

Der zweite Fall ist in (2) dargestellt. Ab $t = 350\text{ms}$ bleibt der Antriebswinkel konstant. Das Auskuppeln hat stattgefunden, allerdings haben die Klemmkeile die Verbindung nicht vollständig getrennt, sondern haben sich beim Zurückschwingen der Pendelmasse erneut verklemmt. Dieses Verhalten trat bei den Versuchen relativ oft auf.

Auf der dritten Abbildung (3) ist der Graph eines fehlgeschlagenen Versuches zu erkennen. Die blaue Kurve des Antriebswinkels macht deutlich, dass die Verbindung zwischen An- und Abtrieb immer wieder für einen kurzen Moment hergestellt wird. Dieses Verhalten ist für eine Anwendung der Kupplung in einem Roboter ungeeignet.

Die Ergebnisse der Pendelversuche sind in der Tabelle 5.2.1 dargestellt. Die Unterteilung in sehr gut, befriedigend und ungenügend erfolgt nach den exemplarischen Versuchen aus Abbildung 5.2.2.

Es ist zu erkennen, dass keine der Kupplungen ausreichend zufriedenstellende Ergebnisse geliefert hat.

Ziel war es außerdem herauszufinden, ob der Aufbau der Kupplung eine Richtungsabhängigkeit beim Verhalten bewirkt. Eine solche Abhängigkeit lässt sich aber anhand der ausgewerteten Daten nicht erkennen.

Ein weiterer Punkt, der untersucht werden sollte, war ob die Anordnung der O-Ringe Ein-

5. Versuchsergebnisse und Auswertung

fluss auf das Kupplungsverhalten hat. Dazu wurde der Versuch mit den fünf O-Ringen dreimal bei unterschiedlichen Anordnungen durchgeführt. Die dritte Anordnung der Kupplung mit den fünf O-Ringen ist die Konfiguration mit der geringsten Erfolgsquote. Am Besten hat die erste Konfiguration abgeschnitten, da bei 20 Versuchen nur vier gar nicht funktionierten.

Tabelle 5.2.1.: Tabellarische Übersicht der Versuchsergebnisse

| Kupplung | Richtung | sehr gut (1) | befriedigend (2) | ungenügend (3) |
|--------------|------------|--------------|------------------|----------------|
| 7 x 1 mm | rechts (-) | 3 | 3 | 4 |
| | links (+) | 4 | 4 | 2 |
| 6 x 1 mm | - | 2 | 6 | 2 |
| | + | 1 | 5 | 4 |
| 5 x 1 mm (1) | - | 1 | 7 | 2 |
| | + | 6 | 2 | 2 |
| 5 x 1 mm (2) | - | 1 | 6 | 3 |
| | + | 2 | 3 | 5 |
| 5 x 1 mm (3) | - | 1 | 0 | 9 |
| | + | 3 | 2 | 5 |
| 4 x 1 mm | - | 1 | 6 | 3 |
| | + | 8 | 1 | 1 |

5.3. Abnutzung der Reibflächen

NBR wurde als Reibbelag verwendet, da er ein gutes Abriebverhalten bietet. Keiner der durchgeführten Versuche hat die Freilaufkupplung über eine längere Zeitspanne belastet. Trotz dieser beiden Punkte sind nach der Durchführung der Versuche Abnutzungserscheinungen zu beobachten.

In Abbildung 5.3.1 ist die Abtriebshohlwelle dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass die O-Ringe sichtbare Abnutzung erfahren haben. Der Abrieb ist zwischen den O-Ringen deutlich als schwarze Punkte sichtbar. Auch am Klemmkeil (siehe Abbildung 5.3.2) hat sich Abrieb abgelagert. Dies ist an den horizontalen, schwarzen Linien zu erkennen.

5. Versuchsergebnisse und Auswertung

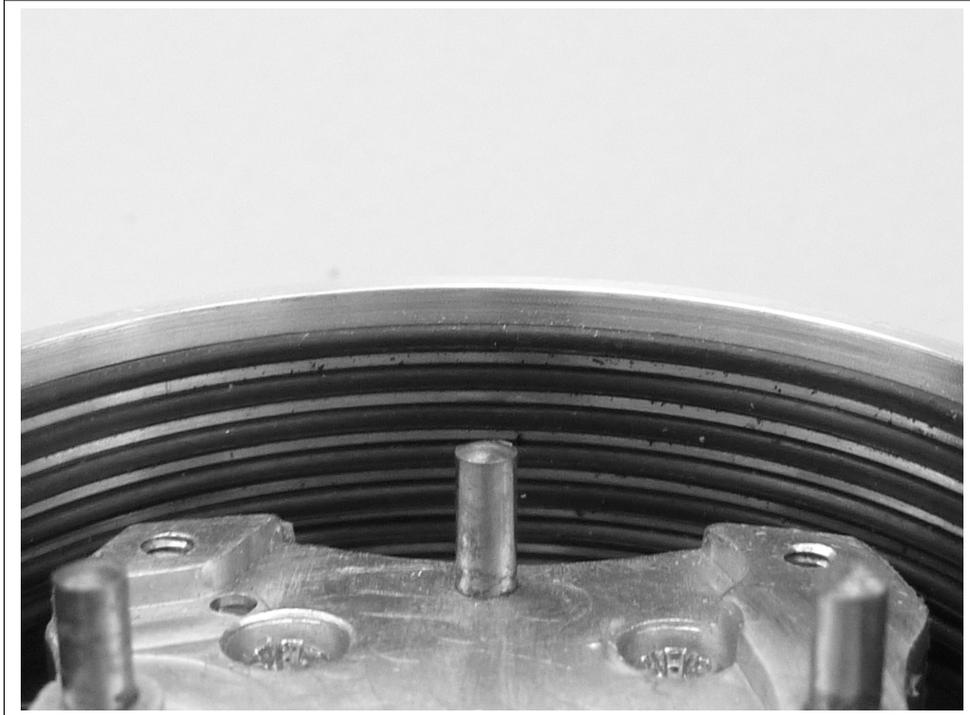


Abbildung 5.3.1.: Abnutzung der Reibfläche; am Abtrieb

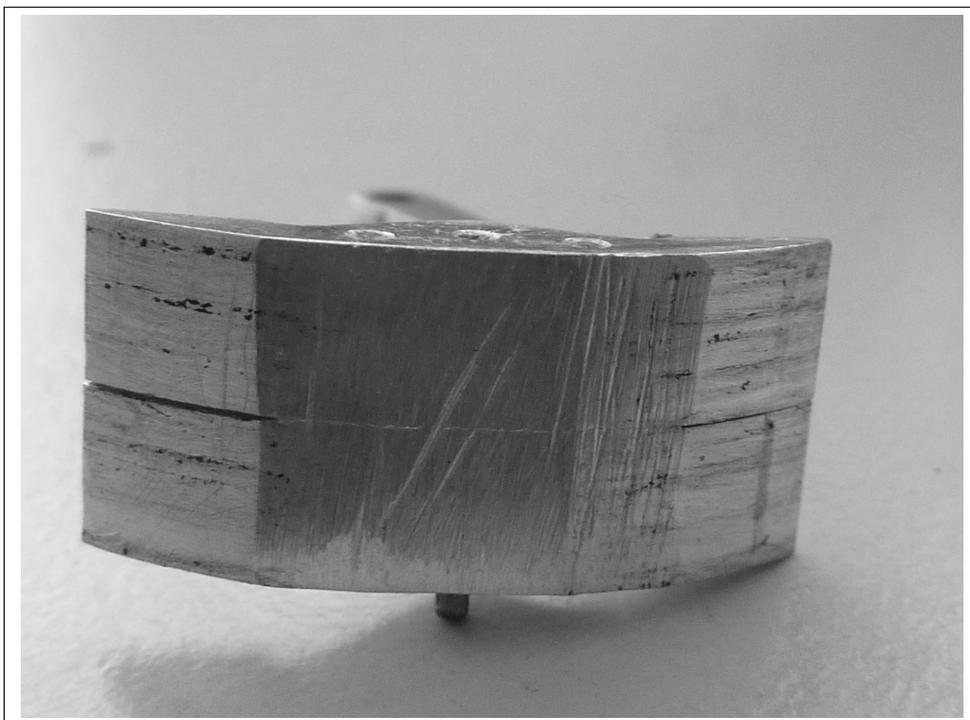


Abbildung 5.3.2.: Abnutzung der Reibfläche; am Keil

6. Zusammenfassung und Ausblick

6.1. Zusammenfassung

Der Prototyp der hier behandelten Freilaufkupplung erfüllt die an ihn gestellten Anforderungen zum größten Teil. Die Hauptfunktion, der reibungsfreie Freilauf, wird unter bestimmten Bedingungen erfüllt. Die Zuverlässigkeit des Kupplungsverhalten ist allerdings noch unbefriedigend.

6.2. Ausblick

Der Ausblick soll kurz mögliche Schwachstellen der bestehenden Konstruktion und Verbesserungsmöglichkeiten aufzeigen, sowieso Anregungen für eine mögliche Integration in einen Roboter geben.

6.2.1. Verbesserungen des Versuchsaufbaus

Die Verwendung von Kunststoffteilen aus 3D-Druckern ermöglicht eine schnelle Herstellung von komplexen Teilen, allerdings sind diese Teile nicht zur Übertragung von wechselnden Drehmomenten geeignet. Bei weiterer Nutzung des Versuchsaufbaus ist es ratsam die erwähnten Teile durch Aluminium oder Stahl zu ersetzen.

Die vorhandene Konstruktion des Versuchsaufbaus lässt nur Versuche mit einem Freiheitsgrad zu und ist nur für die Verwendung von einer Freilaufkupplung vorgesehen. Der Versuchsaufbau bietet die Möglichkeit und den Platz für Erweiterungen.

6.2.2. Weiterentwicklung der Freilaufkupplung

Um die oben erwähnten Nachteile des Reibschlusses zu beseitigen, wäre es interessant, die Kupplung so zu gestalten, dass die Verbindung von An- und Abtrieb mit Hilfe eines Formschlusses hergestellt wird. Dies erfordert vermutlich einen komplexeren Aufbau und einen erhöhten Fertigungsaufwand. Diese Veränderung könnte jedoch rein mechanisch die Zuverlässigkeit steigern.

Bei der Auswertung der Pendelversuche gibt es einen relativ hohen Anteil an Ergebnissen, bei denen die Klemmkeile sich beim Auskuppeln sofort in der Gegenrichtung wieder Verkeilen. Eine Lösung ist evtl. den Klemmkeilen etwas mehr Raum zu verschaffen, also den Winkel des Freilaufs zu erhöhen. Der verwendete Reibbelag (NBR) ist bei Dauerbelastung der Kupplung nicht optimal. Über eine Alternative muss nachgedacht werden.

6.2.3. Integration der Freilaufkupplung in humanoide Roboter

Die in dieser Arbeit vorgestellte Kupplung eignet sich gut zur Integration in humanoide Roboter, da sie aufgrund ihrer Eigenschaften einige Vorteile bietet.

Durch die Kombination mehrerer Freilaufkupplungen können beispielsweise unterschiedliche Übersetzungen miteinander kombiniert werden. So könnte je nach Anwendungszweck oder Situation des Roboters die gewünschte Übersetzung aktiv sein und die nicht benötigten Antriebe mit Hilfe des Freilaufs reibungsfrei entkoppelt sein. Außerdem lassen sich auch antagonistische Antriebssysteme durch einen Aufbau mit mehreren Freilaufkupplungen realisieren. Dieser Punkt ist besonders relevant, da auch das menschliche Antriebssystem, die Muskeln, antagonistisch aufgebaut ist.

Weiterhin lassen sich durch dieses Prinzip auch unterschiedliche Motoren und Motoreigenschaften separat zuschalten oder unterdrücken.

Eine weitere mögliche Anwendung besteht darin, den Antriebsstrang flexibel zugestalten und über Federsysteme die Steifigkeit regelbar zu machen. Die Kupplung ließe diese Einstellmöglichkeiten zu.

Literaturverzeichnis

- [1] P. Deppenkemper. *Klemmkörperfreiläufe: Praktische Gebrauchsdauer und theoretische Lebensdauer im dynamischen Schaltbetrieb*. Shaker, 1994.
- [2] U. Fischer et al. *Tabellenbuch Metall*. Verl. Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer, 2005.
- [3] X. Gao. Multifunctional energy-saving system for vehicles including an automatic clutch unit with both differential and anti-slip capabilities, September 20 1994. US Patent 5,348,126.
- [4] H. Geisthoff. Freilauf für zwei Antriebsdrehrichtungen, 1991. Deutsches Patentamt DE 40 06 232 C2.
- [5] H. Geisthoff. Freilauf für zwei Antriebsdrehrichtungen, 1992. Deutsches Patentamt DE 40 32 251 A1.
- [6] K. H. GROTE and J. Feldhusen. *Dubbel — Taschenbuch für den Maschinenbau*. 22. Auflage. Berlin: Springer, 2007.
- [7] M. Hild, T. Siedel, C. Benckendorff, M. Kubisch, and C. Thiele. Myon: concepts and design of a modular humanoid robot which can be reassembled during runtime. In *Proceedings of the 14th International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR)*, 2011.
- [8] M. Hild, T. Siedel, and T. Geppert. Design of a passive, bidirectional overrunning clutch for rotary joints of autonomous robots. In *Proceedings of the 4th International Conference on Intelligent Robotics and Applications (ICIRA)*, (eingereicht), 2011.
- [9] M. Johnson, R. Eastman, and D. C. Ochab. Multiple axle drive vehicle with overrunning roller clutch hubs, August 6 1991. US Patent 5,036,939.
- [10] M. Lindner. Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Gummireibung an Profilklotzen und Dichtungen, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 11, Nr. 311. 2005.
- [11] R. Macpherson and P. R. Geib. Part-time all wheel drive system, April 14 1992. US Patent 5,103,690.
- [12] D. C. Ochab and J. R. Updyke. Bi-directional overrunning clutch, October 26 1999. US Patent 5,971,123.
- [13] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, and K. H. Grote. *Konstruktionslehre*. Springer, 2003.
- [14] G. M. Roach and L. L. Howell. Evaluation and comparison of alternative compliant overrunning clutch designs. *Journal of Mechanical Design*, 124:485, 2002.

Literaturverzeichnis

- [15] A. C. Robinson. Two-way clutch, May 3 1994. US Patent 5,307,911.
- [16] M. Saiko. Bi-directional clutch, April 24 2002. EP Patent 1,199,490.
- [17] N. Sclater, N. P. Chironis, and Knovel (Firm). *Mechanisms and mechanical devices sourcebook*. McGraw-Hill, 2001.
- [18] K. Timtner. Berechnung der Drehfederkennlinien und zulässiger Drehmomente bei Freilaufkupplungen mit Klemmkörpern. *Diss. TH Darmstadt*, 1974.
- [19] VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik. VDI 2240 – Wellenkupplungen - Systematische Einteilung nach Ihren Eigenschaften, 1971.
- [20] M. Waine and J. Nisenson. Bi-directional clutch, February 8 1983. US Patent 4,372,432.

A. Anhang

A.1. Datenblätter

A.1.1. optischer Drehgeber – Hengstler AC36

TECHNISCHES DATENBLATT

Absolutgeber AC 36 - BiSS / SSI



- Baugröße 36 mm
- Für Gerätebau und Industrie
- Bis 17 Bit Singleturn + 12 Bit Multiturn
- Vollwelle 6 mm (Hohlwellenausführung: AD 36)
- +100°C Betriebstemperatur
- 10 000 U/min im Dauerbetrieb
- Getriebebasierter optischer Multiturn
- BiSS Schnittstelle oder SSI
- Option Sinus 1Vss
- 500kHz Bandbreite



ANWENDUNGEN

Der AC 36 ist ein optischer Absolutgeber mit Multiturngetriebe und optischer Abtastung in Baugröße 36 mm. Er ist mit einer Vollwelle ausgestattet und mechanisch kompatibel zu den gängigen Inkrementalgebern. Durch die kompakte Bauform kann der AC 36 entsprechende Inkrementalgeber direkt ersetzen. Damit können auch erstmals im Gerätebau und unter anderem auch in der Medizintechnik die technischen Vorteile von Absolutgebern genutzt werden. Das mechanische Konzept basiert auf einer doppelt kugelgelagerten mechanischen Wellenbaugruppe. Der AC 36 ergänzt die **ACURO®-Industry** Familie bei gleichen Leistungsdaten wie die 58 mm Varianten um eine kleine Bauform.

BiSS-Schnittstelle

Der AC 36 liefert einmalig in seiner Klasse vollständig digitale Positionsdaten mit einer Auflösung von bis zu 17 Bit (Singleturn) und 12 Bit (Multiturn) über eine bidirektionale Synchronschnittstelle mit einer variablen Taktrate bis zu 10 MHz. Dies entspricht einer Singleturn Auflösung von mehr als 130 000 Messschritten. Rückwärtskompatibilität ist über die SSI Schnittstelle in Verbindung mit 2048 Sinus - Cosinus Perioden pro Umdrehung gegeben.

Diagnosesystem integriert

Der AC 36 basiert auf einem OptoAsic neuester Technologie, das über ein fortschrittliches Diagnosekonzept verfügt. Über eine Einschrittigkeitsprüfung wird die interne Signalverarbeitung bei jedem einzelnen Inkrement einer Plausibilitätskontrolle unterzogen. Ein Code-Check stellt sicher, dass das Drehgebersignal Bit für Bit die erfasste Drehung wiedergibt. Selbst die Betriebstemperatur des Gebers kann mit 8 Bit Auflösung (1°C) gemessen, ausgelesen und per Warn- oder Alarmbit überwacht werden. Für eine maximale Lebensdauer der LED wird diese geregelt betrieben und gleichzeitig überwacht. Eventuelle Störungen werden frühzeitig per Warnbit angekündigt.

TECHNISCHE DATEN mechanisch

| | |
|---------------------------------------|--|
| Gehäusedurchmesser | 37,5 mm |
| Wellendurchmesser | 6 mm (Vollwelle) |
| Flanscharten (Gehäusebefestigung) | Rundflansch |
| Schutzart Welleneingang (EN 60529) | IP64 |
| Schutzart Gehäuse (EN 60529) | IP64 |
| Max. Drehzahl | max. 10.000 U/min (Dauerbetrieb), max. 12.000 U/min (kurzzeitig) |
| Anlaufdrehmoment | 0,01 Nm |
| Trägheitsmoment | ca. 2,5 x 10 ⁻⁶ kgm ² |

TECHNISCHES DATENBLATT

Absolutgeber AC 36 - BiSS / SSI

TECHNISCHE DATEN mechanisch (Fortsetzung)

| | |
|---|---------------------------------------|
| Schwingfestigkeit (DIN EN 60068-2-6) | 100 m/s ² (10 ... 2000 Hz) |
| Schockfestigkeit (DIN EN 60068-2-27) | 1000 m/s ² (6 ms) |
| Betriebstemperatur | -40 °C ... +100 °C |
| Lagertemperatur | -15 °C ... +85 °C |
| Masse | ca. 80 g (ST) / 130 g (MT) |
| Anschluss | Kabel, axial oder radial |

TECHNISCHE DATEN elektrisch

| | |
|---------------------------|--|
| Versorgungsspannung | DC 5 V -5 %/10 % DC 7 - 30 V |
| Eigenstromaufnahme max. | 50 mA (ST), 100 mA (MT) |
| Auflösung Singleturn | 12 -17 Bit |
| Auflösung Multiturn | 12 Bit |
| Ausgabecode | Gray, Binär |
| Treiber | Takt und Daten / RS422 |
| Inkrementsignale optional | Sinus-Cosinus 1 Vss |
| Strichzahl | 2.048 |
| 3dB Grenzfrequenz | 500 kHz |
| Alarmausgang | Alarmbit (SSI-Option), Warnbit und Alarmbit (BiSS) |

ANSCHLUSSBELEGUNG Kabel

| Signal | Farbe |
|------------------------------|-------------------------|
| 5 / 7-30 V (U _B) | weiss |
| 0 V (U _N) | braun |
| Takt | gelb |
| $\overline{\text{Takt}}$ | grün |
| Daten | rosa |
| $\overline{\text{Daten}}$ | grau |
| A | weiss/grün ¹ |
| \overline{A} | braun/grün ¹ |
| B | rot/blau ¹ |
| \overline{B} | grau/rosa ¹ |
| 5 V Sensor | violett ¹ |
| 0 V Sensor | schwarz ¹ |

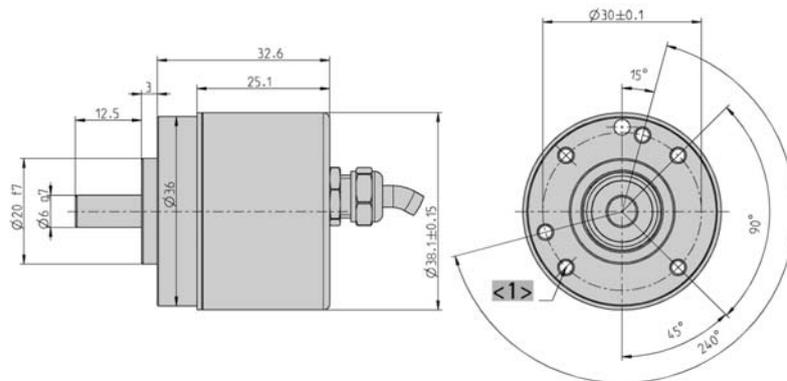
¹nur bei "SC"

TECHNISCHES DATENBLATT

Absolutgeber AC 36 - BiSS / SSI

MASSZEICHNUNGEN

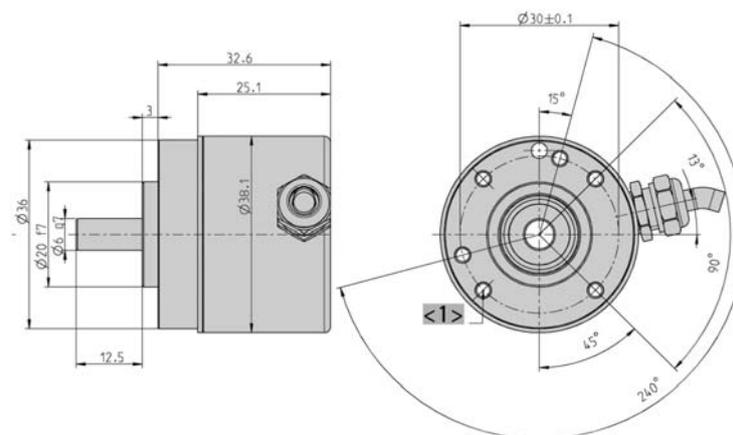
Anschluss axial



<1> M3 (Tiefe 6)

Maße in mm

Anschluss radial



<1> M3 (Tiefe 6)

Maße in mm

BESTELLSCHLÜSSEL

| Typ | Auflösung | Versorgung | Flansch, Schutzart, Welle | Schnittstelle | Anschluss |
|--------------------------|---|---|------------------------------|--|---|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| AC36 | 0012 12 Bit ST 0013 13 Bit ST 0014 14 Bit ST 0017 17 Bit ST 1213 12 Bit MT + 13 Bit ST 1217 12 Bit MT + 17 Bit ST (BiSS) | A DC 5 V E DC 7 - 30 V | R.41 Rund, IP64, 6 mm | BI BiSS SB SSI Binär SG SSI Gray SC SSI Gray (+SinCos 1Vss) | A Kabel, axial B Kabel, radial |

TECHNISCHES DATENBLATT**Absolutgeber AC 36 - BiSS / SSI****AUSWAHL BESTELLSCHLÜSSEL
Kabellänge**

Die Varianten mit Kabelabgang (Anschluss A, B, E oder F) sind mit verschiedenen Kabellängen erhältlich. Um ihre gewünschte Kabellänge zu erhalten, setzen Sie bitte den entsprechenden Code ans Ende des Bestellschlüssels. Weitere Kabellängen auf Anfrage.

| Code | Kabellänge |
|-------------|-------------------|
| ohne Code | 1,5 m |
| -D0 | 3 m |
| -F0 | 5 m |
| -K0 | 10 m |
| -P0 | 15 m |
| -U0 | 20 m |
| -V0 | 25 m |

TECHNISCHES DATENBLATT

Absolutgeber AC 36 - BiSS / SSI Zubehör

FLEXIBLE KUPPLUNGEN



Balgenkupplung



Federscheiben-
kupplung



Membrankupplung

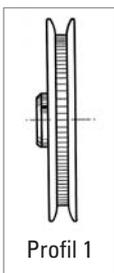


Steg-Kupplung

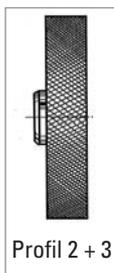


Wendelkupplung

MESSRÄDER



Profil 1



Profil 2 + 3

| | Nabendurchmesser d1/d2 | Art.-Nr. |
|-----------------------|------------------------|-----------|
| Balgenkupplung | 6 mm / 6 mm | 3 520 068 |
| Federscheibenkupplung | 6 mm / 6 mm | 0 070 663 |
| Membrankupplung | 6 mm / 6 mm | 3 520 081 |
| Membrankupplung | 6 mm / 10 mm | 3 520 082 |
| Steg-Kupplung | 5 mm / 6 mm | 3 520 033 |
| Steg-Kupplung | 6 mm / 6 mm | 1 761 026 |
| Wendelkupplung 19/28 | 5 mm / 6 mm | 3 520 035 |
| Wendelkupplung 19/28 | 6 mm / 6 mm | 0 070 653 |
| Wendelkupplung 19/28 | 6 mm / 6,35 mm | 3 520 051 |
| Wendelkupplung 25/32 | 6 mm / 9,53 mm | 3 520 052 |
| Wendelkupplung 25/32 | 6 mm / 10 mm | 3 520 066 |

Profil 1

mit Rand und feinem Kreuzrändel, Werkstoff: Aluminium
Anwendung z.B. bei Fäden und Garnen

Profil 2 B

mit aufgeklebtem Profil-Gummi, B = griffiger, verschleißarmer Gummibelag - weiß
Anwendung z.B. bei Papier und Pappe, Kabelmessung, fettfreie Metalle, Vlies, rohes oder oberflächenbehandeltes Holz, weiche und harte Kunststoffe

| Material | Bohrung (mm) passend zur Geberwelle | Umfang | Profil | Breite der Lauffläche | Art.-Nr. |
|-----------|-------------------------------------|--------|--------|-----------------------|-----------|
| Aluminium | 6 mm | 0,2 m | 1 | 4 mm | 0 601 015 |
| Aluminium | 6 mm | 0,2 m | 2 B | 12 mm | 0 601 048 |

ANZEIGEN

| | Art.-Nr. |
|----------------------------|-----------|
| Positionsanzeige Signo-SSI | 0 727 111 |

A.1.2. Drehmomentsensor – Megatron DFM2x-2.5

Hochdynamischer, Berührungsloser Drehmomentsensor - Serie DFM2X



- Messbereiche von 2.5 bis 500Nm bidirektional
- Wiederholungsgenauigkeit $<\pm 0.1\%$
- Analoges Ausgangssignal von 0.5V...4.5V
- Wartungsfreier Betrieb
- Drehmomentmessung bei bis zu 5000U/min
- Berührungslose Messwertaufnahme
- Signalbandbreite 1kHz
- Signalkonditionierung im Sensor integriert



1. Kurzbeschreibung

Mit dem MEGATRON Standard Sensor kann das an einer Messwelle wirksame Drehmoment sowohl bei Stillstand als auch bei Rotation bidirektional in Echtzeit gemessen werden. Der Drehmomentsensor wird als komplette Einheit mit dazugehörigem Anschlusskabel und Paßfedern (sofern erforderlich) geliefert. Im Sensorgehäuse ist die signalgebende Welle, die berührungslose Signalaufnahme sowie die analoge Signalaufbereitung integriert. Der Drehmomentsensor zeichnet sich besonders durch seine sehr geringe Stromaufnahme, eine hohe Ausgangsspannung, hohe Langzeitstabilität, sowie ein sehr gutes Preis-Leistungsverhältnis aus.

2. Hauptkennwerte der Modellreihe

| Modell Nr. DFM2x | | Nenn-Drehmoment [Nm (ft-lb)] | Max Überlast [Nm (ft-lb)] | Drehzahl [U/Min] |
|------------------|--------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Rundwelle (Rd) | Vierkantwelle (Sq) | bidirektional (+/-) | bidirektional (+/-) | Rd/Sq |
| DFM22-2.5 S | DFM21-2.5 S | 2.5 (1.8) | 5 (3.6) | 5000 / 1000 |
| DFM22-5.0 S | DFM21-5.0 S | 5.0 (3.7) | 10 (7.4) | 5000 / 1000 |
| DFM22-7.5 S | DFM21-7.5 S | 7.5 (5.5) | 15 (11) | 5000 / 1000 |
| DFM22-17.5 S | DFM21-17.5 S | 17.5 (12.9) | 35 (25.8) | 5000 / 1000 |
| DFM22-75 S | DFM21-75 S | 75 (55.3) | 150 (110.6) | 5000 / 1000 |
| DFM22-175 S | DFM21-175 S | 175 (129) | 350 (258) | 5000 / 1000 |
| DFM22-250 S | DFM21-250 S | 250 (184.3) | 350 (258) | 5000 / 1000 |
| DFM22-500 S | DFM21-500 S | 500 (368.6) | 750 (552.9) | 5000 / 1000 |

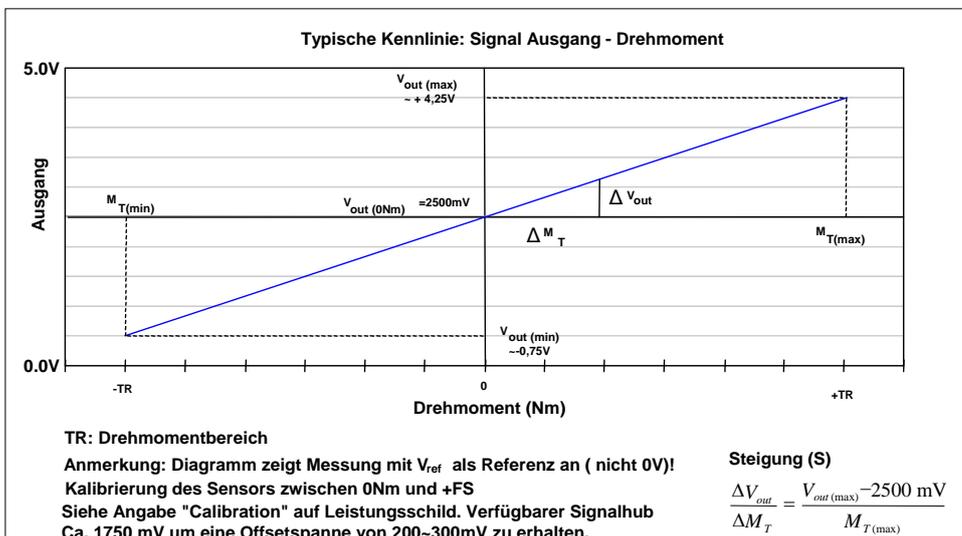
Hochdynamischer, Berührungsloser Drehmomentsensor - Serie DFM2X



3. Technische Kenndaten

| Beschreibung | Symbol | | | | | | | | | Einheit | Bemerkungen |
|--|---------------------|---------------------------------|-----------|-----------|------------|----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|---|
| | | DFM2x-2.5 | DFM2x-5.0 | DFM2x-7.5 | DFM2x-17.5 | DFM2x-75 | DFM2x-175 | DFM2x-250 | DFM2x-500 | | |
| Maximales Nenndrehmoment bi-direktional | M | 2.5 | 5.0 | 7.5 | 17.5 | 75 | 175 | 250 | 500 | Nm | Full Scale = 0 bis max. Drehmoment |
| Analogsignal Ausgang | V _{out} | 0.5 - 4.5 | | | | | | | | VDC | |
| Schutzart | | IP 50 | | | | | | | | | Per EN60529 |
| Spannungsversorgung | V _{cc} | 9.0 ..12.0 | | | | | | | | VDC | |
| Stromaufnahme | I _{in} | < 10 (Startpeak: 60mA für 10ms) | | | | | | | | mA | |
| Ausgangssignal Nullposition einstellbar | V _{out(0)} | 2.5 | | | | | | | | V | Justierbar über Potentiometer |
| Signalbandbreite | BW | 1000 | | | | | | | | Hz | |
| Signal-Ausgangswiderstand | | 50 | | | | | | | | Ω | |
| Drehzahlbereich | n | 0 ... 5000 | | | | | | | | min ⁻¹ | Dauerbelastung <3000U/min |
| (runde Enden = Rd / Vierkant = Sq) | | 0 ... 1000 | | | | | | | | | |
| Wiederholungenauigkeit | | <±0.1 | | | | | | | | %FS | Nach DKD-R 3-5 |
| Hysterese, Linearitätsfehler und Signalabweichung durch Rotation | | < 1 | | | | | | <2 | | %FS | |
| Betriebstemperaturbereich | T _{op} | 0 ... +70 | | | | | | | | °C | Referenztemperatur 21 °C |
| Grenzlängskraft (relativ) zwischen Welle und Gehäuse | F _l | 40 | | | | | | | | N | Beeinflussung Messsignal <1%FS |
| Grenzquerkraft | F _q | 50 | | | | | | | | N | Beeinflussung Messsignal<1%FS |
| Nullpunktdrift (Temperatur) | | <± 0.1 | | | | | | | | %FS/ K | |
| Störfestigkeit gegen statische Magnetfelder (Abstand 70mm) | | 4000 | | | | | | | | Oe | Minimaler Abstand zum Sensorgehäuse 70 mm |
| | | 318 | | | | | | | | kA/m | |
| Elektromagnetische Verträglichkeit | | | | | | | | | | | EN 55011, EN 6100-4-3, EN 6100-4-6, EN 6100-4-4, EN 6100-4-2, EN 50204, EN 50081-3, EN 50082-2. Für Überprüfung oder Überwachung jeglicher humanmedizinischer Geräte nicht geeignet |
| Lagertemperatur | T | -20....+100 | | | | | | | | °C | |
| Gewicht | Rund | 383 | 386 | 392 | 400 | 685 | 856 | 861 | 1655 | g | |
| | Vierkant | 395 | 397 | 401 | 386 | 652 | 754 | 749 | 1385 | | |

4. Kennlinie



Sensor Label Beispiel



V_{out(max)} and V_{out(min)} werden durch die Steigung jedes einzelnen Sensors bestimmt, d.h. der Ausgang kann zwischen 0,5 und 4,5V liegen. Der genaue Signalausgangsbereich hängt allerdings vom Kalibrierwert ab.

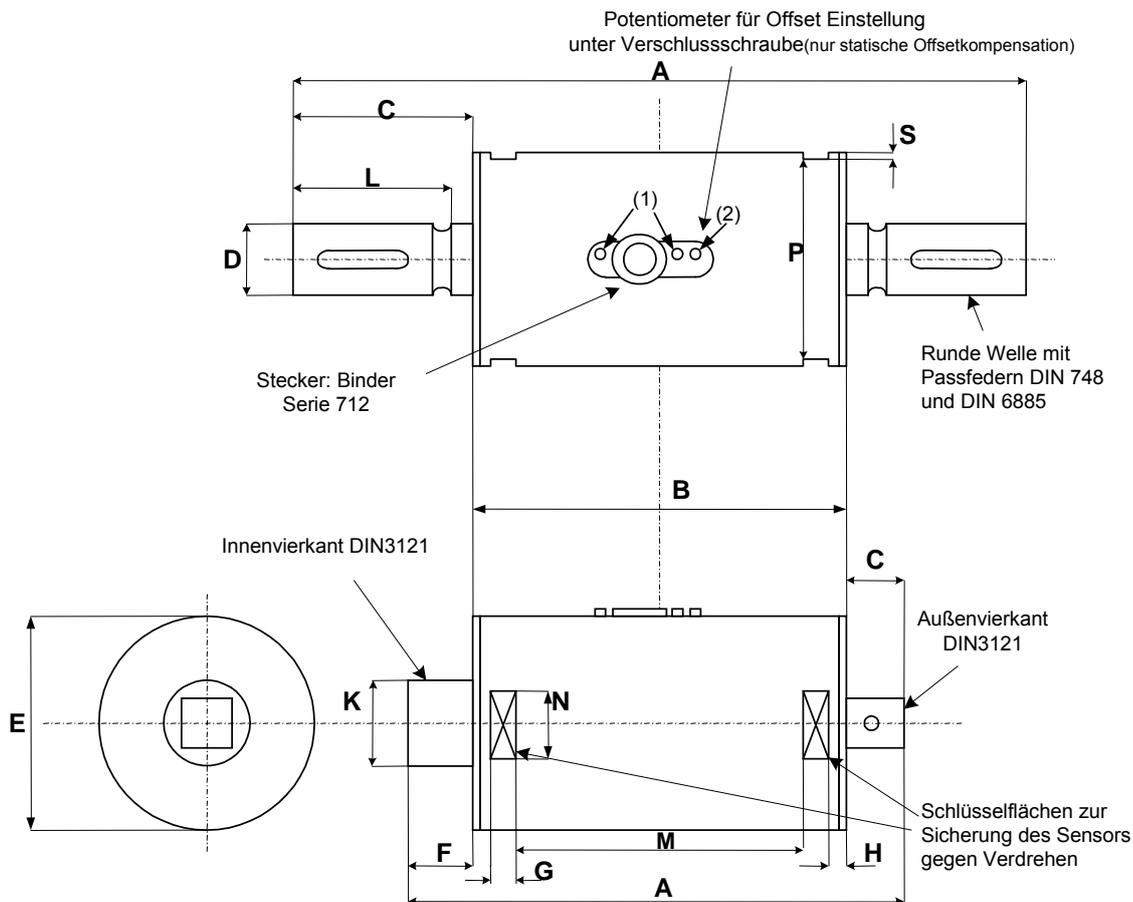
Hochdynamischer, Berührungsloser Drehmomentsensor - Serie DFM2X



5. Abmessungen

DFM22-X
Runde Welle

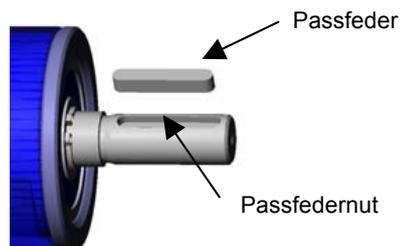
DFM21-X
Welle mit
Vierkantenden



- (1) Die Befestigungsmutter des Steckers sowie die Verschlusschrauben dürfen nicht gelöst oder angezogen werden
- (2) Justierschraube (siehe 8.4 Justage)

| Abmessungen | Nominal Drehmoment [Nm] | A | B | C | D | E | F | G | H | K | L | M | N | P | S |
|----------------------|-------------------------|-------|----|------|----|----|------|------|---|------|----|------|----|----|-----|
| Vierkantwelle | (2100) | | | | | | | | | | | | | | |
| 1/4 Zoll | 2.5 - 5.0 - 7.5 - 17.5 | 95.5 | 70 | 9.5 | - | 40 | 16 | 8 | 5 | 12 | - | 43.9 | 15 | 37 | 1.5 |
| 3/8 Zoll | 75 | 107 | 70 | 13 | - | 50 | 24 | 8 | 5 | 18 | - | 43.9 | 18 | 47 | 1.5 |
| 1/2 Zoll | 175 - 250 | 123.5 | 70 | 18.5 | - | 50 | 35 | 8 | 5 | 24 | - | 43.9 | 18 | 47 | 1.5 |
| 3/4 Zoll | 500 | 146 | 87 | 29.6 | - | 60 | 29.6 | 10.5 | 2 | 33.5 | - | 61.4 | 19 | 57 | 1.5 |
| Rundwelle | (2200) | | | | | | | | | | | | | | |
| Ø 9 mm | 2.5 - 5.0 - 7.5 - 17.5 | 125 | 70 | 27.5 | 9 | 40 | - | 8 | 5 | - | 23 | 43.9 | 15 | 37 | 1.5 |
| Ø 14 mm | 75 | 139 | 70 | 34.5 | 14 | 50 | - | 8 | 5 | - | 30 | 43.9 | 18 | 47 | 1.5 |
| Ø 19 mm | 175 - 250 | 179 | 70 | 54.5 | 19 | 50 | - | 8 | 5 | - | 50 | 43.9 | 18 | 47 | 1.5 |
| Ø 25 mm | 500 | 220 | 87 | 66.6 | 25 | 60 | - | 10.5 | 2 | - | =C | 61.4 | 19 | 57 | 1.5 |

| Abmessungen Passfedernut [mm] | | | | Passfeder | |
|-------------------------------|--------|-------|-------|-----------|-------|
| Runde Welle | Breite | Tiefe | Länge | Höhe | Länge |
| Ø 9 mm | 3 | 1.8 | 18.5 | 3 | 18 |
| Ø 14 mm | 5 | 3.0 | 25.5 | 5 | 25 |
| Ø 19 mm | 6 | 3.5 | 45.5 | 6 | 45 |
| Ø 25 mm | 8 | 4 | 50.5 | 8 | 50 |

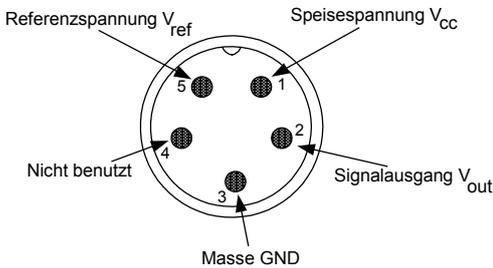


Hochdynamischer, Berührungsloser Drehmomentsensor - Serie DFM2X



6. Anschlussplan

Steckerbelegung am Sensor.
Darstellung: Draufsicht (Top view)

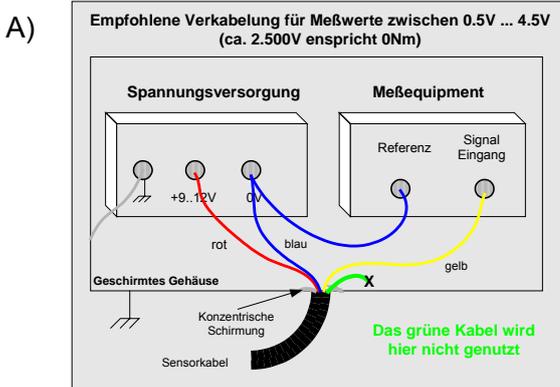


| Verfügbare Kabel | | |
|------------------|------|----------------------|
| Model | Mod2 | Mod3 |
| Pin 1 | Rot | Weiss |
| Pin 2 | Gelb | Braun |
| Pin 3 | Blau | Schwarz |
| Pin 4 | - | Blau (nicht genutzt) |
| Pin 5 | Grün | Grau |

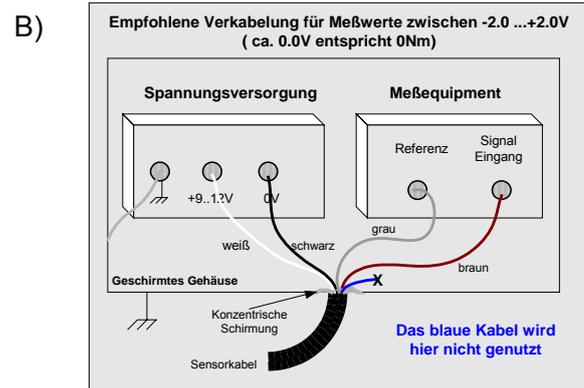
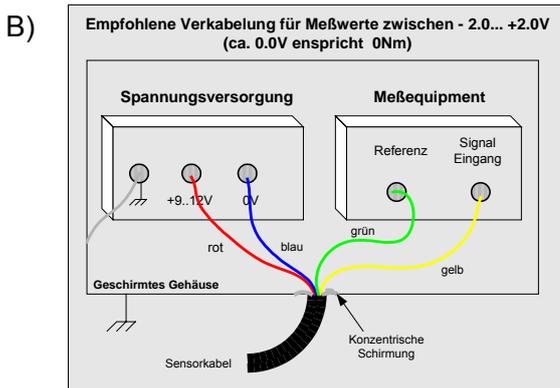
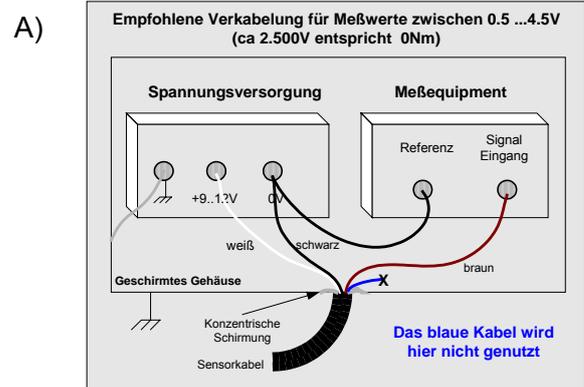
Der Ausgang V_{ref} ist ein konstanter 2.5V Ausgang und stellt den virtuellen Nullpunkt für die direkte +/- Drehmomentmessung dar. (Siehe unten "Sensorkabel Verbindung" Teil B).

Es sollte kundenseitig ein Stecker mit Schirmung (360°) benutzt werden. Ansonsten sollte die Schirmung soweit wie möglich das Signal begleiten!

Sensorkabel Verbindung Mod. 2



Sensorkabel Verbindung Mod. 3



7. Zubehör & Ausstattung

- **Anschlusskabel**, 5-polige Kabelkupplung (1 Stück im Lieferumfang enthalten)
- **Sensor-Befestigungselement**
- **Serie MODIG 9000 Ausleseeinheit** zum automatischen Auslesen der Messwerte mit Digitalanzeige. Optionen wie RS232 und RS485 sowie weitere Features sind möglich.
- **Serie MODIG 9400 Ausleseeinheit** zum automatischen Auslesen der Messwerte mit einem PC oder Notebeook mit TorqueMeter Windows Software.
- **Passfedern** (bei Rundwellen 1 Paar im Lieferumfang enthalten)

Serie MODIG 9000 Ausleseeinheit



Serie MODIG 9400 Ausleseeinheit



8. Bedienungsanleitung

8.1 Einbaubereich

Der Drehmomentsensor ist für den Einsatz im industriellen Bereich vorgesehen (z.B. Prüfstände).

8.2 Lieferumfang

Das Drehmomentsensor-System besteht aus dem Sensor selbst, mit im Gehäuse integrierter Signalaufnahme/-verarbeitung, einem Anschlusskabel (1,5 m Länge) mit angelötetem Stecker und Bedienungsanleitung.

8.3 Montage und Demontage

Es muss darauf geachtet werden, dass bei der Montage des Sensors die Messwelle exakt fluchtend zu den Anschlusswellen ausgerichtet wird. Anschließend müssen die Passfeder-Adapter/Vierkantenden der Anschlusswellen ohne Kraftaufwand auf die Passfeder-Adapteranschlüsse/Vierkantanschlüsse des Sensors geschoben werden können. Bei Befestigung darf keine Kraft in axiale Richtung auf das Gehäuse ausgeübt werden. Die Schlüsselflächen sind zur Sicherung des Sensors gegen Verdrehen zu nutzen (optionales Sensor-Befestigungselement). Die Kabellänge darf max. 3m betragen. Bei Verwendung eines anderen Kabels als dem von MEGATRON Industriesensorik mitgelieferten oder einem gleichen Kabel mit abweichender Kabellänge, kann die Funktion des Sensorsystems beeinträchtigt werden.

Die Demontage darf nur ohne anliegendes Drehmoment an der Messwelle erfolgen.

8.4 Justage

Bei Bedarf kann das Null-Punkt Ausgangssignal (2.5 V) anhand des Potentiometers (siehe Punkt 5. Abmessungen) justiert werden. Hierzu Schraube (2) (siehe Punkt 5. Abmessungen) entfernen, mit Kunststoffschraubendreher Potentiometer auf 2.5 V justieren, Schraube wieder eindrehen, bis diese bündig zur Gehäuseoberfläche abschliesst.

Ab Werk ist der Sensor auf 2.5 V eingestellt.

8.5 Schnittstellenbeschreibung

Mechanische Schnittstellen:

Zur Kraftübertragung sind an beiden Enden der Messwelle Passfeder Adapteranschlüsse/ Vierkantanschlüsse (male/female) vorgesehen.

Elektrische Schnittstellen:

An der Gehäuseoberseite ist eine fünfpolige Flanschdose zur Energieversorgung und Signalausgabe angebracht (Pin-Belegung siehe 6. Anschlussplan).

8.6 Bedienung (im regulären Betrieb, Optimierung)

Optimale Messwerte werden erzielt bei Einsatz des Sensors unter Einhaltung des spezifizierten Nenndrehmoments und nur bei kurzzeitigem Betrieb mit der maximal zulässigen Drehzahl. Der Sensor arbeitet störungs- und wartungsfrei bei Einhaltung der zulässigen Betriebsbedingungen. Das Sensorsystem erfüllt die Schutzart IP50(IP65 optional).

8.7 Irregulärer Betrieb, Maßnahmen bei Störungen

Bei Vorhandensein von äußeren elektromagnetischen oder magnetischen Feldern wird das Messergebnis verfälscht. Bei mechanischer Überbelastung des Sensors (z.B. Überschreiten der maximal zulässigen Grenzlängskraft/Grenzdrehmoment sowie stärkeren Vibrationen) kann eine Schädigung des Sensors und damit eine Verfälschung der Signalausgabe auftreten. In diesen Fällen empfiehlt sich eine erneute Justierung des Sensors (siehe 8.4 Justage). Lassen sich etwaige Störungen dadurch nicht beheben, das Gerät nicht öffnen, sondern direkt an MEGATRON Industriesensorik wenden.

8.8 Inbetriebnahme

Nach der Montage des Sensors ist folgendes zu beachten:

- Spannungsversorgung einschalten und Spannungswert kontrollieren (Spannungsspitzen am Sensor müssen vermieden werden, Geräte müssen vor Anschluss an den Sensor entsprechend überprüft werden).

- Sensor an die Spannungsversorgung anschließen (mit beiliegendem Kabel).

- Ausgangssignal des Sensors hochohmig aufnehmen (z.B. A/D-Wandler, Oszilloskop, PC-Messkarte).

Ausgangssignal im mechanisch unbelasteten Zustand des Sensors aufnehmen.

- Bei Bedarf Null-Punkt des Ausgangssignals (2.5 V) justieren (siehe unter 8.4 Justage).

8.9 Service / Wartung / Instandhaltung

Service-Kontakt:

Tel.: ++49 89 460 94 -0

Fax: ++49 89 460 94 -101

Der Sensor arbeitet wartungsfrei.

8.10 Entsorgung

Zur Entsorgung ist das Gerät an die MEGATRON Industriesensorik zurückzugeben.

8.11 Handhabung und Transport

Bei Handhabung, Lagerung und Transport ist darauf zu achten, dass der Sensor keinen magnetischen oder elektromagnetischen Feldern ausgesetzt wird, die ausserhalb des zulässigen Bereiches gemäß Elektromagnetischer Verträglichkeit (Kapitel 3 Technische Kenndaten) liegen. Ferner müssen statische und dynamische Belastungen auf den Sensor vermieden werden.

8.12 Sicherheitshinweise

1. Ein Öffnen des Sensors ist grundsätzlich nicht gestattet.

2. Die Wellensicherungsringe auf den Wellenenden dürfen nicht gelöst werden.

3. Die Befestigungsmutter des Steckers sowie die Verschlusschrauben (1) (siehe 5. Abmessungen) darf nicht gelöst oder angezogen werden.

In den Fällen 1. bis 3. findet eine Dejustage des Sensors statt. Ein ordnungsgemäßer Betrieb des Sensors ist dann nicht mehr möglich.

4. Nur sicher von der Netzspannung getrennte Spannungsversorgungen einsetzen.

5. Bezüglich der elektrischen und mechanischen Belastung des Sensors sind die Spezifikationen gemäß dem sensorspezifischen Leistungsschild und der Tabelle in Kapitel 3 zu beachten.

6. Der Sensor darf keinen elektrischen oder magnetischen Feldern ausgesetzt werden, die ausserhalb des zulässigen Bereiches gemäß Elektromagnetischer Verträglichkeit (Kapitel 3 Technische Kenndaten) liegen.

A.1.3. Analog-Digital-Umsetzer – Texas Instruments ADS1014



Ultra-Small, Low-Power, 12-Bit Analog-to-Digital Converter with Internal Reference

Check for Samples: [ADS1013](#) [ADS1014](#) [ADS1015](#)

FEATURES

- **ULTRA-SMALL QFN PACKAGE:**
2mm × 1,5mm × 0,4mm
- **WIDE SUPPLY RANGE: 2.0V to 5.5V**
- **LOW CURRENT CONSUMPTION:**
Continuous Mode: Only 150µA
Single-Shot Mode: Auto Shut-Down
- **PROGRAMMABLE DATA RATE:**
128SPS to 3.3kSPS
- **INTERNAL LOW-DRIFT VOLTAGE REFERENCE**
- **INTERNAL OSCILLATOR**
- **INTERNAL PGA**
- **I²C™ INTERFACE: Pin-Selectable Addresses**
- **FOUR SINGLE-ENDED OR TWO DIFFERENTIAL INPUTS (ADS1015)**
- **PROGRAMMABLE COMPARATOR (ADS1014 and ADS1015)**

APPLICATIONS

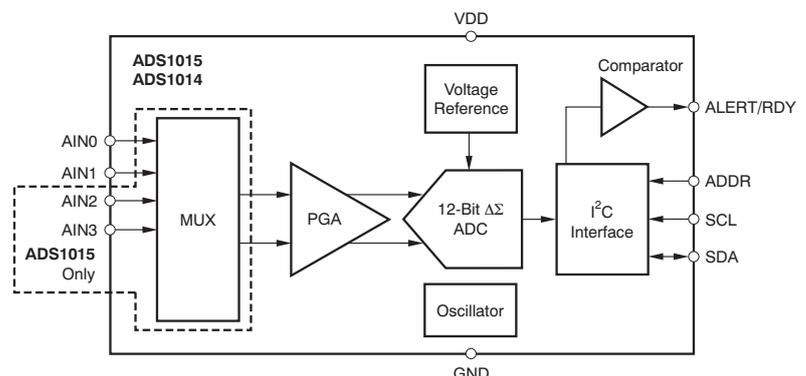
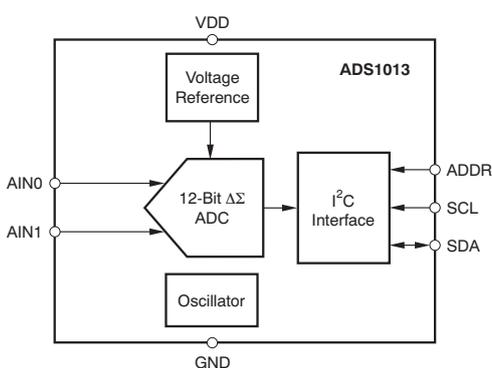
- **PORTABLE INSTRUMENTATION**
- **CONSUMER GOODS**
- **BATTERY MONITORING**
- **TEMPERATURE MEASUREMENT**
- **FACTORY AUTOMATION AND PROCESS CONTROLS**

DESCRIPTION

The ADS1013, ADS1014, and ADS1015 are precision analog-to-digital converters (ADCs) with 12 bits of resolution offered in an ultra-small, leadless QFN-10 package or an MSOP-10 package. The ADS1013/4/5 are designed with precision, power, and ease of implementation in mind. The ADS1013/4/5 feature an onboard reference and oscillator. Data are transferred via an I²C-compatible serial interface; four I²C slave addresses can be selected. The ADS1013/4/5 operate from a single power supply ranging from 2.0V to 5.5V.

The ADS1013/4/5 can perform conversions at rates up to 3300 samples per second (SPS). An onboard PGA is available on the ADS1014 and ADS1015 that offers input ranges from the supply to as low as ±256mV, allowing both large and small signals to be measured with high resolution. The ADS1015 also features an input multiplexer (MUX) that provides two differential or four single-ended inputs.

The ADS1013/4/5 operate either in continuous conversion mode or a single-shot mode that automatically powers down after a conversion and greatly reduces current consumption during idle periods. The ADS1013/4/5 are specified from –40°C to +125°C.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

I²C is a trademark of NXP Semiconductors.

All other trademarks are the property of their respective owners.



This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

ORDERING INFORMATION

For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI web site at www.ti.com.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

| | ADS1013, ADS1014, ADS1015 | UNIT |
|--|---------------------------|------|
| VDD to GND | -0.3 to +5.5 | V |
| Analog input current | 100, momentary | mA |
| Analog input current | 10, continuous | mA |
| Analog input voltage to GND | -0.3 to VDD + 0.3 | V |
| SDA, SCL, ADDR, ALERT/RDY voltage to GND | -0.5 to +5.5 | V |
| Maximum junction temperature | +150 | °C |
| Storage temperature range | -60 to +150 | °C |

(1) Stresses above those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may affect device reliability.

PRODUCT FAMILY

| DEVICE | PACKAGE DESIGNATOR MSOP/QFN | RESOLUTION (Bits) | MAXIMUM SAMPLE RATE (SPS) | COMPARATOR | PGA | INPUT CHANNELS (Differential/Single-Ended) |
|---------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|------------|-----|--|
| ADS1113 | BROI/N6J | 16 | 860 | No | No | 1/1 |
| ADS1114 | BRNI/N5J | 16 | 860 | Yes | Yes | 1/1 |
| ADS1115 | BOGI/N4J | 16 | 860 | Yes | Yes | 2/4 |
| ADS1013 | BRMI/N9J | 12 | 3300 | No | No | 1/1 |
| ADS1014 | BRQI/N8J | 12 | 3300 | Yes | Yes | 1/1 |
| ADS1015 | BRPI/N7J | 12 | 3300 | Yes | Yes | 2/4 |

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

All specifications at -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$, $V_{\text{DD}} = 3.3\text{V}$, and Full-Scale (FS) = $\pm 2.048\text{V}$, unless otherwise noted. Typical values are at $+25^{\circ}\text{C}$.

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | ADS1013, ADS1014, ADS1015 | | | UNIT |
|---|---|---|--------------------------------------|-----------|-------------------------|
| | | MIN | TYP | MAX | |
| ANALOG INPUT | | | | | |
| Full-scale input voltage ⁽¹⁾ | $V_{\text{IN}} = (\text{AIN}_P) - (\text{AIN}_N)$ | | $\pm 4.096/\text{PGA}$ | | V |
| Analog input voltage | AIN_P or AIN_N to GND | GND | | VDD | V |
| Differential input impedance | | | See Table 2 | | |
| Common-mode input impedance | FS = $\pm 6.144\text{V}$ ⁽¹⁾ | | 10 | | M Ω |
| | FS = $\pm 4.096\text{V}$ ⁽¹⁾ , $\pm 2.048\text{V}$ | | 6 | | M Ω |
| | FS = $\pm 1.024\text{V}$ | | 3 | | M Ω |
| | FS = $\pm 0.512\text{V}$, $\pm 0.256\text{V}$ | | 100 | | M Ω |
| SYSTEM PERFORMANCE | | | | | |
| Resolution | No missing codes | 12 | | | Bits |
| Data rate (DR) | | | 128, 250, 490, 920, 1600, 2400, 3300 | | SPS |
| Data rate variation | All data rates | -10 | | 10 | % |
| Output noise | | See Typical Characteristics | | | |
| Integral nonlinearity | DR = 128SPS, FS = $\pm 2.048\text{V}$, best fit ⁽²⁾ | | | 0.5 | LSB |
| Offset error | FS = $\pm 2.048\text{V}$, differential inputs | | 0 | ± 0.5 | LSB |
| | FS = $\pm 2.048\text{V}$, single-ended inputs | | ± 0.25 | | LSB |
| Offset drift | FS = $\pm 2.048\text{V}$ | | 0.005 | | LSB/ $^{\circ}\text{C}$ |
| Gain error ⁽³⁾ | FS = $\pm 2.048\text{V}$ at 25°C | | 0.05 | 0.25 | % |
| Gain drift ⁽³⁾ | FS = $\pm 0.256\text{V}$ | | 7 | | ppm/ $^{\circ}\text{C}$ |
| | FS = $\pm 2.048\text{V}$ | | 5 | 40 | ppm/ $^{\circ}\text{C}$ |
| | FS = $\pm 6.144\text{V}$ ⁽¹⁾ | | 5 | | ppm/ $^{\circ}\text{C}$ |
| PGA gain match ⁽³⁾ | Match between any two PGA gains | | 0.02 | 0.1 | % |
| Gain match | Match between any two inputs | | 0.05 | 0.1 | % |
| Offset match | Match between any two inputs | | 0.25 | | LSB |
| DIGITAL INPUT/OUTPUT | | | | | |
| Logic level | | | | | |
| V_{IH} | | 0.7VDD | | 5.5 | V |
| V_{IL} | | GND - 0.5 | | 0.3VDD | V |
| V_{OL} | $I_{\text{OL}} = 3\text{mA}$ | GND | 0.15 | 0.4 | V |
| Input leakage | | | | | |
| I_{H} | $V_{\text{IH}} = 5.5\text{V}$ | | | 10 | μA |
| I_{L} | $V_{\text{IL}} = \text{GND}$ | 10 | | | μA |

(1) This parameter expresses the full-scale range of the ADC scaling. In no event should more than $V_{\text{DD}} + 0.3\text{V}$ be applied to this device.

(2) 99% of full-scale.

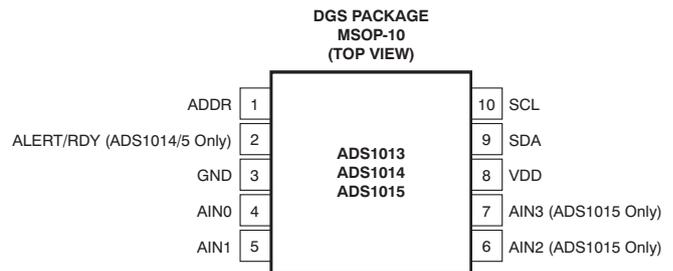
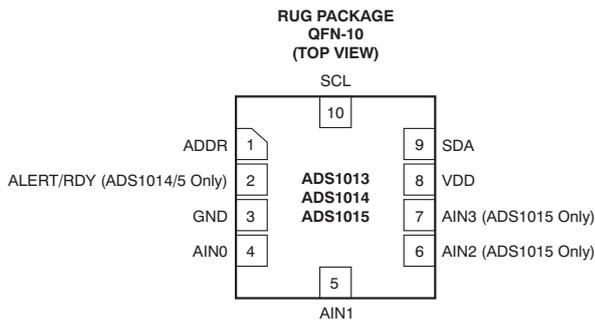
(3) Includes all errors from onboard PGA and reference.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

All specifications at –40°C to +125°C, VDD = 3.3V, and Full-Scale (FS) = ±2.048V, unless otherwise noted. Typical values are at +25°C.

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | ADS1013, ADS1014, ADS1015 | | | UNIT |
|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----|------|------|
| | | MIN | TYP | MAX | |
| POWER-SUPPLY REQUIREMENTS | | | | | |
| Power-supply voltage | | 2 | | 5.5 | V |
| Supply current | Power-down current at 25°C | | 0.5 | 2 | µA |
| | Power-down current up to 125°C | | | 5 | µA |
| | Operating current at 25°C | | 150 | 200 | µA |
| | Operating current up to 125°C | | | 300 | µA |
| Power dissipation | VDD = 5.0V | | 0.9 | | mW |
| | VDD = 3.3V | | 0.5 | | mW |
| | VDD = 2.0V | | 0.3 | | mW |
| TEMPERATURE | | | | | |
| Storage temperature | | –60 | | +150 | °C |
| Specified temperature | | –40 | | +125 | °C |

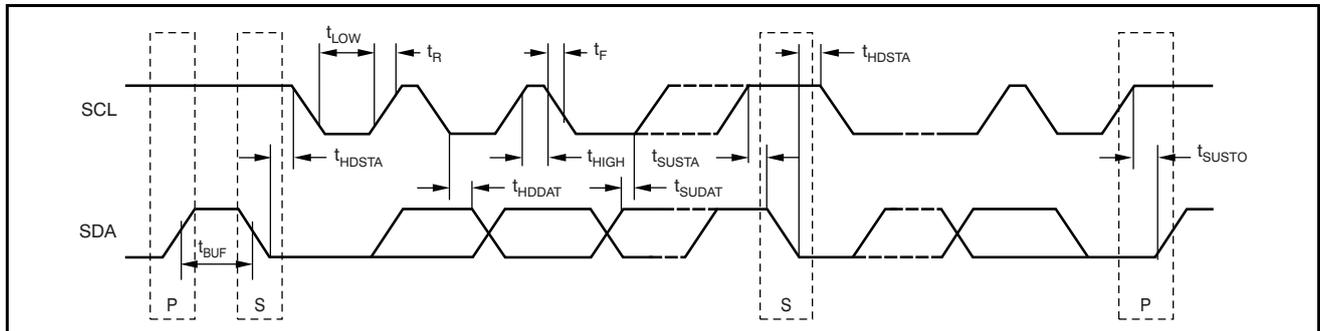
PIN CONFIGURATIONS



PIN DESCRIPTIONS

| PIN # | DEVICE | | | FUNCTION | DESCRIPTION |
|-------|-------------------|-----------|-----------|----------------|---|
| | ADS1013 | ADS1014 | ADS1015 | | |
| 1 | ADDR | ADDR | ADDR | Digital input | I ² C slave address select |
| 2 | NC ⁽¹⁾ | ALERT/RDY | ALERT/RDY | Digital output | Digital comparator output or conversion ready (NC for ADS1013) |
| 3 | GND | GND | GND | Supply | Ground |
| 4 | AIN0 | AIN0 | AIN0 | Analog input | Differential channel 1: Positive input or single-ended channel 1 input |
| 5 | AIN1 | AIN1 | AIN1 | Analog input | Differential channel 1: Negative input or single-ended channel 2 input |
| 6 | NC | NC | AIN2 | Analog input | Differential channel 2: Positive input or single-ended channel 3 input (NC for ADS1013/4) |
| 7 | NC | NC | AIN3 | Analog input | Differential channel 2: Negative input or single-ended channel 4 input (NC for ADS1013/4) |
| 8 | VDD | VDD | VDD | Supply | Power supply: 2.0V to 5.5V |
| 9 | SDA | SDA | SDA | Digital I/O | Serial data: Transmits and receives data |
| 10 | SCL | SCL | SCL | Digital input | Serial clock input: Clocks data on SDA |

(1) NC pins may be left floating or tied to ground.

TIMING REQUIREMENTS

Figure 1. I²C Timing Diagram
Table 1. I²C Timing Definitions

| PARAMETER | | FAST MODE | | HIGH-SPEED MODE | | UNIT |
|--|-------------|-----------|-----|-----------------|-----|------|
| | | MIN | MAX | MIN | MAX | |
| SCL operating frequency | f_{SCL} | 0.01 | 0.4 | 0.01 | 3.4 | MHz |
| Bus free time between START and STOP condition | t_{BUF} | 600 | | 160 | | ns |
| Hold time after repeated START condition. After this period, the first clock is generated. | t_{HDSTA} | 600 | | 160 | | ns |
| Repeated START condition setup time | t_{SUSTA} | 600 | | 160 | | ns |
| Stop condition setup time | t_{SUSTO} | 600 | | 160 | | ns |
| Data hold time | t_{HDDAT} | 0 | | 0 | | ns |
| Data setup time | t_{SUDAT} | 100 | | 10 | | ns |
| SCL clock low period | t_{LOW} | 1300 | | 160 | | ns |
| SCL clock high period | t_{HIGH} | 600 | | 60 | | ns |
| Clock/data fall time | t_F | | 300 | | 160 | ns |
| Clock/data rise time | t_R | | 300 | | 160 | ns |

TYPICAL CHARACTERISTICS

At $T_A = +25^\circ\text{C}$ and $V_{DD} = 3.3\text{V}$, unless otherwise noted.

OPERATING CURRENT vs TEMPERATURE

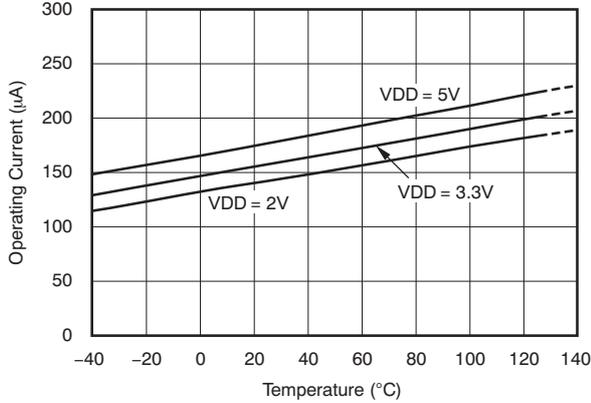


Figure 2.

SHUTDOWN CURRENT vs TEMPERATURE

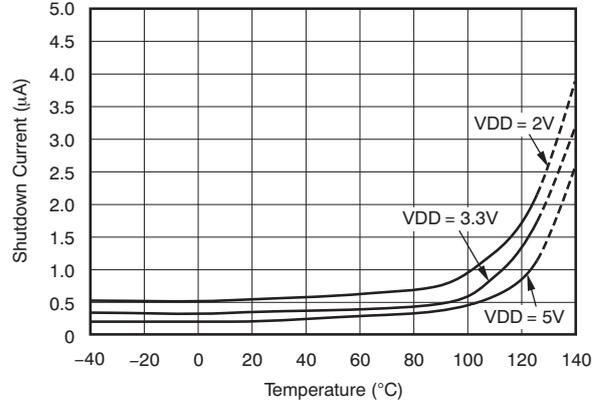


Figure 3.

SINGLE-ENDED OFFSET ERROR vs TEMPERATURE⁽¹⁾

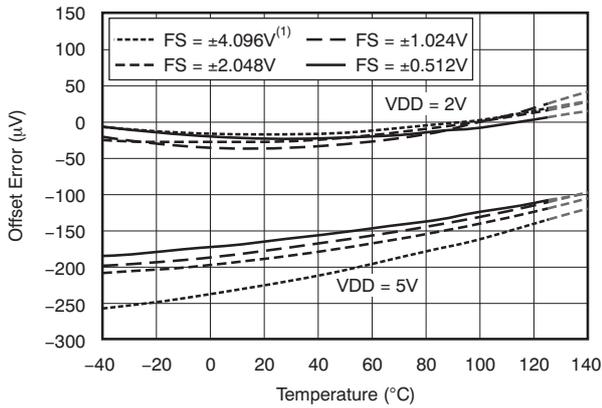


Figure 4.

DIFFERENTIAL OFFSET vs TEMPERATURE

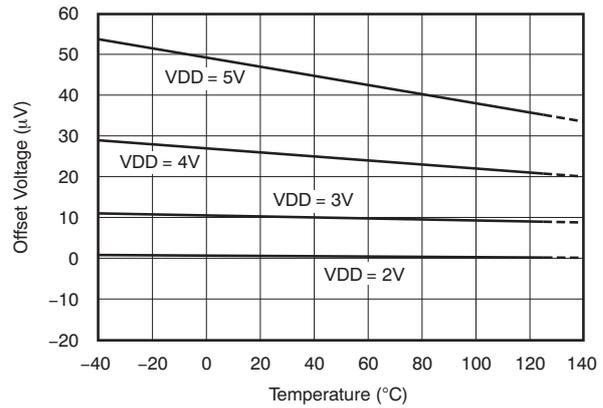


Figure 5.

GAIN ERROR vs TEMPERATURE

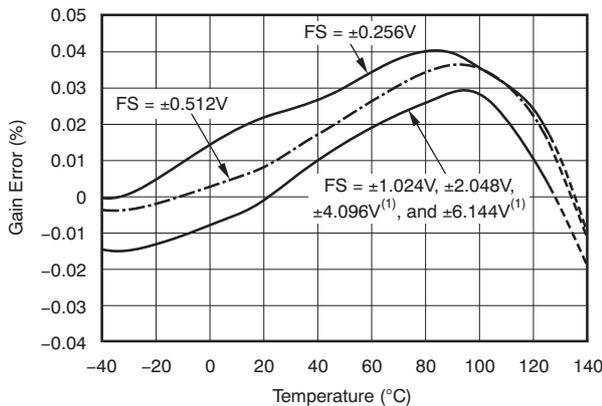


Figure 6.

NOISE PLOT

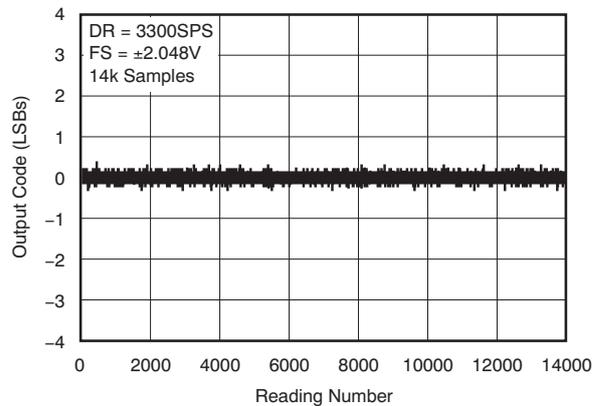


Figure 7.

(1) This parameter expresses the full-scale range of the ADC scaling. In no event should more than $V_{DD} + 0.3\text{V}$ be applied to this device.

OVERVIEW

The ADS1013/4/5 are very small, low-power, 12-bit, delta-sigma ($\Delta\Sigma$) analog-to-digital converters (ADCs). The ADS1013/4/5 are extremely easy to configure and design into a wide variety of applications, and allow precise measurements to be obtained with very little effort. Both experienced and novice users of data converters find designing with the ADS1013/4/5 family to be intuitive and problem-free.

The ADS1013/4/5 consist of a $\Delta\Sigma$ analog-to-digital (A/D) core with adjustable gain (excludes the ADS1013), an internal voltage reference, a clock oscillator, and an I²C interface. An additional feature available on the ADS1014/5 is a programmable digital comparator that provides an alert on a dedicated pin. All of these features are intended to reduce required external circuitry and improve performance. Figure 8 shows the ADS1015 functional block diagram.

The ADS1013/4/5 A/D core measures a differential signal, V_{IN} , that is the difference of A_{INP} and A_{INN} . A MUX is available on the ADS1015. This architecture results in a very strong attenuation of any common-mode signals. The converter core consists

of a differential, switched-capacitor $\Delta\Sigma$ modulator followed by a digital filter. Input signals are compared to the internal voltage reference. The digital filter receives a high-speed bitstream from the modulator and outputs a code proportional to the input voltage.

The ADS1013/4/5 have two available conversion modes: single-shot mode and continuous conversion mode. In single-shot mode, the ADC performs one conversion of the input signal upon request and stores the value to an internal result register. The device then enters a low-power shutdown mode. This mode is intended to provide significant power savings in systems that only require periodic conversions or when there are long idle periods between conversions. In continuous conversion mode, the ADC automatically begins a conversion of the input signal as soon as the previous conversion is completed. The rate of continuous conversion is equal to the programmed data rate. Data can be read at any time and always reflect the most recent completed conversion.

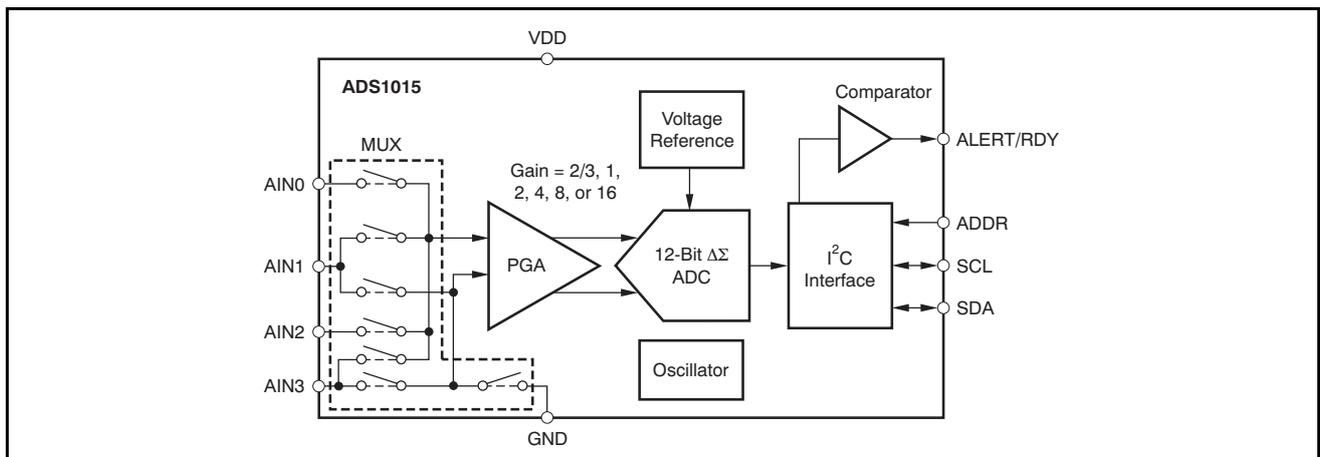


Figure 8. ADS1015 Functional Block Diagram

QUICKSTART GUIDE

This section provides a brief example of ADS1013/4/5 communications. Refer to subsequent sections of this data sheet for more detailed explanations. Hardware for this design includes: one ADS1013/4/5 configured with an I²C address of 1001000; a microcontroller with an I²C interface (TI recommends the [MSP430](#) product line); discrete components such as resistors, capacitors, and serial connectors; and a 2V to 5V power supply. [Figure 9](#) shows the basic hardware configuration.

The ADS1013/4/5 communicate with the master (microcontroller) through an I²C interface. The master provides a clock signal on the SCL pin and data are transferred via the SDA pin. The ADS1013/4/5 never drive the SCL pin. For information on programming and debugging the microcontroller being used, refer to the device-specific product data sheet.

The first byte sent by the master should be the ADS1013/4/5 address followed by a bit that instructs the ADS1013/4/5 to listen for a subsequent byte. The second byte is the register pointer. Refer to [Table 6](#) for a register map. The third and fourth bytes sent from the master are written to the register indicated in the second byte. Refer to [Figure 16](#) and [Figure 17](#) for read and write operation timing diagrams, respectively. All read and write transactions with the ADS1013/4/5 must be preceded by a start condition and followed by a stop condition.

For example, to write to the configuration register to set the ADS1013/4/5 to continuous conversion mode and then read the conversion result, send the following bytes in this order:

Write to Config register:

First byte: 0b10010000 (first 7-bit I²C address followed by a low read/write bit)

Second byte: 0b00000001 (points to Config register)

Third byte: 0b00000100 (MSB of the Config register to be written)

Fourth byte: 0b10000011 (LSB of the Config register to be written)

Write to Pointer register:

First byte: 0b10010000 (first 7-bit I²C address followed by a low read/write bit)

Second byte: 0b00000000 (points to Conversion register)

Read Conversion register:

First byte: 0b10010001 (first 7-bit I²C address followed by a high read/write bit)

Second byte: the ADS1013/4/5 response with the MSB of the Conversion register

Third byte: the ADS1013/4/5 response with the LSB of the Conversion register

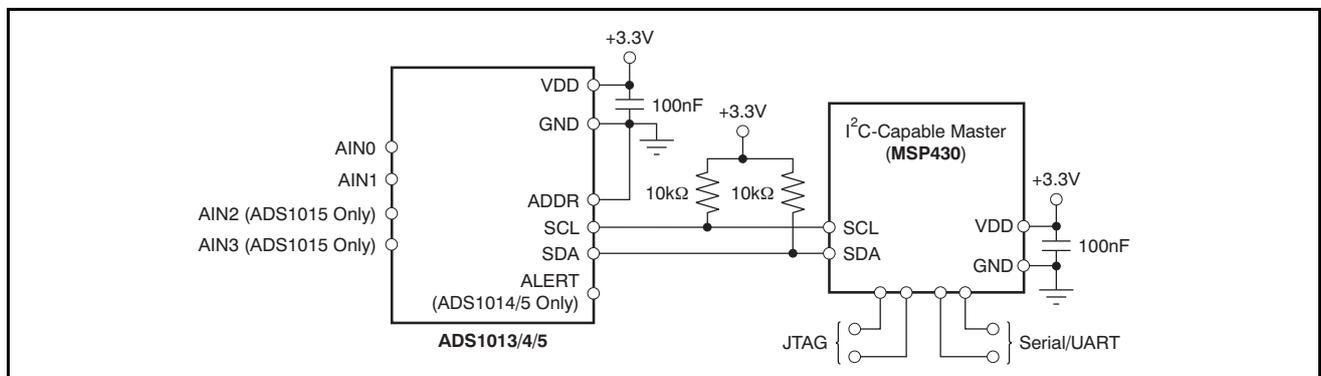


Figure 9. Basic Hardware Configuration

MULTIPLEXER

The ADS1015 contains an input multiplexer, as shown in Figure 10. Either four single-ended or two differential signals can be measured. Additionally, AIN0 and AIN1 may be measured differentially to AIN3. The multiplexer is configured by three bits in the Config register. When single-ended signals are measured, the negative input of the ADC is internally connected to GND by a switch within the multiplexer.

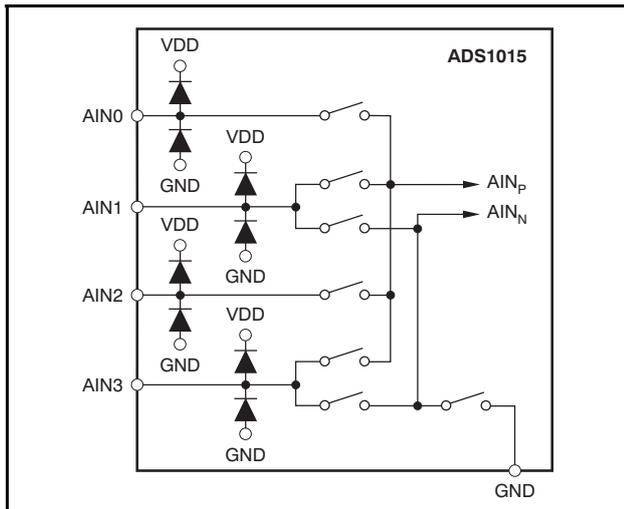


Figure 10. ADS1015 MUX

The ADS1013 and ADS1014 do not have a multiplexer. Either one differential or one single-ended signal may be measured with these devices. For single-ended measurements, connect the AIN1 pin to GND. Note that in subsequent sections of this data sheet, AIN_P refers to AIN0 and AIN_N refers to AIN1 for the ADS1013 and ADS1014.

When measuring single-ended inputs it is important to note that the negative range of the output codes are not used. These codes are for measuring negative differential signals such as (AIN_P – AIN_N) < 0. ESD diodes to VDD and GND protect the inputs on all three devices (ADS1013, ADS1014, and ADS1015). To prevent the ESD diodes from turning on, the absolute voltage on any input must stay within the following range:

$$\text{GND} - 0.3\text{V} < \text{AIN}_x < \text{VDD} + 0.3\text{V}$$

If it is possible that the voltages on the input pins may violate these conditions, external Schottky clamp diodes and/or series resistors may be required to limit the input current to safe values (see the Absolute Maximum Ratings table).

Also, overdriving one unused input on the ADS1015 may affect conversions taking place on other input pins. If overdrive on unused inputs is possible, again it is recommended to clamp the signal with external Schottky diodes.

ANALOG INPUTS

The ADS1013/4/5 use a switched-capacitor input stage where capacitors are continuously charged and then discharged to measure the voltage between AIN_P and AIN_N. The capacitors used are small, and to external circuitry the average loading appears resistive. This structure is shown in Figure 12. The resistance is set by the capacitor values and the rate at which they are switched. Figure 11 shows the on/off setting of the switches illustrated in Figure 12. During the sampling phase, S₁ switches are closed. This event charges C_{A1} to AIN_P, C_{A2} to AIN_N, and C_B to (AIN_P – AIN_N). During the discharge phase, S₁ is first opened and then S₂ is closed. Both C_{A1} and C_{A2} then discharge to 0V. This charging draws a very small transient current from the source driving the ADS1013/4/5 analog inputs. The average value of this current can be used to calculate the effective impedance (R_{eff}) where R_{eff} = V_{IN}/I_{AVERAGE}.

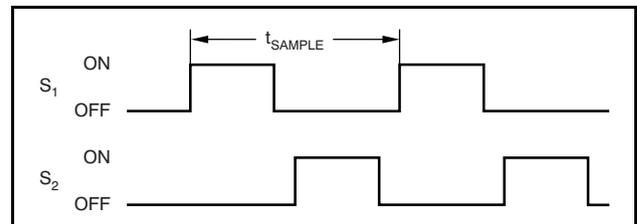


Figure 11. S₁ and S₂ Switch Timing for Figure 12

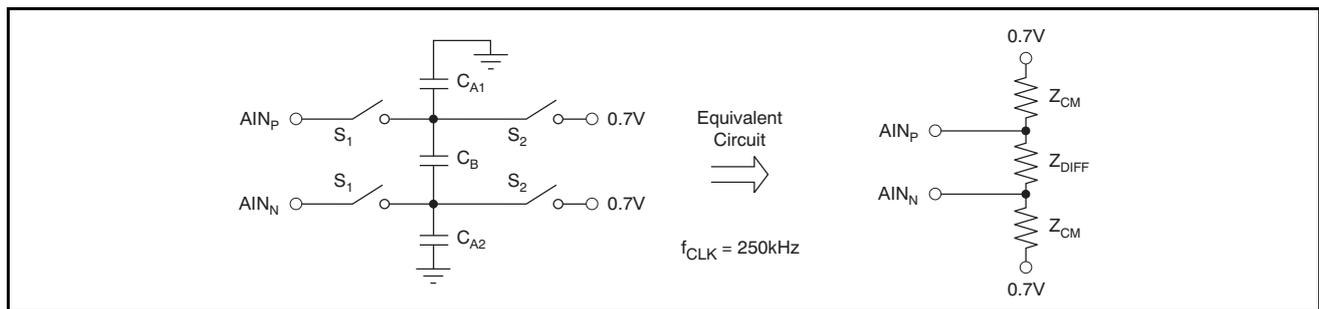


Figure 12. Simplified Analog Input Circuit

The common-mode input impedance is measured by applying a common-mode signal to shorted AIN_P and AIN_N inputs and measuring the average current consumed by each pin. The common-mode input impedance changes depending on the PGA gain setting, but is approximately 6MΩ for the default PGA gain setting. In Figure 12, the common-mode input impedance is Z_{CM}.

The differential input impedance is measured by applying a differential signal to AIN_P and AIN_N inputs where one input is held at 0.7V. The current that flows through the pin connected to 0.7V is the differential current and scales with the PGA gain setting. In Figure 12, the differential input impedance is Z_{DIFF}. Table 2 describes the typical differential input impedance.

Table 2. Differential Input Impedance

| FS (V) | DIFFERENTIAL INPUT IMPEDANCE |
|------------------------|------------------------------|
| ±6.144V ⁽¹⁾ | 22MΩ |
| ±4.096V ⁽¹⁾ | 15MΩ |
| ±2.048V | 4.9MΩ |
| ±1.024V | 2.4MΩ |
| ±0.512V | 710kΩ |
| ±0.256V | 710kΩ |

1. This parameter expresses the full-scale range of the ADC scaling. In no event should more than VDD + 0.3V be applied to this device.

The typical value of the input impedance cannot be neglected. Unless the input source has a low impedance, the ADS1013/4/5 input impedance may affect the measurement accuracy. For sources with high output impedance, buffering may be necessary. Active buffers introduce noise, and also introduce offset and gain errors. All of these factors should be considered in high-accuracy applications.

Because the clock oscillator frequency drifts slightly with temperature, the input impedances also drift. For many applications, this input impedance drift can be ignored, and the values given in Table 2 for typical input impedance are valid.

FULL-SCALE INPUT

A programmable gain amplifier (PGA) is implemented before the ΔΣ core of the ADS1014/5. The PGA can be set to gains of 2/3, 1, 2, 4, 8, and 16. Table 3 shows the corresponding full-scale (FS) ranges. The PGA is configured by three bits in the Config register. The ADS1013 has a fixed full-scale input range of ±2.048V. The PGA = 2/3 setting allows input measurement to extend up to the supply voltage when VDD is larger than 4V. Note though that in this case (as well as for PGA = 1 and VDD < 4V), it is not possible to reach a full-scale output code on the ADC. Analog input voltages may never exceed the analog input voltage limits given in the Electrical Characteristics table.

Table 3. PGA Gain Full-Scale Range

| PGA SETTING | FS (V) |
|-------------|------------------------|
| 2/3 | ±6.144V ⁽¹⁾ |
| 1 | ±4.096V ⁽¹⁾ |
| 2 | ±2.048V |
| 4 | ±1.024V |
| 8 | ±0.512V |
| 16 | ±0.256V |

1. This parameter expresses the full-scale range of the ADC scaling. In no event should more than VDD + 0.3V be applied to this device.

DATA FORMAT

The ADS1013/4/5 provide 12 bits of data in binary twos complement format. The positive full-scale input produces an output code of 7FF0h and the negative full-scale input produces an output code of 8000h. The output clips at these codes for signals that exceed full-scale. Table 4 summarizes the ideal output codes for different input signals. Figure 13 shows code transitions versus input voltage.

Table 4. Input Signal versus Ideal Output Code

| INPUT SIGNAL, V_{IN} ($A_{INP} - A_{INN}$) | IDEAL OUTPUT CODE ⁽¹⁾ |
|---|----------------------------------|
| $\geq FS (2^{11} - 1)/2^{11}$ | 7FF0h |
| $+FS/2^{11}$ | 0010h |
| 0 | 0 |
| $-FS/2^{11}$ | FFF0h |
| $\leq -FS$ | 8000h |

1. Excludes the effects of noise, INL, offset, and gain errors.

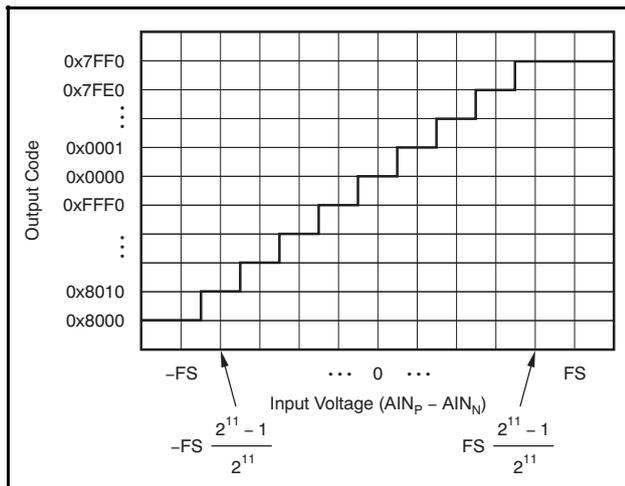


Figure 13. ADS1013/4/5 Code Transition Diagram

ALIASING

As with any data converter, if the input signal contains frequencies greater than half the data rate, aliasing occurs. To prevent aliasing, the input signal must be bandlimited. Some signals are inherently bandlimited. For example, the output of a thermocouple, which has a limited rate of change. Nevertheless, they can contain noise and interference components. These components can fold back into the sampling band in the same way as with any other signal.

The ADS1013/4/5 digital filter provides some attenuation of high-frequency noise, but the digital Sinc filter frequency response cannot completely replace an anti-aliasing filter. For a few applications, some external filtering may be needed; in such instances, a simple RC filter is adequate.

When designing an input filter circuit, be sure to take into account the interaction between the filter network and the input impedance of the ADS1013/4/5.

OPERATING MODES

The ADS1013/4/5 operate in one of two modes: continuous conversion or single-shot. In continuous conversion mode, the ADS1013/4/5 continuously perform conversions. Once a conversion has been completed, the ADS1013/4/5 place the result in the Conversion register and immediately begins another conversion. In single-shot mode, the ADS1013/4/5 wait until the OS bit is set high. Once asserted, the bit is set to '0', indicating that a conversion is currently in progress. Once conversion data are ready, the OS bit reasserts and the device powers down. Writing a '1' to the OS bit during a conversion has no effect.

RESET AND POWER-UP

When the ADS1013/4/5 powers up, a reset is performed. As part of the reset process, the ADS1013/4/5 set all of the bits in the Config register to the respective default settings.

The ADS1013/4/5 respond to the I²C general call reset command. When the ADS1013/4/5 receive a general call reset, an internal reset is performed as if the device had been powered on.

DUTY CYCLING FOR LOW POWER

For many applications, the improved performance at low data rates may not be required. For these applications, the ADS1013/4/5 support duty cycling that can yield significant power savings by periodically requesting high data rate readings at an effectively lower data rate. For example, an ADS1013/4/5 in power-down mode with a data rate set to 3300SPS could be operated by a microcontroller that instructs a single-shot conversion every 7.8ms (128SPS). Because a conversion at 3300SPS only requires about 0.3ms, the ADS1013/4/5 enter power-down mode for the remaining 7.5ms. In this configuration, the ADS1013/4/5 consume about 1/25th the power of the ADS1013/4/5 operated in continuous conversion mode. The rate of duty cycling is completely arbitrary and is defined by the master controller. The ADS1013/4/5 offer lower data rates that do not implement duty cycling and offer improved noise performance if it is needed.

COMPARATOR (ADS1014/15 ONLY)

The ADS1014/5 are each equipped with a customizable comparator that can issue an alert on the ALERT/RDY pin. This feature can significantly reduce external circuitry for many applications. The comparator can be implemented as either a traditional comparator or a window comparator via the COMP_MODE bit in the Config register. When implemented as a traditional comparator, the ALERT/RDY pin asserts (active low by default) when conversion data exceed the limit set in the high threshold register. The comparator then deasserts when the input signal falls below the low threshold register value. In window comparator mode, the ALERT/RDY pin asserts if conversion data exceed the high threshold register or fall below the low threshold register.

In either window or traditional comparator mode, the comparator can be configured to latch once asserted by the COMP_LAT bit in the Config register. This setting causes the assertion to remain even if the input signal is not beyond the bounds of the threshold registers. This latched assertion can be cleared by issuing an SMBus alert response or by reading the Conversion register. The COMP_POL bit in the Config register configures the ALERT/RDY pin as active high or active low. Operational diagrams for the comparator modes are shown in Figure 14 and Figure 15.

The comparator can be configured to activate the ALERT/RDY pin after a set number of successive readings exceed the threshold. The comparator can be configured to wait for one, two, or four readings beyond the threshold before activating the ALERT/RDY pin by changing the COMP_QUE bits in the Config register. The COMP_QUE bits can also disable the comparator function.

CONVERSION READY PIN (ADS1014/5 ONLY)

The ALERT/RDY pin can also be configured as a conversion ready pin. This mode of operation can be realized if the MSB of the high threshold register is set to '1' and the MSB of the low threshold register is set to '0'. The COMP_POL bit continues to function and the COMP_QUE bits can disable the pin; however, the COMP_MODE and COMP_LAT bits no longer control any function. When configured as a conversion ready pin, ALERT/RDY continues to require a pull-up resistor. When in continuous conversion mode, the ADS1013/4/5 provide a brief (~8µs) pulse on the ALERT/RDY pin at the end of each conversion. When in single-shot shutdown mode, the ALERT/RDY pin asserts low at the end of a conversion if the COMP_POL bit is set to '0'.

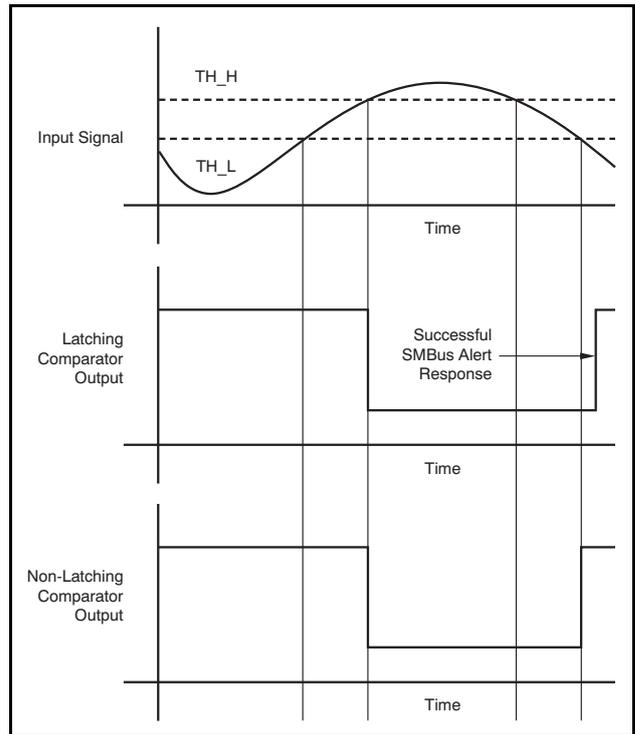


Figure 14. Alert Pin Timing Diagram When Configured as a Traditional Comparator

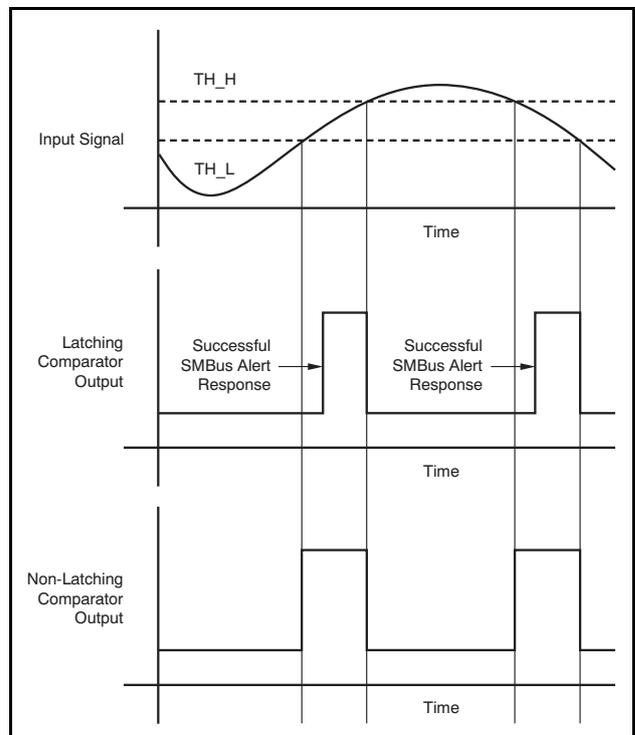


Figure 15. Alert Pin Timing Diagram When Configured as a Window Comparator

SMBus ALERT RESPONSE

When configured in latching mode (COMP_LAT = '1' in the Config register), the ALERT/RDY pin can be implemented with an SMBus alert. The pin asserts if the comparator detects a conversion that exceeds an upper or lower threshold. This interrupt is latched and can be cleared only by reading conversion data, or by issuing a successful SMBus alert response and reading the asserting device I²C address. If conversion data exceed the upper or lower thresholds after being cleared, the pin reasserts. This assertion does not affect conversions that are already in progress. The ALERT/RDY pin, as with the SDA pin, is an open-drain pin. This architecture allows several devices to share the same interface bus. When disabled, the pin holds a high state so that it does not interfere with other devices on the same bus line.

When the master senses that the ALERT/RDY pin has latched, it issues an SMBus alert command (00011001) to the I²C bus. Any ADS1014/5 data converters on the I²C bus with the ALERT/RDY pins asserted respond to the command with the slave address. This sequence is illustrated in Figure 18. In the event that two or more ADS1014/5 data converters present on the bus assert the latched ALERT/RDY pin, arbitration during the address response portion of the SMBus alert decides which device clears its assertion. The device with the lowest I²C address always wins arbitration. If a device loses arbitration, it does not clear the comparator output pin assertion. The master then repeats the SMBus alert response until all devices have had the respective assertions cleared. In window comparator mode, the SMBus alert status bit indicates a '1' if signals exceed the high threshold and a '0' if signals exceed the low threshold.

I²C INTERFACE

The ADS1013/4/5 communicate through an I²C interface. I²C is a two-wire open-drain interface that supports multiple devices and masters on a single bus. Devices on the I²C bus only drive the bus lines low by connecting them to ground; they never drive the bus lines high. Instead, the bus wires are pulled high by pull-up resistors, so the bus wires are high when no device is driving them low. This way, two devices cannot conflict; if two devices drive the bus simultaneously, there is no driver contention.

Communication on the I²C bus always takes place between two devices, one acting as the master and the other as the slave. Both masters and slaves can read and write, but slaves can only do so under the direction of the master. Some I²C devices can act as masters or slaves, but the ADS1013/4/5 can only act as slave devices.

An I²C bus consists of two lines, SDA and SCL. SDA carries data; SCL provides the clock. All data are transmitted across the I²C bus in groups of eight bits. To send a bit on the I²C bus, the SDA line is driven to the appropriate level while SCL is low (a low on SDA indicates the bit is zero; a high indicates the bit is one). Once the SDA line settles, the SCL line is brought high, then low. This pulse on SCL clocks the SDA bit into the receiver shift register. If the I²C bus is held idle for more than 25ms, the bus times out.

The I²C bus is bidirectional: the SDA line is used for both transmitting and receiving data. When the master reads from a slave, the slave drives the data line; when the master sends to a slave, the master drives the data line. The master always drives the clock line. The ADS1013/4/5 never drive SCL, because they cannot act as a master. On the ADS1013/4/5, SCL is an input only.

Most of the time the bus is idle; no communication occurs, and both lines are high. When communication is taking place, the bus is active. Only master devices can start a communication and initiate a START condition on the bus. Normally, the data line is only allowed to change state while the clock line is low. If the data line changes state while the clock line is high, it is either a START condition or a STOP condition. A START condition occurs when the clock line is high and the data line goes from high to low. A STOP condition occurs when the clock line is high and the data line goes from low to high.

After the master issues a START condition, it sends a byte that indicates which slave device it wants to communicate with. This byte is called the *address byte*. Each device on an I²C bus has a unique 7-bit address to which it responds. The master sends an address in the address byte, together with a bit that indicates whether it wishes to read from or write to the slave device.

Every byte transmitted on the I²C bus, whether it is address or data, is acknowledged with an *acknowledge* bit. When the master has finished sending a byte (eight data bits) to a slave, it stops driving SDA and waits for the slave to acknowledge the byte. The slave acknowledges the byte by pulling SDA low. The master then sends a clock pulse to clock the acknowledge bit. Similarly, when the master has finished reading a byte, it pulls SDA low to acknowledge this to the slave. It then sends a clock pulse to clock the bit. (The master always drives the clock line.)

A *not-acknowledge* is performed by simply leaving SDA high during an acknowledge cycle. If a device is not present on the bus, and the master attempts to address it, it receives a not-acknowledge because no device is present at that address to pull the line low.

When the master has finished communicating with a slave, it may issue a STOP condition. When a STOP condition is issued, the bus becomes idle again. The master may also issue another START condition. When a START condition is issued while the bus is active, it is called a repeated START condition.

See the [Timing Requirements](#) section for a timing diagram showing the ADS1013/4/5 I²C transaction.

I²C ADDRESS SELECTION

The ADS1013/4/5 have one address pin, ADDR, that sets the I²C address. This pin can be connected to ground, VDD, SDA, or SCL, allowing four addresses to be selected with one pin as shown in [Table 5](#). The state of the address pin ADDR is sampled continuously.

Table 5. ADDR Pin Connection and Corresponding Slave Address

| ADDR PIN | SLAVE ADDRESS |
|----------|---------------|
| Ground | 1001000 |
| VDD | 1001001 |
| SDA | 1001010 |
| SCL | 1001011 |

I²C GENERAL CALL

The ADS1013/4/5 respond to the I²C general call address (0000000) if the eighth bit is '0'. The devices acknowledge the general call address and respond to commands in the second byte. If the second byte is 00000110 (06h), the ADS1013/4/5 reset the internal registers and enter power-down mode.

I²C SPEED MODES

The I²C bus operates at one of three speeds. Standard mode allows a clock frequency of up to 100kHz; fast mode permits a clock frequency of up to 400kHz; and high-speed mode (also called Hs mode) allows a clock frequency of up to 3.4MHz. The ADS1013/4/5 are fully compatible with all three modes.

No special action is required to use the ADS1013/4/5 in standard or fast mode, but high-speed mode must be activated. To activate high-speed mode, send a special address byte of 00001xxx following the START condition, where xxx are bits unique to the Hs-capable master. This byte is called the Hs master code. (Note that this is different from normal address bytes; the eighth bit does not indicate read/write status.) The ADS1013/4/5 do not acknowledge this

byte; the I²C specification prohibits acknowledgment of the Hs master code. Upon receiving a master code, the ADS1013/4/5 switch on Hs mode filters, and communicate at up to 3.4MHz. The ADS1013/4/5 switch out of Hs mode with the next STOP condition.

For more information on high-speed mode, consult the I²C specification.

SLAVE MODE OPERATIONS

The ADS1013/4/5 can act as either slave receivers or slave transmitters. As a slave device, the ADS1013/4/5 cannot drive the SCL line.

Receive Mode:

In slave receive mode the first byte transmitted from the master to the slave is the address with the R/W bit low. This byte allows the slave to be written to. The next byte transmitted by the master is the register pointer byte. The ADS1013/4/5 then acknowledge receipt of the register pointer byte. The next two bytes are written to the address given by the register pointer. The ADS1013/4/5 acknowledge each byte sent. Register bytes are sent with the most significant byte first, followed by the least significant byte.

Transmit Mode:

In slave transmit mode, the first byte transmitted by the master is the 7-bit slave address followed by the high R/W bit. This byte places the slave into transmit mode and indicates that the ADS1013/4/5 are being read from. The next byte transmitted by the slave is the most significant byte of the register that is indicated by the register pointer. This byte is followed by an acknowledgment from the master. The remaining least significant byte is then sent by the slave and is followed by an acknowledgment from the master. The master may terminate transmission after any byte by not acknowledging or issuing a START or STOP condition.

WRITING/READING THE REGISTERS

To access a specific register from the ADS1013/4/5, the master must first write an appropriate value to the Pointer register. The Pointer register is written directly after the slave address byte, low R/W bit, and a successful slave acknowledgment. After the Pointer register is written, the slave acknowledges and the master issues a STOP or a repeated START condition.

When reading from the ADS1013/4/5, the previous value written to the Pointer register determines the register that is read from. To change which register is read, a new value must be written to the Pointer register. To write a new value to the Pointer register, the master issues a slave address byte with the R/W bit low, followed by the Pointer register byte. No additional data need to be transmitted, and a STOP condition can be issued by the master. The master may now issue a START condition and send the slave address byte with the R/W bit high to begin the read. Figure 16 details this sequence. If repeated reads from the same register are desired, there is no need to continually send Pointer register bytes, because the ADS1013/4/5 store the value of the Pointer register until it is modified by a write operation. However, every write operation requires the Pointer register to be written.

REGISTERS

The ADS1013/4/5 have four registers that are accessible via the I²C port. The Conversion register contains the result of the last conversion. The Config register allows the user to change the ADS1013/4/5 operating modes and query the status of the devices. Two registers, Lo_thresh and Hi_thresh, set the threshold values used for the comparator function.

POINTER REGISTER

The four registers are accessed by writing to the Pointer register byte; see Figure 16. Table 6 and Table 7 indicate the Pointer register byte map.

Table 6. Register Address

| BIT 1 | BIT 0 | REGISTER |
|-------|-------|---------------------|
| 0 | 0 | Conversion register |
| 0 | 1 | Config register |
| 1 | 0 | Lo_thresh register |
| 1 | 1 | Hi_thresh register |

CONVERSION REGISTER

The 16-bit register contains the result of the last conversion in binary twos complement format. Following reset or power-up, the Conversion register is cleared to '0', and remains '0' until the first conversion is completed.

The register format is shown in Table 8.

CONFIG REGISTER

The 16-bit register can be used to control the ADS1013/4/5 operating mode, input selection, data rate, PGA settings, and comparator modes. The register format is shown in Table 9.

Table 7. Pointer Register Byte (Write-Only)

| BIT 7 | BIT 6 | BIT 5 | BIT 4 | BIT 3 | BIT 2 | BIT 1 | BIT 0 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Register address | |

Table 8. Conversion Register (Read-Only)

| BIT | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|
| NAME | D11 | D10 | D9 | D8 | D7 | D6 | D5 | D4 | D3 | D2 | D1 | D0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Table 9. Config Register (Read/Write)

| BIT | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 |
|------|-----|------|------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
| NAME | OS | MUX2 | MUX1 | MUX0 | PGA2 | PGA1 | PGA0 | MODE |
| BIT | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| NAME | DR2 | DR1 | DR0 | COMP_MODE | COMP_POL | COMP_LAT | COMP_QUE1 | COMP_QUE0 |

Default = 8583h.

Bit [15]

OS: Operational status/single-shot conversion start

This bit determines the operational status of the device. This bit can only be written when in power-down mode.

For a write status:

0 : No effect

1 : Begin a single conversion (when in power-down mode)

For a read status:

0 : Device is currently performing a conversion

1 : Device is not currently performing a conversion

| | | | | | | | | | |
|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|
| Bits [14:12] | <p>MUX[2:0]: Input multiplexer configuration (ADS1015 only)</p> <p>These bits configure the input multiplexer. They serve no function on the ADS1013/4.</p> <table border="0"> <tr> <td>000 : AIN_P = AIN₀ and AIN_N = AIN₁ (default)</td> <td>100 : AIN_P = AIN₀ and AIN_N = GND</td> </tr> <tr> <td>001 : AIN_P = AIN₀ and AIN_N = AIN₃</td> <td>101 : AIN_P = AIN₁ and AIN_N = GND</td> </tr> <tr> <td>010 : AIN_P = AIN₁ and AIN_N = AIN₃</td> <td>110 : AIN_P = AIN₂ and AIN_N = GND</td> </tr> <tr> <td>011 : AIN_P = AIN₂ and AIN_N = AIN₃</td> <td>111 : AIN_P = AIN₃ and AIN_N = GND</td> </tr> </table> | 000 : AIN _P = AIN ₀ and AIN _N = AIN ₁ (default) | 100 : AIN _P = AIN ₀ and AIN _N = GND | 001 : AIN _P = AIN ₀ and AIN _N = AIN ₃ | 101 : AIN _P = AIN ₁ and AIN _N = GND | 010 : AIN _P = AIN ₁ and AIN _N = AIN ₃ | 110 : AIN _P = AIN ₂ and AIN _N = GND | 011 : AIN _P = AIN ₂ and AIN _N = AIN ₃ | 111 : AIN _P = AIN ₃ and AIN _N = GND |
| 000 : AIN _P = AIN ₀ and AIN _N = AIN ₁ (default) | 100 : AIN _P = AIN ₀ and AIN _N = GND | | | | | | | | |
| 001 : AIN _P = AIN ₀ and AIN _N = AIN ₃ | 101 : AIN _P = AIN ₁ and AIN _N = GND | | | | | | | | |
| 010 : AIN _P = AIN ₁ and AIN _N = AIN ₃ | 110 : AIN _P = AIN ₂ and AIN _N = GND | | | | | | | | |
| 011 : AIN _P = AIN ₂ and AIN _N = AIN ₃ | 111 : AIN _P = AIN ₃ and AIN _N = GND | | | | | | | | |
| Bits [11:9] | <p>PGA[2:0]: Programmable gain amplifier configuration (ADS1014 and ADS1015 only)</p> <p>These bits configure the programmable gain amplifier. They serve no function on the ADS1013.</p> <table border="0"> <tr> <td>000 : FS = ±6.144V⁽¹⁾</td> <td>100 : FS = ±0.512V</td> </tr> <tr> <td>001 : FS = ±4.096V⁽¹⁾</td> <td>101 : FS = ±0.256V</td> </tr> <tr> <td>010 : FS = ±2.048V (default)</td> <td>110 : FS = ±0.256V</td> </tr> <tr> <td>011 : FS = ±1.024V</td> <td>111 : FS = ±0.256V</td> </tr> </table> | 000 : FS = ±6.144V ⁽¹⁾ | 100 : FS = ±0.512V | 001 : FS = ±4.096V ⁽¹⁾ | 101 : FS = ±0.256V | 010 : FS = ±2.048V (default) | 110 : FS = ±0.256V | 011 : FS = ±1.024V | 111 : FS = ±0.256V |
| 000 : FS = ±6.144V ⁽¹⁾ | 100 : FS = ±0.512V | | | | | | | | |
| 001 : FS = ±4.096V ⁽¹⁾ | 101 : FS = ±0.256V | | | | | | | | |
| 010 : FS = ±2.048V (default) | 110 : FS = ±0.256V | | | | | | | | |
| 011 : FS = ±1.024V | 111 : FS = ±0.256V | | | | | | | | |
| Bit [8] | <p>MODE: Device operating mode</p> <p>This bit controls the current operational mode of the ADS1013/4/5.</p> <p>0 : Continuous conversion mode 1 : Power-down single-shot mode (default)</p> | | | | | | | | |
| Bits [7:5] | <p>DR[2:0]: Data rate</p> <p>These bits control the data rate setting.</p> <table border="0"> <tr> <td>000 : 128SPS</td> <td>100 : 1600SPS (default)</td> </tr> <tr> <td>001 : 250SPS</td> <td>101 : 2400SPS</td> </tr> <tr> <td>010 : 490SPS</td> <td>110 : 3300SPS</td> </tr> <tr> <td>011 : 920SPS</td> <td>111 : 3300SPS</td> </tr> </table> | 000 : 128SPS | 100 : 1600SPS (default) | 001 : 250SPS | 101 : 2400SPS | 010 : 490SPS | 110 : 3300SPS | 011 : 920SPS | 111 : 3300SPS |
| 000 : 128SPS | 100 : 1600SPS (default) | | | | | | | | |
| 001 : 250SPS | 101 : 2400SPS | | | | | | | | |
| 010 : 490SPS | 110 : 3300SPS | | | | | | | | |
| 011 : 920SPS | 111 : 3300SPS | | | | | | | | |
| Bit [4] | <p>COMP_MODE: Comparator mode (ADS1014 and ADS1015 only)</p> <p>This bit controls the comparator mode of operation. It changes whether the comparator is implemented as a traditional comparator (COMP_MODE = '0') or as a window comparator (COMP_MODE = '1'). It serves no function on the ADS1013.</p> <p>0 : Traditional comparator with hysteresis (default) 1 : Window comparator</p> | | | | | | | | |
| Bit [3] | <p>COMP_POL: Comparator polarity (ADS1014 and ADS1015 only)</p> <p>This bit controls the polarity of the ALERT/RDY pin. When COMP_POL = '0' the comparator output is active low. When COMP_POL='1' the ALERT/RDY pin is active high. It serves no function on the ADS1013.</p> <p>0 : Active low (default) 1 : Active high</p> | | | | | | | | |
| Bit [2] | <p>COMP_LAT: Latching comparator (ADS1014 and ADS1015 only)</p> <p>This bit controls whether the ALERT/RDY pin latches once asserted or clears once conversions are within the margin of the upper and lower threshold values. When COMP_LAT = '0', the ALERT/RDY pin does not latch when asserted. When COMP_LAT = '1', the asserted ALERT/RDY pin remains latched until conversion data are read by the master or an appropriate SMBus alert response is sent by the master, the device responds with its address, and it is the lowest address currently asserting the ALERT/RDY bus line. This bit serves no function on the ADS1013.</p> <p>0 : Non-latching comparator (default) 1 : Latching comparator</p> | | | | | | | | |
| Bits [1:0] | <p>COMP_QUE: Comparator queue and disable (ADS1014 and ADS1015 only)</p> <p>These bits perform two functions. When set to '11', they disable the comparator function and put the ALERT/RDY pin into a high state. When set to any other value, they control the number of successive conversions exceeding the upper or lower thresholds required before asserting the ALERT/RDY pin. They serve no function on the ADS1013.</p> <table border="0"> <tr> <td>00 : Assert after one conversion</td> </tr> <tr> <td>01 : Assert after two conversions</td> </tr> <tr> <td>10 : Assert after four conversions</td> </tr> <tr> <td>11 : Disable comparator (default)</td> </tr> </table> | 00 : Assert after one conversion | 01 : Assert after two conversions | 10 : Assert after four conversions | 11 : Disable comparator (default) | | | | |
| 00 : Assert after one conversion | | | | | | | | | |
| 01 : Assert after two conversions | | | | | | | | | |
| 10 : Assert after four conversions | | | | | | | | | |
| 11 : Disable comparator (default) | | | | | | | | | |

(1) This parameter expresses the full-scale range of the ADC scaling. In no event should more than VDD + 0.3V be applied to this device.

Lo_thresh AND Hi_thresh REGISTERS

The upper and lower threshold values used by the comparator are stored in two 16-bit registers. These registers store values in the same format that the output register displays values; that is, they are stored in twos complement format. Because it is implemented as a digital comparator, special attention should be taken to readjust values whenever PGA settings are changed.

A secondary conversion ready function of the comparator output pin can be realized by setting the Hi_thresh register MSB to '1' and the Lo_thresh

register MSB to '0'. However, in all other cases, the Hi_thresh register must be larger than the Lo_thresh register. The threshold register formats are shown in [Table 10](#). When set to RDY mode, the ALERT/RDY pin outputs the state of the OS bit when in single-shot mode and pulses when in continuous conversion mode. Bits [3:0] in both the Lo_thresh and Hi_thresh registers have no effect on the comparator level thresholds. These bits should be considered as *don't care* bits.

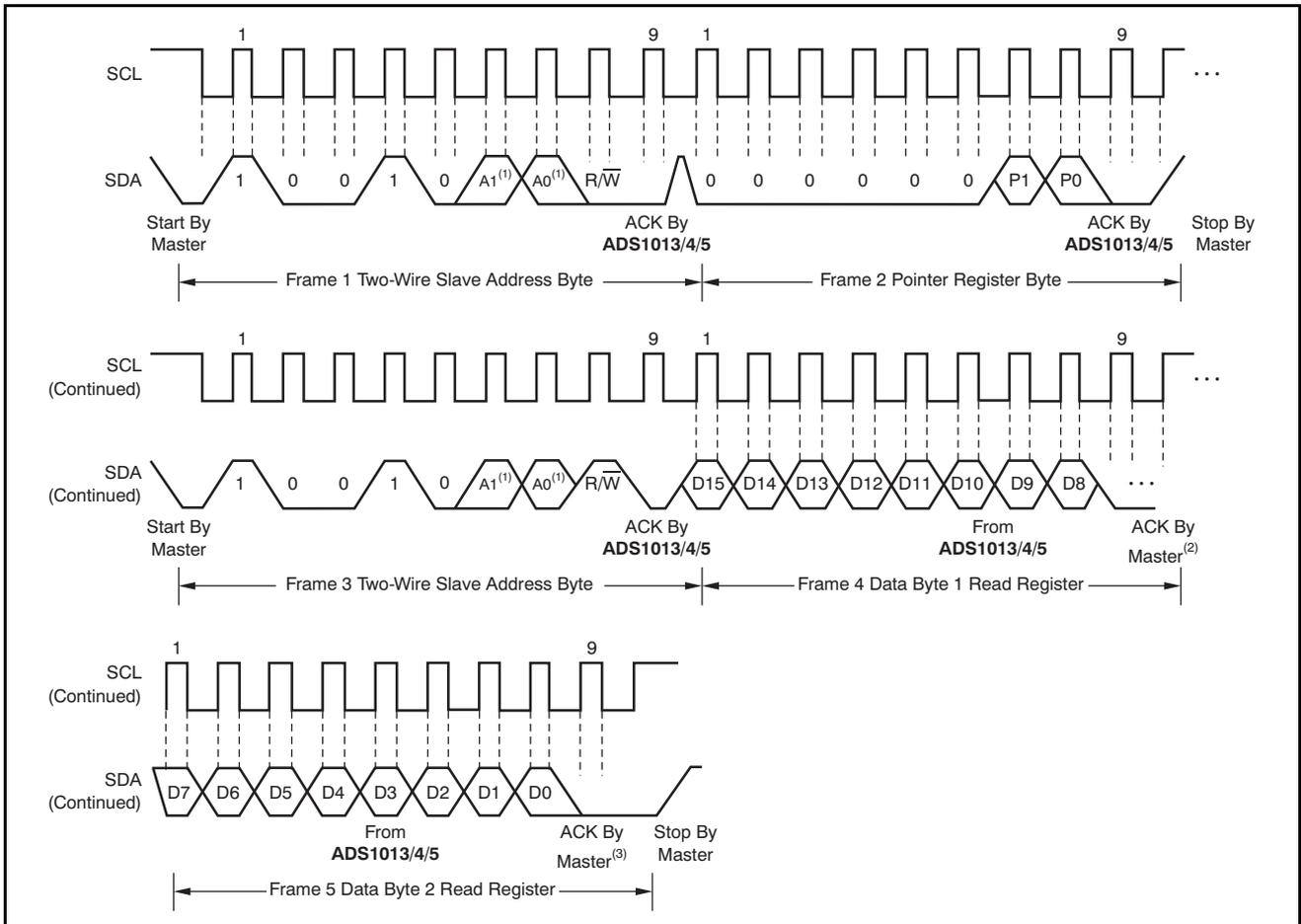
Table 10. Lo_thresh and Hi_thresh Registers

| REGISTER | Lo_thresh (Read/Write) | | | | | | | |
|----------|------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| BIT | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 |
| NAME | Lo_thresh11 | Lo_thresh10 | Lo_thresh9 | Lo_thresh8 | Lo_thresh7 | Lo_thresh6 | Lo_thresh5 | Lo_thresh4 |
| BIT | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| NAME | Lo_thresh3 | Lo_thresh2 | Lo_thresh1 | Lo_thresh0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| REGISTER | Hi_thresh (Read/Write) | | | | | | | |
|----------|------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| BIT | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 |
| NAME | Hi_thresh11 | Hi_thresh10 | Hi_thresh9 | Hi_thresh8 | Hi_thresh7 | Hi_thresh6 | Hi_thresh5 | Hi_thresh4 |
| BIT | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| NAME | Hi_thresh3 | Hi_thresh2 | Hi_thresh1 | Hi_thresh0 | 1 | 1 | 1 | 1 |

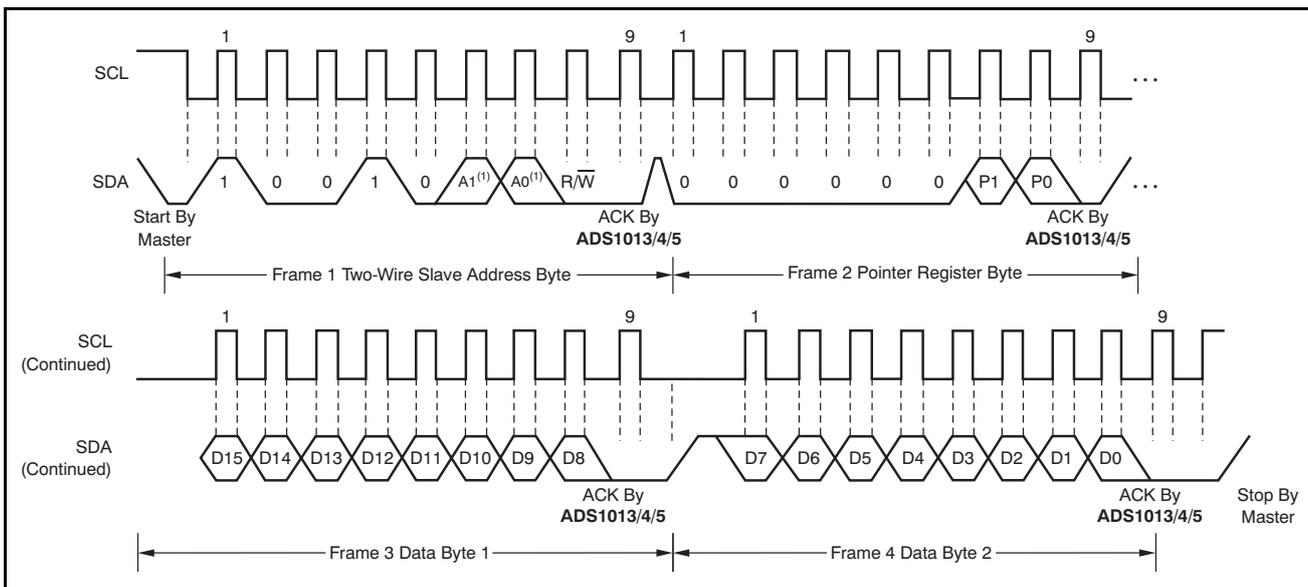
Lo_thresh default = 8000h.

Hi_thresh default = 7FFFh.



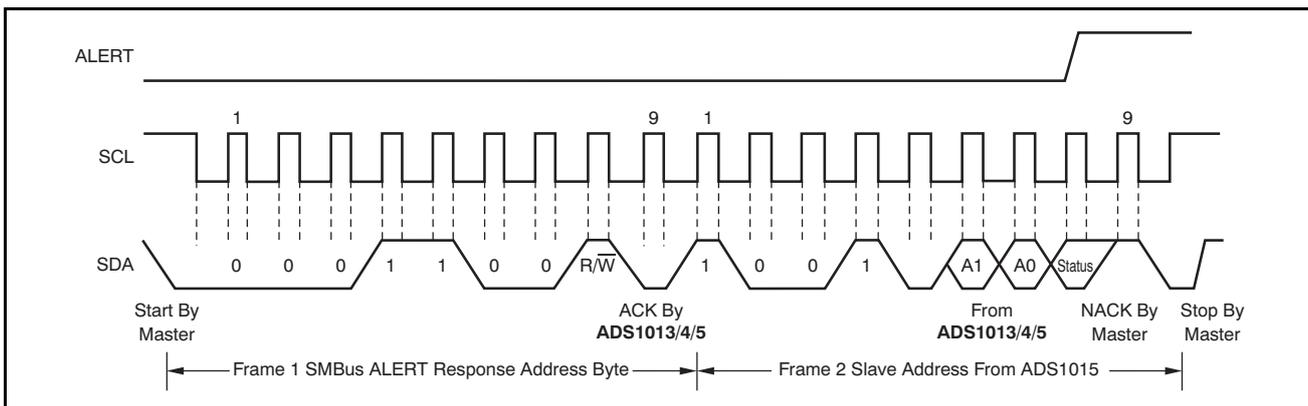
- (1) The values of A0 and A1 are determined by the ADDR pin.
- (2) Master can leave SDA high to terminate a single-byte read operation.
- (3) Master can leave SDA high to terminate a two-byte read operation.

Figure 16. Two-Wire Timing Diagram for Read Word Format



(1) The values of A0 and A1 are determined by the ADDR pin.

Figure 17. Two-Wire Timing Diagram for Write Word Format



(1) The values of A0 and A1 are determined by the ADDR pin.

Figure 18. Timing Diagram for SMBus ALERT Response

APPLICATION INFORMATION

The following sections give example circuits and suggestions for using the ADS1013/4/5 in various situations.

BASIC CONNECTIONS

For many applications, connecting the ADS1013/4/5 is simple. A basic connection diagram for the ADS1015 is shown in Figure 19.

The fully differential voltage input of the ADS1013/4/5 is ideal for connection to differential sources with moderately low source impedance, such as thermocouples and thermistors. Although the ADS1013/4/5 can read bipolar differential signals, they cannot accept negative voltages on either input. It may be helpful to think of the ADS1013/4/5 positive voltage input as *noninverting*, and of the negative input as *inverting*.

When the ADS1013/4/5 are converting data, they draw current in short spikes. The 0.1µF bypass capacitor supplies the momentary bursts of extra current needed from the supply.

The ADS1013/4/5 interface directly to standard mode, fast mode, and high-speed mode I²C controllers. Any microcontroller I²C peripheral, including master-only and non-multiple-master I²C peripherals, can operate with the ADS1013/4/5. The ADS1013/4/5 do not perform clock-stretching (that is, they never pull the clock line low), so it is not necessary to provide for this function unless other clock-stretching devices are on the same I²C bus.

Pull-up resistors are required on both the SDA and SCL lines because I²C bus drivers are open-drain. The size of these resistors depends on the bus operating speed and capacitance of the bus lines. Higher-value resistors consume less power, but increase the transition times on the bus, limiting the bus speed. Lower-value resistors allow higher speed at the expense of higher power consumption. Long bus lines have higher capacitance and require smaller pull-up resistors to compensate. The resistors should not be too small; if they are, the bus drivers may not be able to pull the bus lines low.

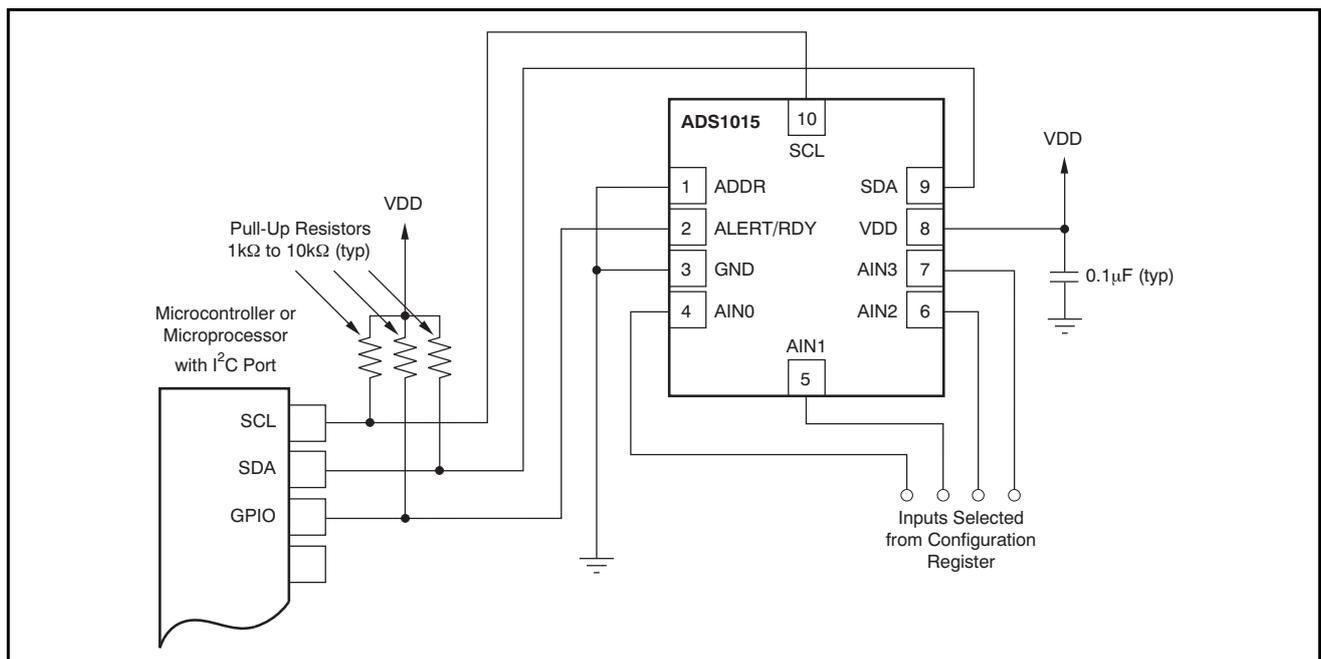


Figure 19. Typical Connections of the ADS1015

CONNECTING MULTIPLE DEVICES

Connecting multiple ADS1013/4/5s to a single bus is simple. Using the address pin, the ADS1013/4/5 can be set to one of four different I²C addresses. An example showing four ADS1013/4/5 devices is given in Figure 21. Up to four ADS1013/4/5s (using different address pin configurations) can be connected to a single bus.

Note that only one set of pull-up resistors is needed per bus. The pull-up resistor values may need to be lowered slightly to compensate for the additional bus capacitance presented by multiple devices and increased line length.

The TMP421 and DAC8574 devices detect the respective I²C bus addresses based on the states of pins. In Figure 22, the TMP421 has the address 0101010, and the DAC8574 has the address 1001100. Consult the DAC8574 and TMP421 data sheets, available at www.ti.com, for further details.

USING GPIO PORTS FOR COMMUNICATION

Most microcontrollers have programmable input/output (I/O) pins that can be set in software to act as inputs or outputs. If an I²C controller is not available, the ADS1013/4/5 can be connected to GPIO pins and the I²C bus protocol simulated, or *bit-banged*, in software. An example of this configuration for a single ADS1013/4/5 is shown in Figure 20.

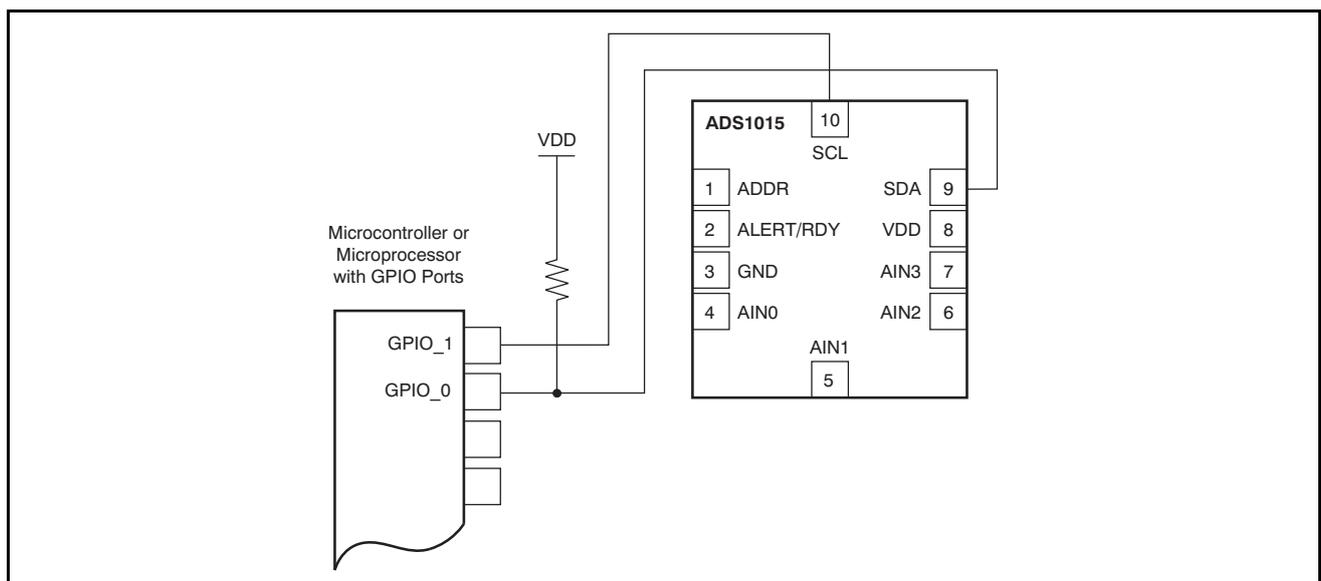
Bit-banging I²C with GPIO pins can be done by setting the GPIO line to '0' and toggling it between input and output modes to apply the proper bus

states. To drive the line low, the pin is set to output '0'; to let the line go high, the pin is set to input. When the pin is set to input, the state of the pin can be read; if another device is pulling the line low, this configuration reads as a '0' in the port input register.

Note that no pull-up resistor is shown on the SCL line. In this simple case, the resistor is not needed; the microcontroller can simply leave the line on output, and set it to '1' or '0' as appropriate. This action is possible because the ADS1013/4/5 never drive the clock line low. This technique can also be used with multiple devices, and has the advantage of lower current consumption as a result of the absence of a resistive pull-up.

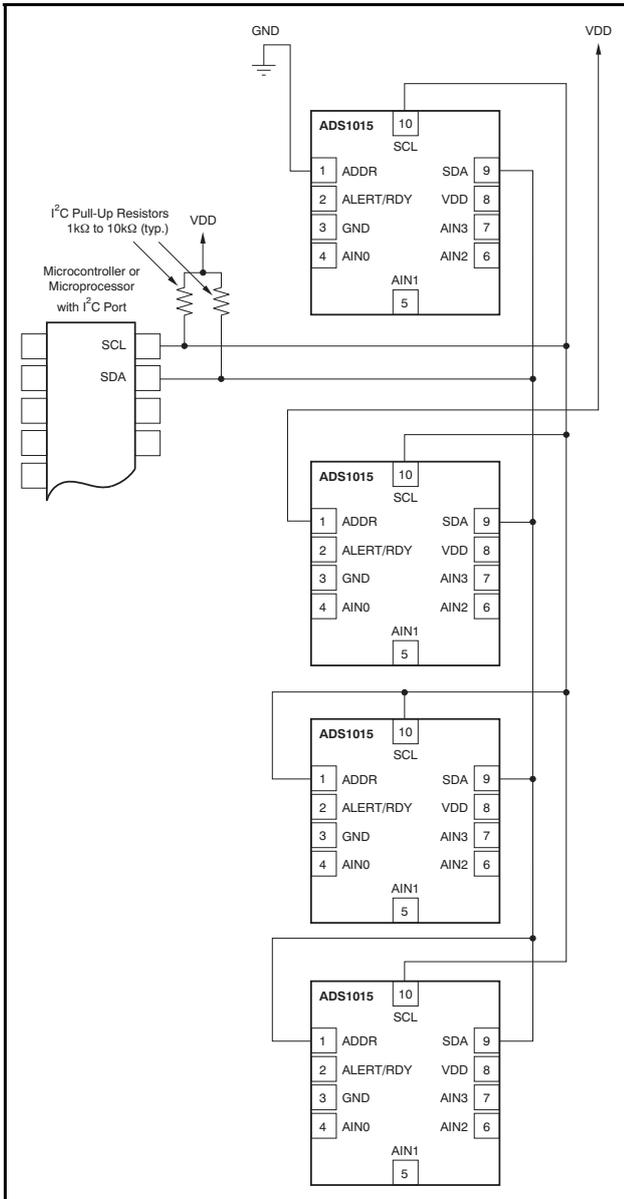
If there are any devices on the bus that may drive the clock lines low, this method should not be used; the SCL line should be high-Z or '0' and a pull-up resistor provided as usual.

Some microcontrollers have selectable strong pull-up circuits built in to the GPIO ports. In some cases, these circuits can be switched on and used in place of an external pull-up resistor. Weak pull-ups are also provided on some microcontrollers, but usually these are too weak for I²C communication. If there is any doubt about the matter, test the circuit before committing it to production.



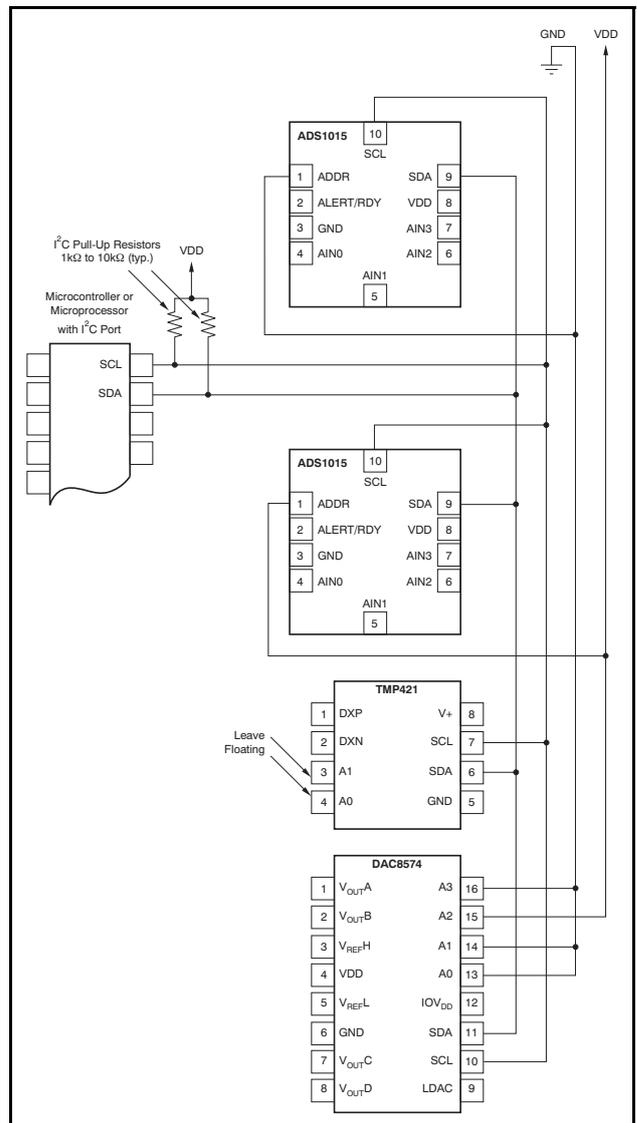
NOTE: ADS1013/4/5 power and input connections omitted for clarity.

Figure 20. Using GPIO with a Single ADS1015



NOTE: ADS1013/4/5 power and input connections omitted for clarity. The ADDR pin selects the I²C address.

Figure 21. Connecting Multiple ADS1013/4/5s



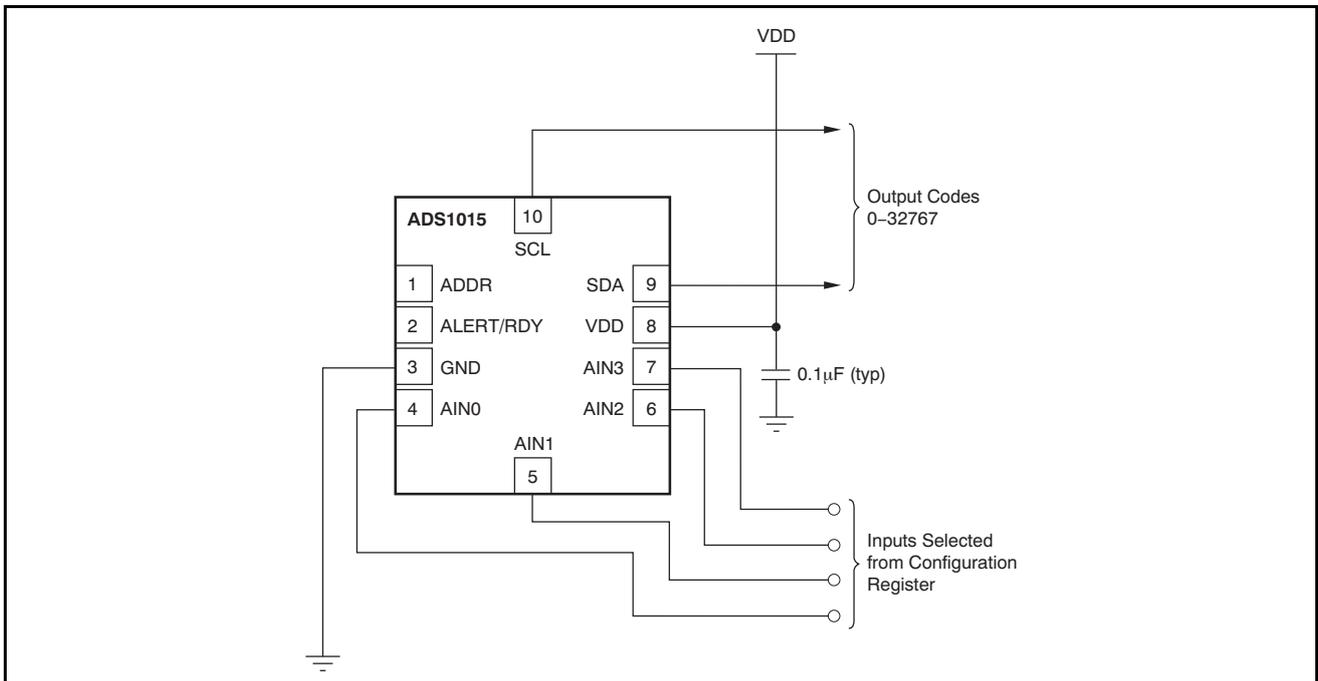
NOTE: ADS1013/4/5 power and input connections omitted for clarity. ADDR, A3, A2, A1, and A0 select the I²C addresses.

Figure 22. Connecting Multiple Device Types

SINGLE-ENDED INPUTS

Although the ADS1015 has two differential inputs, the device can easily measure four single-ended signals. [Figure 23](#) shows a single-ended connection scheme. The ADS1015 is configured for single-ended measurement by configuring the MUX to measure each channel with respect to ground. Data are then read out of one input based on the selection on the configuration register. The single-ended signal can range from 0V to supply. The ADS1015 loses no linearity anywhere within the input range. Negative voltages cannot be applied to this circuit because the ADS1015 can only accept positive voltages.

The ADS1015 input range is bipolar differential with respect to the reference. The single-ended circuit shown in [Figure 23](#) covers only half the ADS1015 input scale because it does not produce differentially negative inputs; therefore, one bit of resolution is lost.



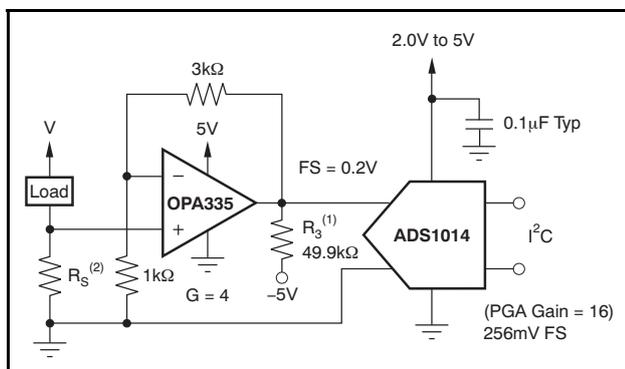
NOTE: Digital and address pin connections omitted for clarity.

Figure 23. Measuring Single-Ended Inputs

LOW-SIDE CURRENT MONITOR

Figure 24 shows a circuit for a low-side shunt-type current monitor. The circuit monitors the voltage across a shunt resistor, which is sized as small as possible while giving a measurable output voltage. This voltage is amplified by an OPA335 low-drift op amp, and the result is read by the ADS1014/5.

It is suggested that the ADS1014/5 be operated at a gain of 16. The gain of the OPA335 can then be set lower. For a gain of 16, the op amp should be set up to give a maximum output voltage no greater than 0.256V. If the shunt resistor is sized to provide a maximum voltage drop of 50mV at full-scale current, the full-scale input to the ADS1014/5 is 0.2V.



- (1) Pull-down resistor to allow accurate swing to 0V.
- (2) R_S is sized for a 50mV drop at full-scale current.

Figure 24. Low-Side Current Measurement

The ADS1013/4/5 are fabricated in a small-geometry, low-voltage process. The analog inputs feature protection diodes to the supply rails. However, the current-handling ability of these diodes is limited, and the ADS1013/4/5 can be permanently damaged by analog input voltages that remain more than approximately 300mV beyond the rails for extended periods. One way to protect against overvoltage is to place current-limiting resistors on the input lines. The ADS1013/4/5 analog inputs can withstand momentary currents as large as 100mA.

If the ADS1013/4/5 are driven by an op amp with high-voltage supplies, such as $\pm 12V$, protection should be provided, even if the op amp is configured so that it does not output out-of-range voltages. Many op amps drift to one of the supply rails immediately when power is applied, usually before the input has stabilized; this momentary spike can damage the ADS1013/4/5. This incremental damage results in slow, long-term failure, which can be disastrous for permanently installed, low-maintenance systems.

If an op amp or other front-end circuitry is used with an ADS1013/4/5, performance characteristics must be taken into account when designing the application.

REVISION HISTORY

NOTE: Page numbers for previous revisions may differ from page numbers in the current version.

| Changes from Revision B (September 2009) to Revision C | Page |
|---|------|
| • Deleted operating temperature bullet from Features section | 1 |
| • Deleted <i>operating temperature range</i> parameter from Absolute Maximum Ratings table | 2 |
| • Deleted <i>Operating temperature</i> parameter from Temperature section of Electrical Characteristics table | 4 |
| • Changed Figure 2 to reflect maximum operating temperature | 6 |
| • Changed Figure 3 to reflect maximum operating temperature | 6 |
| • Changed Figure 4 to reflect maximum operating temperature | 6 |
| • Changed Figure 5 to reflect maximum operating temperature | 6 |
| • Changed Figure 6 to reflect maximum operating temperature | 6 |

PACKAGING INFORMATION

| Orderable Device | Status ⁽¹⁾ | Package Type | Package Drawing | Pins | Package Qty | Eco Plan ⁽²⁾ | Lead/Ball Finish | MSL Peak Temp ⁽³⁾ |
|------------------|-----------------------|--------------|-----------------|------|-------------|-------------------------|------------------|------------------------------|
| ADS1013IDGSR | ACTIVE | MSOP | DGS | 10 | 2500 | Green (RoHS & no Sb/Br) | CU NIPDAU | Level-2-260C-1 YEAR |
| ADS1013IDGST | ACTIVE | MSOP | DGS | 10 | 250 | Green (RoHS & no Sb/Br) | CU NIPDAU | Level-2-260C-1 YEAR |
| ADS1013IRUGR | ACTIVE | X2QFN | RUG | 10 | 3000 | Green (RoHS & no Sb/Br) | CU NIPDAU | Level-1-260C-UNLIM |
| ADS1013IRUGT | ACTIVE | X2QFN | RUG | 10 | 250 | Green (RoHS & no Sb/Br) | CU NIPDAU | Level-1-260C-UNLIM |
| ADS1014IDGSR | ACTIVE | MSOP | DGS | 10 | 2500 | Green (RoHS & no Sb/Br) | CU NIPDAU | Level-2-260C-1 YEAR |
| ADS1014IDGST | ACTIVE | MSOP | DGS | 10 | 250 | Green (RoHS & no Sb/Br) | CU NIPDAU | Level-2-260C-1 YEAR |
| ADS1014IRUGR | ACTIVE | X2QFN | RUG | 10 | 3000 | Green (RoHS & no Sb/Br) | CU NIPDAU | Level-1-260C-UNLIM |
| ADS1014IRUGT | ACTIVE | X2QFN | RUG | 10 | 250 | Green (RoHS & no Sb/Br) | CU NIPDAU | Level-1-260C-UNLIM |
| ADS1015IDGSR | ACTIVE | MSOP | DGS | 10 | 2500 | Green (RoHS & no Sb/Br) | CU NIPDAU | Level-2-260C-1 YEAR |
| ADS1015IDGST | ACTIVE | MSOP | DGS | 10 | 250 | Green (RoHS & no Sb/Br) | CU NIPDAU | Level-2-260C-1 YEAR |
| ADS1015IRUGR | ACTIVE | X2QFN | RUG | 10 | 3000 | Green (RoHS & no Sb/Br) | CU NIPDAU | Level-1-260C-UNLIM |
| ADS1015IRUGT | ACTIVE | X2QFN | RUG | 10 | 250 | Green (RoHS & no Sb/Br) | CU NIPDAU | Level-1-260C-UNLIM |

⁽¹⁾ The marketing status values are defined as follows:

ACTIVE: Product device recommended for new designs.

LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

OBsolete: TI has discontinued the production of the device.

⁽²⁾ Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

Pb-Free (RoHS): TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

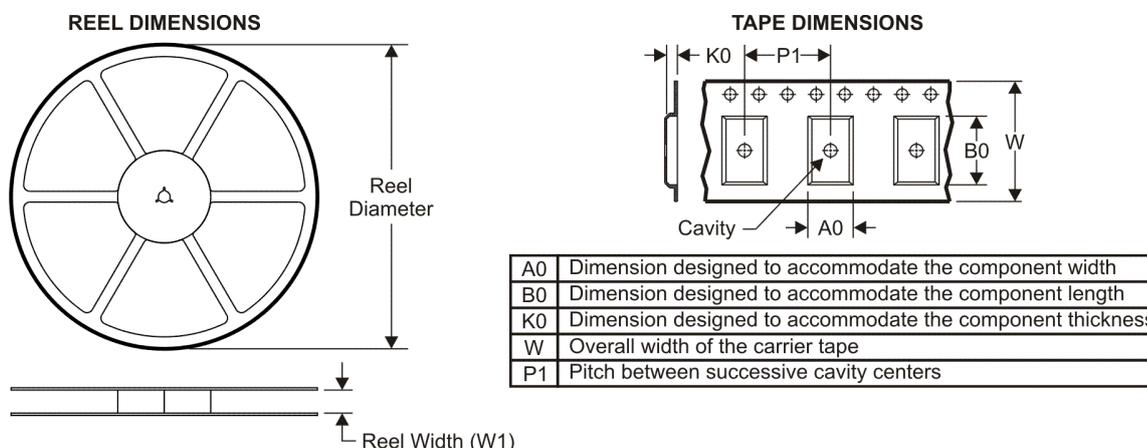
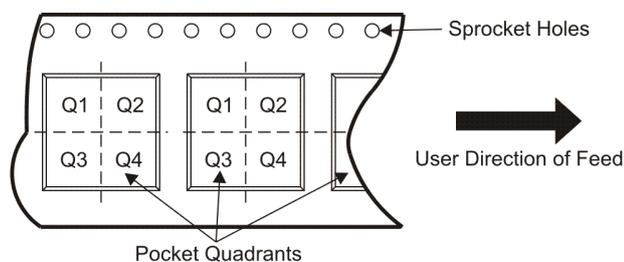
Pb-Free (RoHS Exempt): This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

Green (RoHS & no Sb/Br): TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

⁽³⁾ MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

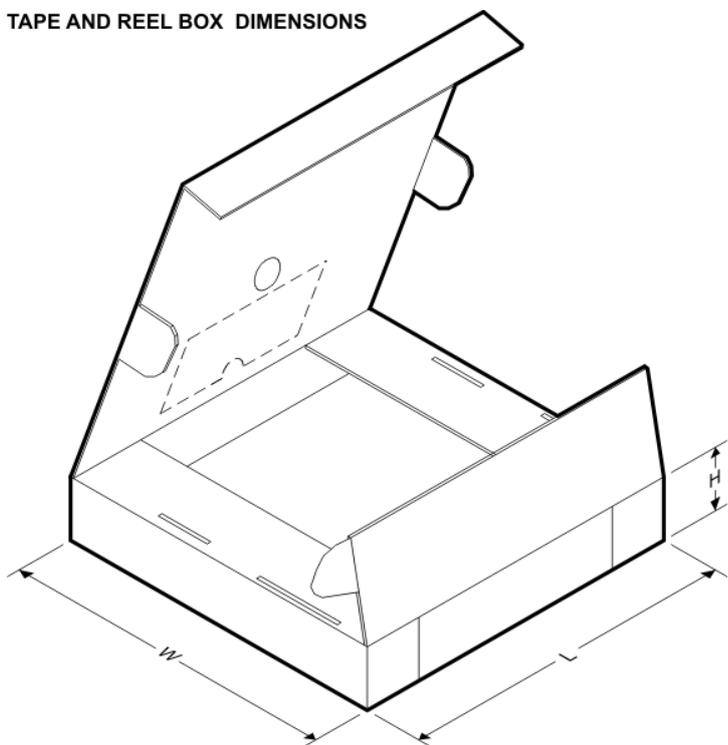
Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

TAPE AND REEL INFORMATION

QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE


*All dimensions are nominal

| Device | Package Type | Package Drawing | Pins | SPQ | Reel Diameter (mm) | Reel Width W1 (mm) | A0 (mm) | B0 (mm) | K0 (mm) | P1 (mm) | W (mm) | Pin1 Quadrant |
|--------------|--------------|-----------------|------|------|--------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|--------|---------------|
| ADS1013IDGSR | MSOP | DGS | 10 | 2500 | 330.0 | 12.4 | 5.3 | 3.3 | 1.3 | 8.0 | 12.0 | Q1 |
| ADS1013IDGST | MSOP | DGS | 10 | 250 | 180.0 | 12.4 | 5.3 | 3.3 | 1.3 | 8.0 | 12.0 | Q1 |
| ADS1013IRUGR | X2QFN | RUG | 10 | 3000 | 179.0 | 8.4 | 1.75 | 2.25 | 0.65 | 4.0 | 8.0 | Q1 |
| ADS1014IDGSR | MSOP | DGS | 10 | 2500 | 330.0 | 12.4 | 5.3 | 3.3 | 1.3 | 8.0 | 12.0 | Q1 |
| ADS1014IDGST | MSOP | DGS | 10 | 250 | 180.0 | 12.4 | 5.3 | 3.3 | 1.3 | 8.0 | 12.0 | Q1 |
| ADS1015IDGSR | MSOP | DGS | 10 | 2500 | 330.0 | 12.4 | 5.3 | 3.3 | 1.3 | 8.0 | 12.0 | Q1 |
| ADS1015IDGST | MSOP | DGS | 10 | 250 | 180.0 | 12.4 | 5.3 | 3.3 | 1.3 | 8.0 | 12.0 | Q1 |

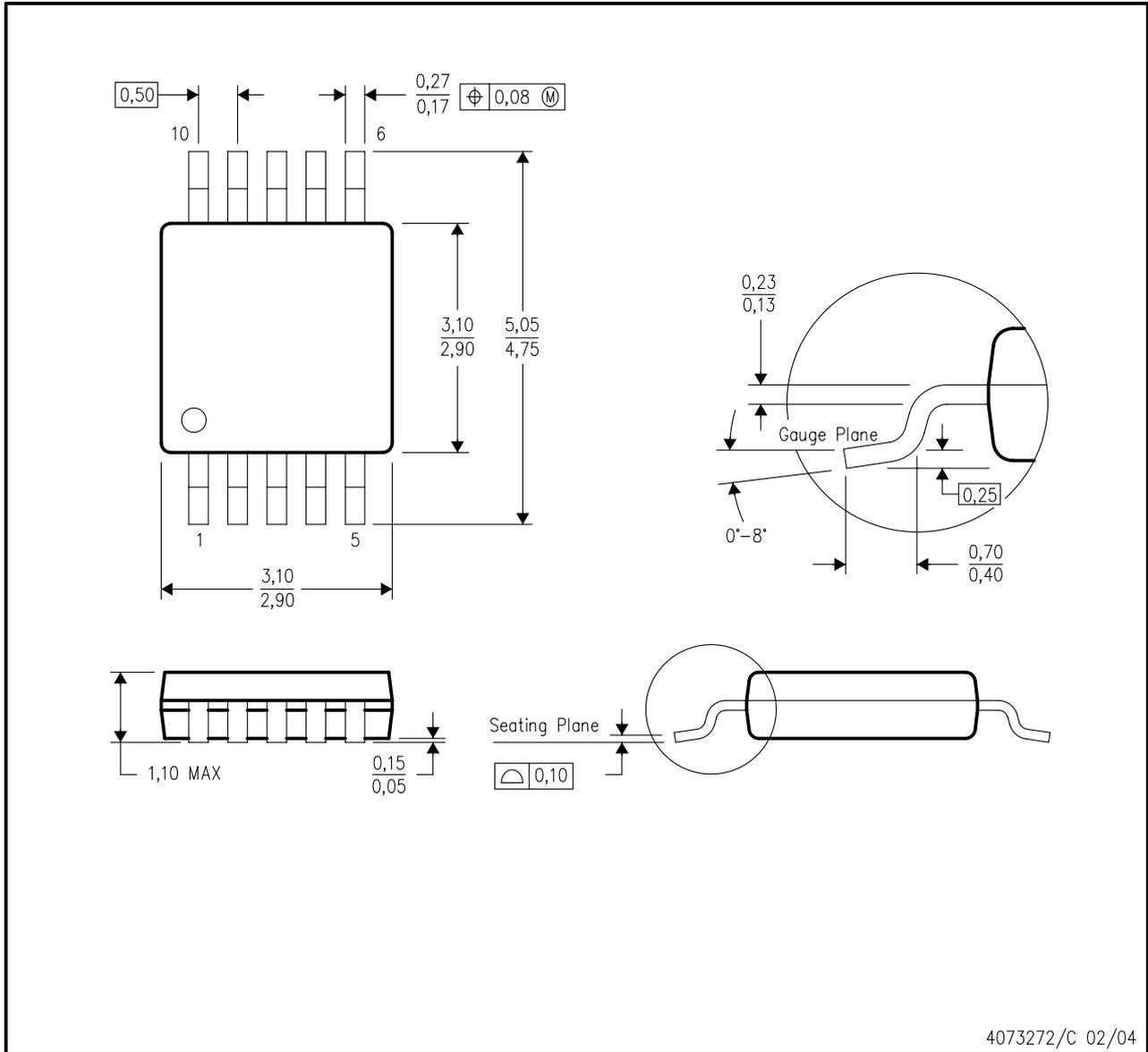
TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS


*All dimensions are nominal

| Device | Package Type | Package Drawing | Pins | SPQ | Length (mm) | Width (mm) | Height (mm) |
|--------------|--------------|-----------------|------|------|-------------|------------|-------------|
| ADS1013IDGSR | MSOP | DGS | 10 | 2500 | 370.0 | 355.0 | 55.0 |
| ADS1013IDGST | MSOP | DGS | 10 | 250 | 195.0 | 200.0 | 45.0 |
| ADS1013IRUGR | X2QFN | RUG | 10 | 3000 | 203.0 | 203.0 | 35.0 |
| ADS1014IDGSR | MSOP | DGS | 10 | 2500 | 370.0 | 355.0 | 55.0 |
| ADS1014IDGST | MSOP | DGS | 10 | 250 | 195.0 | 200.0 | 45.0 |
| ADS1015IDGSR | MSOP | DGS | 10 | 2500 | 370.0 | 355.0 | 55.0 |
| ADS1015IDGST | MSOP | DGS | 10 | 250 | 195.0 | 200.0 | 45.0 |

DGS (S-PDSO-G10)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE

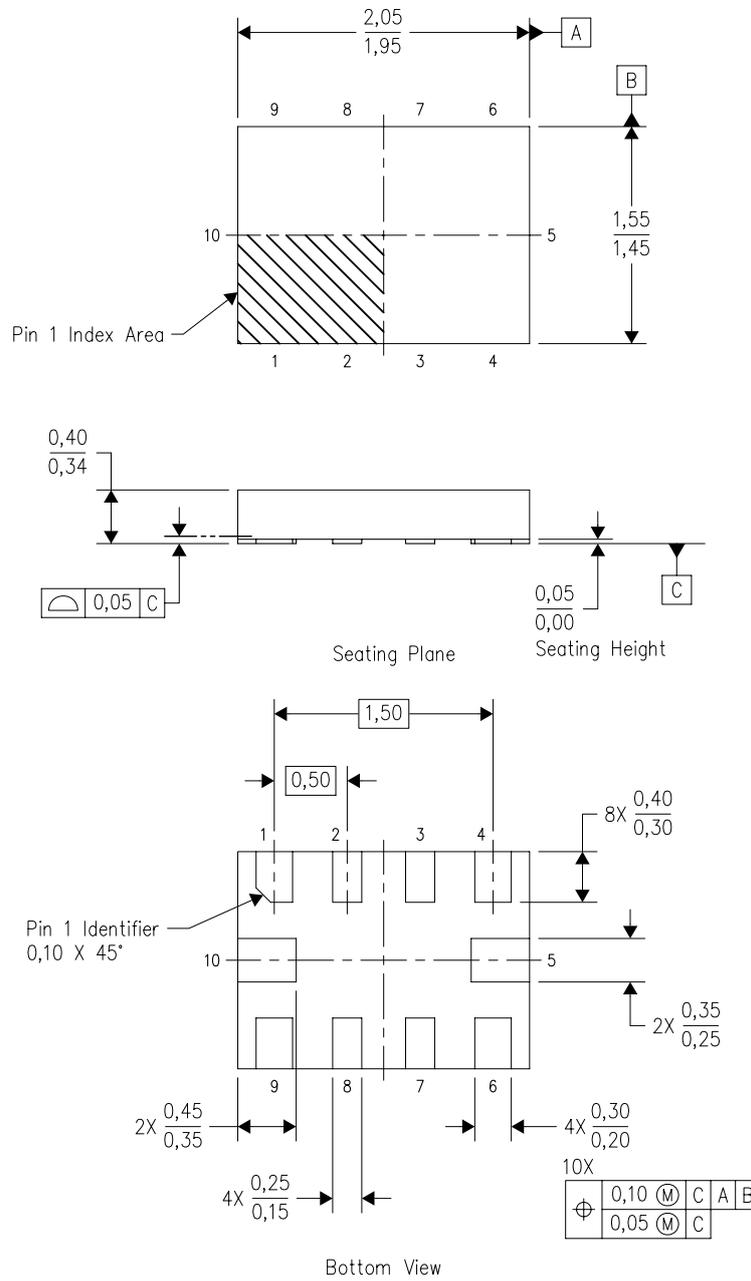


- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion.
 - D. Falls within JEDEC MO-187 variation BA.

MECHANICAL DATA

RUG (R-PQFP-N10)

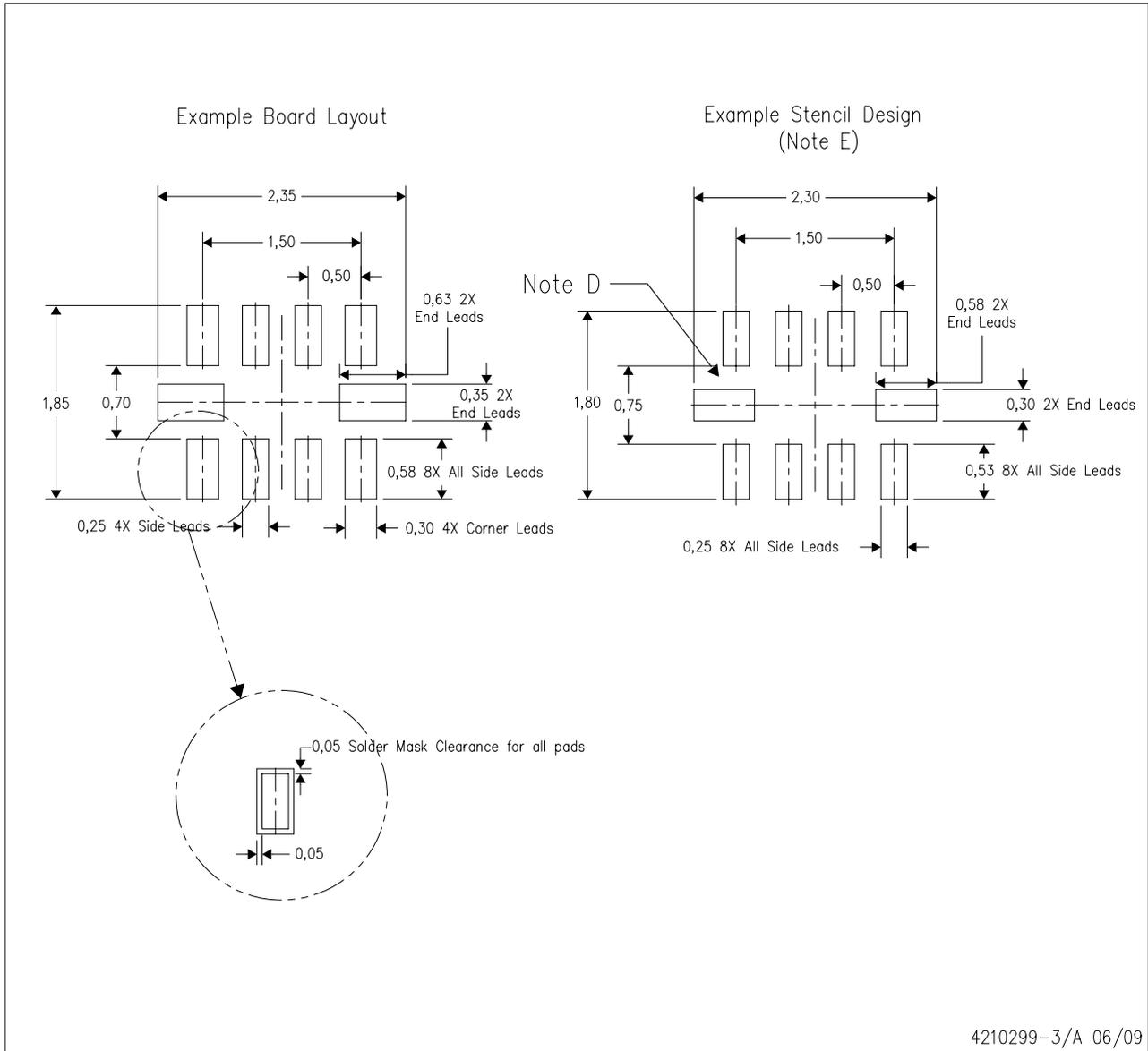
PLASTIC QUAD FLATPACK



4208528-3/B 04/2008

- NOTES:
- All linear dimensions are in millimeters. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M-1994.
 - This drawing is subject to change without notice.
 - QFN (Quad Flatpack No-Lead) package configuration.
 - This package complies to JEDEC MO-288 variation X2EFD.

RUG (R-PQFP-N10)



4210299-3/A 06/09

- NOTES:
- All linear dimensions are in millimeters.
 - This drawing is subject to change without notice.
 - Publication IPC-7351 is recommended for alternate designs.
 - Customers should contact their board fabrication site for minimum solder mask web tolerances between signal pads.
 - Maximum stencil thickness 0,127 mm (5 mils). All linear dimensions are in millimeters.
 - Laser cutting apertures with trapezoidal walls and also rounding corners will offer better paste release. Customers should contact their board assembly site for stencil design recommendations. Refer to IPC 7525 for stencil design considerations.
 - Side aperture dimensions over-print land for acceptable area ratio > 0.66 . Customer may reduce side aperture dimensions if stencil manufacturing process allows for sufficient release at smaller opening.

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

TI products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support) where a failure of the TI product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, unless officers of the parties have executed an agreement specifically governing such use. Buyers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of TI products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Further, Buyers must fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of TI products in such safety-critical applications.

TI products are neither designed nor intended for use in military/aerospace applications or environments unless the TI products are specifically designated by TI as military-grade or "enhanced plastic." Only products designated by TI as military-grade meet military specifications. Buyers acknowledge and agree that any such use of TI products which TI has not designated as military-grade is solely at the Buyer's risk, and that they are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific TI products are designated by TI as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Buyers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, TI will not be responsible for any failure to meet such requirements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

| Products | | Applications | |
|-----------------------------|--|----------------------------|--|
| Amplifiers | amplifier.ti.com | Audio | www.ti.com/audio |
| Data Converters | dataconverter.ti.com | Automotive | www.ti.com/automotive |
| DLP® Products | www.dlp.com | Communications and Telecom | www.ti.com/communications |
| DSP | dsp.ti.com | Computers and Peripherals | www.ti.com/computers |
| Clocks and Timers | www.ti.com/clocks | Consumer Electronics | www.ti.com/consumer-apps |
| Interface | interface.ti.com | Energy | www.ti.com/energy |
| Logic | logic.ti.com | Industrial | www.ti.com/industrial |
| Power Mgmt | power.ti.com | Medical | www.ti.com/medical |
| Microcontrollers | microcontroller.ti.com | Security | www.ti.com/security |
| RFID | www.ti-rfid.com | Space, Avionics & Defense | www.ti.com/space-avionics-defense |
| RF/IF and ZigBee® Solutions | www.ti.com/lprf | Video and Imaging | www.ti.com/video |
| | | Wireless | www.ti.com/wireless-apps |

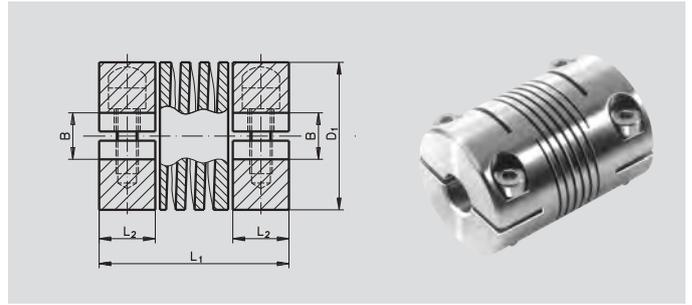
A.1.4. Ausgleichskupplung

Self-Aligning Couplings KA, Short Version

Material: Plastic acetal
Aluminium 2014A
Stainless steel 1.4305



- torsionally rigid design.
- zero backlash.
- perfect transmission of torque.
- very low restoring force.
- speed max. 5.000 rpm.



Ordering Details: e.g.: Product No. 602 608 00, Self-Aligning Coupling KA, Short Version, Plastic, 4 mm Bore

| Product No. Plastic | Product No. Alu | Product No. Stainless Steel | Max. Operating Torque* | | | Bore B +0.03 mm | Bore max ¹⁾ mm | L ₁ mm | L ₂ ** mm | D ₁ mm | Angular Misalignment Degrees | Parallel Misalignment mm | Weight | | |
|---------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------|--------|------------|-----------------|---------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|------------------------------|--------------------------|-----------|-------|-----------|
| | | | Plastic Nm | Alu Nm | Stainl. Nm | | | | | | | | Plastic g | Alu g | Stainl. g |
| - | - | 602 996 00*** | - | - | 0.45 | 2 | 3.00 | 12.7 | 3.2 | 6.35 | 3 | 0.07 | - | - | 2 |
| - | 602 702 00 | 602 996 02 | - | 0.4 | 0.5 | 3 | 3.18 | 14.2 | 4.5 | 9.52 | 3 | 0.1 | - | 2 | 6 |
| 602 608 00 | 602 708 00 | 602 996 08 | 0.24 | 0.9 | 1.0 | 4 | 6.00 | 19.05 | 6 | 12.70 | 5 | 0.127 | 2 | 6 | 10 |
| 602 610 00 | 602 710 00 | 602 996 10 | 0.24 | 0.9 | 1.0 | 6 | 6.00 | 19.05 | 6 | 12.70 | 5 | 0.127 | 2 | 6 | 10 |
| 602 612 00 | 602 712 00 | 602 996 12 | 0.35 | 1.5 | 1.8 | 4 | 6.35 | 20.3 | 6 | 15.87 | 5 | 0.127 | 3 | 8 | 22 |
| 602 614 00 | 602 714 00 | 602 996 14 | 0.35 | 1.5 | 1.8 | 5 | 6.35 | 20.3 | 6 | 15.87 | 5 | 0.127 | 3 | 8 | 22 |
| 602 616 00 | 602 716 00 | 602 996 16 | 0.35 | 1.5 | 1.8 | 6 | 6.35 | 20.3 | 6 | 15.87 | 5 | 0.127 | 3 | 8 | 22 |
| 602 620 00 | 602 720 00 | 602 996 20 | 0.64 | 2.5 | 2.7 | 6 | 8.00 | 22.85 | 6.5 | 19.05 | 5 | 0.127 | 8 | 12 | 34 |
| 602 622 00 | 602 722 00 | 602 996 22 | 0.64 | 2.5 | 2.7 | 8 | 8.00 | 22.85 | 6.5 | 19.05 | 5 | 0.127 | 8 | 12 | 34 |
| 602 624 00 | 602 724 00 | 602 996 24 | 1.4 | 4.0 | 6.0 | 6 | 11.00 | 31.75 | 9 | 25.40 | 5 | 0.127 | 13 | 32 | 90 |
| 602 626 00 | 602 726 00 | 602 996 26 | 1.4 | 4.0 | 6.0 | 8 | 11.00 | 31.75 | 9 | 25.40 | 5 | 0.127 | 13 | 32 | 90 |
| 602 628 00 | 602 728 00 | 602 996 28 | 1.4 | 4.0 | 6.0 | 10 | 11.00 | 31.75 | 9 | 25.40 | 5 | 0.127 | 13 | 32 | 90 |
| 602 630 00 | 602 730 00 | 602 996 30 | 2.5 | 6.0 | 10.0 | 10 | 16.00 | 44.45 | 12 | 31.75 | 5 | 0.127 | 35 | 76 | 220 |
| 602 632 00 | 602 732 00 | 602 996 32 | 2.5 | 6.0 | 10.0 | 12 | 16.00 | 44.45 | 12 | 31.75 | 5 | 0.127 | 35 | 76 | 220 |
| 602 634 00 | 602 734 00 | 602 996 34 | 2.5 | 6.0 | 10.0 | 16 | 16.00 | 44.45 | 12 | 31.75 | 5 | 0.127 | 35 | 76 | 220 |

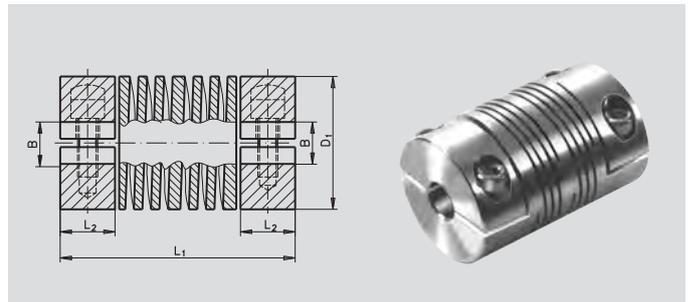
* Please regard the operating factors page 325! **shaft can be pushed in further. Middle of coupling is relieved. ***set-screw style. ¹⁾ against surcharge

Self-Aligning Couplings LA, Long Version

Material: Plastic acetal
Aluminium 2014A
Stainless steel 1.4305



- torsionally rigid design.
- zero backlash.
- perfect transmission of torque.
- very low restoring force.
- speed max. 5.000 rpm.



Ordering Details: e.g.: Product No. 602 806 00, Self-Aligning Coupling LA, Long Version, Plastic, 4 mm Bore

| Product No. Plastic | Product No. Alu | Product No. Stainless Steel | Max. Operating Torque* | | | Bore B +0.03 mm | Bore max ¹⁾ mm | L ₁ mm | L ₂ ** mm | D ₁ mm | Angular Misalignment Degrees | Parallel Misalignment mm | Weight | | |
|---------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------|--------|------------|-----------------|---------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|------------------------------|--------------------------|-----------|-------|-----------|
| | | | Plastic Nm | Alu Nm | Stainl. Nm | | | | | | | | Plastic g | Alu g | Stainl. g |
| - | 602 900 00 | 602 998 00 | - | 1 | 1.5 | 3 | 4.76 | 19.55 | 5.3 | 9.52 | 3 | 0.12 | - | 4 | 8 |
| - | 602 902 00 | 602 998 02 | - | 1 | 1.5 | 4 | 4.76 | 19.55 | 5.3 | 9.52 | 3 | 0.12 | - | 4 | 8 |
| 602 806 00 | 602 906 00 | - | 0.51 | 2 | - | 4 | 6.35 | 22.85 | 6.5 | 12.7 | 5 | 0.17 | 4 | 8 | - |
| 602 808 00 | 602 908 00 | - | 0.51 | 2 | - | 6 | 6.35 | 22.85 | 6.5 | 12.7 | 5 | 0.17 | 4 | 8 | - |
| - | - | 602 998 12 | - | - | 3 | 4 | 6.35 | 25.40 | 6.5 | 12.7 | 5 | 0.17 | - | - | 18 |
| - | - | 602 998 14 | - | - | 3 | 6 | 6.35 | 25.40 | 6.5 | 12.7 | 5 | 0.17 | - | - | 18 |
| 602 818 00 | 602 918 00 | 602 998 18 | 0.91 | 3.4 | 5 | 5 | 8.00 | 25.40 | 6.5 | 15.87 | 5 | 0.2 | 6 | 10 | 30 |
| 602 820 00 | 602 920 00 | 602 998 20 | 0.91 | 3.4 | 5 | 6 | 8.00 | 25.40 | 6.5 | 15.87 | 5 | 0.2 | 6 | 10 | 30 |
| 602 824 00 | 602 924 00 | - | 1.3 | 5.3 | - | 6 | 10.00 | 26.50 | 6.5 | 19.05 | 7 | 0.25 | 12 | 16 | - |
| 602 826 00 | 602 926 00 | - | 1.3 | 5.3 | - | 8 | 10.00 | 26.50 | 6.5 | 19.05 | 7 | 0.25 | 12 | 16 | - |
| - | - | 602 998 30 | - | - | 8 | 6 | 10.00 | 28.00 | 6.5 | 19.05 | 7 | 0.25 | - | - | 46 |
| - | - | 602 998 32 | - | - | 8 | 8 | 10.00 | 28.00 | 6.5 | 19.05 | 7 | 0.25 | - | - | 46 |
| 602 834 00 | 602 934 00 | 602 998 34 | 2.5 | 10 | 16 | 6 | 12.70 | 38.10 | 11 | 25.4 | 7 | 0.38 | 20 | 44 | 115 |
| 602 836 00 | 602 936 00 | 602 998 36 | 2.5 | 10 | 16 | 8 | 12.70 | 38.10 | 11 | 25.4 | 7 | 0.38 | 20 | 44 | 115 |
| 602 838 00 | 602 938 00 | 602 998 38 | 2.5 | 10 | 16 | 10 | 12.70 | 38.10 | 11 | 25.4 | 7 | 0.38 | 20 | 44 | 115 |
| 602 840 00 | 602 940 00 | 602 998 40 | 4 | 15 | 25 | 10 | 16.00 | 57.15 | 16 | 31.75 | 7 | 0.5 | 58 | 100 | 290 |
| 602 842 00 | 602 942 00 | 602 998 42 | 4 | 15 | 25 | 12 | 16.00 | 57.15 | 16 | 31.75 | 7 | 0.5 | 58 | 100 | 290 |
| 602 844 00 | 602 944 00 | 602 998 44 | 4 | 15 | 25 | 16 | 16.00 | 57.15 | 16 | 31.75 | 7 | 0.5 | 58 | 100 | 290 |
| 602 846 00 | 602 946 00 | 602 998 46 | 6 | 22 | 36 | 12 | 19.00 | 66.67 | 18 | 38.1 | 7 | 0.6 | 86 | 160 | 440 |
| 602 848 00 | 602 948 00 | 602 998 48 | 6 | 22 | 36 | 16 | 19.00 | 66.67 | 18 | 38.1 | 7 | 0.6 | 86 | 160 | 440 |
| 602 850 00 | 602 950 00 | 602 998 50 | 6 | 22 | 36 | 19 | 19.00 | 66.67 | 18 | 38.1 | 7 | 0.6 | 86 | 160 | 440 |
| - | 602 958 00 | 602 998 58 | - | 40 | 73 | 16 | 26.00 | 95.30 | 25.06 | 50.8 | 7 | 0.9 | - | 405 | 1045 |
| - | 602 960 00 | 602 998 60 | - | 40 | 73 | 19 | 26.00 | 95.30 | 25.06 | 50.8 | 7 | 0.9 | - | 405 | 1045 |
| - | 602 962 00 | 602 998 62 | - | 40 | 73 | 24 | 26.00 | 95.30 | 25.06 | 50.8 | 7 | 0.93 | - | 405 | 1045 |
| - | 602 966 00 | 602 998 66 | - | 55 | 102 | 24 | 30.00 | 130.0 | 32 | 57.15 | 7 | 0.95 | - | 800 | 2155 |
| - | 602 968 00 | 602 998 68 | - | 55 | 102 | 30 | 30.00 | 130.0 | 32 | 57.15 | 7 | 0.95 | - | 800 | 2155 |

* Please regard the operating factors page 325!

***shaft must not be pushed in any further.

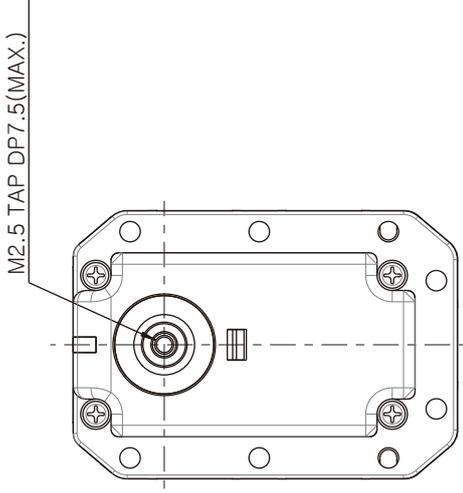
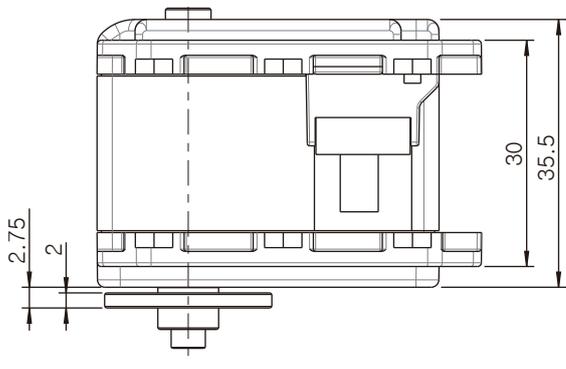
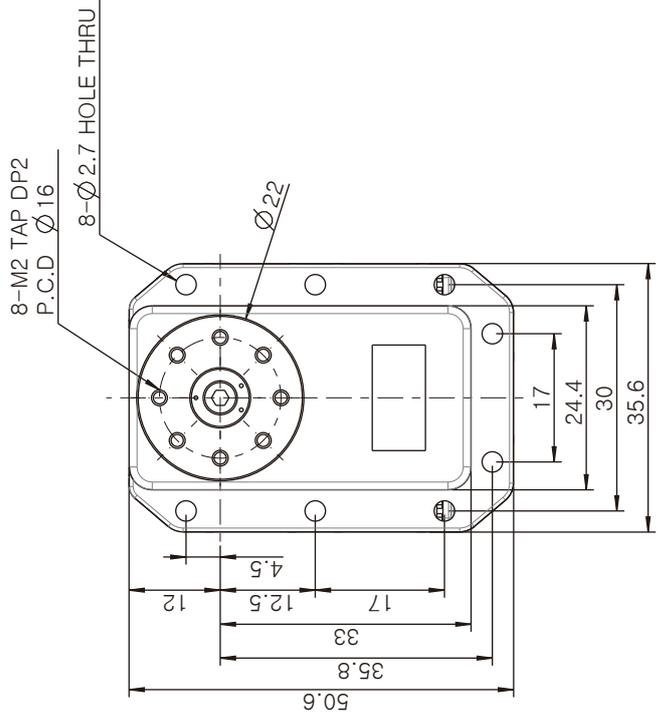
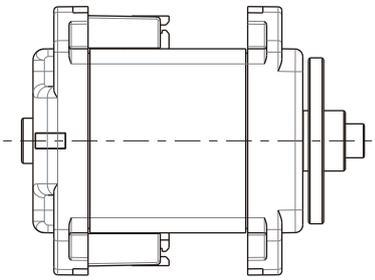
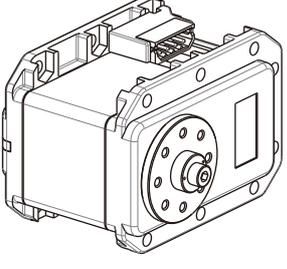
¹⁾ against surcharge

A.1.5. Aktor – Robotis Dynamixel RX-28

1-3. Specifications of RX-28

| | | |
|--|--------------------|--------|
| | RX-28 | |
| Weight (g) | 72 | |
| Dimension (mm) | 35.6 x 50.6 x 35.5 | |
| Gear Reduction Ratio | 1/193 | |
| Applied Voltage (V) | at 12V | at 16V |
| Final Reduction Stopping Torque (kgf.cm) | 28.3 | 37.7 |
| Speed (Sec/60 degrees) | 0.167 | 0.126 |

| | |
|--------------------------------|--|
| Resolution | 0.29° |
| Running Degree | 300°, Endless Turn |
| Voltage | 12V~16V (Recommended voltage: 14.4V) |
| Max Current | 1200mA |
| Running Temperature | -5°C ~ +85°C |
| Command Signal | Digital Packet |
| Protocol | RS485 Asynchronous Serial Communication (8bit, 1stop, No Parity) |
| Link (Physical) | RS485 Multi Drop Bus |
| ID | 254 ID (0~253) |
| Communication Speed | 7343bps ~ 1 Mbps |
| Sensing & Measuring | Position, Temperature, Load, Input Voltage, etc. |
| Material Quality | Full Metal Gear, Engineering Plastic Body |
| Motor | Maxon RE-MAX |
| Standby Current | 50 mA |



| | | | | | | | |
|-------|--|------------|----------|----------|------|--------|--------|
| Title | | RX-28 | Material | Scale | Unit | Sheet | ROBOTS |
| Date | | 12/21/2009 | | NONSCALE | mm | 1 of 3 | A4 |

[FOR REFERENCE ONLY]

A.2. Stückliste

Stückliste

Konstruktion einer passiven Freilaufkupplung
zur Integration in humanoide Roboter

Tim Geppert

| POS-NR. | BENENNUNG | BESCHREIBUNG | MENGE |
|---------|--|--|-------|
| 1 | Item Profil 5 40x20 | Art.-Nr.: 0.0.370.04; L = 420 mm | 8 |
| 2 | Item Profil 5 40x20 | Art.-Nr.: 0.0.370.04; L = 500 mm | 4 |
| 3 | Item Profil 5 20x20 | Art.-Nr.: 0.0.370.03; L = 500 mm | 4 |
| 4 | Item Profil 5 20x20 | Art.-Nr.: 0.0.370.03; L = 460 mm | 2 |
| 5 | Item Profil 5 20x20 | Art.-Nr.: 0.0.370.03; L = 380 mm | 2 |
| 6 | Item Profilwinkel 5 40x40 | Art.-Nr.: 0.0.425.06 | 4 |
| 7 | Item Profilwinkel 5 20x20 | Art.-Nr.: 0.0.425.03 | 20 |
| 8 | Item Nutenstein 5 St M5, rostfrei | Art.-Nr.: 0.0.425.11 | 78 |
| 9 | Schrauben | ISO 7380-M5x12, St | 78 |
| 10 | Mutter M5 | DIN EN ISO 4032 | 16 |
| 11 | Drehmomentsensor | MEGATRON DFM2x-2.5 | 1 |
| 12 | Zahnriemenrad (Maedler) 16 T2,5/36-2 | Art.-Nr.: 16023600 | 4 |
| 13 | Zahnriemen (Maedler) Profil T 2,5, Breite 6 mm | Art.-Nr.: 16060100 | 1 |
| 14 | Zahnriemen (Maedler) Profil T 2,5, Breite 6 mm | Art.-Nr.: 16060300 | 1 |
| 15 | FLK - Eingangswelle unten | Verbindung Antrieb, Aluminium, Frästteil | 1 |
| 16 | FLK - Hebel | Keilaufhängung, Aluminium, Frästteil | 4 |
| 17 | FLK - Keil Teil 1 (unten) | Aluminium, Frästteil | 4 |
| 18 | FLK - Eingangswelle oben | Aluminium, Frästteil | 1 |
| 19 | FLK - Keil Teil 2 (oben) | Aluminium, Frästteil | 4 |
| 20 | FLK - Syncrokreuz | Aluminium, Frästteil | 1 |
| 21 | RX-28 Ruderhorn | Zubehör Dynamixel RX-28 | 1 |
| 22 | FLK - Kugellager (unten) | 30 x 37 x 4 | 2 |
| 23 | RX-28 Schraube | Zubehör Dynamixel RX-28 | 1 |
| 24 | FLK - Abtriebshohlwelle | Aluminium, Drehteil | 1 |
| 25 | FLK - Verbindungsscheibe | ABS | 1 |
| 26 | FLK - Erdungsring_1 | ABS | 1 |
| 27 | FLK - Erdungsring_2 | Aluminium, Frästteil | 1 |
| 28 | Motor (Antrieb) | Robotis Dynamixel RX-28 | 1 |
| 29 | FLK Miniaturlager (Abtrieb) | 3 x 7 x 3 | 1 |
| 30 | Erdungsplatte | Aluminium, Frästteil | 1 |
| 31 | Federschuh | ABS | 3 |
| 32 | Federeinstellung | ABS | 3 |
| 33 | Andruckfederblech | Federstahl | 3 |
| 34 | Ruderhornverlaengerung | ABS | 1 |
| 35 | Montageplatte RX28 | Aluminium, Frästteil | 1 |
| 36 | Halterung Drehmomentsensor drehgeber | Aluminium, Frästteil | 1 |
| 37 | Halterung Drehmomentsensor | Aluminium, Frästteil | 1 |
| 38 | Halterung Winkelsensor | Aluminium, Frästteil | 1 |
| 39 | optischer Winkelsensor | Hengstler AC-36 | 2 |
| 40 | Kugellager (Zahnriemenspannung) | 8 x 16 x 5 | 2 |
| 41 | Wellenverlaengerung | ABS | 1 |
| 42 | Lagerbock (Abtriebswelle Testaufbau) | ABS | 2 |
| 43 | Lager (Abtriebswelle Testaufbau) | DIN 625 - 6000 - ZZ | 2 |
| 44 | Lagerung (Abstandshalter) | ABS | 1 |
| 45 | Ausgleichskupplung (www.Maedler.de) | Art.-Nr.: 60299626 | 1 |
| 46 | Druckteil Gewichtshalter | ABS | 1 |
| 47 | Gewindestift | ISO 7434 - M2,5 x 4 | 6 |
| 48 | FLK - Deckelscheibe (Abtrieb) | mit Passfeder (DIN 6885 - A - 3x3x18) | 1 |
| 49 | Pendelarm | Aluminium, Frästteil | 2 |

A.3. Konstruktionszeichnungen

| | |
|--|-------|
| Zahnriemenrad Antrieb, | M 2:1 |
| Zahnriemenrad Drehmomentsensor, | M 2:1 |
| Zahnriemenrad Winkelsensor, | M 2:1 |
| Eingangswelle unten, | M 2:1 |
| Keilauflhängung, | M 2:1 |
| Keil, | M 5:1 |
| Eingangswelle oben, | M 2:1 |
| Synchrokreuz, | M 2:1 |
| Abtriebshohlwelle, | M 1:1 |
| Verbindungsscheibe, | M 1:1 |
| Erdungsring 1, | M 2:1 |
| Erdungsring 2, | M 2:1 |
| Erdungsplatte, | M 1:1 |
| Federschuh, | M 5:1 |
| Federeinstellung, | M 5:1 |
| Federblech, | M 2:1 |
| Ruderhornverlängerung, | M 2:1 |
| Montageplatte RX28, | M 1:1 |
| Halterung Drehmomentsensor, | M 1:1 |
| Halterung Drehmomentsensor, | M 1:1 |
| Klemmung Drehmomentsensor, | M 1:1 |
| Halterung Winkelsensor, | M 1:1 |
| Verbindung Kupplung/ Drehmomentsensor, | M 2:1 |
| Lagerbock, | M 1:1 |
| Abstandhalter Lagerung, | M 2:1 |
| Gewichtshalter, | M 1:1 |
| Deckelscheibe, | M 1:1 |
| Abtriebswelle, | M 1:1 |
| Pendelarm, | M 1:2 |
| Pendelarm, | M 1:1 |