Winkel\_Moment\_Connector

Spannung\_Strom\_Connector

Weg\_Kraft\_Connector

Flaschenzuege

Flaschenzug\_Zugrichtung\_oben

Flaschenzug\_Zugrichtung\_unten

Masse

Seilwinde

Antriebsstrang

Einphasen\_Gleichstrommotor

Bremse

Spannungsquelle

Beispiele

Simulation\_Flaschenzug\_oben

Simulation\_Flaschenzug\_unten

Modellbeschreibung:

Kommentar: Kurzbeschreibung

Allgemeiner Sinn des Modells

Connectoren: Typ, Benennung und Zweck

Mögliche Parameter

Einschränkungen der Parameter

|  |  |
| --- | --- |
| Winkel\_Moment\_Connector | Potentialgröße: Winkel  Flussgröße: Moment |
| Spannung\_Strom\_Connector | Potentialgröße: Spannung  Flussgröße: Strom |
| Weg\_Kraft\_Connector | Potentialgröße: Weg  Flussgröße: Kraft |

Winkel\_Moment\_Connector

Dieses Package beinhaltet alle in der Bibliothek verwendeten Connectoren.

Diese sind:

|  |  |
| --- | --- |
| Winkel\_Moment\_Connector | Potentialgröße: Winkel Flussgröße:  Moment |
| Spannung\_Strom\_Connector | Potentialgröße:  Spannung Flussgröße:  Strom |
| Weg\_Kraft\_Connector | Potentialgröße: Weg Flussgröße:  Kraft |

Über diese unidirektionalen Connectoren werden die verschiedenen Modelle miteinander verbunden.

Diese Bibliothek beinhaltet alle Modelle für die Simulation eines Flaschenzuges und dessen Peripherie.

Hierzu sind sowohl zwei Flaschenzuege mit unterschiedlicher Bauform gegeben, also auch Modelle für den Antriebsstrang des Flaschenzuges und benötigte mechanische Bauteile wie eine Masse oder eine Seilwinde.

Für die Implementierung der Modelle wurden eigens entwickelte bidirektionale Connectoren verwendet, welche in einem eigenen Package abgelegt wurden.

Zwei Beispiele für vollstaendige Flaschenzugsysteme sind im Package "Beispiele" enthalten.

Die Bibliothek besitzt folgende Struktur:

Flaschenzug\_Bibliothek

├── Connectoren

│   ├── Winkel\_Moment\_Connector

│   ├── Spannung\_Strom\_Connector

│   └── Weg\_Kraft\_Connector

├── Mechanik

│   ├── Flaschenzuege

│   │   ├── Flaschenzug\_Zugrichtung\_oben

│   │   └── Flaschenzug\_Zugrichtung\_unten

│   ├── Masse

│   └── Seilwinde

├── Antriebsstrang

│   ├── Einphasen\_Gleichstrommotor

│   ├── Bremse

│   └── Spannungsquelle

├── Beispiele

│   ├── Simulation\_Flaschenzug\_oben

│   └── Simulation\_Flaschenzug\_unten

Beschreibungen der einzelnen Packages und Models können in deren Dokumentation nachgelesen werden.

Dieses Package beinhaltet alle mechanischen Bauteile der Bibliothek.

Dies beinhaltet zwei Flaschenzuege in unterschiedlicher Bauform, sowie eine Masse und eine Seilwinde.

Eine Übersicht der Komponenten ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

|  |  |
| --- | --- |
| Flaschenzug\_Zugrichtung\_oben | Potentialgröße: Winkel  Flussgröße: Moment |
| Flaschenzug\_Zugrichtung\_unten | Potentialgröße: Spannung  Flussgröße: Strom |
| Masse | Potentialgröße: Weg  Flussgröße: Kraft |
| Seilwinde |  |

Flaschenzug\_Zugrichtung\_oben

Flaschenzug\_Zugrichtung\_unten

Masse

Seilwinde

**Für die Masse nur positive Werte verwenden. Bei großer Änderung des Wertes, muss eventuell die Rollenanzahl angepasst werden.**

Fg ist die Gewichtskraft und abhängig von der Masse.

Kräfte in Richtung Erde sind positiv definiert.

Und auf Grund vom Kräftegleichgewicht ist die Kraft, die am Konnektor wirkt, negativ definiert.

Beschreibung:

Dieses Modell beschreibt eine einfache Masse, die von der Erdbeschleunigung beeinflusst wird.

Parameter:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Formelzeichen** | **Einheit** | **Standardwert** | **Einschränkungen** |
| Masse | m | kg | 5 kg | m ≥ 0 |

Name Typ Flussgröße Potentialgröße Verwendung/Zweck

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Typ** | **Variablen** | **Verwendungszweck** |
| s\_F\_Connector | Weg\_Kraft\_Connector | s und F | Anbindung eines Seils |

Masse m in kg, Standartwert m = 5 kg

Name Formelzeichen Einheit Standartwert Mögliche Werte/Einschränkungen

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Formelzeichen** | **Einheit** | **Standardwert** | **Einschränkungen** |
| Radius | r | m | 0.5 m | r > 0 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Typ** | **Variablen** | **Verwendungszweck** |
| s\_F\_Connector | Weg\_Kraft\_Connector | s und F | Anbindung eines Seils |
| phi\_M\_Connector | Winkel\_Moment\_Connector | phi und M | Anbindung einer (rotierenden) Welle |

Der Radius der Seilwinde ist nur mit positiven Werten zu parametrisieren.

Die Seilwinde hat den vordefinierten Radius von 0.5m, kann bei Bedarf aber geändert werden.

Mit der nebenstehenden Berechnung kann mit dem Winkel die Strecke berechnet werden, bzw. andersrum.

Durch Ableitung der Potenzialgrößen wir die Geschwindigkeit berechnet.

Mit Hilfe des Radius der Seilwinde kann dann die Umrechnung von Geschwindigkeit und Winkelgeschwindigkeit stattfinden.

Beschreibung:

Dieses Modell simuliert eine Seilwinde, welche über ihren Radius in der Lage ist, eine Kraft in ein Moment und eine Strecke in einen Winkel umzuwandeln und umgekehrt.  
Hierzu besitzt die Seilwinde zwei Connectoren, an denen in der Theorie eine sich drehende Welle und ein Seil befestigt werden würden. Über die Welle werden dann Momente und Winkel übertragen und über das Seil werden Kräfte und Strecken übertragen.  
Die Umrechnung erfolgt über den parametrisierbaren Radius r.

Parameter:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Formelzeichen** | **Einheit** | **Standardwert** | **Einschränkungen** |
| Radius | r | m | 0.5 m | r > 0 m |

Connectoren:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Typ** | **Variablen** | **Verwendungszweck** |
| s\_F\_Connector | Weg\_Kraft\_Connector | s und F | Anbindung eines Seils |
| phi\_M\_Connector | Winkel\_Moment\_Connector | phi und M | Anbindung einer (rotierenden) Welle |

Flaschenzug

Flaschenzug\_Bibliothek.Mechanik.Flaschenzug\_Angriffspunkt\_oben

Hier kann die Rollenanzahl des Flaschenzugs festgelegt werden.

Information

Beschreibung:

Dieses Modell beschreibt einen Faktorenflaschenzug mit der variablen Rollenzahl n.

Die Rollenzahl des Flaschenzugs kann als Parameter vorgegeben werden und bestimmt maßgeblich dessen Verhalten.

Faktorenflaschenzüge existieren in zwei Formen, welche sich durch den Angriffspunkt des Seils an der ersten Rolle unterscheiden.

In diesem Modell setzt das Seil an der obersten Rolle an, weshalb es den Namenszusatz "Angriffspunkt\_oben" beinhaltet.

Das Funktionsprinzip des Flaschenzuges ist in dieser Abbildung dargestellt.

Die wichtigsten Formeln des Flaschenzugmodells beschreiben das Verhalten des Seilwegs im Vergleich zum Weg der Last, sowie die Kraft, welche an der Masse zieht im Vergleich zu der augebrachten Zugkraft am Seil.

Diese lauten wie folgt:

F\_Zug = F\_Last / n

s\_Seil = n · s\_Last

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Formelzeichen** | **Einheit** | **Standardwert** | **Einschränkungen** |
| Rollenzahl | n | 1 | 4 | n > 0 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Typ** | **Variablen** | **Verwendungszweck** |
| F\_s\_Antrieb | Weg\_Kraft\_Connector | s und F | Anbindung des Zugseils |
| F\_s\_Last | Weg\_Kraft\_Connector | s und F | Anbindung der Last |

Motor

Beschreibung:

Dieses Modell beschreibt einen einphasigen Gleichstrommotor, welcher ein realistisches Verhalten der Drehzahl und des Stromes in Abhängigkeit der angelegten Spannung und des Lastmoments abbildet.

Versorgt wird der Motor über einen Spannung\_Strom\_Connector, über welchen eine vorgegebene Spannung übertragen wird.

Der simulierte Winkel sowie das angelegte Lastmoment werden über einen Winkel\_Moment\_Connector übertragen.

Die internen Kennwerte des Motors können über das Parameter-Interface angepasst werden.

Die Parameter besitzen jedoch bereits vorinitialisierte Standardwerte, welche die Benutzung des Motors im unveränderten Zustand gewährleisten.

Als Nennspannung für den Motor wurden 48 V gewählt, es können jedoch in der Simulation auch deutlich niedrige bzw. höhere Werte verwendet werden.

Bei der Verwendung einer positiven Versorgungsspannung dreht der Motor in die positive Drehrichtung, also so dass der(phi) > 0 ist.

Eine negative Drehrichtung kann dementsprechend durch das Anlegen einer negativen Spannung erreicht werden.

Die Vorgabe der Drehrichtung über die Versorgungsspannung ist jedoch nicht immer möglich, z.B. wenn die Last zu hoch gewählt wurde und der Motor nicht genügend elektrisches Moment erzeugen kann, um das Lastmoment auszugleichen. In diesem Fall würde der Motor also in die entgegengesetzte Drehrichtung angetrieben werden, jedoch nicht von der angelegten Spannung, sondern vom angelegten Lastmoment.

Im Leerlauf und im Betrieb mit geringer Last ist die Drehrichtungsvorgabe über das Vorzeichen der angelegten Spannung zuverlässig.

Parameter:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Formelzeichen** | **Einheit** | **Standardwert** | **Einschränkungen** |
| Ankerwiderstand | Ra | Ω | 0.2 Ω | Ra ≥ 0 Ω |
| Drehmomentkonstante | kt | Nm/A | 0.1 Nm/A | kt ≥ 0 |
| Reibungsverlustkonstante | cf | Nms | 0.0025 Nms | cf ≥ 0 |
| Ventilationsverlustkonstante | cv | Nms² | 0.000104 Nms² | cv ≥ 0 |
| Massentraegheit | Jtot | kgm² | 0.005 kgm² | Jtot ≥ 0 |

Connectoren:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Typ** | **Variablen** | **Verwendungszweck** |
| U\_I\_Connector | Spannung\_Strom\_Connector | U und I | Anbindung der Spannungsquelle |
| phi\_M\_Connector | Winkel\_Moment\_Connector | phi und M | Anbindung einer (rotierenden) Welle |

parameter SI.Voltage Ub = 0 "Buerstenabfallspannung";

parameter SI.Resistance Ra = 0.2 "Ankerwiderstand";

parameter SI.Inductance La = 0 "Ankerinduktivitaet";

parameter SI.ElectricalTorqueConstant kt = 0.1 "Drehmomentkonstante";

parameter Real cf(unit = "N.m.s") = 0.0025 "Reibungsverlustkonstante";

parameter Real cv(unit = "N.m.s2") = 0.000104 "Ventilationsverlustkonstante";

parameter SI.MomentOfInertia Jtot = 0.005 "Massentraegheit";

Beschreibung:

Dieses Modell beschreibt eine Spannungsquelle, welche zeitbasiert drei verschiedene Spannungslevel ausgeben kann.

Um dieses Verhalten zu steuern, werden 3 Spannungsparameter und 2 Zeitparameter angegeben. Über die drei Spannungsparameter U1, U2 und U3 werden die einzelnen Spannungsniveaus festgelegt. Über die Zeitparameter T1 und T2 werden die Umschaltzeitpunkte von U1 auf U2 bzw. von U2 auf U3 definiert.

Somit ergibt sich folgende Logik für den Wert der ausgegebenen Spannung:

Von t = 0s bis t = T1: U = U1

Von t = T1 bis t = T2: U = U2

Von t = T2 bis t -> ∞: U = U3

Diese Modellierung wurde gewählt, um die Verwendung mehrerer Spannungslevel in einem Simulationsdurchlauf zu ermöglichen.

Mit der Standardparametrisierung der Werte liegt also von 0s bis T1=1s eine Spannung 0V an, daraufhin springt der Wert auf 48V und sinkt nach T2=10s wieder auf 0V ab. Zu beachten ist hierbei, dass T1 und T2 keine Delta-Werte beschreiben, sondern absolute Zeitpunkte. Daher sollte T2 immer höher als T1 gewählt werden.

Die Spannung wird über einen Spannung\_Strom\_Connector ausgegeben.

Parameter:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Formelzeichen** | **Einheit** | **Standardwert** | **Einschränkungen** |
| Spannung ab t=0s bis t=T1 | U1 | V | 0 V | - |
| Spannung ab t=T1 bis t=T2 | U2 | V | 48 V | - |
| Spannung ab t=T2 | U3 | V | 0 V | - |
| Zeitpunkt des Wechsels von U1 auf U2 | T1 | s | 1 s | T1 < T2 |
| Zeitpunkt des Wechsels von U2 auf U3 | T2 | s | 10 s | T2 > T1 |

Connectoren:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Typ** | **Variablen** | **Verwendungszweck** |
| U\_I\_Connector | Spannung\_Strom\_Connector | U und I | Anbindung an zu versorgendes Bauteil |

parameter SI.Voltage U1 = 0 "Spannung ab t=0s bis t=T1";

parameter SI.Voltage U2 = 48 "Spannung ab t=T1 bis t=T2";

parameter SI.Voltage U3 = 0 "Spannung ab t=T2";

parameter SI.Time T1 = 1 "Zeitpunkt des Wechsels von U1 auf U2";

parameter SI.Time T2 = 10 "Zeitpunkt des Wechsels von U2 auf U3";

Winkel\_Moment\_Connector

Beschreibung:

Dieser Connector besitzt ein Moment als Flussgröße und einen Winkel als Potenzialgröße.  
Er wird verwendet in folgenden Modellen:

            - Seilwinde  
            - Einphasen\_Gleichstrommotor  
            - Bremse

Variablen:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Typ** | **Formelzeichen** | **Einheit** |
| Winkel | Potentialgröße | phi | rad |
| Moment | Flussgröße | M | Nm |

Spannung\_Strom\_Connector

Beschreibung:

Dieser Connector besitzt eine Spannung als Potenzialgröße und einen Strom als Flussgröße.  
Er wird verwendet in folgenden Modellen:

            - Einphasen\_Gleichstrommotor  
            - Bremse  
            - Spannungsquelle

Variablen:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Typ** | **Formelzeichen** | **Einheit** |
| Spannung | Potentialgröße | U | V |
| Strom | Flussgröße | I | A |

Weg\_Kraft\_Connector

Beschreibung:

Dieser Connector besitzt einen Weg als Potenzialgröße und eine Kraft als Flussgröße.  
Er wird verwendet in folgenden Modellen:

            - Flaschenzug\_Angriffspunkt\_oben  
            - Flaschenzug\_Angriffspunkt\_unten  
            - Masse  
            - Seilwinde

Variablen:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Typ** | **Formelzeichen** | **Einheit** |
| Weg | Potentialgröße | s | m |
| Kraft | Flussgröße | F | N |

|  |  |
| --- | --- |
| **Name** | **Kurzbeschreibung** |
| Spannung | Potentialgröße |
| Strom | Flussgröße |

Beschreibung:

Dieses Modell beschreibt eine Bremse, welche in dieser Bibliothek dazu verwendet wird, das System im stromlosen Zustand festzuhalten, also Bewegungslosigkeit hervorzurufen.

Das Modell der Bremse ist stark gekoppelt mit denen des einphasigen E-Motors und der Spannungsquelle. Wenn der Motor nicht mit Strom versorgt wird, also die Versorgungsspannung 0V beträgt, soll das System sich nicht bewegen. Da der Motor jedoch auch im stromlosen Zustand von dem anliegenden Lastmoment beeinflusst und gegebenenfalls beschleunigt wird, muss sichergestellt werden, dass das am Motor anliegende Lastmoment gleich null wird, sobald die angelegte Spannung 0V beträgt. Damit die Bremse auf den Wert der Versorgungsspannung zugreifen kann, muss der Spannung\_Strom\_Connector des Modells mit dem Spannung\_Strom\_Connector der Spannungsquelle oder dem des E-Motors verbunden werden. Es findet keine Leistungsaufnahme statt, es wird lediglich der Wert von U ausgelesen.

Die Bremse wird zwischen die beiden Komponenten, die sie voneinander im stromlosen Zustand entkoppeln soll, eingebaut. Im Falle der Beispielmodelle wären dies der E-Motor und die Seilwinde. Hier teilt sich das System in die Antriebssyeite und die Lastseite auf. Im normalen Betriebsszustand, in dem die Spannung nicht null beträgt, werden Winkel und Drehmoment beider Connectoren 1:1 übertragen und weitergegeben. Um das Gesamtsystem im stromlosen Zustand jedoch bewegungslos zu schalten, muss wie bereits erwähnt das moment auf der Antriebsseite null betragen. Damit die Lastseite sich nun nicht frei bewegt, da sie von der Antriebssyseite entkoppelt wurde, wird ein Bremsmoment, intern Mb genannt, aufgeschalten. Dieses ist exakt so hoch wie das Lastmoment und schaltet so die Lastseite ebenso bewegungslos.

Die Bremse teilt das System in zwei Teile auf: Die Antriebsseite und die Lastseite.

Um die Welle des Motors zu beeinflussen, muss der entsprechende Winkel\_Moment\_Connector der Bremse mit dem Winkel\_Moment\_Connector des E-Motors verbunden werden.

Um die Zuordnung der beiden Winkel\_Moment\_Connectoren des Modells eindeutig zu machen, wurde an der einen Seite des Icons der Bremse eine Einkerbung angebracht, wohingegen auf der anderen Seite ein Rechteck aus dem Block herauszeigt. Diese beiden Stellen sollen ähnlich dem LEGO-Prinzip einen Hinweis darauf geben, an welcher Seite der Motor und an welcher die Seilwinde verbunden werden soll. Es ist nämlich in den Beispielssimulationsmodellen zu sehen, dass der Motor ein kurzes Wellenstück am Icon besitzt, welche exakt in die Kerbe des Bremsen-Icons passen könnte. Ebenso besitzt die Seiwinde eine Einkerbung, an welche das Wellenstück der Bremse angebracht werden könnte. Das Gesamtsystem lässt sich auch ohne Bremse betreiben. In diesem Fall funktioniert das angewandte LEGO-Prinzip immernoch, da der Motor auch direkt mit der Seilwinde verbunden werden kann.

Im normalen Betriebszustand, in dem die Spannung nicht null beträgt, werden Winkel und Drehmoment beider Connectoren 1:1 übertragen und weitergegeben. Im Falle, dass die Spannung null Volt beträgt, wird eine Variable namens Mb (Bremsmoment) verwendet, welche mit der

Parameter:

Connectoren:

Beschreibung:

Dieses Modell beschreibt eine Bremse, welche in dieser Bibliothek dazu verwendet wird, das System im stromlosen Zustand festzuhalten, also Bewegungslosigkeit hervorzurufen.

Das Modell der Bremse ist stark gekoppelt mit denen des einphasigen E-Motors und der Spannungsquelle. Wenn der Motor nicht mit Strom versorgt wird, also die Versorgungsspannung 0V beträgt, soll das System sich nicht bewegen. Da der Motor jedoch auch im stromlosen Zustand von dem anliegenden Lastmoment beeinflusst und gegebenenfalls beschleunigt wird, muss sichergestellt werden, dass das am Motor anliegende Lastmoment gleich null wird, sobald die angelegte Spannung 0V beträgt. Damit die Bremse auf den Wert der Versorgungsspannung zugreifen kann, muss der Spannung\_Strom\_Connector des Modells mit dem Spannung\_Strom\_Connector der Spannungsquelle oder dem des E-Motors verbunden werden. Es findet keine Leistungsaufnahme statt, es wird lediglich der Wert von U ausgelesen.

Die Bremse wird zwischen die beiden Komponenten, die sie voneinander im stromlosen Zustand entkoppeln soll, eingebaut. Im Falle der Beispielmodelle wären dies der E-Motor und die Seilwinde. Hier teilt sich das System in die Antriebsseite und die Lastseite auf. Im normalen Betriebsszustand, in dem die Spannung nicht null beträgt, werden Winkel und Drehmoment beider Connectoren 1:1 übertragen und weitergegeben. Um das Gesamtsystem im stromlosen Zustand jedoch bewegungslos zu schalten, muss wie bereits erwähnt das Moment auf der Antriebsseite null betragen. Damit die Lastseite sich nun nicht frei bewegt, da sie von der Antriebsseite entkoppelt wurde, wird ein Bremsmoment, intern Mb genannt, aufgeschalten. Dieses ist exakt so hoch wie das Lastmoment und schaltet so die Lastseite ebenso bewegungslos.

Da sich die interne Logik der Bremse für beide Winkel\_Moment\_Connectoren unterscheidet, muss darauf geachtet werden, wie das System mit den anderen Komponenten verbunden wird. Um es dem Nutzer leicht ersichtlich zu machen, wie die Connectoren verbunden werden müssen, besitzen die Icons des E-Motors, der Bremse und der Seilwinde dem LEGO-Prinzip ähnelnde rechteckige Aussparungen bzw. Auswölbungen. Diese sollen eine Welle bzw. deren Ansatzpunkte darstellen. Hierdurch ist eindeutig zu erkennen, auf welche Seite Antrieb und Last angeschlossen werden müssen. Dies ist auch in den Beispiel-Modellen der Bibliothek zu sehen.

Die Bremse besitzt keine Parameter.

Connectoren:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Typ** | **Variablen** | **Verwendungszweck** |
| U\_I\_Connector | Spannung\_Strom\_Connector | U und I | Anbindung an die Spannungsquelle |
| phi\_M\_Antrieb | Winkel\_Moment\_Connector | phi und M | Anbindung der Welle auf Antriebsseite |
| phi\_M\_Last | Winkel\_Moment\_Connector | phi und M | Anbindung der Welle auf Lastseite |

Mechanik:

|  |  |
| --- | --- |
| **Name** | **Kurzbeschreibung** |
| Einphasen\_Gleichstrommotor | Modell eines realitätsnahen einphasigen Gleichstrommotors |
| Bremse | Sicherheitsbremse, welche im stromlosen Zustand die verbundene Welle blockiert |
| Spannungsquelle | Spannungsquelle mit 3 verschiedenen zeitbasierten Spannungsleveln |