

練習 2 施加負載、驅動器、和測量

建立負載

你藉著施加負載(loads)設定你的機構作運動，你可以模擬真實世界中力作用在機構，然後檢查機構對負載的反應。

決定作用在機構的力

在施加負載到你的機構之前，你需要瞭解哪些力是作用在你的機構，和在運動模組如何去代表它們。一般，作用在機構的負載起源於下列原因之一：

- 屬於機構零件和機構外部的物體之間的接觸。
- 發生在機構零件之間的接觸。
- 作用在一距離的物體負載，諸如重力或電磁場。

大部分發生在一機構的接觸負載是起源於接頭拘束的反作用，例如，在兩物體之間的一插銷接頭引起物體互相施加負載，其限制相對的平移和在物體之間繞插銷接頭軸作一簡單旋轉的方向，產生在插銷接頭的負載是反作用。你不須模擬反作用負載，雖然你應該知道它們，代替地，當你執行一分析時運動模組計算反作用和報告它們給你當作結果，你需要模擬所有施加的負載，即不起源於接頭連結但作用在你的機構的負載。

作這下列判斷以決定施加的負載和使用何種負載類型來代表它們：

- **決定機構外部的負載**—考慮這機構從它的環境隔離，好像它有一汽球繞著它的整個邊界，這需要你切除所有連接這機構到接地的接頭，和切斷所有不視為這機構一部分物體的非接頭接觸。

在每一非接頭接觸發生的地方，你需要考慮一施加的負載，你應該使用一固定或從動力或力矩來代表這些負載，因為它們在這物體上產生一負載，但不在這機構的一物體上產生一相等和相反的反作用負載，你需要知道這些力的大小和方向。

如果你有一分佈力，諸如在模型上風的作用，你需要描述它當作單一合力或力矩作用在一點，你需要選擇一點和計算一合力給你這個力一合理的代表，運動模組不直接模擬分佈力。

- **決定機構內部的非接頭負載**—考慮這機構每一個別的物體從屬於這機構的其它物體隔離，每一物體與其它物體在接頭連結上和在這物體互相施負載的其它孤立點上保持接觸。

藉增加一施加的負載到這機構上，考慮在這些物體之間每一非接頭接觸，這牽涉到描述這力的系統以代表這接觸，當作一組力系每個具有大小和方向，加上一組力矩每個具有大小和方向。

因為這發生在機構兩成員之間的負載類型，負載將在兩物體上以一相等和相反形式產生。

一些負載類型，諸如點-到-點負載和接頭軸負載，自動地產生這相等和相反負載。當負載類型更複雜時，你以一相等和相反形式施加固定和從動力和力矩到兩物體上。

選擇運動模組負載

運動模組有六種負載的類型，你可以使用它們來模擬大部分力的類型。下表描述每一負載類型和何時你可能想要使用它：

負載類型	使用時機	施加到
Fixed Force (固定力) 	機構外部的一力，它的方向相對固定於接地。	一點
Follower Force (從動力) 	機構外部的一力，它的方向相對固定於運動的零件。	一點
Fixed Torque (固定力矩) 	機構外部的一力矩，它的方向相對固定於接地。	一物體
Follower Torque (從動力矩) 	機構外部的一力矩，它的方向相對固定於運動的零件。	一物體
Joint Axis (接頭軸) 	影響藉一接頭連接兩零件的一力，一作用在一零件和一反作用在另一零件。如果力作用在藉一接頭連接的兩點時使用。	一接頭軸
Point-to-Point (點到點) 	影響在機構內兩零件的一力，一作用在一零件和一反作用在另一零件。如果這兩點不是藉一接頭連接時使用。	在不同物體的兩點

在刀片上建立負載

你現在將增加一個 3 磅力到刀片尖端，以代表當草被切斷時割草機所感受到的阻力，你也將增加一力到活塞的頂面以模擬這四行程引擎建立的氣體壓力，這個負載的大小將取決於曲軸的角度。

首先你將準備這含贅度的組件 mower_1，然後你將重複這一節和準備這不含贅度的組件 mower_2。

1. **Open (開啓)** 組件 mower_1。
2. 選取 **Applications (應用程式): Mechanics: Motion (運動)**。
3. 選取 **Model (模型): Loads (負載): Create (建立): Follower For (從動力)**。
4. 當被提示選取一點，選擇在刀片尖端最右基準點。
5. 選取 **Typed Vector (鍵入向量)**和輸入 **0 0 -1**。
6. 對於 Force Name (力名稱)，鍵入 **blade_f1**。

你將以一多項式方程式指定一 3 lb 常數力。

7. 確認 **Polynomial (多項式)**是設定在 Load Functions (負載函數)。
8. 輸入 **3** 給 D 係數和讓所有其它係數在 **0**，這建立一常數 3 磅力。你的表格應該看起來像右表：
9. 選取 **Accept (接受)**。
10. 增加另一 **3** 磅力到這左刀尖，這次力向量是 **0 0 1** 和名稱是 **blade_f2**。

Edit Follower Force

Force Name:

Load Functions:

Polynomial Table

Cosine

Load is a Function of:

Time Measure

Poly ($Ax^{**3} + Bx^{**2} + Cx + D + E/x + F/x^{**2}$)

A:	<input type="text" value="0"/>	D:	<input type="text" value="3"/>
B:	<input type="text" value="0"/>	E:	<input type="text" value="0"/>
C:	<input type="text" value="0"/>	F:	<input type="text" value="0"/>

Load is Active: Always Conditionally

負載方向的秘訣

對於固定和從動力和力矩，你需要指定一方向給這負載。在 **INPUT VECTOR** (輸入向量) 選單，使用這些選項之一：

Pt to Pt (點到點)—你選取兩物體點，一個當作向量的原點和另一指出方向。

Vector (向量)—你選取一物體點以指出向量的方向。對於固定力和力矩，方向是相對於接地座標系統(WCS)的原點；對於從動力和力矩，方向是相對於這零件 LCS 的原點。

Typed Vector (鍵入向量)—你輸入座標以指出向量的方向。對於固定力和力矩，方向是相對於接地座標系統(WCS)的原點；對於從動力和力矩，方向是相對於這零件 LCS 的原點。

你可以輸入值給在這多項式表示式的六個係數：

$$Ax^3 + Bx^2 + Cx + D + E/x + F/x^2$$

在這個方程式， x 是一變數代表一運動分析的模擬時間或一測量的值，取決於你在 **Load** (負載) 的選擇是何者的 **Function** (函數)。

你可以輸入值給上至六個係數，這兩個是最重要的：

- **C**—代表斜率，這個值考慮這負載對另一數量的關係。
- **D**—代表負載的常數值，如果你指定一常數力係取決於時間，你可以定義這負載僅用一值給 **D**。

其它係數是可用的，如果你需要它們來完整地定義這負載，而它們的意義隨每一個別的負載作變化，因此，隨你想要你的負載可以是複雜的或簡單的。

在活塞上建立負載

爲了建立活塞力，你將使用表列力選項，這表是一文字檔含有兩欄，左欄代表曲軸角度以度表示，和右欄代表這負載大小以磅表示。

Force Name: piston_force

Load Functions:

Polynomial Table Cosine

Load is a Function of:

Time Measure

Table

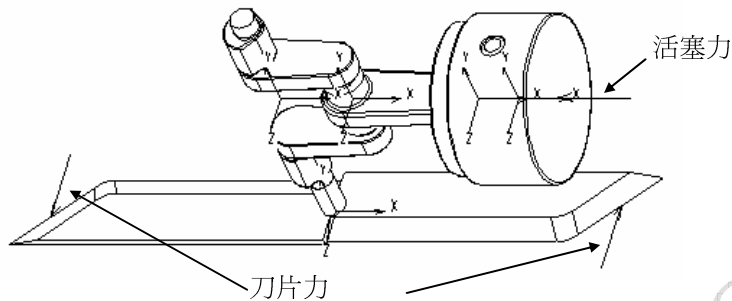
File: F:\Pro_work\Integ_mower_i2\engfrc.tab

Xscale: 1 Yscale: 100

Load is Active: Always Conditionally

1. 從 **CREATE LOADS** (建立負載) 選單，選取 **Follower For** (從動力)。

- 當被問到挑選一點，選取在活塞頂面的基準點，它似乎在接地點上。
- 選取 **Typed Vector (鍵入向量)** 和輸入 **-1 0 0** 給力的方向。
- 輸入 **piston_force** 當作 Force Name (力名稱)。
- 在 Load Functions (負載函數) 下選取 **Table (表)**。
- 按 **Select (選取)** 鈕和從檔案清單點選 **engfrc.tab**。
- 在 Yscale (Y 比例) 框輸入 **100**，這將表中力值乘上 100 倍。
- 選取 **Accept (接受)**，你的模型應該看起來像下圖所示。



負載函數的秘訣

有許多負載函數你可以用來描述作用在模型的力類型，截至目前你已指定一 **Polynomial (多項式)** 和 **Table Load Function (表列負載函數)** 到你的模型，檢視下表以檢查所有可用的函數選項：

負載函數	描述	可用的負載類型
Polynomial (多項式)	你藉提供常數給一多項式以定義大小，使用一多項式給負載具有簡單的大小或負載以計算的測量為基礎。	所有
Cosine (餘弦)	你藉提供常數給一餘弦函數以定義大小，使用餘弦函數給振盪的負載，當你想要知道一機構受到搖晃如何反應時。	所有
Table (表)	你用一兩欄表的值定義大小，使用一表當你有測試資料顯示力的大小隨另一變數在不同的值而變。例如，你的資料可能顯示力的大小隨一機構在不同的位置而變。	所有
Spring (彈簧)	你藉提供值給彈簧常數和彈簧未伸長的位置以定義一線性彈簧力的大小，使用一彈簧以提供正比於伸長量的阻力。	接頭軸、點到點
Damper (阻尼器)	你藉提供一值給這阻尼係數以定義這一線性阻尼力的大小，使用一阻尼器當力是正比於承受負載單元的速度。例如，你可以使用一阻尼器負載以代表活塞推流體入一缸的力，一個作法是施加一接頭軸負載到一滑塊接頭。	接頭軸、點到點
Friction (摩擦)	你藉提供值給靜和動摩擦係數以定義一摩擦力的大小，使用一摩擦力當這機構嘗試克服摩擦。在運動模組摩擦是以速度為基礎，在一靜定分析模型具有摩擦將不收斂。	接頭軸

測量

當你使用 **Pro/M** 分析你的模型，測量(measures)追蹤數量的值。當你執行設計研究，運動模組計算測量和使你能查詢或畫這些值的圖形，你可以使用測量當作變數可以打開和關閉負載，引起研究終止，和引起一負載的大小作變更。

下表舉例說明 Pro/M 如何依照你執行研究的類型來追蹤值：

分析/研究	計算值
運動分析	在每一時步
區域或全域敏感度研究	當一參數的值變更
最佳化研究	在每一迭代

爲了下列目的，你可以使用測量：

- 定義一負載爲一測量的函數，計算的測量是特別有利於這個目的。
- 定義條件給一有條件活動的負載。
- 定義終止條件給一運動分析，這分析停止當測量的值符合你指定一條件。
- 當作這目標或一限制給一最佳化設計研究
- 得到某種結果的類型，例如反作用結果，在標準結果它不是可用的。

定義測量

在運動模組你可以建立許多測量的類型，這取決於你感興趣知道值的類型。運動模組計算這些測量和使它們在你的結果檔案爲可用的。

下表列出在運動模組你可以建立測量的類型、測量的值、和使用每一測量的例子。

測量	測量的值	例子
Connection (連結)	在任何連結的類型的反作用力和力矩	在一球和窩的尖峰負載
Joint Axis (接頭軸)	在一接頭軸的位置、速度、加速度、或淨力	一鉸鏈角度對時間的位置讀數
Load (負載)	一負載的大小	一彈簧施加負載的 X 分量
Body (物體)	一物體的方向、角速度、角加速度、質量、質量中心、形心慣性	一輪胎的角加速度
Point (點)	在一點的位置、速度、加速度、或淨施加力	一機械手臂尖端的速度
Point-to-Point (點到點)	在不同零件的兩點之間分離距離、速率、或速率變更	在活塞上一點和火星塞尖端之間分離距離
System (系統)	一整個機構的動能、組立、分離、靜定、總質量、線性動量、繞質量中心角動量、總質量中心、總形心慣性	一零件組件的總質量
Computed (計算的)	一符號表示式的函數或一表，可以包括時間、其它測量、和參數	在活塞上一點和火星塞尖端之間距離的平方
True Angle (真角度)	在兩向量其嵌入於一物體或接地之間的角度	在一開啓門和門框架之間的角度
Contact Pair(接觸對)	接觸力、接觸片中心位置、接觸面積、在接觸中心的滑動速度、法向穿透深度、法向變形率	一曲面接觸另一曲面的力

預先定義的測量

除了你可以建立的測量，運動模組也包含一組預先定義的內定測量，並爲每一模型計算。下表描述每一測量：

測量	測量的值
Time (時間)	目前模擬的時間
Cpu_time (Cpu_時間)	當執行運動模組引擎，你的計算機 CPU 使用的處理時間
Elapsed_time (經歷時間)	從分析開始的總時間
Ke (kinetic energy) (動能)	在你的機構所有零件的總動能
Redundancy (贅度)	在你的模型過度拘束的數目。一贅度可發生於有多於一拘束(接頭或驅動器) 限制一物體相同的運動。

在曲軸角度上建立測量

稍後，你將想要控制割草機被評估時經過多少循環，你將藉測量曲軸零件的旋轉來達成。首先你將建立一測量以追蹤曲軸角度以弧度表示，然後你將製作一計算的測量給這個角度，以便你可以畫它以度表示的圖形。記住，按內定，角度測量是以弧度表示！

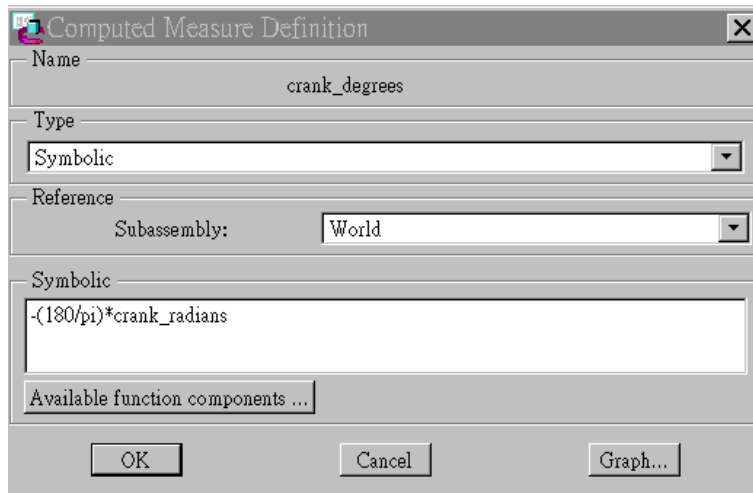
1. 選取 **Model (模型): Measures (測量): Create (建立): Joint Axis (接頭軸)**。
2. 在你的螢幕上方選取插銷接頭，當工作於模型具有軸承接頭，確定挑選旋轉的軸(不是平移的)，如果旋轉箭頭繞著這圖像明示成紅色，你將知道已挑選了旋轉的軸。
3. **Measure (測量)**表格出現。
4. 輸入 **crank_radians** 當作 Name (名稱)。

你知道你想要測量繞著接頭軸的角旋轉，所以它應該是一位置測量，但你應該使用何種類型的評估方法？

5. 檢視下表可用的評估方法。

評估方法	描述
Each Time Step (每一時步)	有趣數量的測量值，在分析的每一時間區間獨立地被計算
Integrated (積分)	測量值是有趣數量的積分直到時間上一點。當設計研究進行，運動模組對有趣數量積分及提供給測量(例如一反作用)，在分析的開始，運動模組總是設定這測量為零。
Minimum (最小)	在這分析截至目前得到有趣數量的測量的最小值
Maximum (最大)	在這分析截至目前得到有趣數量的測量的最大值
Average (平均)	有趣數量的測量的運算平均值
Root Mean Square (均方根)	在每一時步有趣數量的測量的運算均方根值
Start Time Only (唯開始時)	有趣數量的初始值

6. 確認 **Position (位置)**和 **Each Time Step (每一時步)**被選和選取 **Accept (接受)**。
7. 按 **Return (返回)**以返回指令(指令)提示。
8. 從 MEASURES (測量)選單，選取 **Computed (計算的)**。
9. 輸入 **crank_degrees** 當作名稱。
10. 選取 **Define/Review (定義/檢視)**。



11. 在 Symbolic (符號)輸入框，輸入 $-(180/\pi)*$ 。
12. 選取 **Available function components (可用的函數元件)**和 **Measures (測量)**鈕，一可用的測量清單出現。
13. 選取 **crank_radians**，然後選取 **Accept (接受)**和 **Close (關閉)**。
- 你的測量現在是定義成 $\text{crank_degrees} = -(180/\pi)*\text{crank_radians}$ 。
14. 選取 **OK** 和 **Accept (接受)**完成。

建立一計算的測量給活塞力

一計算的測量是以符號或表所定義的函數，這測量可以是時間、其它測量和參數的函數，當你想要運動模組去測量的值不容易透過預先定義的測量計算時，使用一計算的測量。

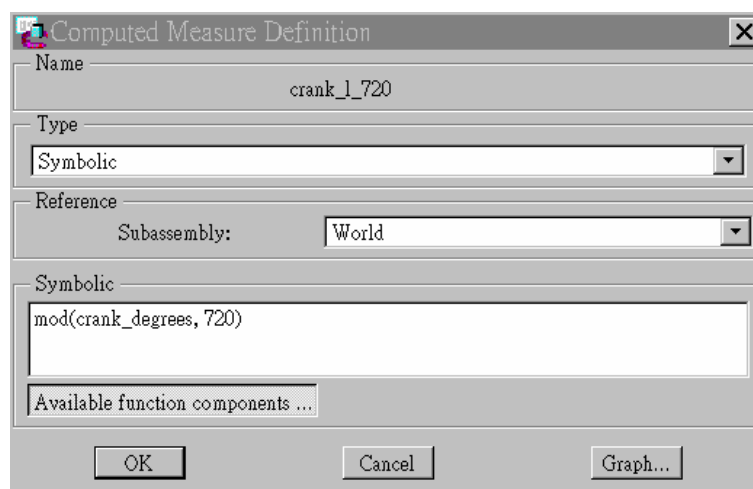
這個測量將總是在 0° 和 720° 之間。這測量應該開始在零當 **crank_degrees** 測量是零，再增加到 720° 當曲軸作兩迴轉，然後掉回到零。

你需要追蹤這個測量，因為你知道活塞力是四行程循環之引擎位置的函數，使曲軸作兩迴轉(720°)。

當建立一計算的測量，有一些可用的運算子。為了定義這個測量，你將需要乘($*$)、除($/$)，和餘數函數(mod)運算子。

這個測量的方程式是： $\text{crank}_1_{720} = \text{mod}(\text{crank_degrees}, 720)$ 。

使用在上一節描述的方法，建立這計算的測量顯示如下。



修改活塞力

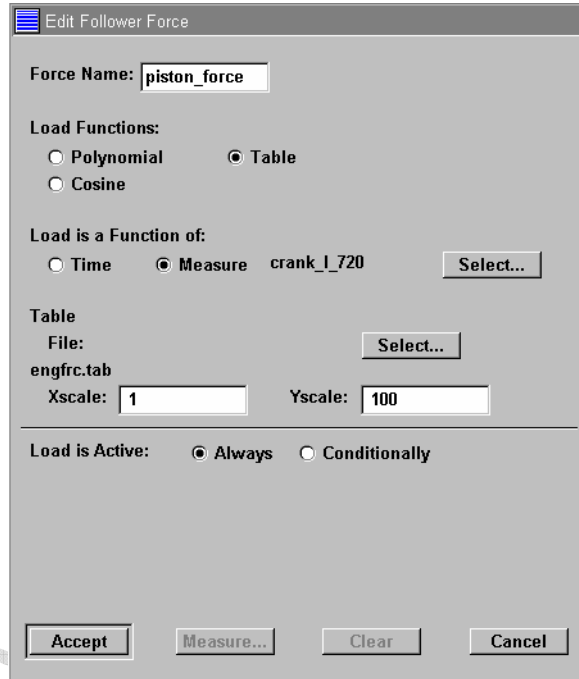
如果你選取多項式、餘弦、或表列負載函數，你可以使負載是時間或測量的函數，使用下列指導方針：

- 如果這負載僅取決於時間，則選取 **Time (時間)**。例如，如果這負載是常數或僅相對於時間的區間作變化，你可以使用時間。
- 如果這負載不僅取決於時間，則選取 **Measure (測量)**。當一負載取決於一測量時，它取決於這機構物體之間的關係，例如，一彈簧負載可以取決於兩物體之間的距離。

在這個練習，活塞負載是透過一資料表產生，因為負載循環每兩週轉重複一次，`crank_l_720` 主要是告訴運動模組在 720 度之後重讀這負載值。

你將修改活塞力使它是這測量的函數。

1. 選取 **Loads (負載): Edit (編輯): Magnitude (大小)**。
2. 選取活塞力的載圖像(棕色箭頭)。
3. 在資料表格，**Load is a Function of (負載是...的函數)** 下選取 **Measure (測量)**。
4. 選擇接近 **Measure (測量)** 的 **Select (選取)** 鈕和一可用的測量清單出現。
5. 選取這測量 `crank_l_720`。
6. 選取 **Accept (接受)** 兩次以完成這修改。



驅動器

你使用驅動器以強制一機構運動，你可以定義一驅動器當一接頭軸的位置、速度、或加速度為一時間的函數，下列是驅動器一些普通使用：

- **建立想要的運動**—使用驅動器以產生機構想要的運動，然後你可以分析機構的運動和檢查干涉。
- **執行一測試**—使用驅動器當作第一步來檢查干涉或看測量和負載是否正確地工作，然後你可以移除驅動器和使用負載分析這運動。
- **量馬達大小**—如果你預先知道機構的理想運動，使用驅動器以找出你需要多強的馬達，這個可以藉你放置一驅動器在相同的接頭上，執行一運動分析和畫反作用力矩圖形來完成，這將給你運轉這機構所需要力矩的概念。
- **鎖住機構**—建立一零位置驅動器以鎖住接頭，這使你能找出固定在那位置所需要的力。

如果你同時施加負載和驅動器到一模型，這驅動器將決定機構的運動，但從負載反作用的資料仍是可利用的。

Pro/M 以一接頭軸上螺旋曲線代表一驅動器，如圖所示。



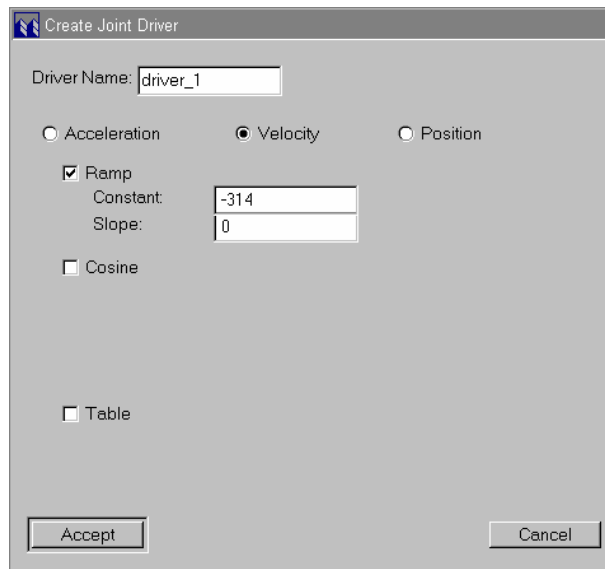
當你使用一驅動器指定機器的運動，你可以瞭解需要的力或力矩使得運動產生，這類型的分析稱為逆動力學 (inverse Dynamics)。

在你僅有負載、驅動器、或負載和驅動器之組合的地方作研究是可能的和有用的。

建立一驅動器

在這節，你將在連接曲軸到接地的插銷接頭上建立一 3000 rpm (314 rad/sec) 驅動器，稍後，你將使用這個驅動器來決定在此速率下運轉這機構所需要活塞力的大小。

1. 選取 **Model (模型): Drivers (驅動器): Create (建立)**。
2. 當被提示選取一接頭軸，選取靠近螢幕上方的插銷接頭。
當工作於具有軸承接頭的模型，挑選接頭的旋轉軸(Y 旋轉軸)它允許曲軸旋轉，小心不要選擇平移軸。
3. 選取 **Velocity (速度)**。
4. 選取 **Ramp (斜坡)**；輸入 **-314** 給常數和保留斜率在 **0**。
5. 選取 **Accept (接受)**。
6. **Save (儲存)**這個組件。



驅動器的秘訣: 類型和函數

你指定一速度驅動器為常數函數，檢視其它可利用的驅動器類型和函數：

驅動器類型	描述
Position (位置)	接頭軸的位置，例如，你可藉使用斜坡函數指定一驅動器的 0 位置以鎖住機構。
Velocity (速度)	接頭軸的速度，這類型使你能以一常數 rpm 指定運動。
Acceleration (加速度)	接頭軸的加速度

函數	描述
Ramp (斜坡)	使用它如果你要一常數運動或一運動隨時間從一值變更到另一值。
Cosine (餘弦)	使用它如果你要使機構擺動。
Table (表)	使用給更複雜的運動輪廓你無法以其它函數指定。

準備你的下一個模型

你剛已完成準備這具有簡單接頭的模型 **mower_1**，現在你將準備這具有更真實接頭的模型 **mower_2**。除了你將需要增加勁度和阻尼到兩軸承接頭以保持曲軸垂直地平移之外，對於真實接頭模型的指導是正好相同的。

作兩個模型而非一個的目的是給你更多實習和教你關於贅度，在介紹運動模組練習中已詳細地解釋贅度，但要直到練習 3 當模擬一含贅度的系統，你才將看到運動模組如何行爲。

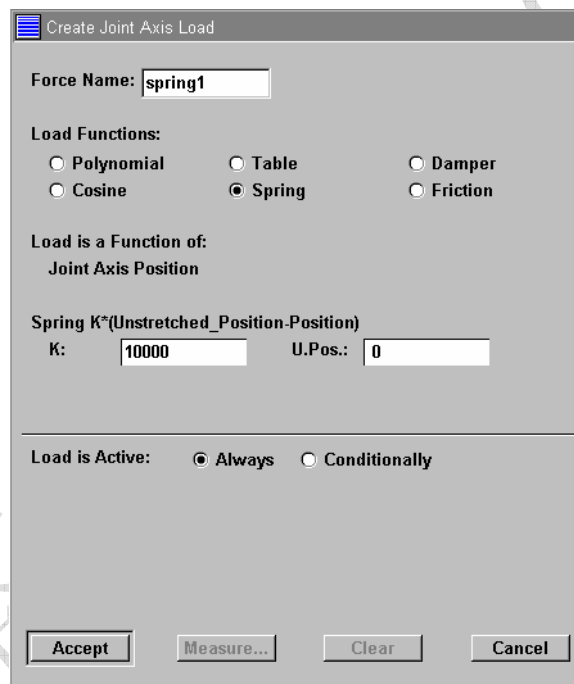
準備無贅度的模型

1. **Open (開啓)** 組件 `mower_2`。
2. 如先前所描述的，重新施加所有的測量、負載、和驅動器，開始於 **Creating Loads (建立負載)**，然後接續下一節。

增加彈簧

接著，你將增加勁度到曲軸上兩軸承接頭的平移軸以防止沿 y 軸平移。

1. 選取 **Model (模型): Loads (負載): Create (建立): Joint Axis (接頭軸)**。
2. 使用 **Query Sel (查詢選取)**，選取軸承接頭上方的平移的(非旋轉的)軸。旋轉的軸帶有捲曲的箭頭，平移的軸只是直的箭頭。
3. 在資料表格，將這力命名為 **spring1**。
4. 在 **Load Functions (負載函數)** 下，選取 **Spring (彈簧)**，資料表格出現如下。
5. 輸入 **10000** 給 K。
6. 選取 **Accept (接受)**。
7. 重新建立相同的彈簧負載給軸承接頭下方的平移軸，並將它命名為 **spring2**。



彈簧的秘訣

一彈簧負載總是下列之一的函數，取決這負載類型：

負載類型	彈簧負載是...的函數
Joint Axis (接頭軸)	接頭軸位置
point-to-point (點到點)	分離

運動模組透過這個表示式決定負載大小：

$$K \times (\text{Unstretched_Pos} - \text{Pos})$$

你輸入值給下列表示式的常數：

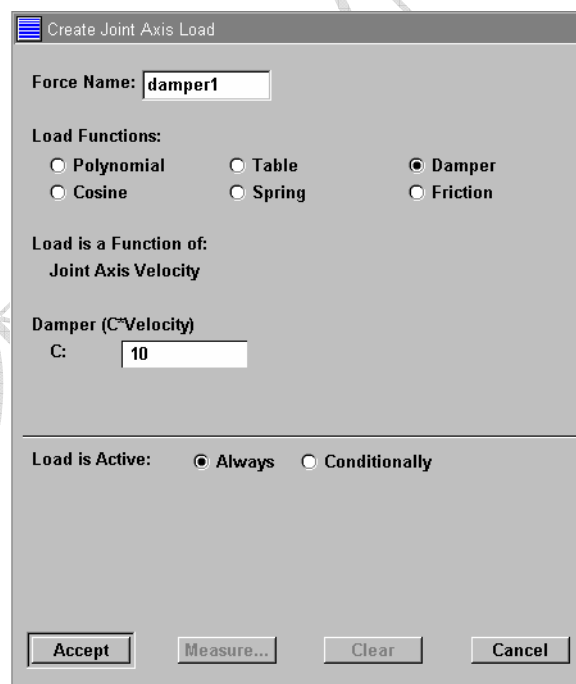
- **K**—彈簧勁度常數，這個常數通常來自彈簧製造廠商或測試資料，它應該是正的。
- **Unstretched_Pos (U.Pos.) (未伸張位置)**—這值給彈簧的未伸張位置；取決於負載類型，Unstretched_Pos (未伸張位置)和 Pos (位置)常數有不同的意義：

常數	按負載類型的定義	
	接頭軸	點到點
Unstretched_Pos (未伸張位置)	當彈簧既不伸張也不壓縮時，接頭軸的位置	當彈簧既不伸張也不壓縮時，在兩點之間的距離
Pos (位置)	機構運動中在一給定點接頭軸確實的位置	在牽涉到力的兩點之間的分離

增加阻尼器

接著，你將增加阻尼到軸承接頭的平移軸，這將消除無阻尼系統的潛在困擾的高頻效應。

1. 選取 **Model (模型): Loads (負載): Create (建立): Joint Axis (接頭軸)**。
2. 選取軸承接頭上方的平移軸。
3. 變更力名稱爲 **damper1**。
4. 在 Load Functions (負載函數)下，選取 **Damper (阻尼器)**。
5. 輸入 **10** 給 C。
6. 選取 **Accept (接受)**。



7. 重新建立阻尼器負載給下軸承接頭，並將它命名爲 **damper2**。
8. **Save (儲存)**這個組件。

阻尼器的秘訣

一阻尼器負載總是下列之一的函數，取決於負載類型：

負載類型	阻尼器負載是...的函數
Joint Axis (接頭軸)	接頭軸速度
point-to-point (點到點)	分離速率

你可以輸入一值給在表示式的阻尼係數 C ：

$$C \times \text{速度}$$

阻尼係數指出每單位速度的力，它通常來自製造廠商或工程師的測量，它應該是正的。

取決於負載類型，速度的意義是不同的：

- **接頭軸負載**—速度係指接頭軸速度。
- **點到點負載**—速度係指在兩點之間的分離速率。
- **分離速率**—在兩點之間距離的變化，它不考慮點移動的方向，僅考慮它們之間的距離。

當點是朝互相離開移動時，分離速率是正的；當它們是朝互相接近移動時，分離速率是負的。如果點先朝互相接近，然後互相通過，則分離速率值的正負號從負的變到正的。