

## Tutorial: Calculation of a two stage gearbox

このチュートリアルでは、平行軸システムを使って MESYS Shaft calculation の使用法を示します。このプログラムを使用して 2 段階のギアボックスが定義されます。Shaft calculation のチュートリアルから始めて、単一シャフトの形状とサポート類をどのようにして組み込んで行くか理解してください。

### System Data

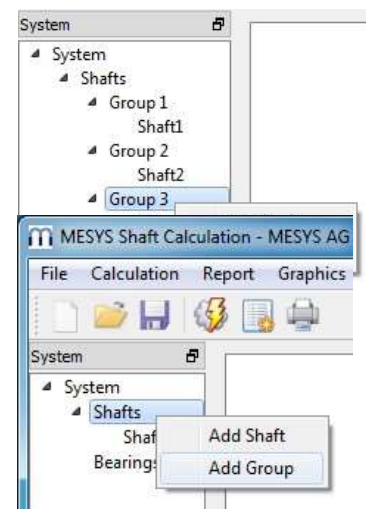
The screenshot shows the 'MESYS Shaft Calculation' software interface. The 'Project name' is 'Tutorial' and the 'Calculation description' is 'Two stage gearbox'. The 'Settings' tab is active, showing various parameters:

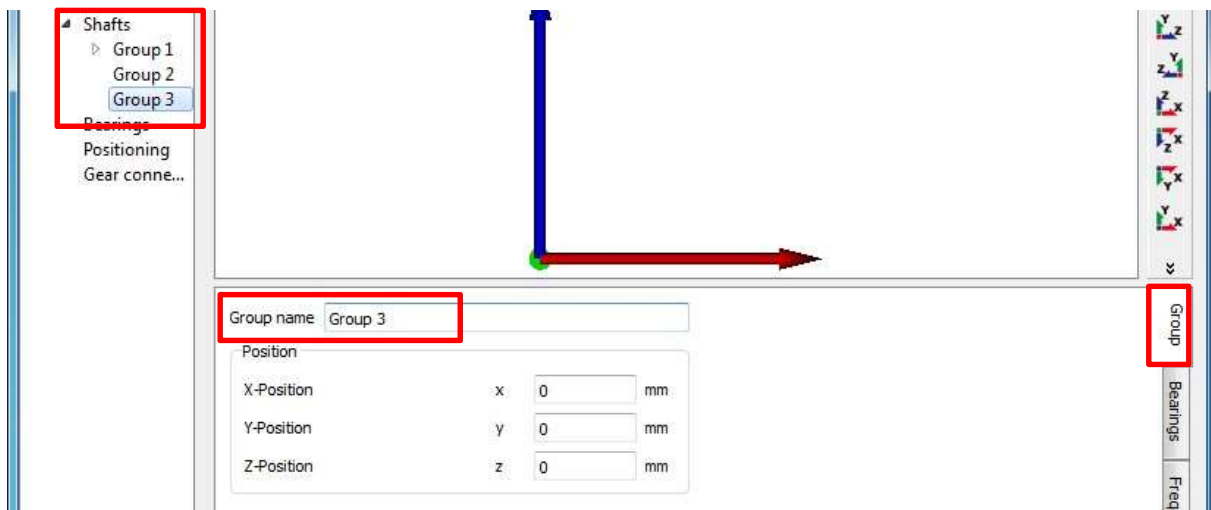
- Consider weight
- Angle for weight:  $\beta_w$  -90 °
- Calculate natural frequencies
- Consider gyroscopic effect
- Maximum frequency:  $f_{max}$  1000 Hz
- Number of frequencies:  $N_{freq}$  10
- Allow coaxial constraints between groups
- Housing material: Steel
- Housing temperature:  $T_h$  20 °C
- Required life: H 20000 h
- Shear deformations: According Hutchinson
- Consider nonlinear shaft model
- Consider load spectrum
- Consider gears as stiffness

特にシステムデータの値を変更する必要は、ありません。

### Defining Shafts

システムとして、平行シャフトグループを利用して行きます。システムツリーでシャフトを右クリックして、グループを追加できます。グループの名前を与えます。

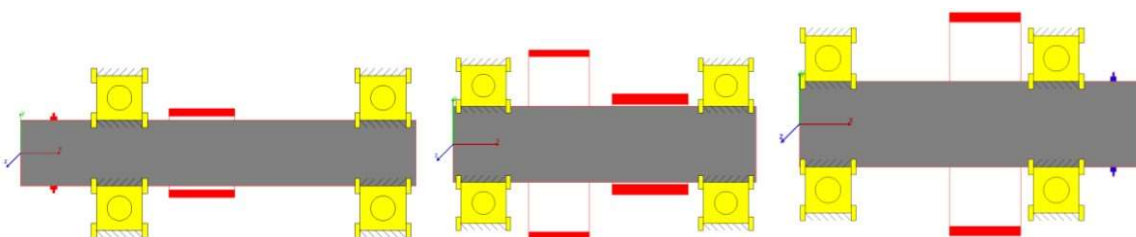




今回はグループごとにシャフトを追加し、シャフト 1 からシャフト 3 と名付けます。  
 各シャフトに対して、'シャフト 1'の長さ 120 と直径 20 の円柱として形状を追加します。'シャフト 2'では長さ 100 と直径 25、'シャフト 3'では長さ 120 と直径 30 です。  
 シャフトには以下の要素を追加します：

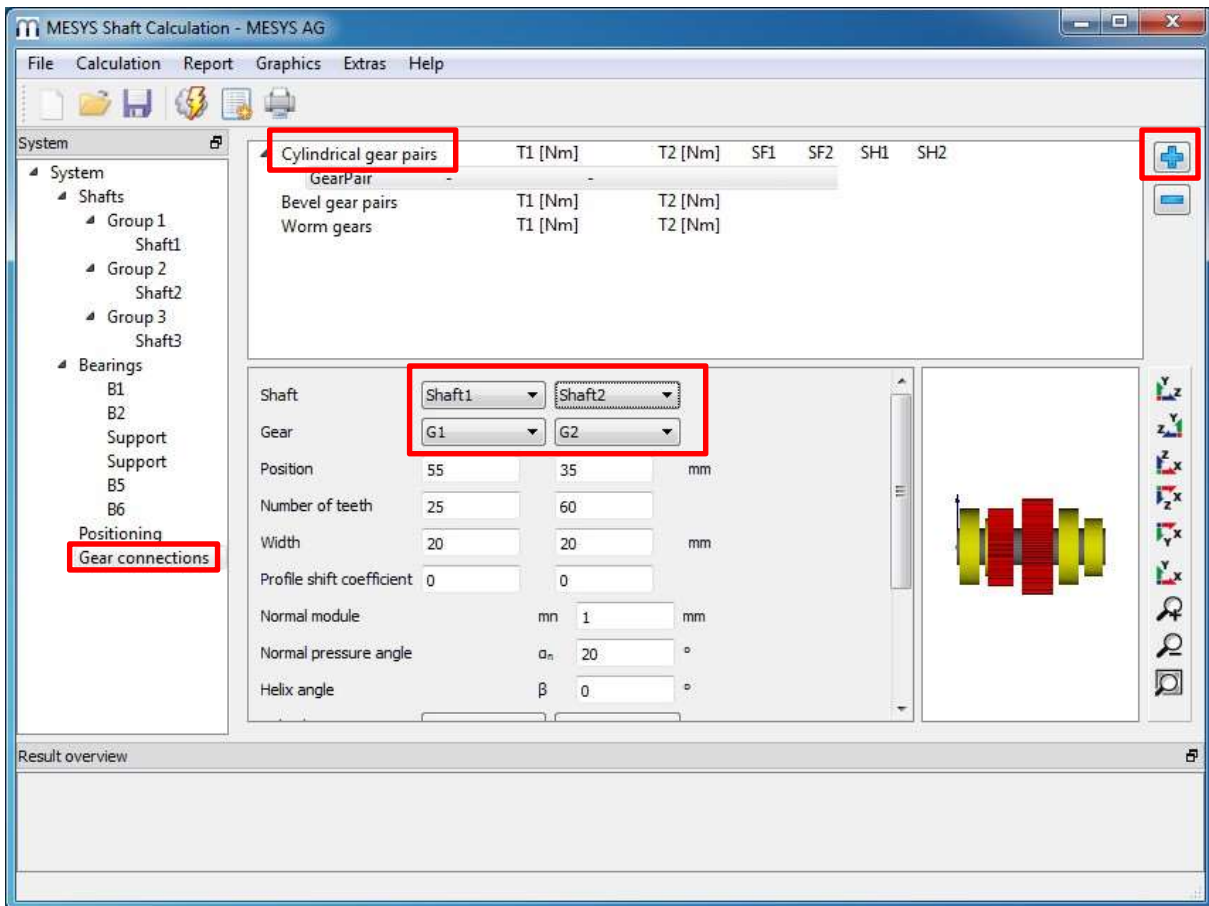
Shaft	Element	Name	Position	Parameters
Shaft1	Coupling	Input	10	$M_x = 20Nm$
	Gear	G1	55	$m_n=1, \alpha=20, b=20, z=25$
	Rolling bearing	B1	30	Deep groove ball bearing 6204
	Rolling bearing	B2	110	Deep groove ball bearing 6204
Shaft2	Gear	G2	35	$m_n=1, \alpha=20, b=20, z=60$
	Gear	G3	65	$m_n=1.5, \alpha=20, b=25, z=20$
	Rolling bearing	B3	10	Deep groove ball bearing 6205
	Rolling Bearing	B4	90	Deep groove ball bearing 6205
Shaft3	Gear	G4	65	$m_n=1.5, \alpha=20, b=25, z=50$
	Rolling bearing	B5	10	Deep groove ball bearing 6206
	Rolling bearing	B6	90	Deep groove ball bearing 6206
	Reaction coupling	Output	110	

各々のシャフトは、以下のようなイメージになります。



## Defining gear connections

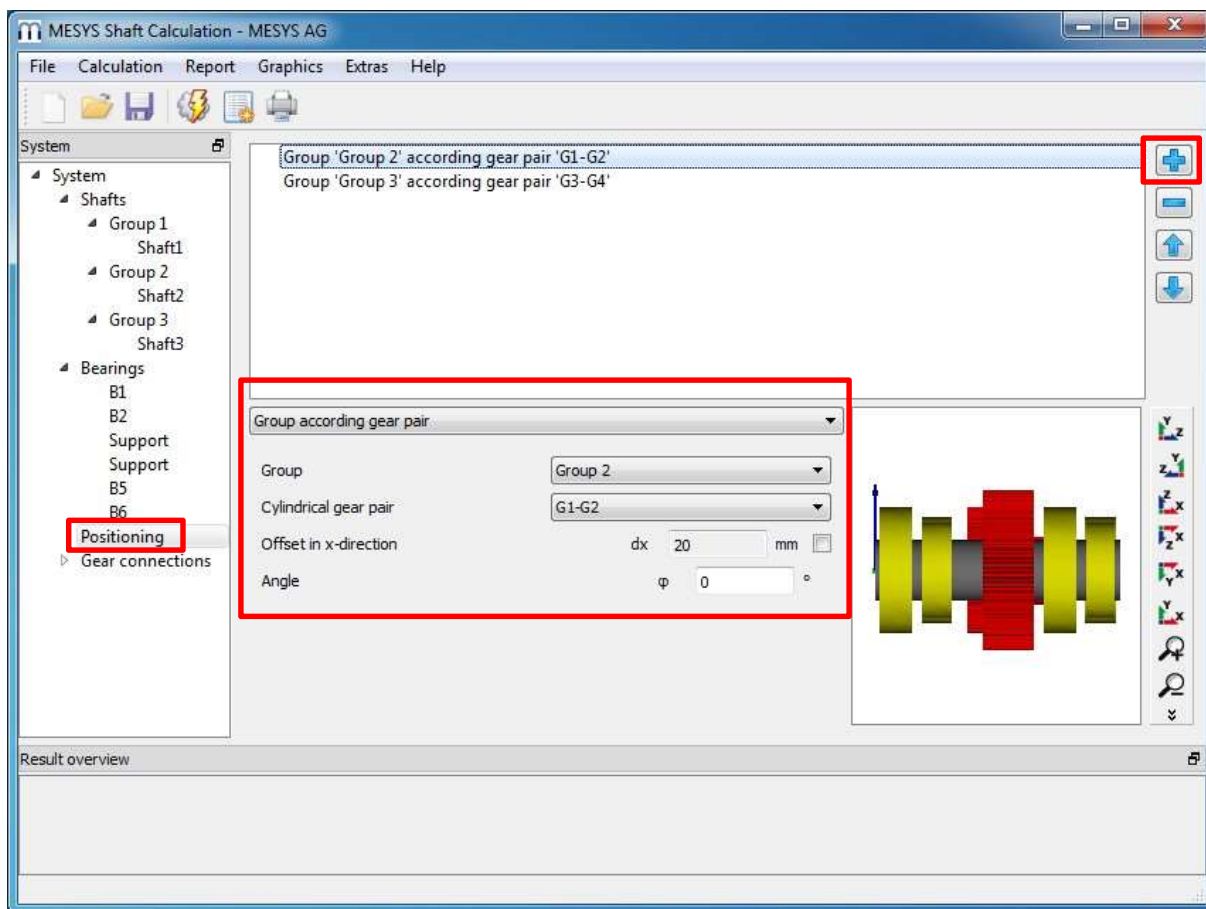
次のステップとして、歯車間の接続を設定します。これを選択するには、システムツリーで「Gear connections」を選択して、「円筒ギアペア」をクリックし、右の **+** ボタンで追加します。



ここで、接続するシャフトとギヤを選択します。最初のペアに G1-G2 を接続し、2 番目のペアを追加して G3-G4 を接続します。円周方向のバックラッシュとギアメッシュの剛性はここで変更できます。後で計算されるので、中心距離を入力する必要はありません。可能であれば、歯車強度計算の計算プログラムを選択することができます。

## Define positioning

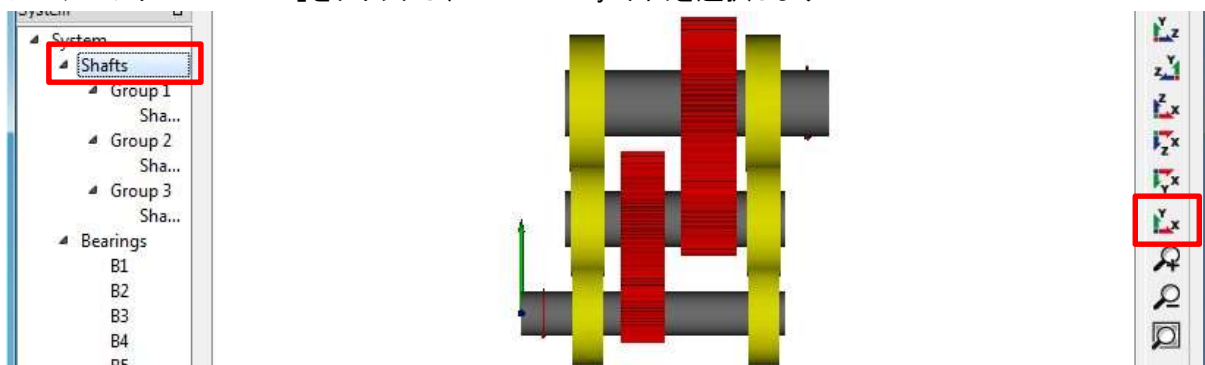
次のステップは、シャフトの位置決めを定義することです。このためには、システムツリーの「Positioning」を選択します。



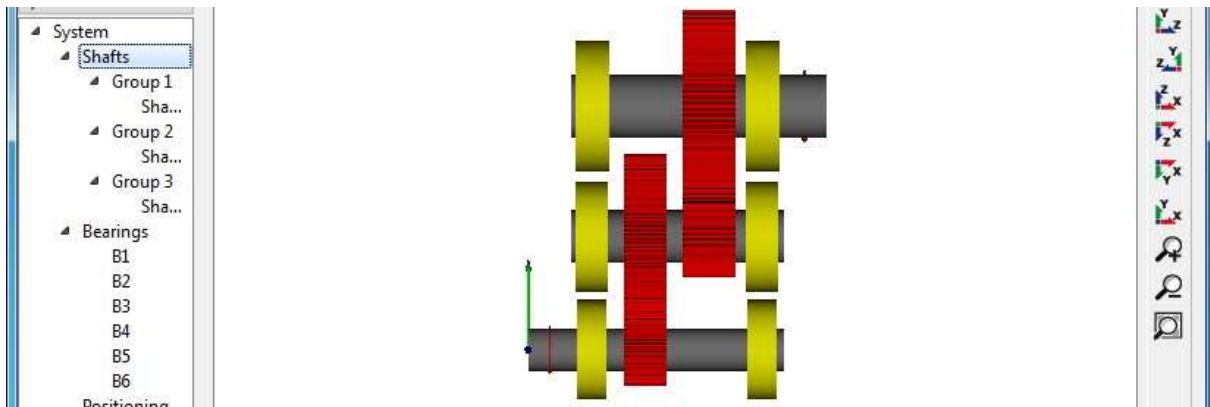
2つの拘束を ボタンを用いて追加します。いくつかの位置決めオプションがあります。

「ギアペアに合わせてグループ」を選択し、ペア「G1-G2」で「Group2」を配置、ペア「G3-G4」で「Group3」を配置します。この例では、角度を変更することができ、0度になります。すべてのシャフトの垂直方向を取得します。

システムツリーで「Shafts」をクリックし、ビューの x-y 平面を選択します：



ベアリング間に衝突があることがわかります。「Gear connections」に戻って、モジュールを「G1-G2」のペアを 1.25 に、「G3-G4」を 1.75 に変更します。その後、ベアリング間のスペースは小さくなりますが、衝突はありません。



## Running the calculation

計算を実行する前に、システムの色を定義する必要があります。'Shaft1'に 1000rpm の速度を入力します。他のすべてのシャフトでは、プログラムによって速度が計算されるため、速度の入力にあるフラグは設定しないでください。計算を実行した後、結果の概要は次のようになります。

General	Geometry	Loading	Supports
Name	Shaft1		
Material	Steel		
Position	x	0	mm
Speed	n	1000	rpm
Temperature	T	20	°C

Result overview			
Minimal bearing reference life	minL10rh	5206.8	h
Minimal static safety for bearings	minSF	3.31313	
Maximal displacement in x	maxUx	0.00125648	mm
Maximal displacement in z	maxUz	0.0391698	mm
Minimal root safety for gears	minGearSF	3.0644	
Maximal equivalent stress	maxSigV	45.3345	MPa
Minimal bearing modified reference life	minLnmrh	2696.97	h
Maximal bearing stress	pmax	2817.32	MPa
Maximal displacement in y	maxUy	0.0105804	mm
Maximal displacement in radial direction	maxUr	0.0395863	mm
Minimal flank safety for gears	minGearSH	1.1457	

歯車の安全係数は、選択した歯車計算プログラムに依存します。歯車の計算の詳細も入力しません。最小軸受寿命は 5200h、静的軸受安全率は 3.3 です。したがって、軸受に必要な寿命に依存するが、ベアリングは OK です。最小歯車の安全性はフランク面で 1.14、歯根元応力で 3 であるため、歯車も OK になります。

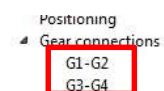
これにより、シャフトのジオメトリを詳細化し、ギアを最適化することができます。

## Gear calculations

歯車の計算には、'システム'ページの 'Required life'を定義する必要があります。また、ギアに応じてシャフトの直径が自動的に増加する「ギアを剛性として考慮」か、自分で歯車の剛性を軸のジオメトリに考慮する必要があります。

ギアの計算は、システムツリーでギアペアを選択することで開くことができます。歯車計算プログラムに依存して、シャフト計算プログラム内または別のウィンドウとして開くことができます。ギアのパラメータは変更することができ、ギアの計算を閉じる際に呼び込むことができます。

「ギア接続」ページには、各ギアのトルクとその安全係数が表示されています。「円筒ギアペア」を選択すると、ギアペアデータの概要が表に示されます。





Cylindrical gear pairs			T1 [Nm]	T2 [Nm]	SE1	SE2	SH1	SH2
G1-G2	20.00	48.00	3.52	3.69	1.37	1.47		
G3-G4	-48.00	-120.00	3.06	3.33	1.15	1.26		

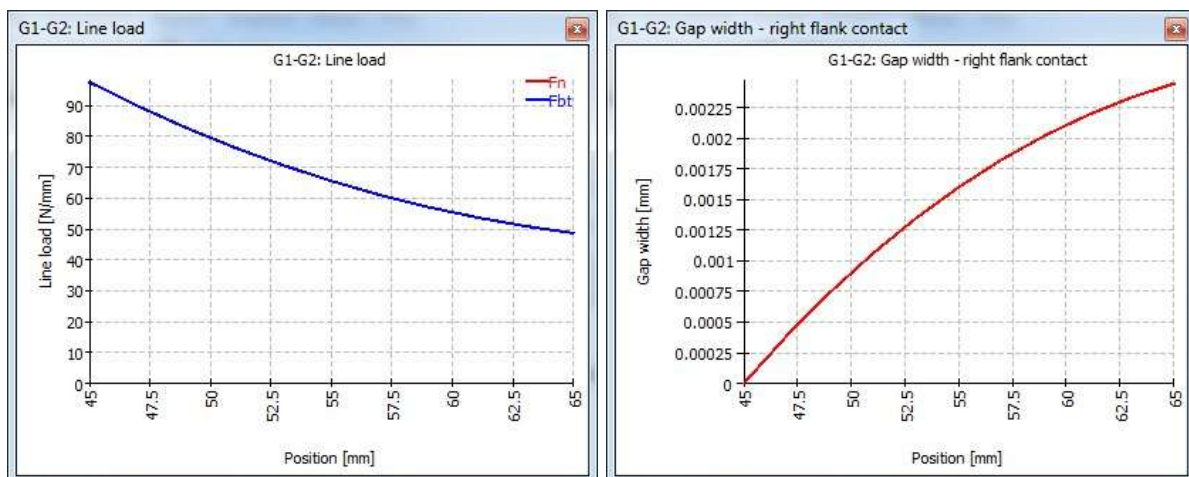
Bevel gear pairs			T1 [Nm]	T2 [Nm]
Worm gears			T1 [Nm]	T2 [Nm]

	G1-G2	G3-G4
Shaft 1	Shaft1	Shaft2
Shaft 2	Shaft2	Shaft3
P [kW]	2.0944	2.0944
n1 [rpm]	1000	-416.667
n2 [rpm]	-416.667	166.667
u	2.400	2.500
a [mm]	53.125	61.25
z1	25	20

## Graphics for gear pairs

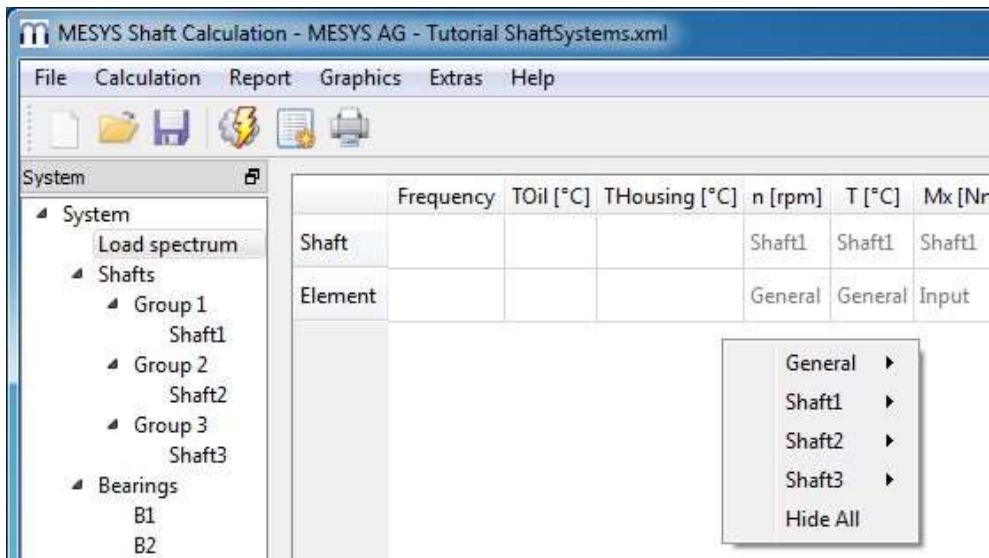
ギアペアの2つのグラフィックスが利用可能です。ライン荷重とギャップ幅です。




ギャップ幅は、コンタクトがちょうど1点にある場合のフランク間のギャップを示します。したがって、この場合、 $2\mu\text{m}$ のフランクライン補正を行うことができます。これらの図は、「歯車を剛性と考える」という設定で作成されています。ギアメッシュの剛性、シャフトおよびベアリング剛性は、これらの図に影響します。しかし、製造誤差やハウジング剛性も実際のギアボックスに影響します。





## Considering load spectra

荷重スペクトルはシステムに簡単に追加できます。'System'ページで 'Load spectrum'を選択し、新しいページ 'Load spectrum'に行きます：



マウスの右ボタンを押し、「Hide All」を選択します。次に、マウスの右ボタンをもう一度押し、'Shaft1' -> 'General' -> n と 'Shaft1' -> 'Input' -> 'Mx'を選択します。次に、下部に  button を使用して 2 行を追加します。

	Frequency	n [rpm]	Mx [Nm]
Shaft		Shaft1	Shaft1
Element		General	Input
1	0.7	1000	20
2	0.3	500	30

Run calculation for result element only      Result element      1                        

単純な荷重スペクトルの場合、頻度 0.7、速度 1000rpm、トルク 20Nm の第 1 のケースと、頻度 0.3、速度 500、トルク 30 の第 2 荷重ケースを追加します。

すべてのギヤとベアリングは荷重スペクトルを使用して計算されます。「ギヤ接続」ページには、各荷重ケースのトルクと、全スペクトルの安全係数が表示されます。

Cylindrical gear pairs	T1 [Nm]	T2 [Nm]	SF1	SF2	SH1	SH2
▲ G1-G2	-	-	2.46	2.58	1.18	1.27
1	20.00	48.00				
2	30.00	72.00				
▲ G3-G4	-	-	2.26	2.46	1.02	1.14
1	-48.00	-120.00				
2	-72.00	-180.00				
Bevel gear pairs	T1 [Nm]	T2 [Nm]				
Worm gears	T1 [Nm]	T2 [Nm]				

歯車接続の追加のグラフィックスでは、すべての荷重ケースのライン荷重が表示されます。

