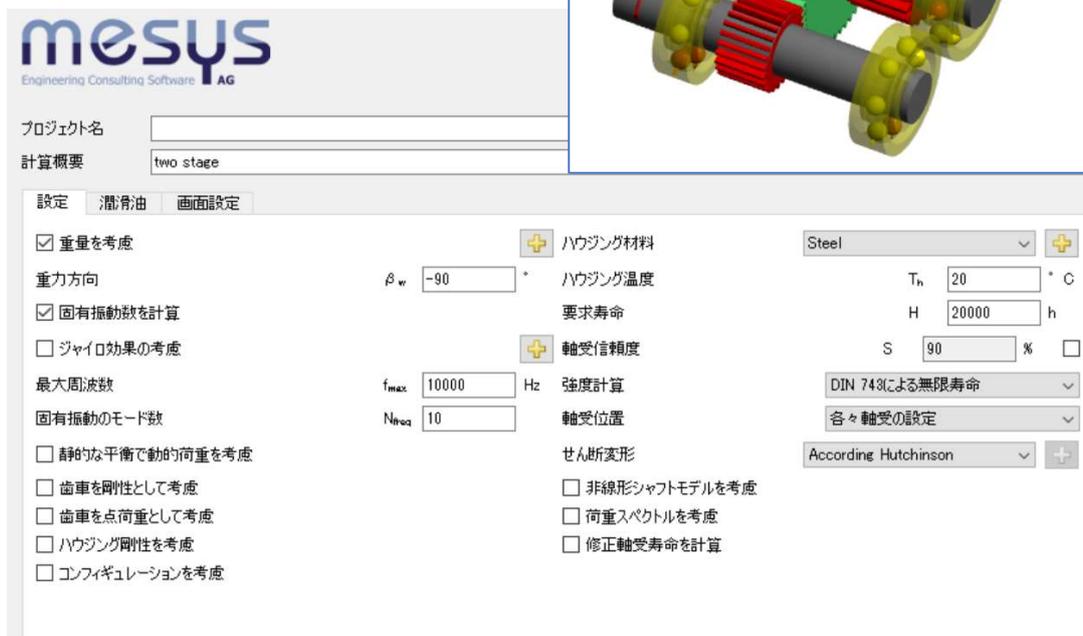


Tutorial: Calculation of a two stage gearbox

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 'System Data' configuration window in MESYS Shaft Calculation. It features a 3D model of a two-stage gearbox with yellow gears and shafts. The configuration panel includes the following settings:

- 設定** (Settings) tabs: 潤滑油 (Lubrication), 画面設定 (Screen Settings)
- 重量を考慮 (Consider weight)
- 重力方向 (Gravity direction): β_w -90 °
- 固有振動数を計算 (Calculate natural frequencies)
- ジャイロ効果の考慮 (Consider gyroscopic effects)
- 最大周波数 (Maximum frequency): f_{max} 10000 Hz
- 固有振動のモード数 (Number of natural frequency modes): N_{mod} 10
- 静的な平衡で動的荷重を考慮 (Consider dynamic loads with static balance)
- 歯車を剛性として考慮 (Consider gears as rigid)
- 歯車を点荷重として考慮 (Consider gears as point loads)
- ハウジング剛性を考慮 (Consider housing rigidity)
- コンフィギュレーションを考慮 (Consider configuration)
- ハウジング材料** (Housing material): Steel
- ハウジング温度** (Housing temperature): T_h 20 °C
- 要求寿命** (Required life): H 20000 h
- 軸受信頼度** (Bearing reliability): S 90 %
- 強度計算** (Strength calculation): DIN 74%による無限寿命 (Infinite life according to DIN 74%)
- 軸受位置** (Bearing position): 各々軸受の設定 (Settings for each bearing)
- せん断変形** (Shear deformation): According Hutchinson
- 非線形シャフトモデルを考慮 (Consider nonlinear shaft model)
- 荷重スペクトルを考慮 (Consider load spectrum)
- 修正軸受寿命を計算 (Calculate corrected bearing life)

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

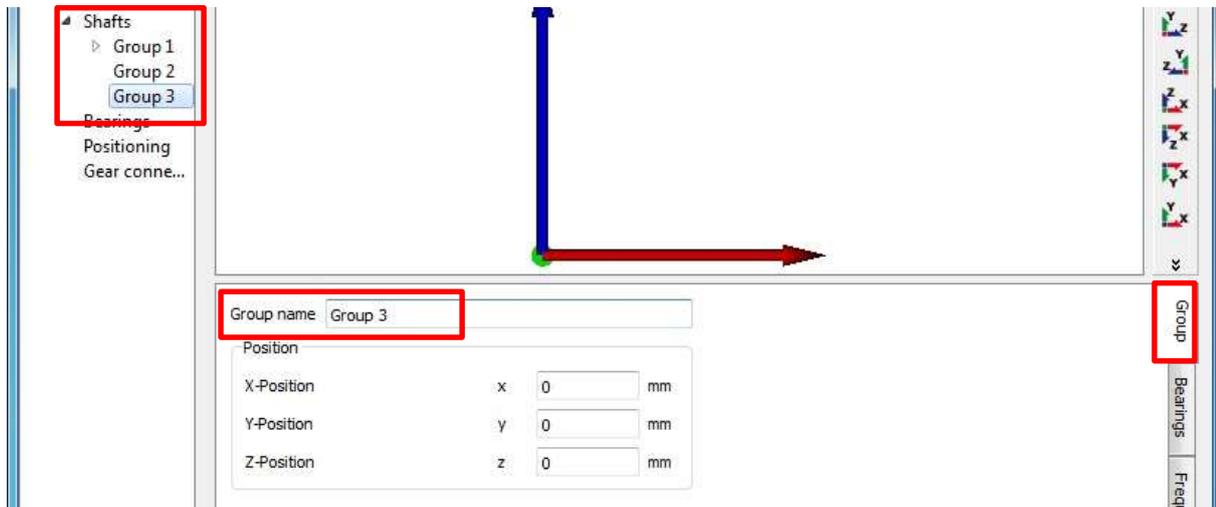
システムとして、平行シャフトグループを利用して行きます。
システムツリーでシャフトを右クリックして、3つのグループを追加します。
以下の3つのグループの名前を与えます。

Group 1

Group 2

Group 3





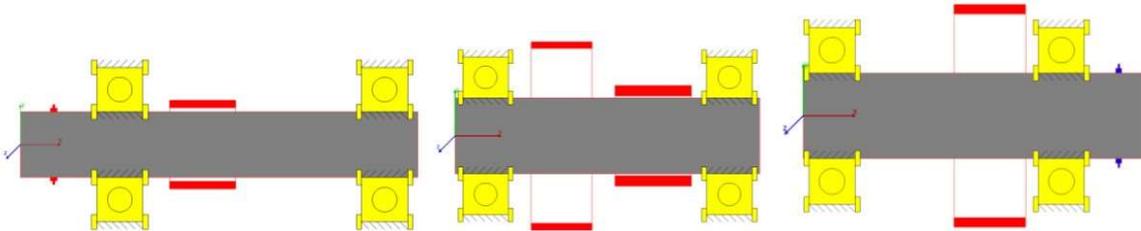
今度は、各グループごとにシャフトを追加し、シャフト 1 からシャフト 3 と名付けます。

| グループ | シャフト名 | 長さ | 直径 |
|---------|--------|-----|----|
| Group 1 | Shaft1 | 120 | 20 |
| Group 2 | Shaft2 | 100 | 25 |
| Group 3 | Shaft3 | 120 | 30 |

シャフトには以下の要素を追加します：

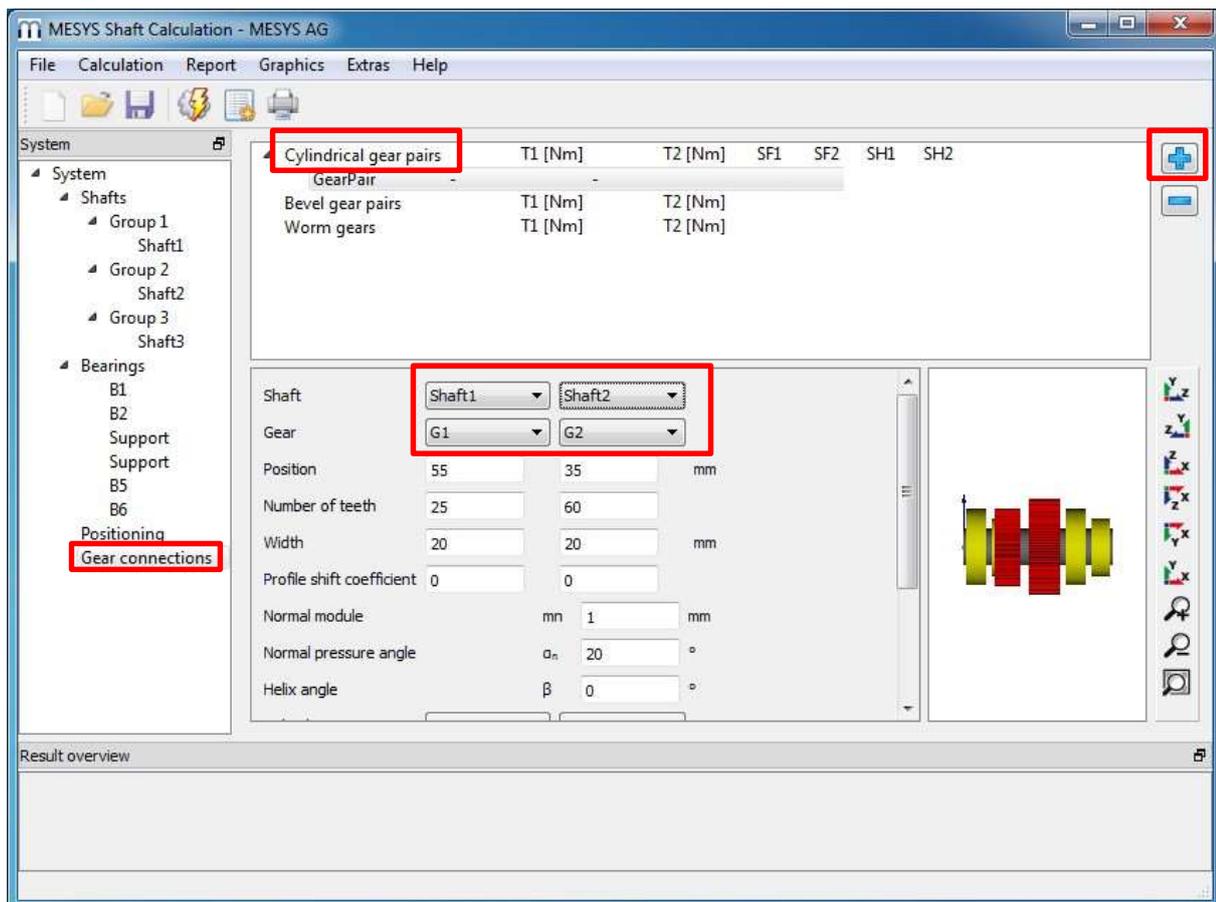
| Shaft | Element | Name | Position | Parameters |
|--------|-------------------|--------|----------|---------------------------------|
| Shaft1 | Coupling | Input | 10 | $M_x = 20Nm$ |
| | Gear | G1 | 55 | $mn=1, \alpha=20, b=20, z=25$ |
| | Rolling bearing | B1 | 30 | Deep groove ball bearing 6204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

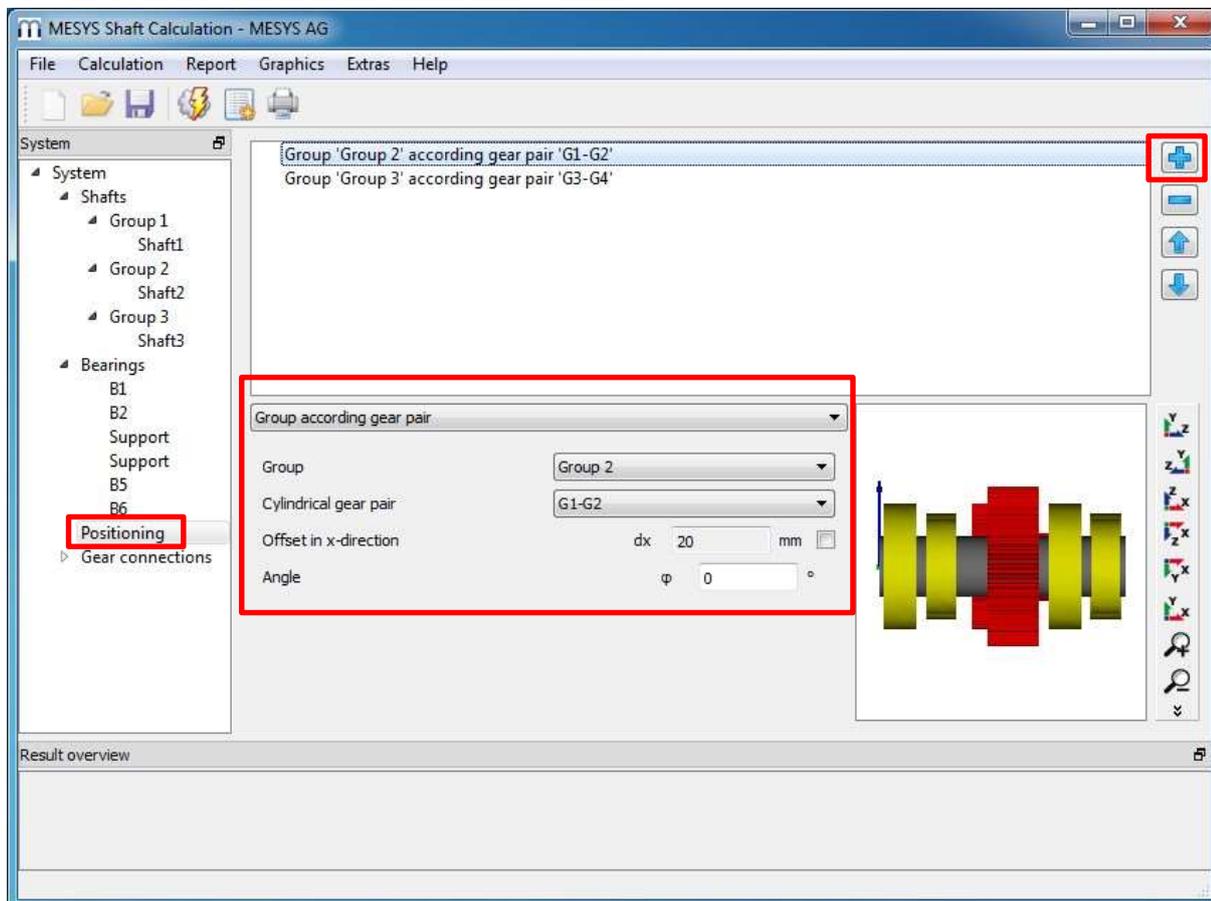
次のステップとして、歯車間の接続を設定します。これを選択するには、システムツリーで「Gear connections」を選択して、「円筒ギアペア」をクリックし、右の **+** ボタンで追加します。



ここで、接続するシャフトとギアを選択します。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

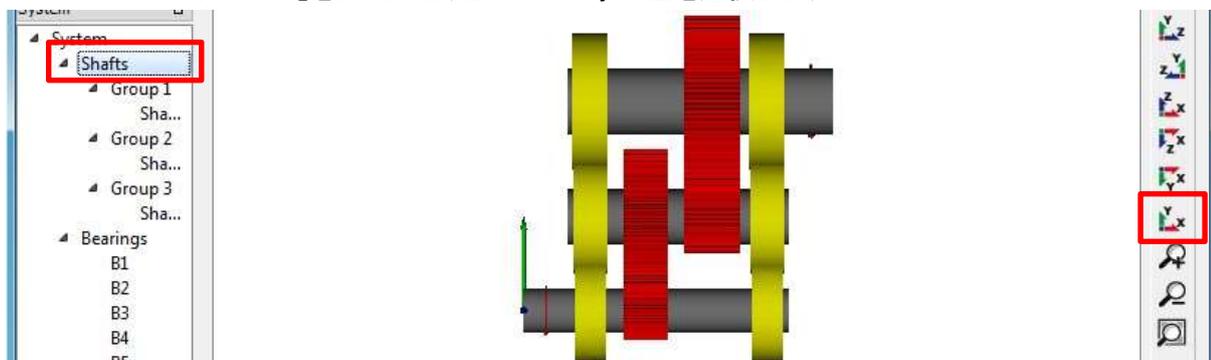
次のステップは、シャフトの位置決めを定義することです。このためには、システムツリーの「Positioning」を選択します。



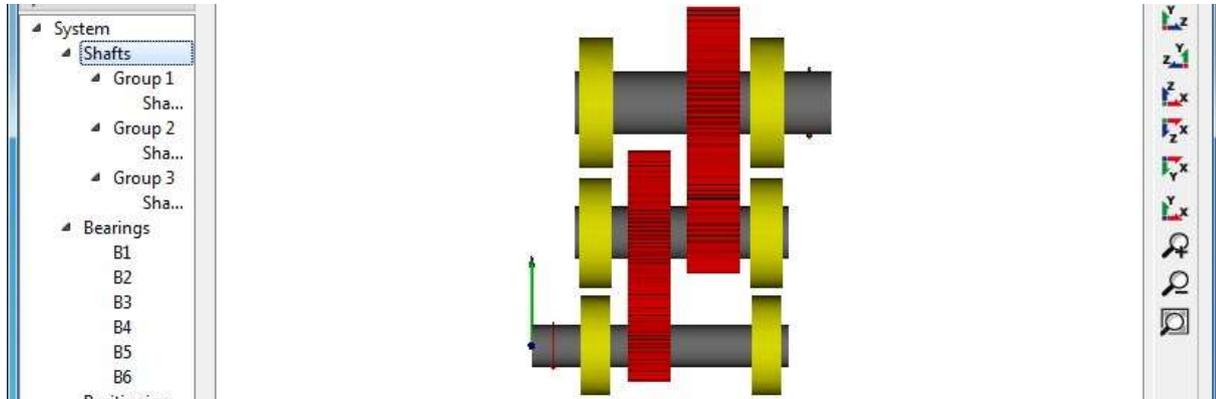
2つの拘束を ボタンを用いて追加します。いくつかの位置決めのオプションがあります。

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度にします。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。

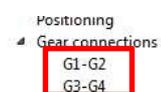
| General | Geometry | Loading | Supports |
|-------------|----------|---------|----------|
| Name | Shaft1 | | |
| Material | Steel | | |
| Position | x | 0 | mm |
| Speed | n | 1000 | rpm |
| Temperature | T | 20 | °C |

| 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 (オプション)

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



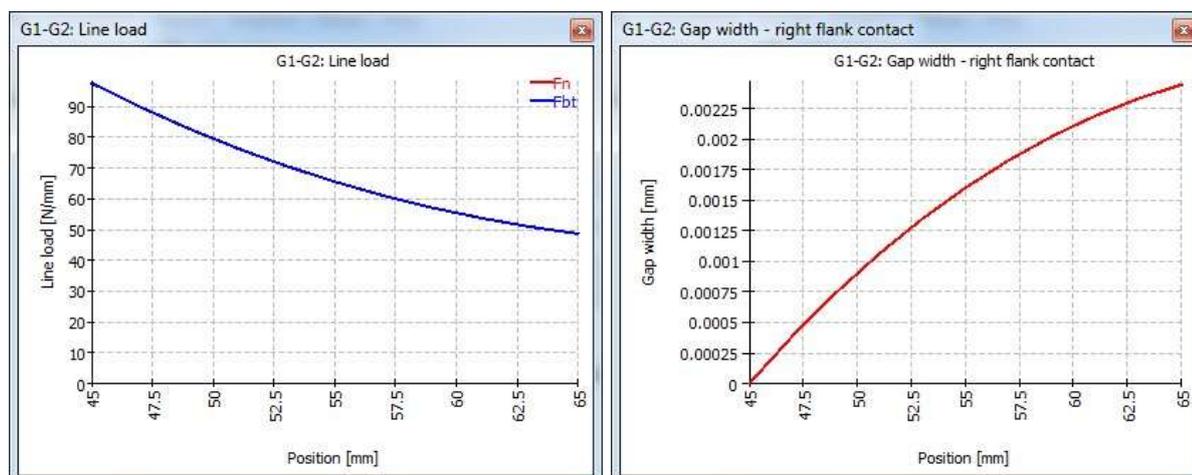
車計算プログラムに依存して、シャフト計算プログラム内または別のウィンドウとして開くことができます。ギヤのパラメータは変更することができ、ギヤの計算を閉じる際に呼び込むことができます。「ギヤ接続」ページには、各ギヤのトルクとその安全係数が表示されています。「円筒ギヤペア」を選択すると、ギヤペアデータの概要が表に示されます。

| Cylindrical gear pairs | | T1 [Nm] | T2 [Nm] | SF1 | SF2 | 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 |

| | 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

ギヤペアの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。

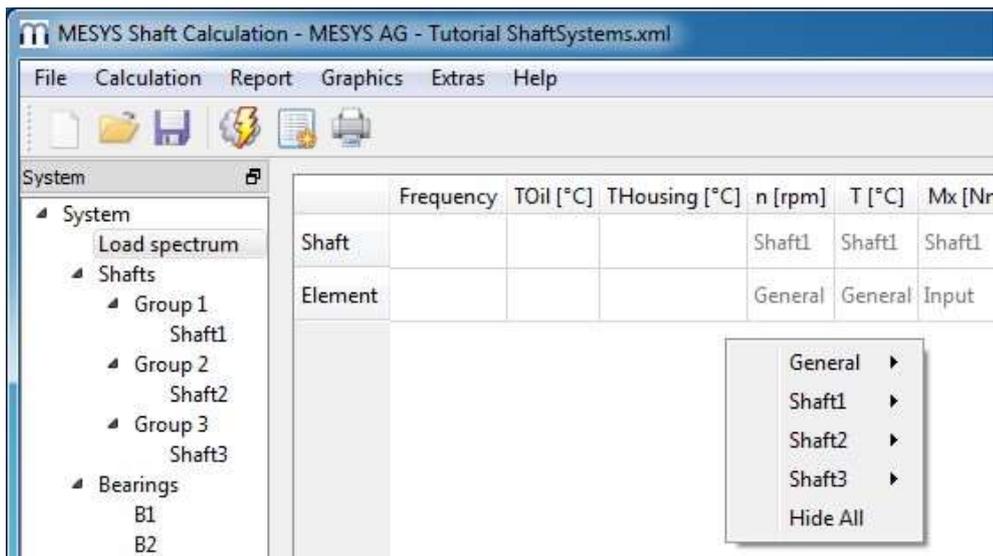


ギャップ幅は、コンタクトがちょうど1点にある場合のフランク間のギャップを示します。したがって、この場合、2 μ m のフランクライン補正を行うことができます。これらの図は、「歯車を剛性と考え」と

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。

