

フライホイールエネルギー貯蔵システム の材料コスト 50%削減

概要

毎分 2 万回転中半の角速度で回転する 150 ポンドのローターを使用して、フライホイールエネルギー貯蔵システムを設計する際には、ストレス、振動、封じ込めの安全性、熱問題のすべてを解決する必要があります。しかし、マサチューセッツ州ウィルミントンにある電気通信業界のエネルギー貯蔵システムのリーディングメーカーであるビーコンパワー社（Beacon Power Corporation）のローター・ダイナミックスの David Ansbikian 氏によれば、物理的試験のためのプロトタイプを開発することは時間と費用が非常に掛かります。設計効率を向上させるために、プロトタイプと物理的テストの費用を負担する前に、MSC Patran、MSC Nastran、MSC Dytran を導入して問題をシミュレートしました。副次的なメリットとして、ビーコンパワーは材料コストを 50%削減しながら設計を改善しました。

「MSC ソフトウェアがなければ、ローターの動特性を解析することはできません。MSC Nastran は、複素固有値解析、周波数応答解析、および非線形解析を解決する際にジャイロスコープの硬化影響を含む完全な 3D 有限要素モデルを実行できる唯一のコードであることがわかりました。複素固有値解析により、さまざまなローター設計のキャンベルダイアグラムを作成することができます。周波数応答解析は、アンバランスに応じたローターの支持変位と荷重を与え、非線形解析は地震の影響を特定します。」と Ansbikian 氏は言いました。「設計時間を大幅に短縮し、スループットを少なくとも 5 倍向上させました。私は、MSC Software エンジニアによって特別に調整された MSC Patran / MSC Nastran の組み合わせを使用して、回転構造のジャイロスコープ効果を解決するために、1 日で 2 ~ 3 回の設計の繰り返しをすることができます。CAD システム（Pro-E）から MSC Patran にさまざまなデザインを直接インポートし、有限要素モデルを作成することができます。その後、モデルは MSC Nastran を使用して実行され、結果データベースが MSC Patran にシームレスにインポートされて結果処理されます。明らかに、MSC Patran と MSC Nastran の助けを借りて、より多くの設計を繰り返すことができます。

背景

ビーコンパワー社が設計・製造したフライホイールエネルギー貯蔵システムは、250 ポンドの複合材リムを毎分 2 万回転中半まで回転させて、モーター/発電機は電気エネルギーを貯蔵用運動エネルギーに変換します。磁気ベアリングと真空システムにより、摩擦と抗力が事実上なくなるため、フライホイールは効率的に長時間回転します。

通常の動作では、電気事業者はフライホイールを動作速度まで駆動する充電電流を供給します。摩擦は事実上なくなるため、定格速度を維持するために必要な電力はわずかです。停電が発生すると、回転するフライホイールは瞬時に運動エネルギーを電気エネルギーに変換します。放電するまで、フライホイールが減速しながら変換が継続します。

振動解析

Beacon Power が MSC Nastran を購入した主な理由の 1 つは、そのジャイロスコープモーメントと固有値解析能力のためです。MSC Nastran のこれらのユニークな機能により、回転速度が上昇するに従い危険速度と支持荷重を解析することができます。満たされなければならない一定の動的要件が存在し、最大動作速度では、前方円筒形旋回周波数が後方第 1 曲げモードよりも低く、ある特定の要因となっています。速度が増加するにつれて、後方曲げモードが前方旋回モードに近づくと、ユニットは不安定になります。Ansbikian 氏は次のように説明しています。「ローターの 3 次元有限要素モデルを開発する必要がありました。これには、スピン速度の関数としてローターにジャイロスコープの硬化影響を加え、キャンベルダイアグラムをプロットします。これは、速度が増加するにつれて後方第 1 曲げモードと比較した前方円筒形旋回モードを示しました。後方第 1 曲げの周回周波数が前方円筒形旋回の一定の係数倍であれば、安定した良好な設計が得られます。」

安定性解析

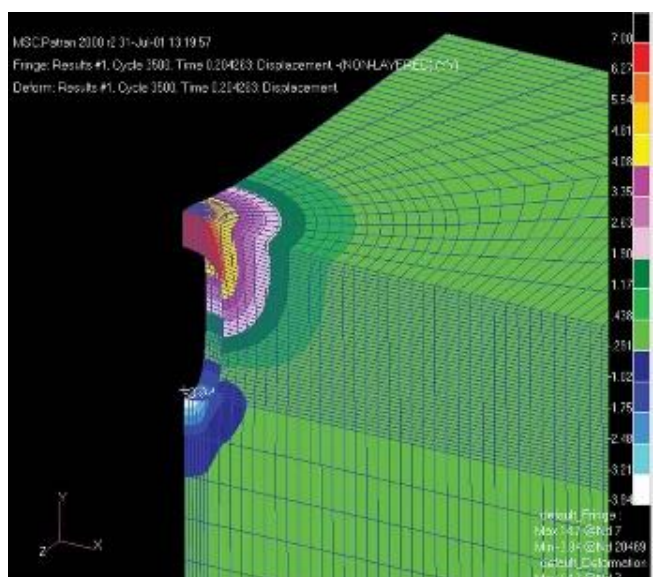
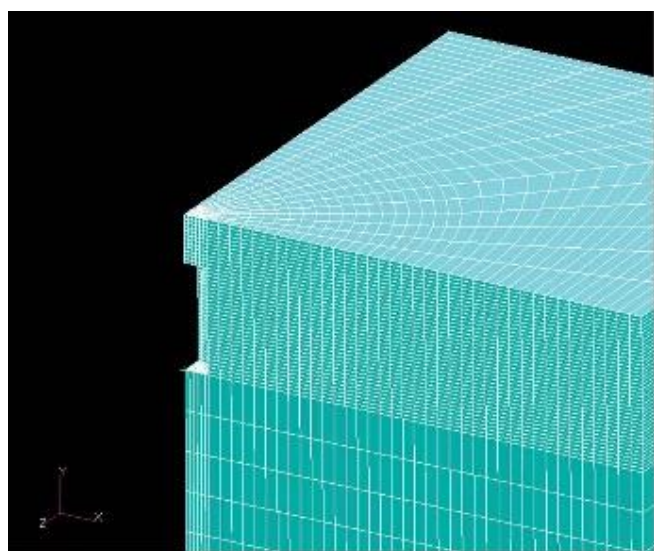
実施されている他の非常に重要な解析には、減衰が掛かったローター安定性の詳細な評価が含まれます。この解析では、外部粘性減衰と内部ヒステリシス減衰の両方の効果をローターの有限要素モデルに組み込む必要があります。MSC Nastran を使用すると、ロータ

ー - ステータシステムの有限要素シミュレーションは、内部摩擦の影響をモデリングすることで改善できます。これにより、ターボ機械の安定性を検討する際の側面が増し、エンジニアがベアリング特性を適切に選択して安全な高速動作を保証するのに役立ちます。

Ansbigian氏は次のように説明しています。「不安定にならないように、危険速度での安定性を保証するには、どれくらいのダンピングが必要かを判断する必要があります。MSC Nastranは、我々に様々な外部ダンピング値に対するローターの安定性の扱い方を与えました。」

安全性のテスト

ローター内で最高動作速度で故障が発生した場合は、それを制御しなければならず、安全性を最優先事項として考慮する必要があります。数年前、地下安全テストが行われました。システムは、ユニットの上部が地下の4フィートに位置するように埋められました。最高速度で回転している間、ローターを意図的に破損し、その後の地面の動きが測定された。MSC Dytranは、最初の安全性テストから放出されたエネルギーを推定するために使用され、ユニットの上になぜか2フィートの土壌がある場合に起こることを予測します。



Ansbigian氏は次のように説明しています。「地下にあるユニットの FEA モデルを構築し、その周囲に土壌をモデル化し、その上に深さをパラメトリックに変化させました。(有限要素モデルを図2に示します)。ユニットに圧力時間履歴を入力し、時間の関数として土壌挙動の上昇を測定しました。最初の安全性試験と MSC Dytran をマッチングさせることができました。これにより、他の深さにおいて、何が起こるかを予測することができました。この解析では、テストを実行する前に、何が起こるかについて貴重な洞察を得て、ユニットの設置時に設計を改善することができました。さらに、MSC Dytran は埋没の深さを2フィートに減らすことができることを示しました。」

50%材料削減

現場でのコスト削減のためのプログラムでは、考慮すべき第一の課題は材料です。フライホイールエネルギー貯蔵システムは、複合材料で作られたローターを備えたアルミニウムとスチールできています。ステーター（固定部品）を MSC Nastran で解析して、ステーターの厚みを決定しました。Ansbigian氏は次のように説明しています。「当社のソフトウェアは、特定の周波数要件に対するステーターの設計と解析を支援しています。これは製造がこの部分をどう構築するかにはっきりと影響します。以前の設計は材料の鋼片から機械加工されていました。コスト削減の大きな要因として、肉厚を薄くした鋳物を使用したかったので、新しい構造設計構成に基づいて解析を実行しました。第1世代と比較して、第2世代の材料費は50%削減されました。次世代はもっと低くなることが期待されています。」

プロトタイプ of 物理的なテストは、新しいデザインが承認される前の最後のチェックとして主に使用され、シミュレーションと実際の結果との間の相関関係を提供します。Ansbigian氏は次のように説明しています。「周波数シミュレーションは測定データの10%以内であり、非常に良いと考えられています。また、コストを削減し、市場投入までの時間を短縮しました。今、我々は一次校正を行うために要した時間と同じで、かなり洗練された結果を得ることができます。」

将来について

Beacon Power が設計プロセスの早い段階でシミュレーションを利用して成功したことにより、「当社のエンジニアのほとんどは、MSC Patran と MSC Nastran を使用したシミュレーションで訓練を受けており、より強力な技術組織となり、製品やプロセスに直接影響を与え、コストを削減し、製品を改善します。」と Ansbigian氏は述べています。

