

定常運転時の回転機特性を高速に解析する手法を開発

1. はじめに

モータや発電機といった回転機の定常運転時における特性を数値計算で事前に把握しておくことは大変重要である。ところが、磁束変動による渦電流を伴う場合、あるいは外部回路と連結した電圧駆動で運転する場合、回転機の構成材料である電磁鋼板のもつ非線形磁気特性により、定常運転時の状況を直接求めることは困難である。このため、通常、過渡応答解析において収斂するまで延々と解析して求める場合が多い。2次元解析モデルに限定すれば、時間軸方向にも変数を配置して、時間周期有限要素法により求めることはできるが、3次元解析では変数の数が膨大になり、実用的ではない。これに対して、この3年間に過渡解析で定常状態に収斂させる解析技術が次々に開発された。TP-EEC (Time Periodic Explicit Error Correction)法や3相交流簡易 TP-EEC 法が考案され、その登場に刺激を受け、当研究室で開発したのが TDC (Time Differential Correction)法である。ここでは、これについて紹介する。

2. TDC 法の概要

回転機の固定子は、通常、半周期性をもつ場合が多い。この場合、半周期で場が反転するため、この特性を利用して定常場への収斂を早めるための補正を実施するのである。回転機内には、運転基本周波数の回転磁場が存在するが、過渡解析では、初期値が定常場からかけ離れたものになっているために、時定数の長い直流成分や超低周波の減衰成分が存在し、これにより長時間の過渡解析を必要としていた。この直流成分や超低周波の減衰成分を除去して、効率的に定常交流成分を残すために、時間微分を利用する。時間微分による高調波成分の増幅を防止するために、主要高調波成分の周期で時間平均をかけた後に時間微分する。2階微分により、時定数の長い直流成分はカットされ、基本波成分を近似的に抽出できる。これにより、効率的に定常場に収斂させることができる。

なお、高調波成分がほとんどない滑らかな波形を描く場合、平均操作は不要であり、1回の補正で定常場に到達できる。TDC 法のみでも十分な場合は多いが、解が厳密に定常に達していない場合は、TDC 補正後に簡易 TP-EEC 法あるいは3相交流簡易 TP-EEC 法で補正をかけることが有効である。ここで、簡易というのは本来の補正処理に必要な行列計算をなくして計算コストを抑えた簡易版を意味する。

3. 数値計算例

図1には回転子側に永久磁石を埋め込んだ典型的な同期モータの計算モデルを示す。このモータには3相交流の外部回路が連結されており、有限要素法を用いて正弦波電圧入力による回路連成非線形磁界解析を実施した。過渡解析で得られたトルク波形を図2に示す。1周期は180時間ステップに相当する。図には、補正なしの場合、簡易 TP-EEC 法で補正した場合、3相交流簡易 TP-EEC 法で補正した場合、ならびに TDC 法で補正した場合の結果を示す。補正がない通常の解析では、なかなか定常状態には達していない。簡易 TP-EEC 法では300ステップで、3相交流簡易 TP-EEC 法では120ステップで、TDC 法では最速の15ステップで定常に達する。

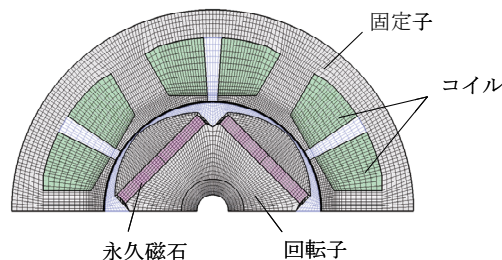


図1 計算に用いた永久磁石同期モータのモデル図 (周期性により 1/2 の部分をモデル化)

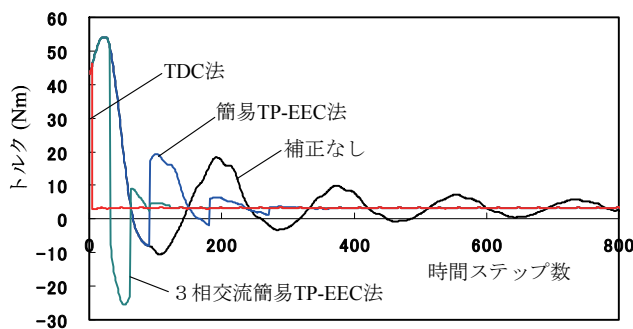


図2 過渡解析結果 (トルク波形)

4. おわりに

今回紹介した高速定常場解法は、同期モータでは広く利用することができ、既存の磁界解析ソフトウェアに容易に組み込むことができ、さらに補正にかかる計算コストは極めて微小である。なお、すべりの小さな誘導電動機では超低周波の定常場が発生するために、現状の TDC 法でも定常場を求めるのは難しいため、今後の課題としたい。

宮田 健治 (株式会社日立製作所)
(平成 23 年 9 月 29 日受付)