801 FST方式油圧駆動回路のシミュレーションによる特性解析

Simulation Analysis of FST Oil-hydraulic Drive Technology

○学 斎藤 隆允 (横浜国大)

准 鈴木 茂 (田村電機製作所)

正 伊東 孝彦 (雪ヶ谷制御研究所)

正 眞田 一志 (横浜国大)

Takanobu SAITO, Yokohama National University, 79-5, Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama, Kanagawa
 Shigeru Suzuki, Tamura Electric Works, Ltd., 2-2-3, Shimomeguro, Meguro-ku, Tokyo
 Takahiko Itoh, Yukigaya Institute Co. Ltd, 2-12-12-203, Shin-Yokohama, Kouhoku, Yokohama, Kanagawa
 Kazushi SANADA, Yokohama National University, Tokiwadai 79-5 Hodogaya Yokohama, Kanagawa

Key Words: FST, Oil-hydraulics, Simulation

1. はじめに

近年, 様々な分野において「地球環境問題」が取りざたされている. 油圧機器においては, クリーンで安全性が高く, さらに高効率であることが求められている. そこでこれらの課題を解決すべく考案された, 新しい油圧制御方式 (FST: Fluid Switching Transmission) をとりあげ, そのシミュレーションモデルを作成し, 実験結果と比較することでモデルの有効性の検証を行うこととした.

2. FST について

FST は駆動側一被駆動側の動力伝達を行う無段変速機であり, Fig.1 に示すように, 定容量形ポンプ, 定容量形モータおよびアキュムレータで構成されている. 補助フライホイールを付加して慣性モーメントを適正に設定した定回転モータを駆動源とし, 切替弁を開閉させて流量を調節することで, 系内の圧力を変化させ, 可変容量形ポンプと等価な動作を実現させた新しい油圧制御手法である. 切替弁を, 駆動側の入力軸回転数, 負荷側の速度およびアキュムレータの圧力をフィードバックし, 制御アルゴリズムに基づいて開閉操作を行った. 本論文で発表する実験では, 車両等の転がり抵抗, 空気抵抗, 慣性質量を模擬するため, 被駆動側の油圧モータにフライホイールを接続することとした.

Fig.1 FST Oil-hydraulic Circuit

駆動源に用いた IPM モータ (3.7kW) を, 油圧ポンプが高い効率を示す回転数の範囲内で一定回転数に固定したまま, 切替弁の開閉操作のみで, 流量と圧力の積を一定に保持する可変容量形ポンプの理想特性を, 極めて高い効率で実現した. また, 常用変速比範囲が極めて広いという特徴があり, 定容量形ポンプの有効性が検証された. さらにエネルギー貯蔵用フライホイール等と組み合わせることに

より, 車両等のブレーキング時の動力を回生させることも可能であり, 省エネルギー化にも貢献する. 車両負荷を模擬したフライホイールを FST で駆動させた様子を Fig.2 に示す.

Fig.2 Experimental results

3. FST のモデル化

FST の特性解析を行うため, 実験装置をモデル化してシミュレーションを行うこととした. 油圧ポンプ, 油圧モータ, アキュムレータの基礎式, フライホイールの運動方程式を立て, これらに各種損失を付加した. 高精度なモデルを作成するため, 機器のカatalog値や理論計算をもとに損失を算出した.

油圧モータでの損失トルク, 切替弁, チェック弁, フィルタでの圧力損失はCatalog値に基づく. さらに実験装置は二つの油圧モータを用いて油圧回路を構成し, 一方をポンプとして動作させているため, 油圧ポンプでの圧力損失は油圧モータのCatalog値をもとに推定した.

管路での圧力損失, フライホイールでの損失トルクは理論

計算に基づく。管路は円管内走流、ベンド管、エルボ管について計算を行い、フライホイールは流体摩擦損失、速度に起因する軸受け損失、荷重に起因する軸受け損失について計算を行った。

アキュムレータは窒素ガスがポリトロプ変化をするものとして計算した。

IPM モータはインバータにより一定速度制御が行われているが、その制御則は不明である。そこで速度の P 制御系を構成し、トルクの上限值を設定してこれを模擬した。

さらに油温変化をシミュレートできるモデルを作成した。油圧回路全体の損失エネルギーが作動油の温度上昇に使われ、タンクから放熱されるとし、油温上昇の係数および放熱係数を Fig.3 に示す実験結果より推定した。Time:0~1000 s では温度上昇の遅延が見られるが、これは温度上昇のほとんどが油圧ポンプおよび油圧モータによるものであり、温度上昇した作動油が循環するのに時間がかかるためであると考えられる。

最終的に、損失を付加した基礎式や運動方程式をラプラス変換し、切替弁によるスイッチング機能を付加したモデルのブロック線図を作成し、Matlab の Simulink を用いてシミュレーションを行った。

Fig.3 Experimental results of oil temperature

4. シミュレーション

理論値のみによるシミュレーションでは実験結果と一致しなかった。これは機器ごとに見積もった損失の精度に起因するものと考えられる。

アキュムレータ窒素ガスのポリトロプ指数はカタログ値を参考にしたが、圧力や時間の関係が規定範囲内になかった。そこで実験データをもとにし、ポリトロプ指数を若干高めに設定した。また本実験では二つの油圧モータで構成したが、駆動側では油圧ポンプとして動作させており、被駆動側でも切替弁の状態によっては油圧ポンプとして動作する。そのため損失トルクが推定値とは異なることが予想された。しかし油圧ポンプおよび油圧モータはフライホイールと直結されており、単独での損失トルクを測定することができない。そこで被駆動側のフライホイールの損失トルクを若干高めにすることで、実験結果とのマッチングを図った。シミュレーション結果を Fig.4 に示す。

5. モデルの精度検証

シミュレーションを評価する指標として、FW2 が設定回転数に到達するまでの時間、FW2 が 1500 rpm を超えてからの圧力振幅を実験結果と比較した。その結果、実験とシミュレーションはほぼ一致した。詳細に実験結果とシミュレーション

を比較すると、若干一致しない箇所もある。これは機器ごとに見積もった損失の誤差の他に、シミュレーションモデルで入力となっている IPM モータのトルクを速度の P 制御系で模擬しており、実際のトルクとの誤差が影響しているためであると考えられる。

しかし電磁弁切替アルゴリズムのパラメータを変更し、運転条件を変更した場合でも、実験とシミュレーションはほぼ一致した。このことから、ポリトロプ指数および被駆動側フライホイール損失トルクの値を若干高めに見積もる手法は有効であり、高精度なシミュレーションモデルを確立できたと言える。

6. 今後の課題

本研究のシミュレーションでは作動油の温度上昇を考慮した。油圧回路全体の温度は場所によらず一定としている。しかし実際には、回路の損失の大半が油圧ポンプ、油圧モータによるものであり、これらの部分での油温はタンク内の油温よりも高くなる。作動油の温度上昇は管路損失に影響を与えるため、温度分布の影響があると考えられる。

また本実験では二つの油圧モータを用いて油圧回路を構成したが、油圧モータをポンプとして動作させたときの諸特性を実測し、シミュレーション精度を高めることも検討したい。

このように、シミュレーションモデルの高精度化を目指した課題はあるものの、より重要な課題として応用分野への適用を前提としたシミュレーションモデルが開発できたと考えられる。FST を実際の装置に応用する際のフィージビリティスタディが望まれる。

7. 参考文献

- (1) 日本油空圧学会編：油空圧便覧，オーム社，1999，17-162
- (2) J. ブレンドライン，P. エッシュマン，L. ハスバルゲン，K. ワイガンド：ころがり軸受実用ハンドブック，工業調査会，1996，193-203
- (3) 古谷善正，村上光清，山田豊：流体工学，朝倉書店，1995，192-207

Fig.4 Simulation results