

ポンプ供給圧低減による水圧モータシステムの高効率化

八木澤遼*, 伊藤和寿**, Pham Ngoc Pha ***

Energy Efficiency Improvement of Water Hydraulic Motor System with Reducing Pump Supply Pressure

Ryo YAGISAWA*, Kazuhisa ITO**, Pham Ngoc Pha***

Water hydraulic systems are an outstanding driving source because they have no risk of environmental pollution and fire hazard. However, conventional water hydraulic systems, as well as oil hydraulic systems, have larger energy loss for pressure loss through mainly control valves. In oil hydraulic systems, load sensing systems have been widely applied with a variable displacement pump for reducing pump supply energy. In contrast, water variable displacement pumps have not yet responded to a wide range of fields because they have only a few lineups on the market. In this study, the energy-saving is achieved by developing a novel water hydraulic circuit. This paper focuses on a water hydraulic motor system and aims for reducing pump supply energy with a fixed displacement pump. The pump of the proposed system supplies the required minimum energy for driving the water hydraulic motor. The experimental results showed that the proposed system could be operated in approximately 60[%] of required energy of the conventional system.

Key Words : Water hydraulic system, Motor velocity control, Energy-saving, Fixed displacement pump, Experiment

1. はじめに

水圧システムは、油圧システムで作動流体として用いられる作動油のかわりに清水を用いる。そのため、機器の潤滑や耐食性の問題が生じるものの、高い洗浄度と低い環境負荷を特長とし、様々な分野に適用されている¹⁾。しかし、水圧システムは油圧システムと同様に、制御弁において絞り損失が発生するため、ポンプの供給圧をこの分高く取らざるを得ず、結果的にエネルギー効率の低下につながっている。これに対し、油圧システムでは、可変容量ポンプを用いたロードセンシングシステムの導入が成されている。しかし、水圧システムにおいては、内部漏れや材料選定の難しさから、可変容量ポンプがほとんど市場に出回っておらず、広い分野に適用し、かつ省エネルギーなシステムを構築することが難しくなっている²⁾。

本研究では、固定容量ポンプを用いた水圧モータ駆動回路に対し、ポンプの供給圧を低減させるための回路を提案する。そして、その回路と従来の水圧モータ駆動回路の制御性能およびポンプの供給エネルギーを実験により比較する。

記号

e : 誤差, E : エネルギー

p : 圧力, q : 流量

ω : 回転速度

略称

Conv. : 従来回路, CV : チェック弁

FW : フライホイール, M : 原動機

On/Off : On/Off 弁, Prop. : 提案回路

RV : リリーフ弁, SV : サーボ弁

UV : アンロード弁, WHM : 水圧モータ

添え字

Conv. : 従来回路, FW : フライホイール

L : 負荷, n : $n = 1, 2$

Prop. : 提案回路, ref. : 目標

s : ポンプからの供給

2. 提案回路

本研究で提案する水圧モータ駆動回路を Fig.1 に示す。

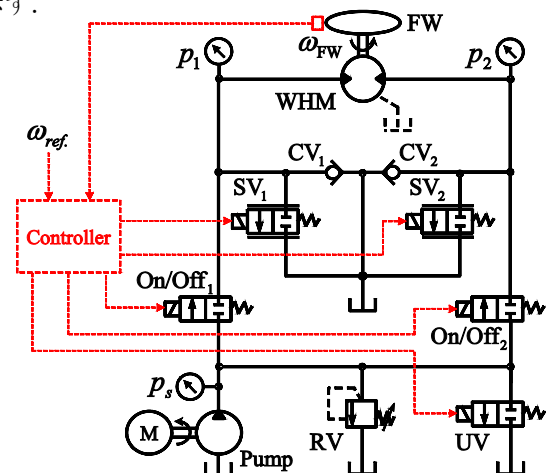


Fig.1 Proposed circuit for energy recovery

* 芝浦工業大学大学院理工学研究科
(〒337 - 8570 埼玉県さいたま市見沼区深作 307)
(E-mail: md16092@shibaura-it.ac.jp)

** 芝浦工業大学システム理工学部

*** ハノイ理工大学機械工学科

*, ** Shibaura Institute of Technology

*** Hanoi University of Science and Technology

また、台形波目標回転速度 ω_{ref} に対する提案回路の各弁の動作を Fig.2 に示す。アイドル時は、UV を開口することにより、ポンプは無負荷で駆動される。加速および定速時は、FW の回転速度 ω_{FW} は SV_1 によってブリードオフ制御される。この間、 SV_2 は全開口となっているため、ポンプの供給圧は理論的には WHM の負荷圧力 $p_L (= |p_1 - p_2|)$ と等しくなる。一方減速時は、 ω_{FW} は SV_2 によってメータアウト制御され、その間、UV の開口によってポンプは無負荷で駆動される。なお、WHM が逆回転で回転する際も、回路は同様に動作する。

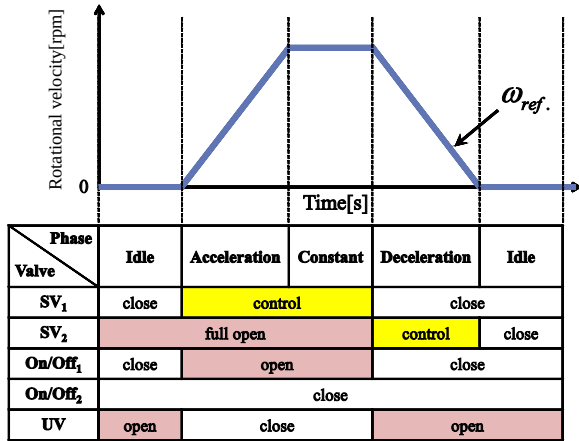


Fig.2 Valve operation of proposed circuit

3. 実験

3.1 実験条件

提案回路(Prop.)と、ポンプと WHM の間に水圧サーボ弁を一つ設けた従来回路(Conv.)の実験を行う。各設定パラメータを Table 1 に示す。また、それぞれの回路に重積分型 PI 制御を適用する。

Table 1 Parameters used in experiment

名称	値	単位
ポンプ押しのけ容積	18.0	cc/rev
WHM 押しのけ容積	18.6	cc/rev
WHM への負荷トルク	4	N・m
原動機理論回転速度	900	rpm
定格圧力	7.0	MPa

3.2 実験結果

目標回転速度 ω_{ref} および FW の回転速度 ω_{FW} を Fig.3 に示す。同図より、0[s]~60[s]における回転速度誤差 $e(t) (= \omega_{ref} - \omega_{FW})$ の二乗積分を計算すると、従来回路の場合は 48.62[rad²/s]、提案回路の場合は 57.64[rad²/s]となり、提案回路の方が 20[%]程度増加した。これは、従来回路は常にメータイン制御およびメータアウト制御が適用されるのに対し、提案回路は、加速および定速時はブリードオフ制御、減速時はメータアウト制御のみが適用されるからである。

それぞれの回路のポンプ供給圧 p_s と、提案回路の

負荷圧力 p_L を Fig.4 に示す。同図より、従来回路は常に高い圧力を供給している。これに対し、提案回路は、アイドル時および減速時はポンプは無負荷で駆動され、加速および定速時は負荷圧力に応じてポンプ供給圧が変化するため、ポンプ供給圧が低減されていることが分かる。次に、ポンプ供給エネルギーを以下の式により算出する。

$$E = \int_{10}^{50} p_s \cdot q_s \, dt \quad (1)$$

ただし、 q_s はポンプ供給流量であり、原動機の回転数により推定した値を用いる。式(1)より、従来回路と提案回路のポンプ出力エネルギーの比、 $E_{Prop.} / E_{Conv.}$ は、37.18[kJ] / 61.56[kJ] = 0.60 となった。

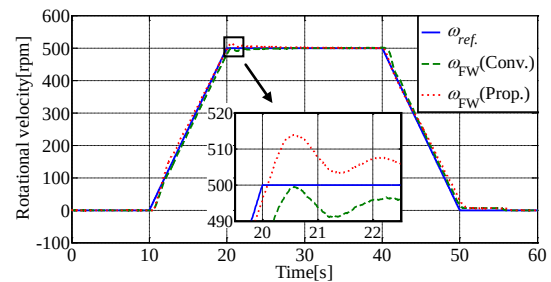


Fig.3 Rotational velocity of flywheel

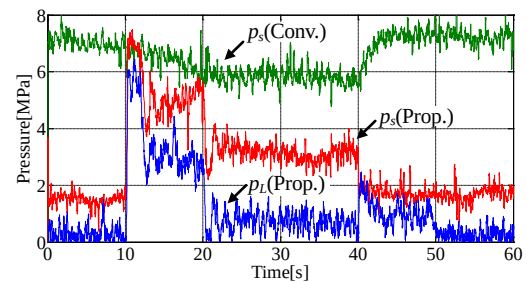


Fig.4 Pump supply pressure p_s and load pressure p_L

4. 結言

本研究では、固定容量ポンプを供給源とする水圧モータ駆動回路に対し、ポンプ供給圧を低減させることで省エネルギー化を図るための回路を提案した。従来回路および提案回路の実験を行った結果より、提案回路は従来回路に対し、回転速度誤差の二乗積分の値が 20[%]程度増加するが、ポンプ出力エネルギーを約 40[%]程度大幅に低減出来ることが分かった。

参考文献

- 宮川新平, 他 2 名 : 水圧サーボシステムの応用, 計測と制御, 35-2, 12/124(1996)
- Rokala, M. : Analysis of Slipper Structures in Water Hydraulic Axial Piston Pumps, Tampere University of Technology, 16/17(2012)