

氏名(本籍)	加藤弘毅(岐阜県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第31号
学位授与年月日	平成8年3月25日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	油圧トランスミッション(HST)のデジタル制御に関する研究
学位論文審査委員	(主査)教授 武藤高義 (副査)教授 丸井悦男 教授 山下 新太郎

論文内容の要旨

油圧トランスミッション (Hydrostatic Transmission: 以下, HSTと略記する) は, 機械的エネルギーを流体的エネルギーに変換し, これを再び機械的エネルギーに変換して動力を伝達する流体伝動装置の一種である。一般のHSTは, 可変容量式油圧ポンプと可変または定容量式の油圧モータを管路によって接続して構成され, その出力として, 回転運動をする負荷を駆動するための回転動力がもたらされる。その主な特徴として, 正および負方向の回転速度を連続的, 無段階に制御できる, システム剛性が高い, 良好なエネルギー効率を有する, パワー密度が高いことから小形で大出力が得られる, などの点が挙げられる。これらの優れた長所を活かして, 従来から, 建設機械, 農業機械, 特殊車両などの広範な分野において, 回転作業用の動力伝達, ならびに速度変速装置として用いられてきた。

近年, HSTの駆動・制御を, より高速・高精度化, 高機能化することを目的として, HSTの電子制御化が強く求められているが, コンピュータ技術の急速な発達と相まって, その動向は徐々に加速されつつある。

このような背景下に, 本研究では, HSTの電子制御化を主題として取り上げ, より高速・高精度化, 高機能化を目指すためのデジタル制御を目的としている。

本研究の主な特徴として, 次の4点が挙げられる。第1の特徴は, 可変容量形ポンプ(具体的には斜板式アキシャルピストンポンプを採用)を駆動するためのアクチュエータにある。ポンプの吐出流量を連続的に変化させるためには, ポンプ斜板の傾転角を高精度に操作する必要があるが, そのためのアクチュエータ(斜板駆動用アクチュエータと呼ぶ)としては, 従来から, サーボ弁と油圧シリンダによって構成されたサーボ機構が採用されてきた。この構成法の場合, ピストンと斜板を接続するためにリンク機構を用いるため, リンク接続部にガタが発生するなどの問題が生じ易い。したがって, 斜板角の制御精度の低下, ひいてはHSTシステム全体の制御性能の低下を招くことにつながる。これに対して本研究では, 新たに油圧ロータリアクチュエータを採用しており, これによって斜板とアクチュエータ接続部におけるガタの解消をはかっている。さらに, 斜板駆動用アクチュエータの制御法として, 高精

度なデジタル制御法として既に提案されている差動PWM (Pulse Width Modulation)法が採用されている。

一般に可変容量形油圧ポンプにおいては、吐出流量の中立不感帯が非常に小さいため、斜板の中立位置の検出・保持は必ずしも容易ではない。この点が、モータの回転を正確かつすばやく停止させる際の阻害要因となる。本研究では、斜板角を中立点に保持するための簡便な制御法を提案・採用しており、この点が本研究の第2の特徴点である。

第3の特徴点は、HSTを構成する油圧モータ（回転運動アクチュエータ）に代えて、油圧シリンダ（直進運動アクチュエータ）をも考察の対象に加えた点にある。HSTシステムによって油圧シリンダを駆動する場合とは、制御弁を用いる通常の弁制御方式によらず、ポンプ制御方式によって直接にシリンダを駆動する場合に相当する。ポンプ制御方式によれば、大きな省エネルギー効果をもたらされる。

第4の特徴は、HSTシステムに対する動特性シミュレーション用数学モデルの確立を目指した点である。HSTは、分布定数系の数学モデルによって記述される管路要素を含み、また、数多くの非線形要素を内包することから、システム全体の数学モデルは極めて複雑とならざるをえない。そのため、システムの開発・設計をより合理化、効率化する見地から、従来、その数学モデルの確立が強く求められてきた。

以上のような特徴点を活かすべく本研究では、HST制御システムを設計するために最適制御理論を適用して1型サーボ系を構成し、その応答性能を実験とシミュレーションによって詳細に検討している。その結果によれば、所期の目的であるシステムの高速度・高精度化、高機能化が良好に達成されている。また、本研究において提案されたシミュレーション用の数学モデルについても、その妥当性が確認されている。

論文審査の結果の要旨

油圧トランスミッション (Hydrostatic Transmission: 以下、HSTと略記する) は、機械的エネルギーを流体的エネルギーに変換し、これを再び機械的エネルギーに変換して動力を伝達する流体伝動装置の一種である。一般のHSTは、可変容量式油圧ポンプと可変または定容量式の油圧モータを管路によって接続して構成され、その出力として、回転運動をする負荷を駆動するための回転動力がもたらされる。その主な特徴として、正および負方向の回転速度を連続的、無段階に制御できる、システム剛性が高い、良好なエネルギー効率を有する、パワー密度が高いことから小形で大出力が得られる、などの点が挙げられる。これらの優れた長所を活かして、従来から、建設機械、農業機械、特殊車両などの広範な分野において、回転作業用の動力伝達、ならびに速度変速装置として用いられてきた。

近年、HSTの駆動・制御を、より高速度・高精度化、高機能化することを目的として、HSTの電子制御化が強く求められているが、コンピュータ技術の急速な発達と相まって、その動向

は徐々に加速されつつある。

このような背景下に、本研究では、HSTの電子制御化を主題として取り上げ、より高速・高精度化、高機能化を目指すためのデジタル制御を目的としている。

本研究の主な特徴として、次の4点が挙げられる。第1の特徴は、可変容量形ポンプ（具体的には斜板式アキシャルピストンポンプを採用）を駆動するためのアクチュエータにある。ポンプの吐出流量を連続的に変化させるためには、ポンプ斜板の傾転角を高精度に操作する必要があるが、そのためのアクチュエータ（斜板駆動用アクチュエータと呼ぶ）としては、従来から、サーボ弁と油圧シリンダによって構成されたサーボ機構が採用されてきた。この構成法の場合、ピストンと斜板を接続するためにリンク機構を用いるため、リンク接続部にガタが発生するなどの問題が生じ易い。したがって、斜板角の制御精度の低下、ひいてはHSTシステム全体の制御性能の低下を招くことにつながる。これに対して本研究では、新たに油圧ロータリアクチュエータを採用しており、これによって斜板とアクチュエータ接続部におけるガタの解消をはかっている。さらに、斜板駆動用アクチュエータの制御法として、高精度なデジタル制御法として既に提案されている差動PWM (Pulse Width Modulation)法が採用されている。

一般に可変容量形油圧ポンプにおいては、吐出流量の中立不感帯が非常に小さいため、斜板の中立位置の検出・保持は必ずしも容易ではない。この点が、モータの回転を正確かつすばやく停止させる際の障害要因となる。本研究では、斜板角を中立点に保持するための簡便な制御法を提案・採用しており、この点が本研究の第2の特徴点である。

第3の特徴点は、HSTを構成する油圧モータ（回転運動アクチュエータ）に代えて、油圧シリンダ（直進運動アクチュエータ）をも考察の対象に加えた点にある。HSTシステムによって油圧シリンダを駆動する場合とは、制御弁を用いる通常の弁制御方式によらず、ポンプ制御方式によって直接にシリンダを駆動する場合に相当する。ポンプ制御方式によれば、大きな省エネルギー効果がもたらされる。

第4の特徴は、HSTシステムに対する動特性シミュレーション用数学モデルの確立を目指した点である。HSTは、分布定数系の数学モデルによって記述される管路要素を含み、また、数多くの非線形要素を内包することから、システム全体の数学モデルは極めて複雑とならざるをえない。そのため、システムの開発・設計をより合理化、効率化する見地から、従来、その数学モデルの確立が強く求められてきた。

以上のような特徴点を活かすべく本研究では、HST制御システムを設計するために最適制御理論を適用して1型サーボ系を構成し、その応答性能を実験とシミュレーションによって詳細に検討している。その結果によれば、所期の目的であるシステムの高速・高精度化、高機能化が良好に達成されている。また、本研究において提案されたシミュレーション用の数学モデルについても、その妥当性が確認されている。

本論文によって得られた知見と成果は、工学上および工業上、重要な貢献をなすものであると判定される。