

## **ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ПРЯМОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ В ПРЕЦИЗИОННЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДАХ**

*К.В. Найгерт, С.Н. Редников, Д.А. Костик*

В данной статье приводятся характерные достоинства использования гидравлических приводов с прямым электромагнитным управлением потока, рассматриваются основные конструктивные особенности подобных гидравлических систем и возможные эффекты возникающие, в процессе эксплуатации магнитореологических жидкостей. Авторами оцениваются основные преимущества прямого электромагнитного управления потоком, в сравнении с широко распространенными типами регулирования гидропривода.

Ключевые слова: магнитореология, прецизионный гидропривод, магнетики, дросселирование, гидравлические распределители.

Во многих областях современной техники широко применяются прецизионные гидравлические приводы. Их используют в позиционирующих механизмах автоматизированного производственного оборудования, в системах управления различных летательных аппаратов, в адаптивных гидравлических опорах, сверхточных измерительных и исследовательских приборах и т.д., так как выполнение подобных операций требует перемещения исполнительных механизмов с заданной точностью или с требуемым быстродействием на уровне нескольких миллисекунд. Также перспективным направлением в совершенствовании гидравлических приводов, является возможность осуществлять позиционирование исполнительного механизма с достаточно высокой точностью без существенных потерь в быстродействии, а это ставит задачу совмещения высокой точности с достаточно большими скоростями перемещения.

Для начала рассмотрим общие преимущества применения гидравлических приводов в различных исполнительных механизмах. Основным преимуществом является высокая удельная мощность, а именно транслируемая мощность, которая приходится на единицу суммарного веса всех элементов, при этом данное преимущество повышается с ростом подаваемой мощности, следовательно, можно получить значительный коэффициент усиления гидроусилителя по мощности. Еще одна привлекательная особенность гидропривода - высокая скорость быстрого действия. Скорость активизации операций по пуску, перемещению, реверсу или остановке значительно выше, чем у иных видов приводов и выполняется гидроприводом в несколько раз быстрее, что происходит благодаря малому моменту инерции исполнительного органа гидропривода, гидромотора, гидроцилиндра и т.д. [1]. В дополнение к быстродействию довольно просто обеспечивается бесступенчатое переключение скорости выходящего звена гидропривода, что позволяет плавно регулировать позиционирование или усилие создаваемое приводом на выходе, в обширном диапазоне значений. Также привлекает относительная простота реализации гидроприводом исполнения и регулирования заданного технологического режима, с элементарным, но надежным предохранением исполнительных элементов гидропривода от возможных перегрузок. Стоит отметить, что очень удобным является проектирование и реализации готовых проектов гидроприводов, а компоновка агрегатов гидропривода зачастую не имеет каких-либо ограничений, она полностью свободная, так как сопряжение элементов системы производится при помощи магистралей высокого давления. Поэтому при необходимости к гидравлическому приводу возможно подключение любого дополнительного гидравлического оборудования, это делает его довольно универсальным. Очередным большим достоинством гидропривода является возможность эффективно и просто преобразовать вращательные движения в возвратно-поступательные, чем также обосновано его широкое применения в системах управления позиционирующими механизмами. А слабое вибрационное воздействие и низкий уровень шума делает применение гидропривода еще более привлекательным [2].

Теперь рассмотрим какие дополнительные преимущества дает нам применение прямого электромагнитного управления потоком. Прежде всего, при применении подобного управления потоком повышается быстродействие и прецизионность гидропривода, так как скорость отклика частиц потока на электромагнитное поле выше скорости отклика потока на дроссельное регулирование. Для определения причин обратимся к теоретическим основам механики и магнетизма и конструктивным особенностям гидроаппаратуры. В общем, регулирование потока происходит посредством изменения кинетической энергии частиц жидкости. Именно повышение кинетической энергии

и транспортировка с последующим ее преобразованием в потенциальную энергию лежит в основе гидравлических приводов. Как правило, для управления значениями кинетической энергии потока применяют дроссели, позволяющие изменять площадь сечения проточной части канала трубопровода. Сам процесс изменения сечения проточной части канала при дросселировании осуществляется при помощи перемещения исполнительного запорно-регулирующего элемента дросселя в пространстве воздействием на него механической энергии извне. Дроссельное управление на примере принципа действия распределителей типов 4 WS. 2 EM 16 и 4 WSE 2 ED 16 от Mannesmann Rexroth, приведено на рис. 1.

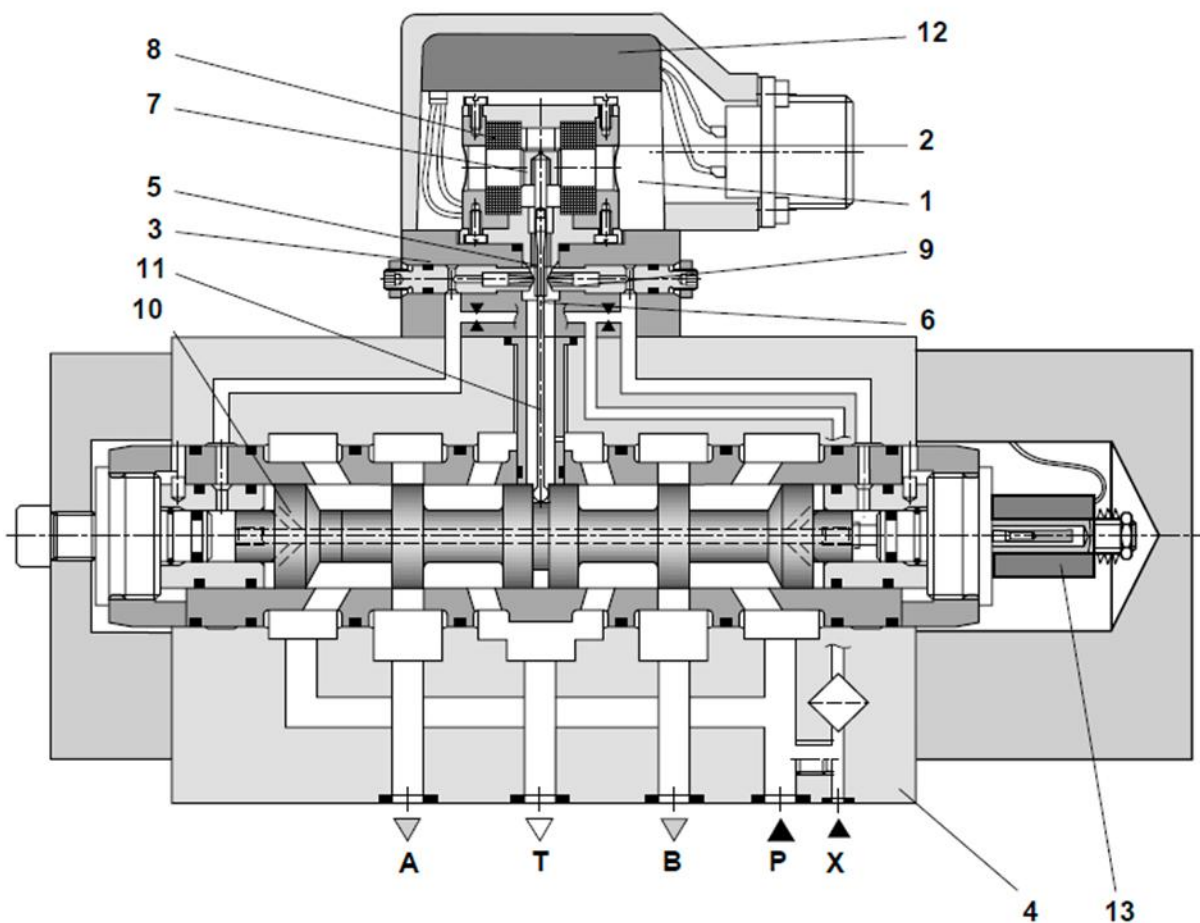


Рис. 1. Дроссельное управление потоком

Распределители типов 4 WS. 2 EM 16 и 4 WSE 2 ED 16, это электроуправляемые двухступенчатые сервораспределители. Они состоят из двух частей: первой ступени (1) с управляющим двигателем (2) и гидравлическим усилителем (3) сопло-заслонка, и второй ступени (4), которая управляет основным потоком жидкости. В подобных распределителях предварительное управле-

ние действует по принципу усилителя сопло-заслонка, рассмотрим подробней принцип регулировки потока. Упругая трубка (5), центрирует анкер (7) и заслонку (6) в нейтральном положении при условии, что управляющий двигатель (2) не задействован. В случае изменения электрического входного сигнала на катушках мотора (2) на анкер (7) начинает действовать крутящий момент, что приводит к отклонению заслонки от среднего положения между соплами (9). Возникающий вследствие этого перепад давлений действует на торцы золотника (10), под действием перепада давлений золотник перемещается. Все это требует определенного количества времени на преобразование кинетической энергии потока в потенциальную энергию и последующему совершению механической работы по перемещению золотника. Закрепленный на анкере (7), конец элемента (11) обратной связи входит в проточку золотника, при этом золотник смещается до положения, в котором момент от обратной связи становится равным моменту от электромагнитов, что снижает перепад давления до нуля. Это позволяет обеспечить пропорциональность хода золотника электрическому входному сигналу. Также для управления применяется отдельный электронный сервоусилитель, в котором входной аналоговый сигнал усиливается, а выходной сигнал сервоусилителя имеет возможность управлять сервораспределителем. При желании с отдельной управляющей электроникой может применяться встроенная электроника (12), которая размещается над управляющим двигателем, а дополнительно к механической обратной связи, перемещение золотника возможно определить при помощи индуктивного датчика положения (13). Обработка всех сигналов системы управления, обеспечение измерения перемещения и управление первой ступенью осуществляется при помощи встроенной электроники (12). Существуют и другие виды управления, но в подавляющем большинстве конструкций применяется механическое перемещение запорно-регулирующего элемента, что приводит к задержке в отклике системы, связанной с выполнением данной механической работы. При применении метода прямого электромагнитного управления потоком подобные задержки в отклике системы, связанные с передачей регулировочного сигнала запорно-регулирующему элементу посредством гидромеханических, электромеханических, магнитомеханических и т.д. систем регулирования потока отсутствуют, что значительно повышает быстродействие системы управления [3].

Электромагнитное поле, индуцируемое блоком управления, оказывает прямое воздействие на частицы магнитореологической жидкости, изменяя внутреннюю энергию частиц и энергию их межмолекулярного взаимодействия, при этом изменяя внутреннюю энергию потока в целом, что влияет на вязкостные свойства магнитореологической жидкости. Проведенные нами

исследования показали, что при воздействии магнитного поля на магнитореологические жидкости можно добиться, как роста, так и падения вязкости в зависимости от химического состава образца [4]. Это свидетельствует о возможности применения подобных магнитореологических систем для моделирования условий управления, требующих как повышения, так и понижения внутренней энергии потока. Подобные эффекты достигаются посредством межмолекулярного взаимодействия в индуцированном магнитном поле антиферромагнетиков, ферромагнетиков, ферримагнетиков, парамагнетиков и диамагнетиков, входящих в состав магнитореологической жидкости [4, 7]. Разберем подробнее магнитные свойства этих веществ. Антиферромагнетики – вещества, у которых при нагревании до определенных температур происходит фазовый переход второго рода, вследствие которого вещество приобретает парамагнитные свойства. Ниже температур фазового перехода магнитных свойств у этих веществ не наблюдаются. Ферромагнетики – вещества, обладающие высокой положительной магнитной восприимчивостью, которая в значительной мере зависит от напряженности магнитного поля и температуры. В ферримагнетиках присутствует некомпенсированный антиферромагнетизм, а их магнитная восприимчивость, как у ферромагнетиков зависит от напряженности магнитного поля, но у них [магнитные моменты](#) атомов различных подрешеток ориентируются антипараллельно, как и в [антиферромагнетиках](#), но моменты различных подрешеток не равны, поэтому результирующий магнитный момент не равен нулю. У парамагнетиков магнитная восприимчивость положительна и не зависит от напряженности магнитного поля. Диамагнетики – вещества у которых магнитная восприимчивость наоборот отрицательна и также не зависит от напряженности магнитного поля. Применение определенных комбинаций магнетиков позволяет придавать магнитореологическим жидкостям требуемые индивидуальные физические свойства.

Еще одним достоинством прямого электромагнитного регулирования потока является простой механизм коррекции износа элементов управления, а так как основным недостатком гидравлического привода является эрозия поверхностей проточной части гидроаппаратуры, использование магнитореологических приводов позволяет избежать снижения прецизионности управления, связанного с износом проточной части гидравлических дросселей [5]. А за счет снижения количества подвижных механизмов в гидравлической системе снижается износ в парах трения и повышается ее надежность в целом. Для наглядности сравним два гидропривода, отличающихся друг от друга только системами управления потоком: в первом случае с электрогидравлическим управлением типа сопло-заслонка (принципиальная схема приведена на рис. 2), а во втором случае с магнитореологическим управлением потока (принципиальная схема приведена на рис. 3).

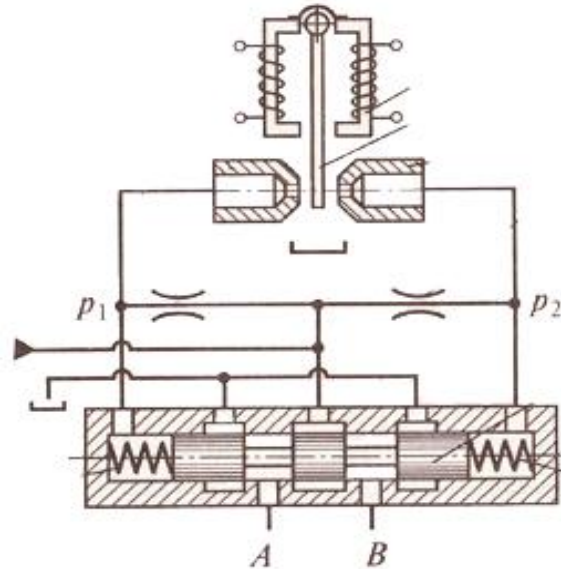


Рис. 2. Принципиальная схема электрогидравлического управления типа сопло-заслонка [6]

Двухкаскадных электрогидравлический усилитель с первым каскадом «сопло-заслонка», состоит из сопел, которые вместе с подвижной заслонкой образуют два регулируемых щелевых дросселя, и двух нерегулируемых дросселей, установленных на пути подвода жидкости к соплам. Вообще, несмотря на относительно высокое быстродействие и высокую чувствительность, такие системы довольно требовательны к степени очистки рабочей жидкости и подвержены облитерации в соплах по причине их малого диаметра и эрозии проточной части. А также на металлическую заслонку действуют силы статического и гидродинамического напоров потока жидкости, истекающей из сопел, что создает в данном рабочем узле зоны застоя и разрежения жидкости, а это приводит к возникновению высокочастотных колебаний в системе и ухудшению работы гидропривода в целом [6, 8]. Поэтому преобразуем данную гидросистему для прямого магнитореологического управления потоком, тогда принципиальная схема приобретает следующий вид.

В данном случае каналы, подводящие рабочую жидкость к соплам, оснащены экранированными электромагнитами, которые индуцируют регулируемое магнитное поле, при этом важно, что отсутствует подвижная заслонка. Именно это повышает надежность гидросистемы и быстродействие гидроусилителя, так как подвижная масса регулятора отсутствует.

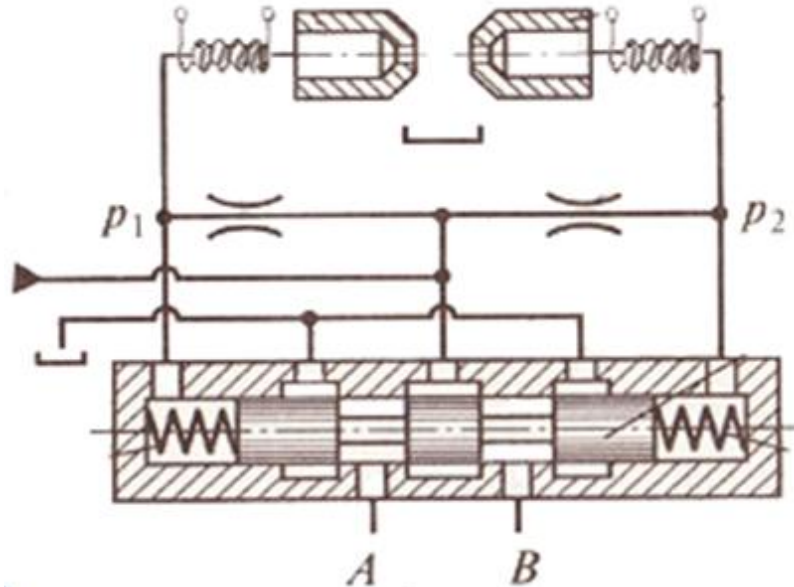


Рис. 3. Принципиальная схема магнитореологического управления

В заключении хочется отметить, что при внедрении магнитореологического управления надежность привода возрастает не только за счет снижения количества подвижных элементов, но и благодаря уменьшению общего числа исполнительных элементов привода по сравнению с подавляющим большинством подобных приводов с другими типами управления. Но при этом сохраняется высокая точность и быстродействие в управлении. Приведенные выше доводы указывают на целый ряд преимуществ, которые дает использование прямого электромагнитного управления потоком в прецизионных гидравлических приводах, что указывает на бесспорную актуальность проводимых исследований в области магнитореологии.

#### Библиографический список

1. Башта, Т.М. Машиностроительная гидравлика / Т.М. Башта. – М.: Высшая школа, 1977. – 605 с.
2. Белов, К.П. Успехи физ. наук / К.П. Белов. – Т. 166, № 6. – С. 669–681.
3. Блехман, И.И. Синхронизация динамических систем / И.М. Блехман. – М.: Наука, 1971. – 324 с.
4. Бибик, Е.Е. Реология дисперсных систем / Е.Е. Бибик. – Л.: Изд-во. Ленингр. ун-та 1981. – 172 с.
5. Левитский, Н.И. Расчет управляющих устройств для торможения гидроприводов / Н.И. Левитский, Е.А. Суханова. – М.: Машиностроение, 1971. – 231 с.
6. Попов, Е.П. Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем / Е.П. Попов, И.П. Пальтов. – М.: Физматгиз, 1960. – 205 с.

Наука ЮУрГУ: материалы 66-й научной конференции  
Секции технических наук

7. Савельев, И.В. Курс общей физики. Т.2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика / И.В. Савельев. – 2-е изд. – 1982.
8. Хохлов, В.А. Электрогидравлический следящий привод / В.А. Хохлов. – М.: Наука, 1969. – С. 233–240.