

Предлагаемое устройство относится к следящим электрогидравлическим системам управления и может быть использовано в качестве автономного электрогидравлического исполнительного механизма в системах управления летательных аппаратов, а также в системах управления других машин и механизмов, например в станкостроении, в подъемно-транспортном оборудовании, в танковой промышленности и других областях техники.

Наиболее широкое применение изобретение может найти в системах управления летательных аппаратов с существенным техническим и экономическим эффектом, где требуется высокое быстродействие, точность отработки управляющих команд, большие усилия на исполнительном механизме, высокая надежность, компактность, ограниченное потребление электроэнергии от источника питания, высокий КПД насоса, малый вес и габариты.

Известны электрогидравлические следящие приводы, например, приведенные в книге Гамынина Н.С. и др. «Гидравлический следящий привод», М. Машиностроение, 1968; по патентам США № 3095906, кл. 121-41, 1963, Великобритании № 1152228, кл. G3P, 1969; по авторским свидетельствам СССР:

№ 517879 кл. В 64с 13/36, 1975;

№ 86340 кл. В64с 13/36, 1975;

№ 87039 кл. G 05B 11/06

F 15B 9/04, 1975;

№ 505262 кл. G 05B 11/06

F 15B 9/04, 1976.

Однако известные аналоги электрогидравлических следящих приводов имеют ряд существенных недостатков.

К недостаткам вышеперечисленных устройств можно отнести

- наличие вспомогательного насоса;
- большой вес и габариты;
- большую инерционность движущихся элементов конструкции;
- низкий КПД насоса;
- низкую надежность из-за большого количества конструктивных элементов;
- недостаточно высокую полосу пропускания управляющего сигнала из-за наличия инерционных масс на органах управления насоса;
- склонность к samozagryazhению из-за наличия вспомогательного насоса;
- повышенный самонагрев рабочей жидкости из-за дросселирования ее на рабочих щелях гидроусилителя или перепуска ее через предохранительный клапан под большим давлением;
- сложность кинематических и других связей, обеспечивающих объемное управление люлькой основного насоса.

Несмотря на разнообразие технических решений, существующих в приводах, остаются актуальными проблемы улучшения энергетических характеристик, уменьшения зоны нечувствительности, повышения точности отработки

управляющих команд, надежности, улучшения габаритно-массовых характеристик, технологичности в связи с появлением повышенных требований к новым разработкам устройств для летательных аппаратов.

Наиболее близким прототипом предлагаемого изобретения является «Электрогидравлический привод систем управления летательным аппаратом» по авторскому свидетельству СССР № 86340, кл. В 64с 13/36, 1975, который имеет преимущества по сравнению с известными аналогами, принципиальная схема которого приведена в приложении № 1 к материалам заявки (название изобретения по чертежу было изменено в процессе экспертизы).

- Привод содержит
- электродвигатель;
- реверсивный насос регулируемой производительности;
- два клапана подпитки;
- два предохранительных клапана;
- гидродвигатель;
- два ограничителя мощности, установленных в канале нагнетания насоса;
- компенсационно-поддавливающее устройство;
- гидроусилитель, охваченный жесткой обратной связью;
- шестеренчатый насос постоянной производительности с клапаном перепуска рабочей жидкости.

Данный прототип, хотя и имеет преимущества по сравнению с известными аналогами, однако, не позволяет достигнуть технического результата по поставленным задачам из-за ряда его недостатков, к которым относятся

- наличие вспомогательного шестеренчатого насоса, который является источником загрязнения рабочей жидкости, имеет высокое постоянное энергопотребление на всех режимах работы, занимает определенный объем в корпусе и имеет существенную массу. Так, например, при расходе насоса 18 л/мин и создаваемом им давлении 20 кг/см², необходимом для запитки основного насоса и подачи рабочей жидкости в систему управления люлькой насоса, потребляемая шестеренчатым насосом мощность составляет

$$N_{\text{нш}} = \frac{\Delta P \cdot Q}{612 \eta_n} = \frac{20 \cdot 18}{612 \cdot 0,5} = 1,17 \text{ кВт},$$

где ΔP - перепад давления на шестеренчатом насосе, кгс/см²;

Q - подача шестеренчатого насоса, л/мин;

η_n - КПД шестеренчатого насоса.

Это энергопотребление является постоянным на всех режимах работы привода и снижает его общий КПД;

жесткая обратная связь усилителя с люлькой насоса и наличие следящей втулки во втором каскаде гидроусилителя, а также наличие в люльке насоса опорного и радиального под-

шипников, размещенных на валу, внутри которого размещены разрезная втулка, пружина и кардан, имеющие достаточно большую массу, создающую существенную инерционную нагрузку, не позволяют приводу обрабатывать высокочастотные управляющие сигналы, а также достичь высокой точности обработки управляющих команд;

низкая надежность, так как имеется большое количество элементов в схеме гидропитания каждой рабочей полости гидродвигателя;

значительная величина зоны нечувствительности из-за наличия режима перемещения люльки основного насоса через нулевое положение.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования электрогидравлического привода, взятого за прототип, путем осуществления более простого управления люлькой насоса, уменьшения зоны нечувствительности и улучшения динамических характеристик, повышения надежности, снижения энергопотребления на всех режимах его работы, повышения КПД насоса, уменьшения габаритно-массовых характеристик, упрощения конструкции, повышения технологичности и снижения себестоимости, уменьшения габаритов и веса источников электропитания привода.

Указанная цель достигается тем, что в корпусе привода установлен автономный двухкаскадный электромеханический гидроусилитель, выполненный в виде дифференциального трехпояскового следящего золотника, размещенного во втулке, неподвижно установленной в корпусе, в которой выполнены шесть рядов окон, сообщенных с двумя рабочими полостями гидродвигателя, нагнетательным и всасывающим каналами насоса, при этом верхняя проточка втулки сообщена с компенсационно-поддавливающим устройством и редукционным клапаном, а через постоянный дроссель и канал в золотнике - с нижней полостью золотника и переменным дросселем, образованным в первом каскаде гидроусилителя, напротив центрального пояса золотника на втулке выполнены окна нагнетания, сообщенные с каналом нагнетания насоса, и модульные окна, сообщенные через проточку ограничителя мощности с торцом золотника регулятора насоса, в то время как окна нагнетания сообщены с противоположным торцом этого золотника, механически связанного с люлькой насоса, причем верхние и нижние кромки окон нагнетания и модульных окон по внутренней поверхности втулки находятся соответственно в одних плоскостях, что обеспечило выполнение минимальной зоны нечувствительности, по наружной поверхности втулки окна нагнетания и модульные окна разделены фигурной герметичной перегородкой, что при определенном профилировании окон нагнетания, модульных и сливных окон и одностороннем наклоне люльки насоса без перехода в ра-

бочем состоянии через нулевое положение позволяет осуществить принцип объемно-дроссельного регулирования, а введенный в канал управления люлькой насоса ограничитель мощности выполнен в виде подпружиненного двухпояскового золотника с дросселем постоянного сечения на первом пояске и дросселем переменного сечения, образованным кромкой другого пояса и профилированным окном, связанным со сливной полостью.

В предлагаемом электрогидравлическом следящем приводе между отличительными признаками и достигнутыми техническим и экономическим результатами имеется причинно-следственная связь.

1. Применение автономного двухкаскадного электромеханического гидроусилителя, выполненного в виде дифференциального трехпояскового следящего золотника, размещенного во втулке, неподвижно установленной в корпусе, в которой выполнены шесть рядов окон, сообщенных с двумя рабочими полостями гидродвигателя, нагнетательным и всасывающим каналами насоса, при этом верхняя проточка втулки сообщена с компенсационно-поддавливающим устройством и редукционным клапаном, а через постоянный дроссель и канал в золотнике - с нижней полостью золотника и переменным дросселем, образованным в первом каскаде гидроусилителя, с окнами нагнетания, выполненными на втулке напротив центрального пояса золотника, сообщенными с каналом нагнетания насоса, и модульными окнами, сообщенными через проточку ограничителя мощности с торцом золотника регулятора насоса, в то время как окна нагнетания сообщены с противоположным торцом этого золотника, механически связанного с люлькой насоса, причем верхние и нижние кромки окон нагнетания и модульных окон находятся соответственно в одних плоскостях, что позволяет обеспечить выполнение минимальной зоны нечувствительности, и разделенными фигурной герметичной перегородкой окнами нагнетания и модульными окнами, - вместе дало возможность осуществить принцип объемно-дроссельного регулирования за счет того, что нагнетательные, модульные и сливные окна во втулке рассчитаны и выполнены таким образом, что при обработке управляющих электрических команд, изменяющихся по знаку с частотой до ≈ 16 Гц, подающихся на гидроусилитель, за счет перепада давлений на рабочих кромках золотника люлька отклоняется, отслеживая управляющую команду, при этом давление за насосом определяется нагрузкой на штоке гидродвигателя, то есть имеется объемное управление скоростью выходного звена. При увеличении частот управляющих команд более ≈ 16 Гц (например, до 80 Гц), привод автоматически переходит на режим высокочастотного дроссельного управления скоростью выходного звена за счет

того, что люлька «зависает» на определенном угле в зависимости от частоты управляющей команды, значительно расширяя полосу пропускания управляющих команд по сравнению с объемным управлением.

2. За счет исключения из схемы привода шестеренчатого насоса постоянной производительности с переливным клапаном, а также за счет размещения в корпусе компактного неревверсивного аксиально-плунжерного насоса и редукционного клапана, а также за счет применения очень простого регулятора насоса, выполненного в виде плунжера, механически связанного с люлькой насоса, исключивших сложную кинематическую рычажную передачу, значительно уменьшены габариты и вес привода, уменьшена зона нечувствительности, так как уменьшена масса люльки и люлька не переходит через точку нулевой подачи насоса, как это выполнено в прототипе, улучшены динамические характеристики, упрощена конструкция, повышены механический и объемный КПД насоса, снижено энергопотребление привода на $\approx 1,5$ кВт на всех режимах работы, устранен источник загрязнения и повышенного самонагрева ограниченного объема рабочей жидкости, которой заправлен привод. Снижение энергопотребления по сравнению с известными приводами позволило существенно уменьшить вес и габариты источника питания, что весьма важно в условиях применения привода для управления летательными аппаратами, а также применить электродвигатель мощностью, меньшей на 40%, чем установленный в прототипе, со значительно меньшими габаритами и массой при сохранении технических характеристик привода.

3. За счет уменьшения по сравнению с прототипом числа конструктивных элементов, совмещения нескольких функций в электромеханическом гидроусилителе, исключения сложных кинематических связей между узлами привода, клапана подпитки, предохранительного клапана значительно упрощена конструкция, снижена масса, уменьшены габариты, повышены надежность и технологичность, уменьшены затраты на изготовление и эксплуатацию привода.

4. За счет введения в канал управления люлькой насоса ограничителя мощности, выполненного в виде подпружиненного двухпояскового золотника, на входе которого выполнен дроссель постоянного сечения в виде лысок на левом пояске, а на выходе - дроссель переменного сечения в виде кромки другого пояска золотника и дополнительно выполненного для взаимодействия с ней профилированного окна, связанного со сливной полостью, обеспечено ограничение максимальной потребляемой мощности привода при повышении давления рабочей жидкости в полостях гидродвигателя сверх установленной величины, например, при заторможенном поршне гидродвигателя.

На чертеже изображена принципиальная схема заявляемого электрогидравлического следящего привода.

Привод содержит электродвигатель 1, соединенный рессорой с валом насоса 2, установленного в люльке 3, которая с одной стороны шарнирно через толкатель 4 пружиной 5 установлена на угол максимальной производительности насоса, а с другой стороны шарнирно соединена с плунжером 6 регулятора, левая торцевая полость 7 которого каналом 8 сообщена с каналом 9 нагнетания насоса, одновременно соединенного каналом 10 с переменным дросселем 11 редукционного клапана и входными окнами гидроусилителя, а правая торцевая управляющая полость 12 каналом 13 через центральную проточку 14 ограничителя мощности каналом 15 сообщена с модульными окнами гидроусилителя, рабочие окна которого выполнены с возможностью соединения соответственно с каналами 16 и 17 гидродвигателя 18 и каналами 19 и 20 со всасывающим каналом 21 насоса, а центральная проточка 22 редукционного клапана 23 каналом 24 сообщена с полостью 25 компенсационно-поддавливающего устройства 26 и одновременно каналом 27 с верхней торцевой проточкой 28, которая через постоянный дроссель 29, в свою очередь, осевым каналом 30 сообщена с управляющей нижней полостью 31 и переменным дросселем 32, образованного безинерционной втулкой 33 первого каскада усиления и проточкой 34, выполненной в золотнике 35 гидроусилителя, пружинная полость клапана подпитки 36 сообщена с каналом 21 всасывания насоса, а каналом 37 клапан подпитки сообщен со сливной полостью 38, ограничитель мощности, выполненный в виде двухпояскового золотника 39, имеет на левом пояске дроссель постоянного сечения 40, сообщенный расточкой 41 с проточкой 14, а кромкой 42 правого пояска образует дроссель переменного сечения во взаимодействии с профилированным окном 43.

Привод работает следующим образом.

При подаче рабочего напряжения на клеммы электродвигателя 1 ротор насоса 2 при отсутствии управляющих команд выходит на обороты холостого хода. С ростом оборотов ротора насоса растет давление рабочей жидкости в каналах 8, 9, 10, 15. Когда давление в канале 10 достигнет величины, на которую настроена пружина редукционного клапана 23, его золотник перемещается влево, между каналами 10 и 24 кромка золотника образует дроссель 11.

В каналах 24 и 27 и полостях 25 и 28 устанавливается постоянное давление управления, которое поддерживается клапаном 23 независимо от дальнейшего роста давления в канале 9 и расхода рабочей жидкости через клапан 23.

Давление в канале 24 и полости 25, воздействуя на двухступенчатый поршень компенсационно-поддавливающего устройства 26, перемещает его влево, повышая давление через

полость 38 в сливной полости привода до расчетного значения за счет подбора рабочих площадей поршня компенсационно-поддавливающего устройства.

По каналу 27 и полости 28 рабочая жидкость поступает к гидроусилителю, через жиклер 29 поступает во внутренний канал 30 золотника 35 и через него к жиклеру 32 и в глухую полость 31. Жиклер 32 устанавливает перепад давлений между полостью 28 и полостью 31 на соответствующие эффективные площади золотника 35 гидроусилителя, на нем появляется усилие, устанавливающее золотник 35 в нейтральное положение. Этому положению золотника соответствует положение втулки 33, отрегулированное установкой электромеханического преобразователя при отсутствии управляющих команд. При этом жиклер 32 открыт на такую величину, при которой наступает равновесие сил, действующих на золотник 35 от указанных выше давлений. При нейтральном положении золотника его кромки рассоединяют канал 9 от каналов 19 и 20, запирают каналы 16 и 17, поддерживают настроенный перепад давлений между каналами 9 и 15. Этот перепад давлений через каналы 15 и 13, а также через каналы 9 и 8 воздействует на плунжер 6 регулятора насоса, который сжимает пружину 5 и устанавливает люльку 3 насоса 2 на угол минимально отрегулированной производительности, обеспечивающей работу привода на холостом режиме, т.е. при отсутствии управляющих команд и нагрузок на гидродвигателе.

В этом положении привод находится в состоянии готовности к принятию управляющих команд, поступающих от электронного блока управления объекта.

Потребляемая приводом мощность от источника питания электродвигателя 1 определяется расходом рабочей жидкости через жиклер 32, например до 1 л/мин при перепаде, на который настроен редукционный клапан, например 20 кгс/см².

При подаче на электромеханический преобразователь управляющей команды, например, положительного знака, поводок его повернется по часовой стрелке на строго определенный угол, пропорциональный величине команды (знак команды и направление угла поворота выбраны условно). Втулка 33 переместится вниз, увеличив проходное сечение жиклера 32. Давление в полости 31 упадет. Нарушится равновесие золотника 35 гидроусилителя. Он переместится вниз, точно отслеживая перемещение втулки 33, пока снова не наступит равновесие сил на золотнике.

При этом пропорционально величине управляющей команды открываются профильные окна во втулке гидроусилителя, сообщая каналы 9 и 15, проточку 14 ограничителя мощности 39, канал 13 с управляющей полостью 12,

а также канал 9 сообщается с каналом 17, канал 16 с каналом 19.

Между каналами 9 и 15 перепад давлений уменьшается пропорционально поданной команде. На эту же величину уменьшается перепад давлений на регуляторе насоса. Пружина 5 перемещает влево плунжер 6, который поворачивает люльку 3 на увеличение производительности насоса 2. Производительность насоса будет увеличиваться до тех пор, пока не установится новое равновесное состояние регулятора насоса, под действием силы натяжки пружины 5 и перепада давлений между каналами 9 и 15, соответствующее заданному положению золотника 35 гидроусилителя.

При этом по каналам 9 и 17 рабочая жидкость поступает в верхнюю полость гидродвигателя 18, а по каналам 16, 19 и 21 вытесняется из его нижней полости на вход в насос 2.

Поршень гидродвигателя перемещается вниз, перемещая руль управляемого объекта.

Скорость его перемещения определяется величиной наклона люльки 3 насоса 2. Величина давления рабочей жидкости в каналах 8, 9, 10, 13, 15, 17 определяется величиной рабочего усилия на руле управляемого объекта, которое передается на поршень гидродвигателя 18.

Движение поршня гидродвигателя будет происходить до тех пор, пока на электромеханический преобразователь гидроусилителя не будет подана управляющая команда. При снятии управляющей команды поводок возвращает втулку 33 в нейтральное положение, сечение жиклера 32 уменьшается, давление в полости 31 увеличивается. Под действием гидравлических сил золотник 35 гидроусилителя перемещается за втулкой 33 вверх, и при достижении равенства гидравлических сил на золотнике 35 он устанавливается в первоначальное нейтральное положение.

Канал 9 отсоединяется от канала 15, канал 19 от канала 16. Профильные окна во втулке гидроусилителя закрываются.

Между полостями 8 и 12 увеличивается перепад давлений, пружина поршнем 6 регулятора сжимается, люлька 3 уводится на угол минимальной производительности насоса.

Так как каналы 16 и 17 гидродвигателя 18 гидравлически заперты золотником 35 гидроусилителя, поршень гидродвигателя продолжает удерживаться в выдвинутом на заданную величину положении сколь угодно, пока не последует последующая команда от системы управления на его перемещение.

При подаче на электромеханический преобразователь управляющей команды противоположного знака, например отрицательного, узлы привода работают аналогичным образом.

Гидродвигатель 18 привода может с высокой степенью точности обрабатывать команды управления любых разновидностей, например синусоидальную, в диапазоне от 0 до 80 Гц.

При повышении нагрузок на рулевом органе объекта, к которому подсоединен поршень гидродвигателя 18 выше расчетной, или когда поршень станет на жесткий упор, давление в канале 15 превышает настроенное, золотник 14 смещается вправо, сжимает пружину, разобщает основное сечение канала 15 с расточкой 41 и сообщает канал 15 с расточкой 41 только через дроссель постоянного сечения 40. Плунжер 6 перемещается вправо за счет падения давления в канале 13, и люлька 3 устанавливается на угол меньшей производительности. Если давление в канале 13 продолжает расти и дальше, золотник перемещается дальше вправо, сообщая канал 13 через кромку 42 и канал 43 со сливной полостью 38 и перепуская на слив часть рабочей жидкости, останавливая рост давления и предохраняя насос от разрушения.

При падении давления в канале 21 ниже настроенного давлением рабочей жидкости в сливной полости 38 открывается клапан 36, сообщая ее со входом насоса.

При попутных нагрузках на поршне гидродвигателя 18, когда давление в канале 21 повышается, клапан 36 отсекает эти каналы от сливной полости.

Заявляемое техническое решение имеет изобретательский уровень, так как явным образом не следует из уровня техники и является промышленно применимым.

В настоящее время по предложенному электрогидравлическому следящему приводу проведен весь объем доводочных и натурных испытаний, ведется серийное производство, что полностью подтвердило техническую пригодность изделия и его экономическую целесообразность.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Электрогидравлический следящий привод, содержащий электродвигатель, размещенные в корпусе регулируемый насос, двухкаскадный гидроусилитель, компенсационно-поддавливающее устройство, гидродвигатель, клапан подпитки, охваченные гидравлическими, механическими и электрическими связями, отличающийся тем, что в корпусе привода установлен автономный двухкаскадный электромеханический гидроусилитель, выполненный в виде дифференциального трехпоясового следящего золотника, размещенного во втулке, неподвижно установленной в корпусе, в которой выполнены

шесть рядов окон, сообщенных с двумя рабочими полостями гидродвигателя, нагнетательным и всасывающим каналами насоса, при этом верхняя проточка втулки сообщена с компенсационно-поддавливающим устройством и редукционным клапаном, а через постоянный дроссель и канал в золотнике - с нижней полостью золотника и переменным дросселем, образованным в первом каскаде гидроусилителя, напротив центрального пояса золотника на втулке выполнены окна нагнетания, сообщенные с каналом нагнетания насоса, и модульные окна, сообщенные через проточку ограничителя мощности с торцом золотника регулятора насоса, в то время как окна нагнетания сообщены с противоположным торцом этого золотника, механически связанного с люлькой насоса, причем верхние и нижние кромки окон нагнетания и модульных окон по внутренней поверхности втулки находятся соответственно в одних плоскостях, что обеспечило выполнение минимальной зоны нечувствительности, по наружной поверхности втулки окна нагнетания и модульные окна разделены фигурной герметичной перегородкой, что при определенном профилировании окон нагнетания, модульных и сливных окон и одностороннем наклоне люльки насоса без перехода в рабочее состояние через нулевое положение позволяет осуществить принцип объемно-дроссельного регулирования, а введенный в канал управления люлькой насоса ограничитель мощности выполнен в виде подпружиненного двухпоясового золотника с дросселем постоянного сечения на первом пояске и дросселем переменного сечения, образованным кромкой другого пояса и профилированным окном, связанным со сливной полостью.

