#### НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ МГТУ ИМ. Н. Э. БАУМАНА

# НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ

Эл № ФС77 - 48211. Государственная регистрация №0421200025. ISSN 1994-0408

электронный научно-технический журнал

# Коррекция динамических характеристик регулятора аксиально-поршневого насоса с электрогидравлическим пропорциональным управлением

# 12, декабрь 2012

**DOI: 10.7463/0113.0516044 Андреев М. А., Семёнов С. Е.** УДК.62-523.3

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана Andreev@e10-bmstu.ru

### 1. Введение

В настоящее время широко развивается т.н. «мехатронный подход» проектированию гидравлических приводов в различных отраслях промышленности. Применение цифровой электроники позволяет не только уменьшить массо-габаритные показатели, но и расширить функциональность применяемого оборудования, повысить точность управления, а так же энергетическую эффективность привода. Мехатронный подход к проектированию регулируемых гидромашин заключается в замещении управляющих функций, традиционно выполняемых механическими элементами системы на электронные и компьютерные блоки. Однако выпускаемые на сегодняшний день гидромашины с электрогидравлическим управлением зачастую уступают динамическим характеристикам их аналогам с гидромеханическим управлением [1]. В литературе не описаны методы улучшения динамических характеристик регуляторов насосов с электрогидравлическим пропорциональным управлением, выполненных по рассматриваемой в данной статье схеме. Авторами представлена линейная математическая модель насоса на основе которой был предложен способ коррекции динамических характеристик регулятора путём введения внутренних обратных связей. Предложена конструктивная реализация корректирующих обратных связей на основе выпускаемого в промышленности оборудования.

#### 2. Описание работы регулятора

В данной статье рассматривается регулятор аксиально-поршневого насоса с наклонным блоком, выполненным по схеме, показанной на рисунке 1 и выпускаемым серийно.

Рабочий объём насоса изменяется путём изменения угла наклона блока цилиндров, который соединён через гильзу со ступенчатым поршнем. Полость

цилиндра меньшего диаметра соединена с линией нагнетания насоса. Коммутация полости под цилиндром большего диаметром поршня (управляющая полость) зависит от положения золотника в гильзе.

В нейтральном положении золотника управляющая полость заперта; таким образом обеспечивается фиксированное положение поршня.

При смещении золотника влево (смотри рисунок 1) происходит соединение с полостью дренажа, что вызывает падение давления жидкости в управляющей полости; поршень под действием разницы сил от давления перемещается вниз, рабочая жидкость вытесняется через дросселирующие кромки и специальные лыски на поверхности золотника в дренаж насоса.

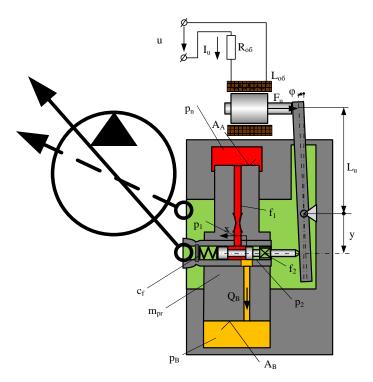


Рисунок 1 – Расчётная схема регулятора

## 3. Математическая модель

Линейная математическая модель регулятора насоса описывается следующими уравнениями:

$$\begin{split} \frac{dy(t)}{dt} &= -\frac{1}{A_B} \cdot Q_B(x) \\ \frac{d\omega(t)}{dt} &= \frac{1}{J_{\pi p}} \cdot (F_x(x) \cdot y(t) - F_u(I_u) \cdot L_u - b_\varphi \cdot \omega(t)) \\ \frac{d\varphi(t)}{dt} &= \omega(t) \end{split}$$

$$\begin{split} \frac{dI_u(t)}{dt} &= \frac{1}{L_{oo}} \cdot (u(t) - I_u(t) \cdot R_{oo}) \\ Q_B(x) &= -K_{Qx} \cdot x \\ F_x(x) &= c_f \cdot x \\ F_u(I_u) &= K_{FI} \cdot I_u \\ x &= K_{xv} \cdot y \end{split}$$

где у – перемещение поршня регулятора;

ф – угол наклона рычага;

скорость углового перемещения рычага;

 ${
m I_u}$  – ток управления в обмотке пропорционального электромагнита;

**u** – управляющий сигнал (напряжение);

 $Q_{B}$  – расход, поступающий в управляющую полость регулятора;

 $F_{x}$  – сила со стороны управляющего золотника;

 ${\bf F_u}$  – сила со стороны магнита;

**х** – перемещение золотника;

**А**<sub>в</sub> – площадь торца цилиндра большего диаметра управляющего поршня;

 $J_{np}$  — приведённый момент инерции рычага с учётом массы якоря электромагнита и массы золотника;

 $L_{u}$  – расстояние от оси рычага до оси действия силы со стороны электромагнита;

 ${f b}_{\varphi}$  – приведённый коэффициент вязкого трения с учётом трения в направляющих якоря электромагнита и золотника;

 $R_{\text{об}}$  – электрическое сопротивление обмоток электромагнита;

 $L_{oб}$  – индуктивность обмоток электромагнита;

 $\mathbf{c_f}$  – жёсткость пружины управляющего золотника;

 ${
m K_{Qx}}$  — коэффициент линеаризации расходно-перепадной характеристики золотника с учётом дросселей  ${
m f_1}, {
m f_2};$ 

 $\mathbf{K}_{\text{FI}}$  – коэффициент линеаризации характеристики пропорционального электромагнита;

 $K_{x\varphi}$  – коэффициент линеаризации кинематики механизма рычаг-золотник;

После преобразования дифференциальных уравнений по Лапласу, математическую модель можно представить в виде структурной схемы, показанной на рисунке 2.

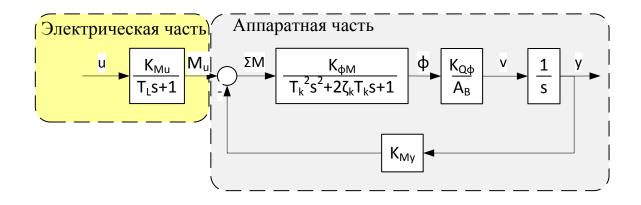
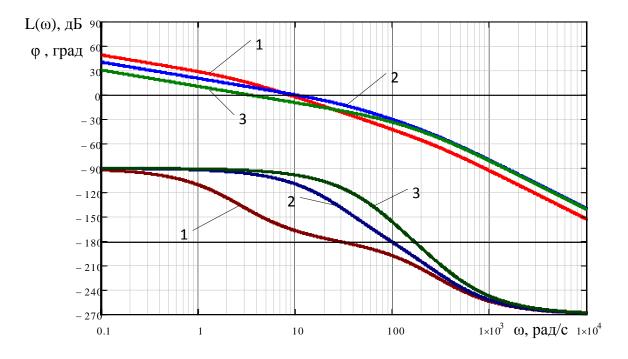


Рисунок 2 – Структурная схема линейной математической модели

# 4. Анализ динамики регулятора

На рисунке 3 показаны ЛАХ и ЛФЧХ разомкнутого контура аппаратной части регулятора (без учёта динамики электромагнита) для различных рабочих точек по положению поршня.



 $1-{\rm JAX}$  и ЛФЧХ для рабочей точки вблизи положения поршня регулятора соответствующего нулевой подаче насоса;  $2-{\rm средней}$  подаче;  $3-{\rm максимальной}$  подаче.

Рисунок 3 – ЛАХ и ЛФЧХ разомкнутого контура

Как видно, для различных рабочих точек частотные характеристики сильно отличаются. Это связано с особенностями данной схемы регулирования. С приближением оси золотника к оси рычага уменьшается чувствительность золотника к управляющему воздействию.

Это приводит к тому, что при положении регулятора соответствующему малой подаче насоса, существенно снижается запас по фазе, соответственно, возникает склонность к колебаниям системы.

Для увеличения запасов по фазе необходимо форсирование в области частот падения фазы. Использование форсирующего звена в прямой цепи регулятора является технически трудно реализуемой задачей по причине низкой точности методов численного дифференцирования.

Эффективным методом коррекции динамических характеристик в этом случае является добавление внутренних обратных связей. Структурная схема математической модели с электрической обратной связью по скорости показана на рисунке 4.

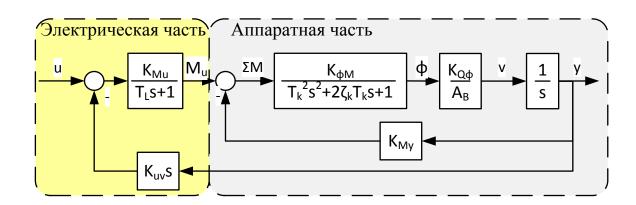
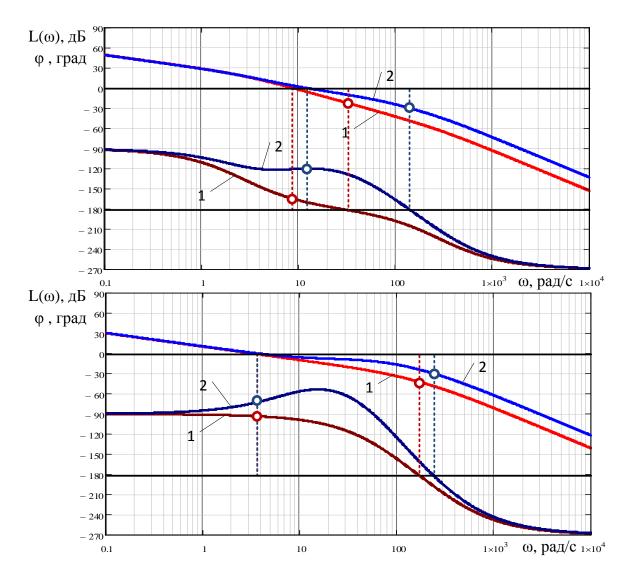


Рисунок 4 — Структурная схема математической модели регулятора с обратной связью по скорости

На рисунке 5 показаны ЛАХ и ЛФЧХ регулятора с введённой электрической обратной связью по скорости перемещения поршня регулятора.

Как видно, использование электрической обратной связи по скорости приводит к существенному увеличению запаса по фазе в неблагоприятной с точки зрения динамики полосе частот. Запасы по амплитуде в этом случае изменяются незначительно.



Верхнее поле – рабочая точка вблизи нулевого положения Нижнее поле – рабочая точка вблизи максимального положения 1 – ЛАХ и ЛФЧХ без корректировки; 2 – ЛАХ и ЛФЧХ с электрической обратной связью по скорости.

## Рисунок 5 – ЛАХ и ЛФЧХ

# 5. Рекомендации по совершенствованию конструкции регулятора

В конструкции регулятора конструктивно сложно реализовать электрический датчик скорости перемещения поршня. Дифференцирование показаний датчика положения приводит к проблеме точности численного дифференцирования. Однако эту проблему позволяет решить использование информации с датчика положения якоря электромагнита, которыми комплектуются многие пропорциональные электромагниты, используемые в промышленности. С учётом допущений о малой сжимаемости

жидкости в управляющей полости и линейной связи между открытием золотника и расходом управления (что справедливо в условиях малых отклонений) скорость перемещения поршня вычисляется следующим образом:

$$v = x_u \cdot \frac{y}{L_u} \cdot K_{Qx} \cdot \frac{1}{A_B}$$

где  $\mathbf{x_u}$  – положение якоря магнита;

 ${\bf K_{Qx}}$  – коэффициент линеаризации расходно-перепадной характеристики золотника с vчётом дросселей;

 $\mathbf{L}_{\mathbf{u}}$  – величина рычага магнита;

**А**<sub>в</sub> – площадь большего цилиндра поршня.

### 6. Выводы

- 1. Электрическая обратная связь по скорости управляющего поршня может существенно улучшить динамику регулятора насоса выполненного по описанной схеме.
- 2. Электрическая обратная связь по скорости в данной конструкции эквивалентна нелинейной обратной связи по положению якоря электромагнита и положения поршня.

Список литературы:

1. Finzel R. Elektrohydraulische Steuerungssysteme für mobile Arbeitsmaschinen. Schaker Verlag, Aachen, 2011.

#### SCIENTIFIC PERIODICAL OF THE BAUMAN MSTU

# SCIENCE and EDUCATION

EL Nº FS77 - 48211. Nº0421200025. ISSN 1994-0408

electronic scientific and technical journal

# Correction of regulator's dynamic characterisites in axial piston pump with electric proportional control

# 12, December 2012

DOI: 10.7463/0113.0516044 Andreev M.A., Semenov S.E.

Russia, Bauman Moscow State Technical University
Andreev@e10-bmstu.ru

The article gives a description of the operating principle of the regulator in an axial piston pump with electric proportional control; a linear mathematical model of the regulator is also provided. It was shown that introduction of internal speed feedback could improve the dynamics of the regulator. The authors propose a way to implement this type of correction by introducing a nonlinear electric position feedback.

Publications with keywords: <a href="https://hydraulic.nachinery">hydraulic machinery</a>, <a href="https://pump.control.device">pump.control.device</a>, <a href="electric proportional">electric proportional</a> <a href="https://energy.nechatronics">energy.nechatronics</a> <a href="https://energy.nechatronics">electric proportional</a> <a href="https://energy.nechatronics">control.device</a>, <a href="electric proportional">electric proportional</a> <a href="https://energy.nechatronics">energy.nechatronics</a>

#### References

1. Finzel R. *Elektrohydraulische Steuerungssysteme für mobile Arbeitsmaschinen.* Schaker Verlag, Aachen, 2011. (in German).