

Наведено синтез гідроагрегату з постановою і рішенням оптимізаційного завдання по призначеному динамічному критерію зниження піків тиску і з введенням коригуючої ланки. Технічна реалізація результатів призводить до мехатронного гідроагрегату, який містить інформаційну, енерго-електронну та електромеханічну підсистеми

Ключові слова: мехатронний гідроагрегат, синтез, коригуюча ланка

Приведен синтез гидроагрегата с постановкой и решением оптимизационной задачи по назначенному динамическому критерию снижения пиков давления и вводом корректирующего звена. Техническая реализация результатов приводит к мехатронному гидроагрегату, содержащему информационную, энерго-электронную и электромеханическую подсистемы

Ключевые слова: мехатронный гидроагрегат, синтез, корректирующее звено

This article represents the description of hydraulic synthesis with the production and solving an optimization problem for the designated dynamic criteria to reduce pressure. Technical implementation of the results leads to create mechatronic hydraulic unit, which contains information, energy, electronic and electromechanical subsystems

Key words: mechatronic hydraulic unit, synthesis, correcting link

СИНТЕЗ МЕХАТРОННОГО ГИДРОАГРЕГАТА, ПОДВЕРЖЕННОГО ПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКЕ

З.Я. Лурье

Доктор технических наук, профессор
Кафедра гидромашин*

Э.Г. Братута

Доктор технических наук, профессор
Кафедра теплотехники*

И.М. Федоренко

Научный сотрудник
Кафедра гидромашин*

*Национальный технический университет, «Харьковский политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

1. Введение

Функционирование ряда гидрофицированных технологических машин с нерегулируемыми объемными гидроагрегатами (ГА) характеризуется переменными нагрузками, приводящими к нежелательным забросам (пикам) давления рабочей жидкости (РЖ) в нагнетательных магистралях. Снижение пиков давления с помощью соответствующих настроек переливных и предохранительных клапанов не обеспечивает значений перерегулирования порядка 10-20 %. Кроме того при этом снижается общий КПД ГА за счет слива РЖ в бак. Установка ГА с объемным регулированием повышает его стоимость и не всегда экономически обоснована. Совмещение нерегулируемых насосов с регулируемым по частоте приводным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором (АД) [1] является перспективным направлением по энергосбережению, снижению пиков давления, увеличению ресурса работы ГА, снижению шума. Появления надежных промышленных преобразователей частоты

электрического тока (ПЧ) для АД, обеспечивающих на своем выходе требуемое соотношение между частотой и амплитудой напряжения, развитие теоретических основ частотного управления АД [2-4] открывают возможность ставить и решать научно-практические задачи для объемных ГА, подверженных переменным нагрузкам. К важному направлению исследований в этой области следует отнести задачи синтеза по динамическим критериям, решение которых будет способствовать повышению показателей качества переходных процессов объемных ГА.

На основе работы [5] можно сформулировать этапы синтеза рассматриваемых ГА, подверженных переменным нагрузкам, охватывающие цель управления и заканчивающиеся оптимизацией параметров корректирующего устройства (КУ).

Выбор критерия, выбор КУ и математическая модель неизменяемой части ГА определяют постановку оптимизационной задачи на ЭВМ и её решение завершает синтез рассматриваемых ГА, если удовлетворяются технические требования.

2. Анализ литературных источников

В работе [3] приведено исследование частотно-регулируемого АД с векторным управлением, который рекомендуется сегодня к применению большой группы машин и механизмов в различных отраслях промышленности. Отмечаются достоинства векторного управления: точная обработка заданной скорости с компенсацией скольжения, сохранение необходимой величины момента при малых частотах питания, плавная работа АД и быстрая реакция на скачки нагрузки вследствие высокой динамики регулирования.

В работе [6] рассматривается математическая модель системы водоснабжения с насосными агрегатами, которые приводят в движение АД с питанием от ПЧ. При этом в модели используется готовый блок АД с ПЧ, реализованный в пакете Matlab и предложена модель насоса и водоводов. Из описания модели и её функциональной схемы, не ясно имеются ли в системе корректирующие устройства с воздействием на ПЧ при изменениях подачи и напора воды.

Фирма Lenze использует АД с ПЧ типа 8200 Vector для стабилизации давления в системе водоснабжения [7]. В системе встроен ПИД-регулятор с целью более плавного регулирования давления, устранения резких его колебаний и гидроударов. Экономия электроэнергии за счет снижения подачи насоса в часы “отдыха” окупает затраты на создание системы менее чем за 1 год.

Таким образом, проблема снижения пиков давления РЖ в ГА технологических машин с переменной нагрузкой и насосной установкой с регулируемым асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором ещё далека до своего решения, в том числе путем синтеза параметрически оптимизируемых корректирующих устройств, средств мехатроники и до настоящего времени остается актуальной.

3. Постановка задачи

На рис. 1 изображена принципиальная гидравлическая схема гидроагрегата с регулируемым приводным двигателем насосной установки и параметрически оптимизируемым устройством обратной связи по давлению РЖ в напорной магистрали. Гидроагрегат включает: шестеренный насос Н, асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором с питанием от частотного преобразователя, измерительный преобразователь давления (ПД), предохранительный клапан и устройство обратной связи Куос по давлению (включающий нелинейные преобразователи и параметрически оптимизируемый ПИД-регулятор). Давления в соответствующих точках схемы обозначены через p_1 , $p_{сл}$, $p_{вс}$. В качестве имитатора переменного давления p_1 в схеме применен дроссель Др, проходное сечение которого можно формировать по различным законам.

Включение в состав ГА преобразователя частоты для регулирования скорости вращения АД позволяет менять подачу насоса в функции давления РЖ, оставляя за предохранительным клапаном функцию защиты от возможной перегрузки, не возлагая на него режим переливного клапана. Обеспечение желаемых

показателей качества процессов, вызванных управляющими воздействиями (перерегулирования, числа колебаний, статической точности, быстродействия и др.) можно достичь при постановке и решении задачи синтеза по динамическому критерию относительно давления p_1 .

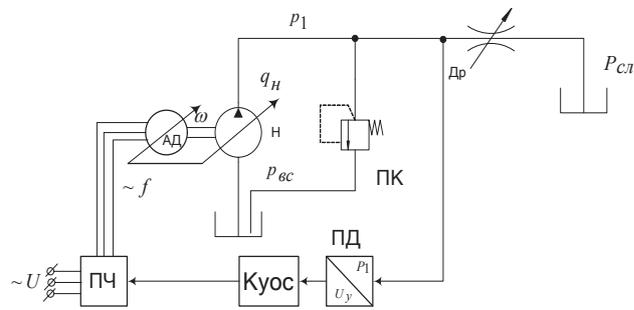


Рис. 1. Схема гидроагрегата с переменной нагрузкой: Н – насос, АД – асинхронный электродвигатель, ПЧ – преобразователь частоты, Др – регулируемый дроссель, ПД – преобразователь давления (датчик), Куос – корректирующее устройство обратной связи по давлению, КП – предохранительный клапан.

В качестве критерия оптимизации рассматривается относительная интегральная оценка

$$I = \frac{\int_0^{t_k} |p_1(t) - p_{1жел}(t)| dt}{\int_0^{t_k} p_{1жел}(t) dt} \cdot 100\%, \tag{1}$$

где $p_{1жел}(t)$ – желаемый закон изменения давления p_1 при разгоне ГА, включая участок возмущающего воздействия нагрузки (практически скачкообразного уменьшения площади Др); $p_1(t)$ – кривая давления, получаемая на математической модели в процессе синтеза; t_k – время наблюдаемого процесса. Значение критерия I учитывает близость кривых $p_{1жел}(t)$ и $p_1(t)$ в интегральном смысле за время t_k .

В качестве корректирующего устройства, широко применяемого в линейных системах, используем для исследуемого ГА (описываемого нелинейной моделью) ПИД-регулятор, параметры настройки которого подлежат оптимизации. Следует отметить, что известны примеры эффективного функционирования ПИД-регулятора в нелинейных системах.

Математическая модель ГА включает уравнения: механической характеристики АД, расходов РЖ, давления в нагнетательной магистрали, движения и др. Структурно-функциональная схема модели ГА изображена на рис. 2. Здесь P_1 , $P_{сн}$ – давления РЖ; $q_{нр}$, $q_{уп}$, $q_{кп}$ и $q_{др}$ – соответственно геометрическая подача и объемные потери насоса, расходы через ПК и ДР; V_0^H – рабочий объем насоса; $M_{др}$, $M_{кп}$ – коэффициенты расхода; $A_{щ,кп}$, $A_{др}$ – площади дроссельных отверстий КП и ДР; ρ – плотность РЖ; ω_0 , ω , S_k , M_k , M_g и $M_{сн}$ – соответственно синхронная частота, угловая частота вращения, критическое скольжение, максимальный момент, крутящий момент АД и момент сопротивления Н; J_{Σ} – приведенный к валу АД момент

вращающих элементов инерции, K_ξ - коэффициент снижения частоты АД относительно номинальной частоты 50 Гц.

Коэффициенты K_f , изображенные на рис. 2, как внешние переменные крутящего момента АД, определяются с помощью обратной связи по давлению P_1 для поддержания его постоянства согласно неравенству

где $P_{1доп}$ - допустимое давление РЖ при эксплуатации ГА; $K_{финд}$ - коэффициент, численно равный сигналу $U_{пид}$ с выхода ПИД-регулятора.

$$U_{пид} = U_{\epsilon p1} K_n + K_u \int_0^{t_k} U_{\epsilon p1} dt + K_d \frac{dU_{\epsilon p1}}{dt}, \quad (3)$$

$$\text{где } U_{\epsilon p1} = \begin{cases} 0 & \text{при } p_1 \leq P_{1доп}, \\ U_y - U_{удоп} & \text{при } p_1 > P_{1доп} \end{cases}$$

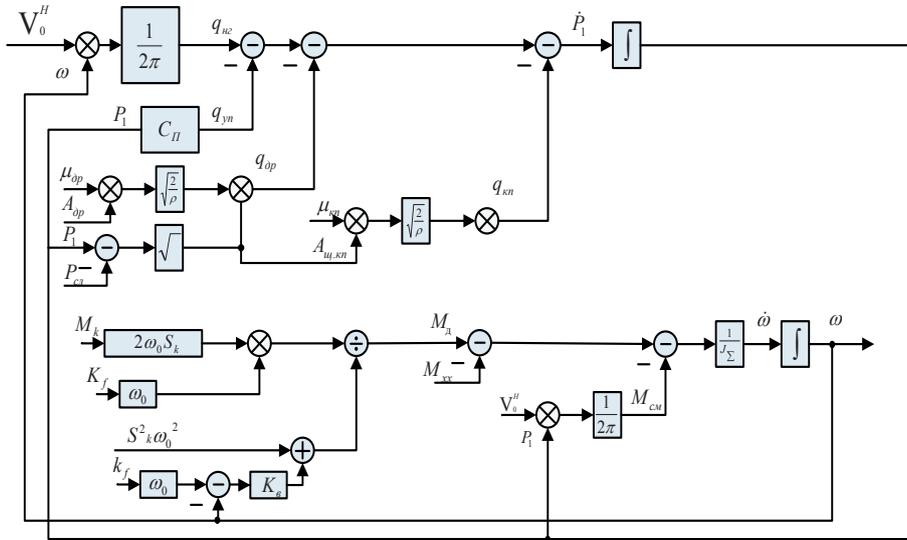


Рис. 2. Структурно-функциональная схема ГА

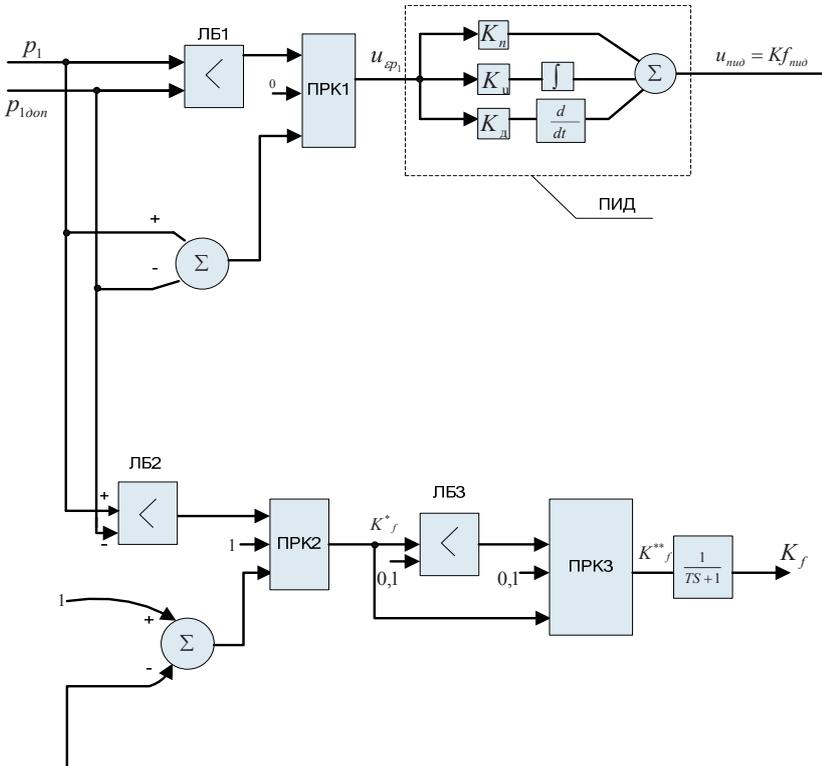


Рис. 3. Схема формирования сигнала обратной связи ГА по давлению с параметрически оптимизируемым ПИД-регулятором

$$K_f^* = \begin{cases} 1 & \text{при } p_1 \leq P_{1доп}, \\ 1 - K_{финд} & \text{при } p_1 > P_{1доп}, \end{cases} \quad (2)$$

рассогласования между сигналом U_y (величиной пропорциональной текущему значению давления p_1) и $U_{удоп}$ (величиной пропорциональной давлению $P_{1доп}$); K_n, K_u, K_d - коэффициенты каналов настройки ПИД-регулятора.

Введем ограничения минимального значения $K_{fмин}^* = 0,1$,

$$K_f^{**} = \begin{cases} 0,1 & \text{при } K_f^* \leq 0,1, \\ K_f^* & \text{при } K_f^* > 0,1. \end{cases}$$

И, следовательно, $K_f = K_f^{**}$

На рис. 3 изображена диаграмма вычислительных блоков в пакете visSim, реализующие выражения (2)-(5). Блоки ПРК-1-ПРК-3 выполняют функции программных переключателей в зависимости от значения выходных сигналов (0 или 1) логических блоков <ЛБ1 – ЛБ3.

4. Решение

Поставленная задача синтеза является однокритериальной со многими варьируемыми параметрами. В табл.1 показаны результаты оптимизации по критерию I при различных начальных значениях варьируемых параметров K_n, K_u, K_d . Учитывая, что синтезу подвергается ГА, описываемый нелинейной моделью, возникла необходимость выбрать несколько различных совокупностей начальных значений K_n, K_u, K_d .

Как видно из таблицы, каждой совокупности начальных значений соответствует различное сочетание оптимальных значений $K_n^* - K_d^*$ (буквой «o» в верхнем индексе отмечается оптимальное значение параметра) и практически одинаковое значение критерия I (от 2,15 до 2,31 %). В качестве метода оптимизации выбран итеративный метод Powell, который имеется в пакете VisSim, и является разновидностью методов покоординатного спуска.

Число интеграций колеблется от 32 до 37. Дискретность и время интегрирования при оптимизации выбраны 0,0001 и 0,85 с.

Таблица

Результаты оптимизации

Начальные значения				Оптимальные значения				
№	K_p	K_u	K_d	K_d°	K_d°	K_d°	Значения I, %	Число интеграций
1	0,5	0,1	0,001	4,57	4,57	$1,4 \cdot 10^{-3}$	2,31	33
2	1	0,25	0,001	4,9	5,8	$1,6 \cdot 10^{-3}$	2,29	37
3	2	0,5	0,001	4,62	6,15	$1,45 \cdot 10^{-3}$	2,28	32
4	3	1	0,001	4	7,54	$1,2 \cdot 10^{-3}$	2,15	33

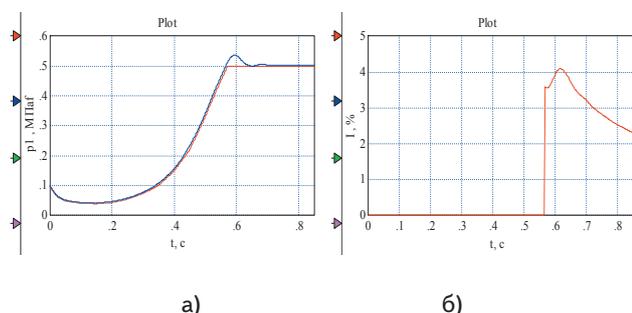


Рис. 4. Результаты синтеза по критерию I(t): а – оптимальная (кривая 1) давления p1, желаемая (кривая 2) давления p1; б – кривая изменения I(t) с момента включения обратной связи по давлению p1

На рис. 4 показаны оптимальная кривая p_1 (кривая 1) и желаемая (кривая 2), полученные по результатам синтеза в соответствии с п.1 таблицы. Значение критерия в конце процесса интегрирования уравниваний ГА уменьшается и в конце становится равным 2.31%.

Техническая реализация КУ с оптимальными параметрами ПИД-регулятора и связи между непрерывным объектом управления и регулятором осуществляется через преобразователи аналоговых величин в цифровой код (АЦП) и цифровым кодом в аналоговую величину (ЦАП). Таким образом, исследуемый ГА является мехатронным.

5. Выводы

1. Задача синтеза гидроагрегата непосредственно связана с постановкой и решением оптимизационной задачи по назначенному динамическому критерию снижения пиков давления и ввод корректирующего устройства (например, ПИД-регулятора).

2. Выполненные исследования показали, что в качестве критерия оптимальности следует использовать относительную интегральную оценку, которая учитывает близость оптимальной и желаемых кривых за время переходного процесса.

3. Предложенное формирование сигнала обратной связи по давлению может быть применено и для других корректирующих устройств при синтезе ГА с переменной нагрузкой.

4. Техническая реализация результатов обсуждения постановки и решения задачи синтеза приводит к мехатронному ГА, содержащему информационную энергоэлектронную и электромеханическую подсистемы.

Литература

1. Тихенко В.Н. разработка гидропривода с регулируемым приводным двигателем насосной установки // Промислова гідроліка і пневматика. – 2006.- №1(11).- С.84-86.
2. Лимонов Л.Г., Маргулис В.П., Хромачев Г.И. Применение серийных преобразователей частоты фирмы АВВ с прямым управлением моментом электродвигателя // Електромашинобудування та електрообладнання. Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика.-К.:Техніка.- 2006.- С.30-32.
3. Чермалых В.М., Чермалых А.В., Майданских И.Я. Исследование динамики и энергетических показателей асинхронного электропривода с векторным управлением методом виртуального моделирования. // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Харьков: НТУ “ХПИ” – 2008. – С. 41-45.
4. Перельмутер В.М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока. – Харьков: Основа, 2004. – 210с.
5. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; изд. Перераб. И доп. Т.3: синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пункова и Н.Д. Егунова.- М.: изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 616с.
6. Кінчур О.Ф. Моделирование электроприводу насосной станції водопостачання // Проблеми автоматизованого електропривода. Теория и практика.- Харьков: НТУ “ХПИ” – 2008.-С.241-242.
7. Проспект фирмы Lenze. Промышленный электропривод переменного тока.- С.123.