

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ШАГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДРОССЕЛЬНОЙ ЗАСЛОНКИ С РЕЛЕЙНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ

Трусов Е.В.

Научный руководитель: Дементьев Ю.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30
E-mail: jordan1987@sibmail.com

Модернизация электрооборудования вентиляционных установок, предназначенных для перемещения и регулирования подачи воздуха по воздуховодам в системах кондиционирования помещений [1], обуславливает совершенствование системы управления электроприводом воздушной дроссельной заслонки (ДЗ). Основное назначение ДЗ состоит в регулировании подачи воздуха по вентиляционному каналу за счет изменения угла перекрытия трубопровода. Для этого наиболее часто применяется шаговый электропривод (ШЭП), обеспечивающий ее установку в одно из положений: закрыто, открыто и любое промежуточное. Максимальное время поворота из одного крайнего положения (0°) в другое (90°) составляет не более 3 с. Время поворота ДЗ на 1° можно определить следующим образом:

$$\tau = \frac{T}{\alpha_m} = \frac{3}{90} = 0,033 \text{ с},$$

где T – время полного цикла работы ДЗ; α_m – максимальный угол ее установки.

Согласно функциональной блок-схеме ШЭП ДЗ (рис. 1) БМ, является основными узлом и включает в себя шаговый электродвигатель, редуктор, муфту, ДЗ

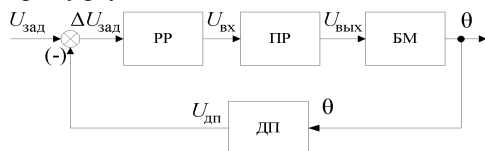


Рис. 1. Блок-схема механической части ШЭП: РР – регулятор релейного типа; ПР – преобразователь; БМ – блок электромеханики; ДП – датчик положения дросселя

В момент, когда необходимо повернуть ДЗ на определенный угол, на вход РР, который представляет собой операционный усилитель, работающий в режиме компаратора, поступает напряжение $\Delta U_{\text{зад}}$, равное разности между задающим напряжением $U_{\text{зад}}$ и напряжением обратной связи $U_{\text{дп}}$. Включение шагового электродвигателя происходит, когда напряжение $U_{\text{зад}}$ становится больше напряжения порогового уровня $U_{\text{оп}}$, определяемого временем поворота τ (рис. 2).

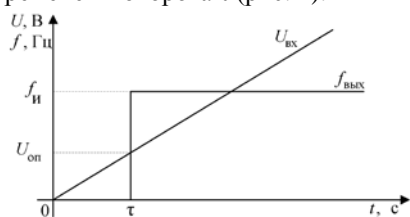


Рис. 2. Диаграмма зависимости частоты и напряжения от времени

Использование РР позволяет ограничить входной сигнал таким образом, что при включении системы управления напряжение $U_{\text{вх}}$ достигает установившегося значения без перерегулирования и с постоянной скоростью, что позволяет повысить точность угла поворота и получить значительно большее быстродействие по сравнению с пропорциональным регулированием, так как входное воздействие на привод поддерживается все время максимальным.

ПР преобразует напряжение $U_{\text{вх}}$ в напряжение $U_{\text{вых}}$ определенной частоты импульсов $f_{\text{и}} = f_{\text{вых}} = 25$ Гц для питания шагового электродвигателя (рис.2).

При изменении угла поворота ДЗ от 0° до 90° постоянная составляющая сигнала на выходе ДП, выполненного на основе поворотного трансформатора, меняется от нуля до 9 В. Следовательно, коэффициент передачи датчика

$$k_1 = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{U_{\text{ДП}}}{\alpha_m} = \frac{9}{90} = 0,1,$$

где $U_{\text{вых}} = U_{\text{ДП}}$ – максимальное выходное напряжение ДП.

Переменное напряжение $U_{\text{ДП}}$ с выхода ДП поступает на выпрямитель с фильтром высокочастотных пульсаций (рис. 3), выделяющий постоянную составляющую сигнала.

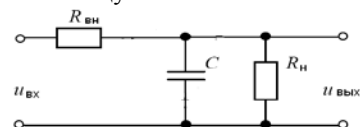


Рис. 3. Схема замещения выпрямителя с фильтром высокочастотных пульсаций: C – сглаживающий конденсатор; $R_{\text{вн}}$ – статическое внутреннее сопротивление выпрямителя; $R_{\text{н}}$ – сопротивление нагрузки; $u_{\text{вх}}$ – входное переменное напряжение выпрямителя; $u_{\text{вых}}$ – выходное постоянное напряжение выпрямителя

Передаточная функция ДП имеет вид

$$W_{\text{ДП}} = k_1 W_1(s) = k_1 \frac{K_{\text{ДП}}}{T_{\text{ДП}}s + 1} = \frac{0,064}{0,0242s + 1},$$

где $K_{\text{ДП}}$ – коэффициент передачи фильтра; $T_{\text{ДП}}$ – постоянная времени фильтра.

Передаточную функцию, описывающую поведение РР на основе функции Хэвисайда, можно представить в операторной форме:

$$W_{\text{ПР}} = k_y e^{-\tau s} = 90e^{-0,33s},$$

где k_y – коэффициент усиления преобразователя; s – оператор Лапласа.

Передаточную функцию БМ полученную на основе уравнения движения ШЭП и уравнений напряжения в фазах шагового двигателя, можно записать следующим образом:

$$W_{\text{БМ}} = \frac{\omega(s)}{U(s)} = \frac{\frac{r}{L_p} \omega_c^2 + \omega_c^2 s}{s^3 + \left(\frac{r}{L_p} + \frac{D}{J}\right) s^2 + \left(\frac{r}{L_p} \frac{D}{J} + \omega_c^2 (1 + k_p)\right) s + \frac{r}{L_p} \omega_c^2}$$

где ω_c – собственная частота колебаний; k_p – константа двигателя; D – коэффициент вязкого трения; r – активное сопротивление обмотки статора; L_p – разность между индуктивностью фазы статора и взаимоиндуктивностью; J – приведенный момент инерции ШЭП.

Принцип релейного регулирования в статическом режиме можно исследовать с помощью имитационной модели ШЭП ДЗ, составленной в программной среде MATLAB (рис. 4).

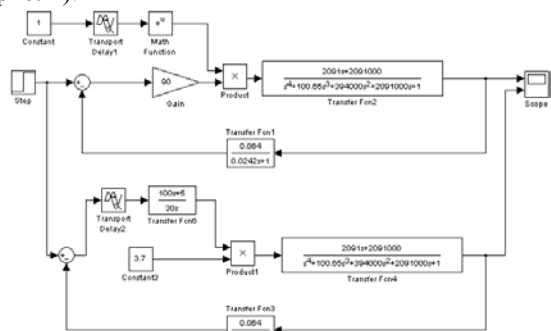


Рис. 4. Имитационная модель для исследования статического режима работы ШЭП

В ходе моделирования приняты следующие допущения:

- ток считается постоянной величиной;
- характер нагрузки – инерционный.

Результаты моделирования ШЭП ДЗ при максимальном напряжении рассогласования $U=5.6$ В приведены на рис. 5, 6. Основные показатели качества: время начала t_1 и время окончания t_2 переходного процесса, характеризующие быстродействие, перерегулирование σ , статическая ошибка $\Delta\theta_{\text{уст}}$, запас по амплитуде ΔL и запас по фазе $\Delta\varphi$ сведены в табл. 1. Из временных характеристик (рис. 6) можно также определить показатели колебательности переходного процесса: декремент колебания $\chi = A_1 / A_2$ и декремент затухания $\zeta = (A_1 - A_3) / A_1$, где A_1, A_2, A_3 – значения смежных полупериодов.

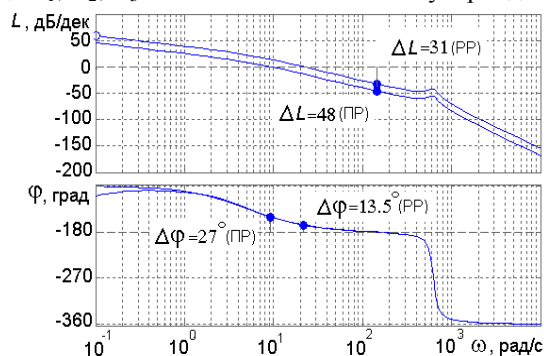


Рис. 5. Логарифмическая амплитудная и частотная характеристики разомкнутой следящей системы

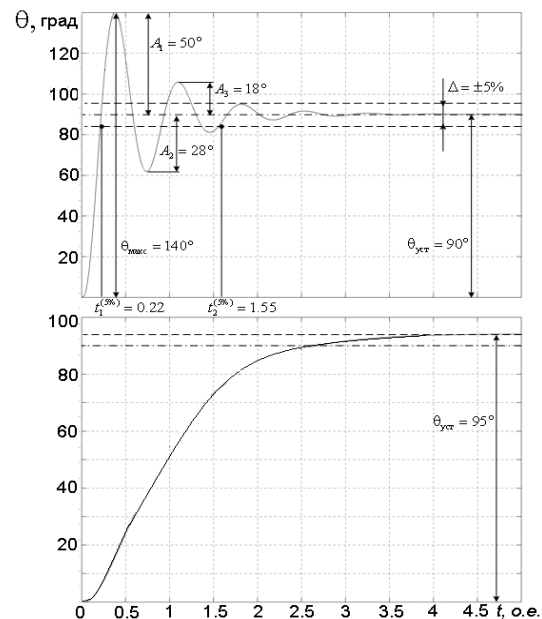


Рис. 6. Временные характеристики замкнутой следящей системы

Таблица 1

Тип Регулятора	показатели качества							
	t_1, c	t_2, c	$\sigma, \%$	$\Delta\theta_{\text{уст}}, \%$	ΔL	$\Delta\varphi$	χ	ζ
РР	0,22	1,55	55	0	4,8	27	0	0
ПР	2,5	4	0	5	3,1	13,5	1,76	0,6

Таким образом, применение релейного регулирования обеспечивает более высокое быстродействие и позволяет убрать статическую ошибку при наличии запасов устойчивости по фазе и амплитуде, что является определяющим фактором с точки зрения эффективности работы ШЭП ДЗ. Однако в такой системе присутствуют колебания и значительное перерегулирование, что не соответствует требуемым (идеализированным) параметрам работы следящей системы ШЭП. Исходя из этого, необходимо провести оптимизацию данных параметров с использованием корректирующей обратной связи.

Литература

1. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. – М.: Физматгиз, 1959. – 915 с.
2. Крауиньш Д.П. Автоматизированный электропривод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 128 с.
3. Основы проектирования и расчета следящих систем / Смирнова В.И. [и др.]. – М.: Машиностроение, 1983. – 295 с.
4. Анализ передаточной функции шагового электропривода дроссельной заслонки / Е. В. Трусов [и др.] // Электронные и электромеханические системы и устройства: тез. докл. науч.-техн. конф. молодых специалистов (Томск, 14–15 фев. 2013г.) / ОАО «НПЦ «Полюс». – Томск, 2013 – с. 91–92.