

*к.т.н. Дрючин В.Г.,
к.т.н. Самчелев Ю.П.,
Белоха Г.С.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

СИНТЕЗ ОДНОКОНТУРНОГО ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Рассматривается синтез регулятора и звена обратной связи вентильного одноконтурного электропривода из условия обеспечения требуемых качественных показателей по задающему и возмущающему воздействиям.

Ключевые слова: *синтез, регулятор, звено обратной связи, вентильный электропривод, качество регулирования.*

Розглядається синтез регулятора і ланки зворотного зв'язку вентильного одноконтурного електроприводу за умови забезпечення необхідних якісних показників по задаючій і обурюючій діям.

Ключові слова: *синтез, регулятор, ланка зворотного зв'язку, вентильний електропривод, якість регулювання.*

Постановка задачи. Вентильные электроприводы постоянного тока (ВЭП) выполняются обычно по структуре подчиненного регулирования, содержащей обратные связи по току и скорости двигателя [1]. В [2] рассматриваются структуры одноконтурных ВЭП, в которых оптимизация процессов управления обеспечиваются с помощью «идеального» ПИД регулятора без связи по току, что удобно и практически реализуемо для цифрового варианта ВЭП, синтезировать который можно так же, как и обычный аналоговый ВЭП. Вместе с тем, в [2] не определена в явном виде зависимость параметров регулятора от желаемого вида траектории переходного процесса и требуемого времени регулирования. В работе [3] поставлена и решена задача синтеза оптимального по квадратичному функционалу регулятора одноконтурного вентильного электропривода. Однако в [3] систему ПИД регулятора (определение его параметров) осуществляется по желаемой траектории выходной координаты при отработке задания, т.е. без учета возмущающего воздействия (статического момента), действующего на ВЭП.

В связи с этим поставим задачу синтеза регулятора и звена обратной связи по скорости из условия обеспечения наперед заданному каче-

ству регулирования ВЭП при обработке задающего и возмущающего воздействий.

Решение задачи. Уравнения движения ВЭП в соответствии со структурной схемой, представленной на рисунке 1, имеет вид

$$\dot{\omega} = \frac{k_{\partial} R_{\text{я}}}{T_{\text{м}}} (I - I_c); \dot{I} = -\frac{1}{k_{\partial} R_{\text{я}} T_{\text{я}}} \omega - \frac{1}{T_{\text{я}}} I + \frac{k_n}{T_{\text{я}} R_{\text{я}}} U_p, \quad (1)$$

где ω, I, I_c – соответственно определяют скорость, ток якорной обмотки и статический ток нагрузки электродвигателя;

U_p – выходной сигнал регулятора;

$k_{\partial}, R_{\text{я}}, T_{\text{я}}, T_{\text{м}}, k_n$ – параметры электродвигателя и тиристорного преобразователя.

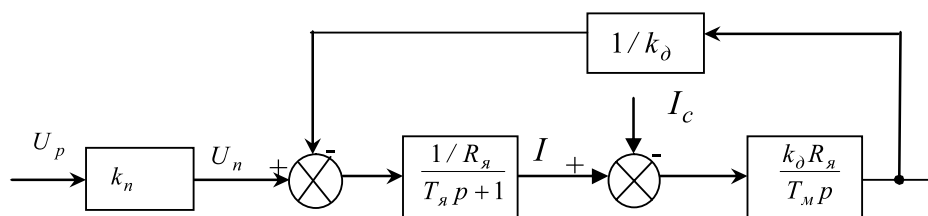


Рисунок 1 – Структурная схема ВЭП

Выходной сигнал регулятора U_p при обработке задания $U_3 (I_c = 0)$ и обработке возмущения $I_c (U_3 = 0)$ определяется соответствующими выражениями

$$U_p = (U_3 - W_{oc} \omega) W_p; \quad U_p = -W_{oc} W_p \omega. \quad (2)$$

С учетом (1) и (2) уравнения движения одноконтурного ВЭП по заданию и возмущению соответственно записываются:

$$(T_{\text{м}} T_{\text{я}} p^2 + T_{\text{м}} p + 1 + W_p W_{oc} k_n) \omega = k_n W_p U_3, \quad (3)$$

$$(T_{\text{м}} T_{\text{я}} p^2 + T_{\text{м}} p + 1 + W_p W_{oc} k_n) \omega = -k_{\partial} R_{\text{я}} (T_{\text{я}} p + 1) I_c. \quad (4)$$

Заданные траектории переходных процессов по заданию и возмущению практически удобно задавать желательными уравнениями движения ВЭП по заданию и возмущению, аналогично [3]:

$$(p^3 + \gamma_3 p^2 + \gamma_2 p + \gamma_1) \omega = \gamma_1 U_3, \quad (5)$$

$$(p^3 + \gamma_3 p^2 + \gamma_2 p + \gamma_1)\omega = -\alpha \cdot p \cdot I_c, \quad (6)$$

где $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – коэффициенты задающие распределение корней характеристического уравнения замкнутого ВЭП, а, следовательно, и заданную траекторию переходного процесса;

α – коэффициент, задающий динамическую ошибку по возмущению.

Сравнивая (3) и (5), (4) и (6), получим

$$\frac{\gamma_1}{p^3 + \gamma_3 p^2 + \gamma_2 p + \gamma_1} = \frac{k_n W_p}{T_m T_{я} p^2 + T_m p + 1 + W_p W_{oc} k_n}, \quad (7)$$

$$\frac{\alpha p}{p^3 + \gamma_3 p^2 + \gamma_2 p + \gamma_1} = \frac{k_n R_{я} (T_{я} p + 1)}{T_m T_{я} p^2 + T_m p + 1 + W_p W_{oc} k_n}. \quad (8)$$

Решая (7) и (8), определим передаточные функции регулятора и звена обратной связи, обеспечивающих движения по заданию и возмущению, а именно

$$W_p = \frac{\gamma_1 k_{\partial} R_{я} (T_{я} p + 1)}{\alpha k_n p} = \frac{\gamma_1 k_{\partial} R_{я} T_{я}}{\alpha k_n} + \frac{\gamma_1 k_{\partial} R_{я}}{\alpha k_n p}, \quad (9)$$

$$W_{oc} = \frac{p^3 + \gamma_3 p^2 + \gamma_2 p + \gamma_1}{\gamma_1} - \frac{p^3 \alpha T_m T_{я} + \alpha T_m p^2 + \alpha p}{\gamma_1 k_{\partial} R_{я} (T_{я} p + 1)}. \quad (10)$$

Анализ выражений (9) и (10) показывает, что регулятор представляет собой ПИ-регулятор с соответствующими коэффициентами, а звено обратной связи – звено, обеспечивающее дифференцирование выходной координаты ВЭП.

Идеальная реализация такого звена невозможна. Реализацию звена (10) возможно осуществить на базе интегрируемого фильтра, подключаемого на выход двигателя ВЭП:

$$\dot{y}_1 = y_2; \dot{y}_2 = y_3; \dot{y}_3 = y_4; \dot{y}_4 = u. \quad (11)$$

Управление которого найдем, как модальное управление

$$u = \beta_1 \omega - \beta_1 y_1 - \beta_2 y_2 - \beta_3 y_3 - \beta_4 y_4, \quad (12)$$

где $\beta_1 = \frac{a_1}{t_\phi^4}, \beta_2 = \frac{a_2}{t_\phi^3}, \beta_3 = \frac{a_3}{t_\phi^2}, \beta_4 = \frac{a_4}{t_\phi}$ – коэффициенты, задающие

распределение корней и, следовательно, качественные показатели фильтра;

a – числовые коэффициенты, определяемые порядком фильтра и видом стандартом формы;

t_ϕ – время движения по траектории, определяемые стандартной формой.

Фазовые координаты интегрирующих фильтра будем использовать для формирования $\omega_{oc}, \dot{\omega}_{oc}, \ddot{\omega}_{oc}, \overset{\circ}{\ddot{\omega}}_{oc}$, которые с определенной точностью (погрешность одна и та же для всех фазовых координат) будет соответствовать $\omega, \dot{\omega}, \ddot{\omega}, \overset{\circ}{\ddot{\omega}}$ т.е. достигается $\omega_{oc} \approx \omega, \dot{\omega}_{oc} \approx \dot{\omega}, \ddot{\omega}_{oc} \approx \ddot{\omega}, \overset{\circ}{\ddot{\omega}}_{oc} \approx \overset{\circ}{\ddot{\omega}}$.

Алгоритм формирования $\omega_{oc}, \dot{\omega}_{oc}, \ddot{\omega}_{oc}, \overset{\circ}{\ddot{\omega}}_{oc}$ получаем из того, что интегрирующий фильтр (11), (12) идентифицируем звеном первого порядка, а именно

$$y_1(T_\phi p + 1) = \omega_{oc}, \quad (13)$$

где $T_\phi = \frac{t_\phi}{4}$ (время переходного процесса фильтра и идентифицированного звена одно и то же).

Учитывая (13), получим

$$\begin{aligned} \omega_{oc} &= y_1 + T_\phi \dot{y}_1 = y_1(1 + T_\phi p) \approx \frac{\omega}{T_\phi p + 1}(T_\phi p + 1) = \omega, \\ \dot{\omega}_{oc} &= \dot{y}_1 + T_\phi \ddot{y}_1 = \dot{y}_1(1 + T_\phi p) \approx \frac{\dot{\omega}}{T_\phi p + 1}(T_\phi p + 1) = \dot{\omega}, \quad (14) \\ \ddot{\omega}_{oc} &= \ddot{y}_1 + T_\phi \overset{\circ}{\ddot{y}}_1 = \ddot{y}_1(1 + T_\phi p) \approx \frac{\ddot{\omega}}{T_\phi p + 1}(T_\phi p + 1) = \ddot{\omega}, \\ \overset{\circ}{\ddot{\omega}}_{oc} &= \overset{\circ}{\ddot{y}}_1 + T_\phi \overset{\circ}{\overset{\circ}{\ddot{y}}}_1 = \overset{\circ}{\ddot{y}}_1(1 + T_\phi p) \approx \frac{\overset{\circ}{\ddot{\omega}}}{T_\phi p + 1}(T_\phi p + 1) = \overset{\circ}{\ddot{\omega}}. \end{aligned}$$

Полученные фазовые координаты (выходная координата ВЭП и ее производные) используются при формировании обратной связи в соответствии с (10). Структуры регулятора и звена обратной связи представлены на рисунке 2 и рисунке 3 соответственно.

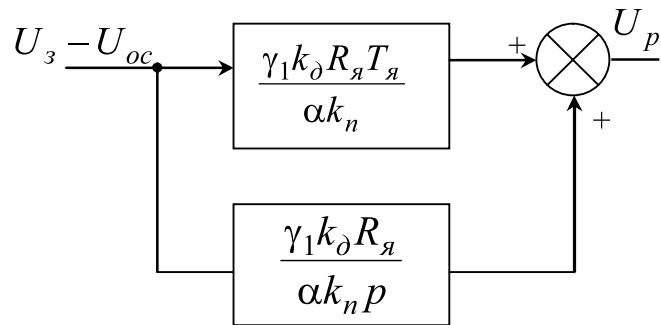


Рисунок 2 – Структура регулятора

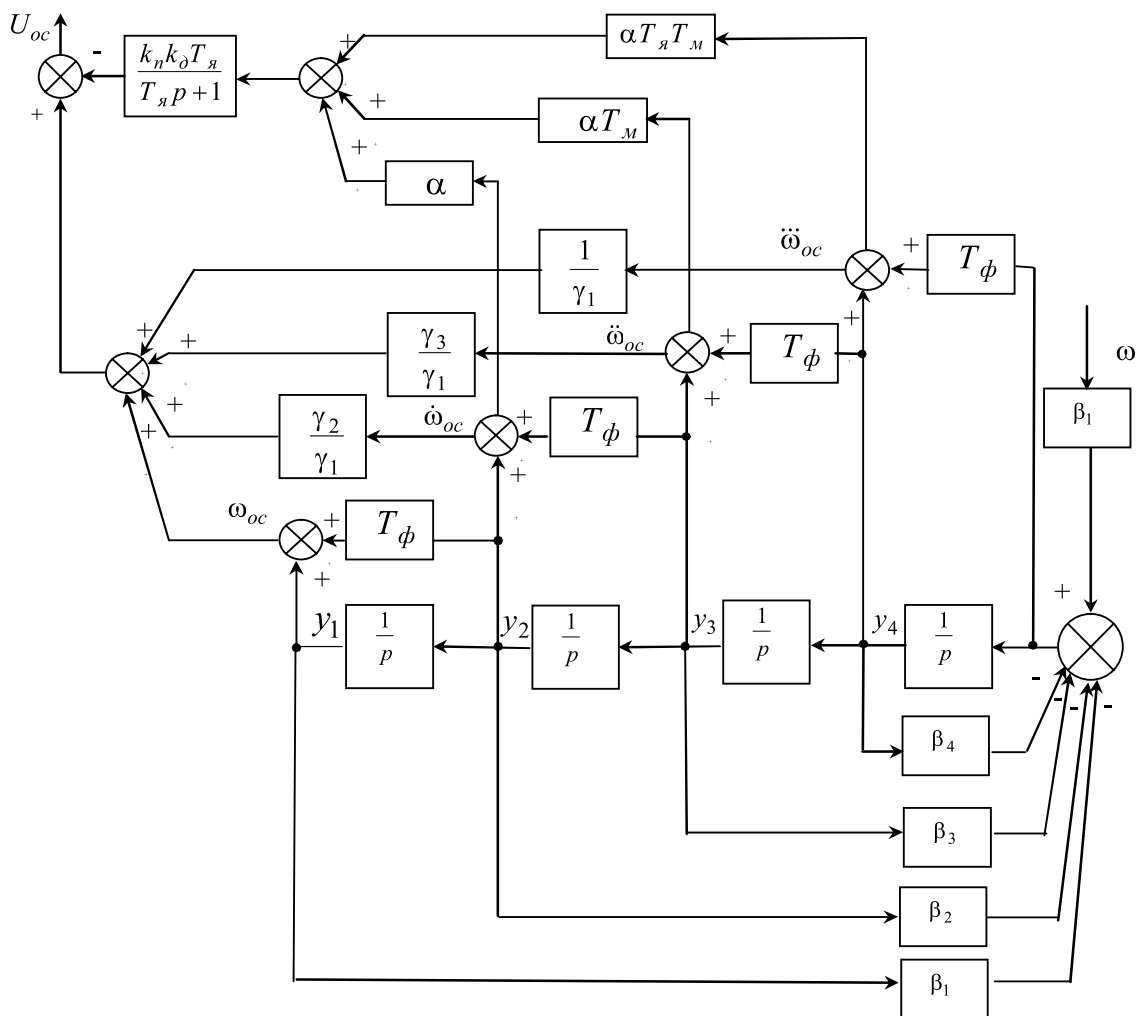


Рисунок 3 – Структура звена обратной связи

Проиллюстрируем приведенную выше методику синтеза регулятора и звена обратной связи на примере.

Исходные данные вентиляльного электропривода: двигатель – $U_n = 220\text{ В}$; $I_\partial = 35\text{ А}$; $L_\partial = 0,594\text{ Гн}$; $T_\partial = 0,0583\text{ с}$; $T_M = 0,2\text{ с}$; $k_\partial = 0,385\text{ 1/В}\cdot\text{с}$; $\omega_n = 84,6\text{ 1/с}$; преобразователь – $k_n = 22$.

Зададим аperiodический переходной процесс электропривода длительностью $t_p = 0,5c$ и коэффициентом динамической ошибки $\alpha = 1$. Тогда параметры регулятора и звена обратной связи определим в соответствии с (9) и (10) с учетом, что $\gamma_1 = \left(\frac{10}{t_p}\right)^3$; $\gamma_2 = \left(\frac{10}{t_p}\right)^2$; $\gamma_3 = \frac{10}{t_p}$.

Переходные процессы по задающему и возмущающему воздействиям синтезированного вентильного электропривода приведены на рисунке 4а и 4б соответственно.

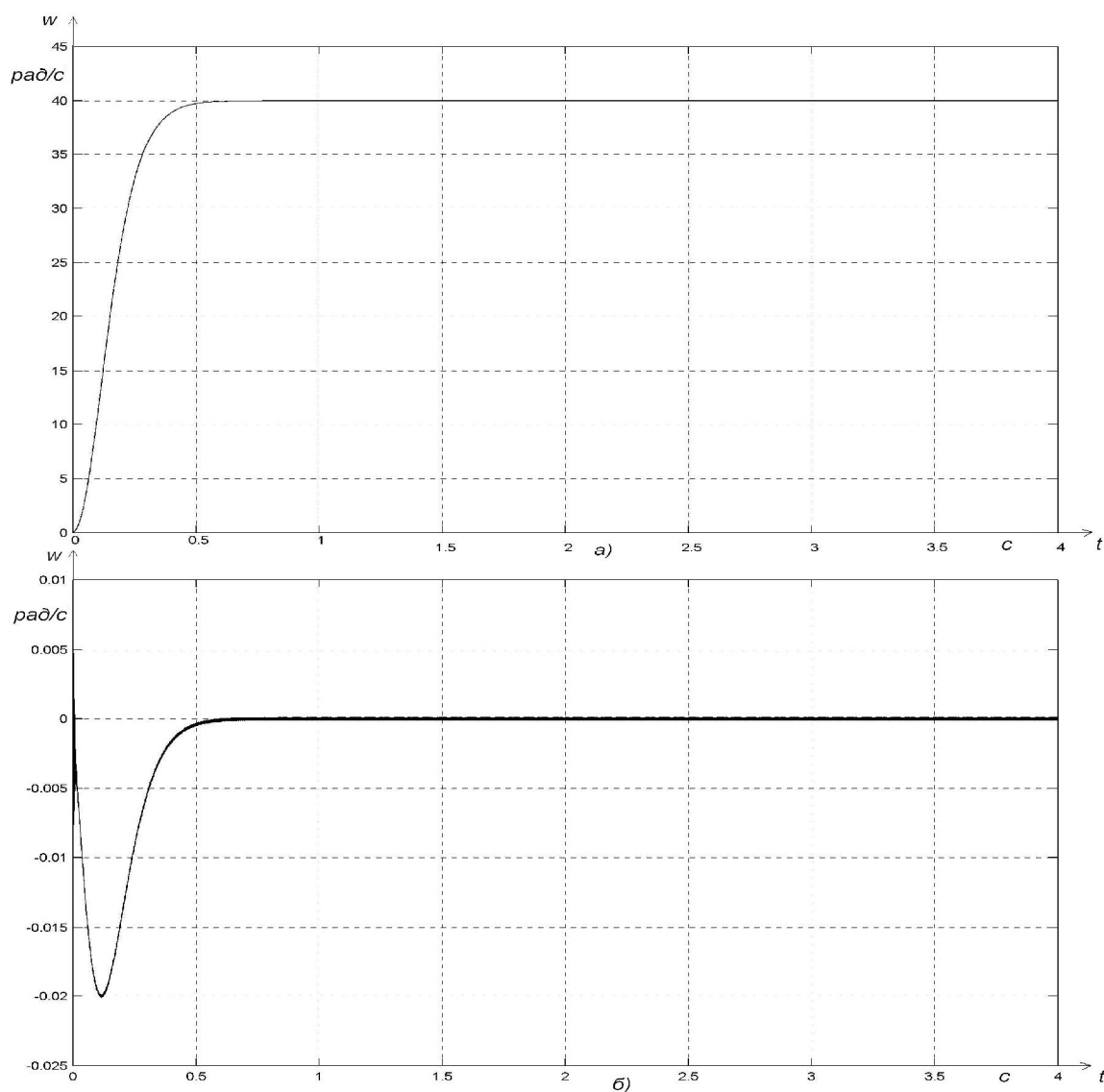


Рисунок 4 – Переходные процессы по задающему (а) и возмущающему (б) воздействиям синтезированного вентильного электропривода

Заключение. Синтез регулятора и звена обратной связи по желаемым передаточным функциям по задающему и возмущающему воздействиям, позволяет обеспечить наперед заданное качество регулирования вентильного электропривода (траекторию и время переходного процесса). Изложенная выше методика обеспечивает унификацию синтеза регулятора и звена обратной связи, выбора их параметров в зависимости от требуемого качества регулирования.

Библиографический список

1. Лебедев Е.Д. Управление вентильными электроприводами постоянного тока / Е.Д. Лебедев, В.Е. Неймарк, М.Я.Пистрак, О.В. Слещановский. – М.: Энергия, 1970.

2. Никитин В.М. Оптимизация переходных процессов и выбор параметров ПИД регулятора в приводах с вентильными преобразователями / В.М. Никитин, В.Н. Данилов, А.Д. Поздеев // Электромеханика. – 1986. - №10. – С.89-95.

3. Дрючин В.Г. Синтез регуляторов электропривода постоянного тока на базе интегрирующих фильтров /В.Г. Дрючин, Ю.П. Самчелев, И.С.Шевченко //Тематический выпуск НТУ «ХПИ». – 2008. - №30. – С.248-250.

Рекомендовано к печати к.т.н., проф. Паэрандом Ю.Э.