

И.Г. СЛЕПНЁВ, студент гр. 5Г2А (ТПУ)
А.С. ГЛАЗЫРИН, доцент каф. ЭПЭО (ТПУ)
Научный руководитель А.С. ГЛАЗЫРИН, к.т.н., доцент (ТПУ)
г. Томск

КОМПЕНСАЦИЯ РАССОГЛАСОВАНИЯ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ В НАБЛЮДАТЕЛЕ ПОЛНОГО ПОРЯДКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Актуальность. Потребность в разработке и совершенствовании наблюдателей полного порядка для регулируемых электродвигателей в настоящее время связана как с увеличением потребности промышленности в автоматизации основных технологических процессов, так и с существенным развитием аппаратной базы и вычислительной мощности микропроцессорного ядра системы управления современных электроприводов [1]. За счёт перехода на цифровые сигнальные процессоры (ЦСП или *DSP* – *Digital signal processor*) серии *Motor Control* с встроенными высокоскоростными и многоразрядными аналого-цифровыми преобразователями на практике становится возможным реализовать различные подходы к построению наблюдателей для оценивания переменных состояния регулируемых электродвигателей [1], однако вопросы настройки этих наблюдателей, в том числе задача компенсации рассогласования начальных условий в наблюдателе полного порядка по прежнему остаются актуальными [1–6].

Постановка задачи. Рассмотрим наблюдатель полного порядка, описанный в [6], для регулируемого двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ). Для этого наблюдателя опишем методику настройки коэффициента отработки невязки $k_{\text{ДП}}$, отвечающего за компенсацию рассогласования начальных условий в наблюдателе.

Методика расчёта граничного коэффициента усиления невязки в контуре регулирования оценки тока. Идея настройки наблюдателя полного порядка ДПТ НВ заключается в применении принципа отработки системой управляющих (при $M_C = 0$) и возмущающих воздействий (при $U = \text{const}$). Кроме того для тестирования качества работы наблюдателя в динамике следует применять рассогласование начальных условий.

Произведём преобразование структурной схемы с целью упрощения дальнейших выкладок (рис. 1).

Для определения передаточной функции невязки наблюдателя по управлению:

$$W_{U,\Delta i}(p) = \frac{\Delta \hat{I}(p)}{U(p)} \quad (1)$$

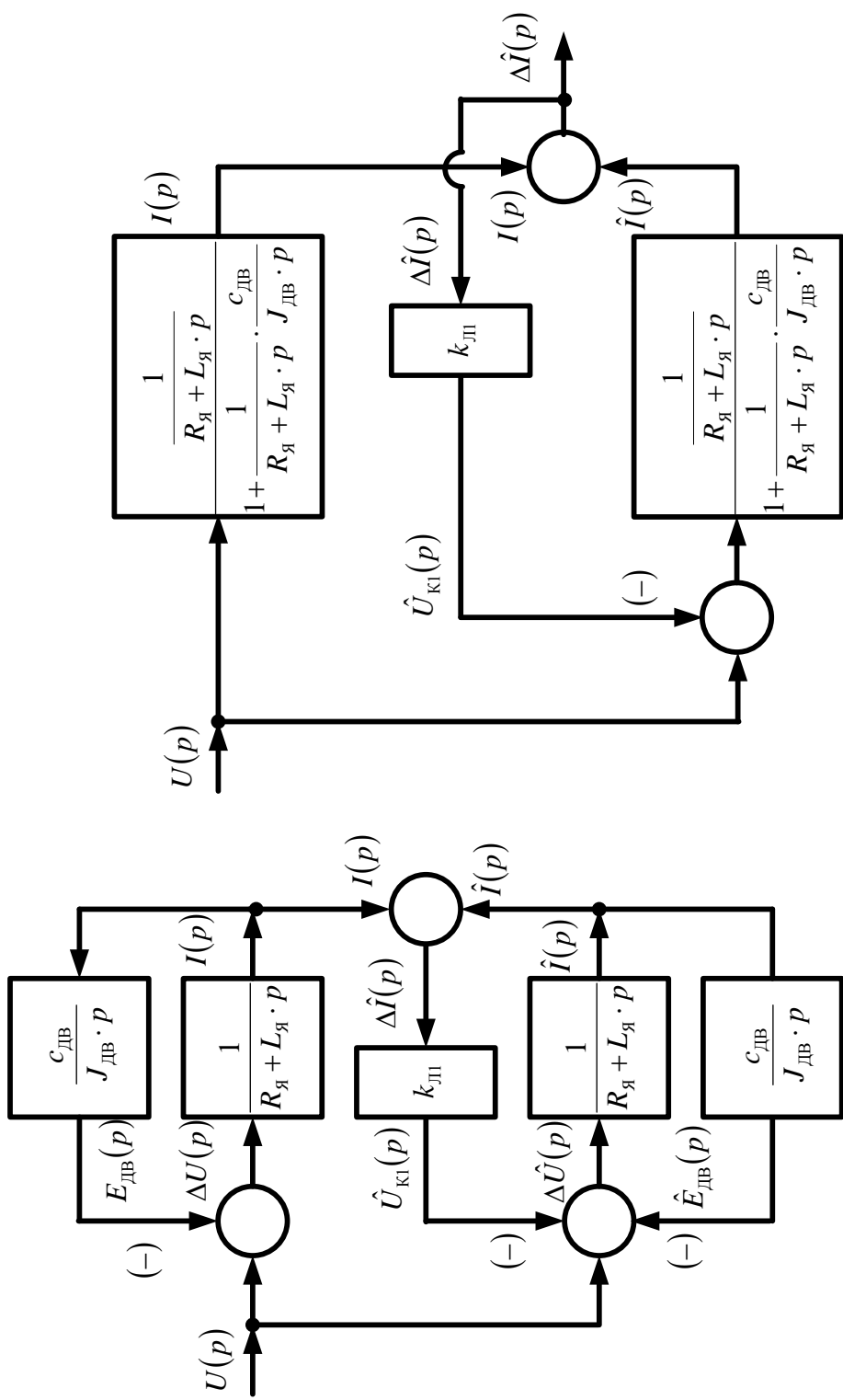


Рис. 1. Эквивалентные преобразования структурной схемы ДПТ НВ и наблюдателя

и, соответственно для дальнейших выкладок на её основе, необходимо выразить невязку $\Delta\hat{I}(p)$ через входное напряжение и передаточную функцию ДПТ НВ

$$W_{\text{ДВ}}(p) = \frac{I(p)}{U(p)} = \frac{1}{R_{\text{я}} + L_{\text{я}} \cdot p + \frac{c_{\text{ДВ}}^2}{J_{\text{ДВ}} \cdot p}} = \frac{1}{R_{\text{я}}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} \cdot p + \frac{1}{\frac{J_{\text{ДВ}} \cdot R_{\text{я}}}{c_{\text{ДВ}}^2} \cdot p}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{яц}} = \frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}}$ – электромагнитная постоянная времени ДПТ НВ,

$T_{\text{мех}} = \frac{J_{\text{ДВ}} \cdot R_{\text{я}}}{c_{\text{ДВ}}^2}$ – электромеханическая постоянная времени ДПТ НВ.

Итак, принимая передаточную функцию усилителя невязки как $W_{\text{Л1}}(p) = k_{\text{Л1}}$ согласно (2), приведём основные очевидные выкладки:

$$\begin{aligned} \Delta\hat{I}(p) &= I(p) - \hat{I}(p) \Rightarrow \{I(p) = U(p) \cdot W_{\text{ДВ}}(p)\} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \hat{I}(p) = I(p) - \Delta\hat{I}(p) = U(p) \cdot W_{\text{ДВ}}(p) - \Delta\hat{I}(p) \Rightarrow \\ &\Rightarrow \hat{I}(p) = (U(p) - U_{\text{к1}}(p)) \cdot W_{\text{ДВ}}(p) = \\ &= (U(p) - W_{\text{Л1}}(p) \cdot \Delta\hat{I}(p)) \cdot W_{\text{ДВ}}(p) \Rightarrow \\ \Delta\hat{I}(p) &= U(p) \cdot W_{\text{ДВ}}(p) - [U(p) - W_{\text{Л1}}(p) \cdot \Delta\hat{I}(p)] \cdot W_{\text{ДВ}}(p) = \\ &= W_{\text{ДВ}}(p) \cdot \{U(p) - U(p) + W_{\text{Л1}}(p) \cdot \Delta\hat{I}(p)\} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \Delta\hat{I}(p) = W_{\text{ДВ}}(p) \cdot W_{\text{Л1}}(p) \cdot \Delta\hat{I}(p) \Rightarrow \\ &\Rightarrow \Delta\hat{I}(p) \cdot (1 - W_{\text{ДВ}}(p) \cdot W_{\text{Л1}}(p)) = 0 \Rightarrow \\ &\Rightarrow W_{\text{Л1}}(p) = \frac{1}{W_{\text{ДВ}}(p)} = R_{\text{я}} + L_{\text{я}} \cdot p + \frac{c_{\text{ДВ}}^2}{J_{\text{ДВ}} \cdot p}. \end{aligned} \quad (3)$$

Учитывая, что компенсация рассогласования начальных условий в наблюдателе построена с использованием П-принципа отработки невязки, отбросим дифференциальную и интегральную части полученного в (3) результата и получим приближённое значение граничного коэффициента усиления невязки наблюдателя

$$k_{\text{Л1.ГР}} = R_{\text{я}}.$$

При настройке наблюдателя рекомендуется принимать

$$k_{\text{Л1}} = k_{\text{зП.Л1}} \cdot k_{\text{Л1.ГР}} = k_{\text{зП.Л1}} \cdot R_{\text{я}}, \quad (4)$$

где $k_{зп.л1} = 0,25 \dots 0,95$ – коэффициент запаса устойчивости наблюдателя.

Выбор данного диапазона полностью подтверждается результатами математического моделирования.

Тестирование на математической модели компенсации рассогласования начальных условий в наблюдателе. Покажем на примере двигателя 2ПБ112ЛГУХЛ4, параметры которого использовались и в [6], обработку наблюдателем скорости полного порядка рассогласования начальных условий динамических режимов ДПТ НВ и наблюдателя (рис. 2) при $k_{л1} = 0,5 \cdot R_{я}$, $k_{л2} = 10 \cdot c_{дв}$, $T_{л2} = L_{я}/R_{я}$.

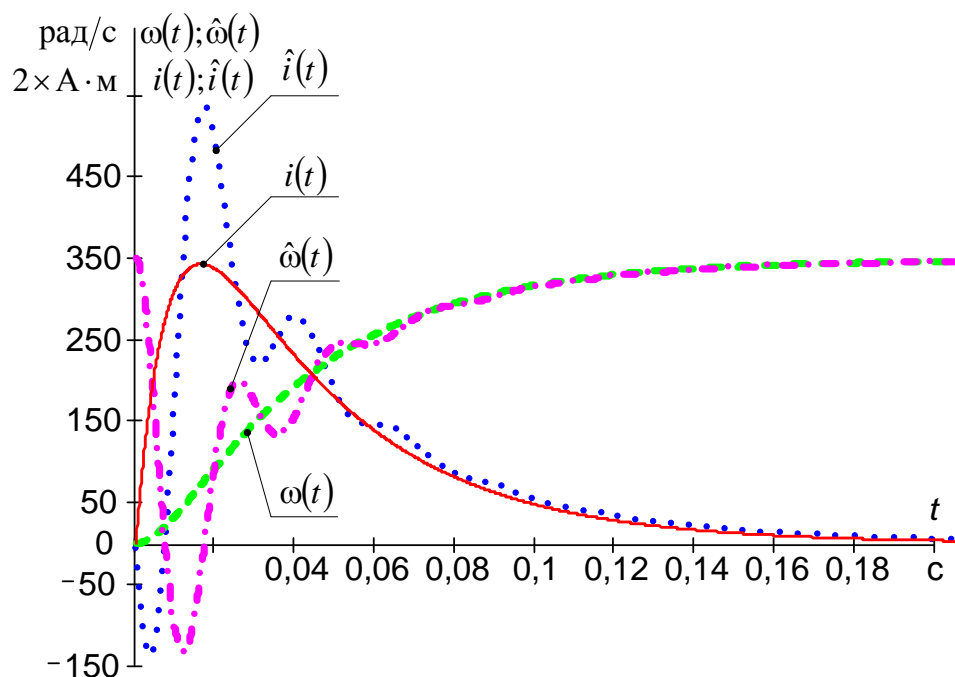


Рис. 2. Переходный процесс в наблюдателе полного порядка ДПТ НВ с ПИ-принципом компенсации момента сопротивления нагрузки, характеризующий обработку несогласованности начальных условий

При математическом моделировании в качестве наблюдаемого объекта выступал ДПТ НВ 2ПБ112ЛГУХЛ4 с номинальными мощностью $P_H = 2$ кВт, напряжением якорной цепи $U_H = 220$ В, частотой вращения ротора $n_H = 3150$ об/мин, КПД $\eta = 81\%$, суммарной индуктивностью якорной цепи $L_{дв} = 7,1$ мГн, суммарным сопротивлением якорной цепи $R_{дв} = 1,022$ Ом, эквивалентным моментом инерции $J_{дв} = 0,018$ кг·м².

Выводы:

1. При настройке наблюдателя полного порядка коэффициент усиления невязки $k_{л1}$ компенсирующей связи, сигнал которой поступает на входной сумматор наблюдателя, рекомендуется выбирать в пределах 25...95% от суммарного сопротивления якорной цепи ДПТ НВ.

2. Правильно подобранный коэффициент усиления невязки $k_{дл}$ компенсирующей связи, сигнал которой поступает на входной сумматор наблюдателя, успешно обеспечивает компенсацию рассогласования начальных условий наблюдаемого объекта и наблюдателя полного порядка.

Список литературы:

1. Афанасьев, К.С. Разработка наблюдателя состояния для асинхронного электропривода с повышенной параметрической робастностью [Текст на правах рукописи]: дис. ... канд. техн. наук / К.С. Афанасьев. Научный руководитель А.С. Глазырин. – Томск, 2015. – 106 с.

2. Глазырин, А.С. Пат. №2476983 РФ. МПК H02P 23/14 (2006.01), H02P 27/04 (2006.01). Способ определения оценки частоты вращения асинхронного двигателя / А.С. Глазырин, Р.Ю. Ткачук, Т.А. Глазырина, В.В. Тимошкин, К.С. Афанасьев, Д.В. Гречушников, С.В. Ланграф. Заявка № 2011135823/07; Опубл. 27.02.2013, Бюл. № 6. – 21 с.

3. Глазырин, А.С. Пат. №2502079 РФ. МПК G01R 31/34 (2006.01). Способ определения параметров асинхронного электродвигателя / А.С. Глазырин, Т.А. Глазырина, В.В. Тимошкин, Р.Ю. Ткачук, В.И. Полищук. Заявка № 2012132386/28; Опубл. 20.12.2013, Бюл. № 35. – 10 с.

4. Глазырин, А.С. Пат. №2564692 РФ. МПК G01R 31/34 (2006.01). Способ определения параметров асинхронного электродвигателя / Е.В. Боловин, А.С. Глазырин, Т.А. Глазырина, В.И. Полищук – 2014128159/28; заявл. 09.07.2014; опубл. 10.10.2015, бюл. № 28. – 9 с.

5. Глазырин, А.С. Пат. №2570363 РФ. МПК G01R 31/34 (2006.01). Способ определения параметров асинхронного электродвигателя / Е.В. Боловин, А.С. Глазырин, Т.А. Глазырина, В.И. Полищук – 2014129744/28; заявл. 18.07.2014; опубл. 10.12.2015, бюл. № 34. – 15 с.

6. Глазырин, А.С. Пропорциональный и пропорционально-интегральный принципы отработки невязки в наблюдателе полного порядка электромеханического объекта с линеаризованной моделью [Электронный ресурс] = Proportional and proportional-integral principles of testing the observer error in a full-order state observer applying a linearized model of an electromechanical object / А. С. Глазырин // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета / Новосибирский государственный технический университет (НГТУ). – 2015. – № 1 (58). – [С. 28-39]. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23729182>
<http://dx.doi.org/10.17212/1814-1196-2015-1-28-39>.