

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

Чулков В.В.¹, Беляускене Е.А.², Боловин Е.В.³.

¹Томский политехнический университет, ИШЭ 5А17, e-mail: vvc40@tpu.ru

²Томский политехнический университет, ИШИТР, ст. преподаватель e-mail: eam@tpu.ru

³Томский политехнический университет, ИШЭ, доцент, к.т.н e-mail: orange@tpu.ru

Аннотация

В регулируемом электроприводе датчики скорости не всегда целесообразны. Вместо них применяют наблюдатели, восстанавливающие сигналы по данным тока, напряжения и модели двигателя. Сигнал рассогласования между измеренным и оценённым током корректируется по П-принципу, обеспечивая точность управления без дополнительных датчиков.

Ключевые слова: наблюдатель полного порядка, двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, невязка, пропорциональный принцип, математическое моделирование.

Введение

В современных производственных системах технологические процессы часто требуют использования замкнутых контуров управления, регулирующих как угловую скорость, так и положение вала двигателя. Однако, применение датчиков для измерения механических и магнитных величин не всегда оправдано, поскольку их установка приводит к увеличению времени настройки, росту эксплуатационных затрат и снижению надежности электропривода из-за потенциальных отказов самих датчиков. В таких случаях оптимальным решением становится переход на бездатчиковый электропривод (БЭП), который использует идентификаторы параметров и наблюдатели состояния. Этот метод управления получил широкое распространение как в мире, так и в России за последние двадцать лет.

Внедрение БЭП в автоматизацию общепромышленных механизмов играет ключевую роль в развитии производственных технологий. Оно способствует повышению эффективности.

Математическая модель двигателя постоянного тока с независимым возбуждением

На основании фундаментальных законов (2-ого закона Кирхгофа и Ньютона) составим систему дифференциальных уравнений, описывающих электромагнитные и механические процессы во временной области [1]:

$$\begin{cases} L_{\Sigma я} \cdot \frac{di_{я}(t)}{dt} + i_{я}(t) \cdot R_{\Sigma 75} + \omega(t) \cdot c_{дв} = U_{я}(t), \\ J_{дв} \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} = i_{я}(t) \cdot c_{дв} - M_c(t), \end{cases} \quad (1)$$

где $U_{я}(t)$, $i_{я}(t)$, $\omega(t)$ – напряжение, ток и угловая скорость якоря; $R_{\Sigma 75}$, $L_{\Sigma я}$, $J_{дв}$, $c_{дв}$ – активное сопротивление, индуктивность, момент инерции якоря и электромеханический коэффициент ДПТ НВ [4].

Для удобства использования системы (1) перепишем ее в нормальной форме Коши:

$$\begin{cases} \frac{di_{я}(t)}{dt} = \frac{U_{я}(t) - i_{я}(t) \cdot R_{\Sigma 75} - \omega(t) \cdot c_{дв}}{L_{\Sigma я}}, \\ \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{i_{я}(t) \cdot c_{дв} - M_c(t)}{J_{дв}} \end{cases} \quad (2)$$

Наблюдатель угловой скорости дпт нв с п-принципом обработки сигнала невязки

Динамика наблюдателя для двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) с П-принципом обработки невязки описывается системой дифференциальных уравнений в нормальной форме Коши:

$$\begin{cases} \frac{d\hat{i}_я(t)}{dt} = \frac{U_я(t) - \hat{i}_я(t) \cdot R_{\Sigma 75} - k_{L1} \cdot (i_я(t) - \hat{i}_я(t)) - \hat{\omega}(t) \cdot c_{дв}}{L_{\Sigma я}}, \\ \frac{d\hat{\omega}(t)}{dt} = \frac{\hat{i}_я(t) \cdot c_{дв}}{J_{дв}}, \end{cases} \quad (3)$$

где $\hat{i}_я(t)$ – наблюдаемое значение тока якоря ДПТ НВ.

k_{L1} – первый коэффициент наблюдателя Льюенбергера.

$\hat{\omega}(t)$ – наблюдаемое значение угловой скорости вала ДПТ НВ.

k_{L1} – корректирующий коэффициент обработки невязки токов якоря.

Ниже, на рисунке 1, представлена структурная схема исследуемой системы.

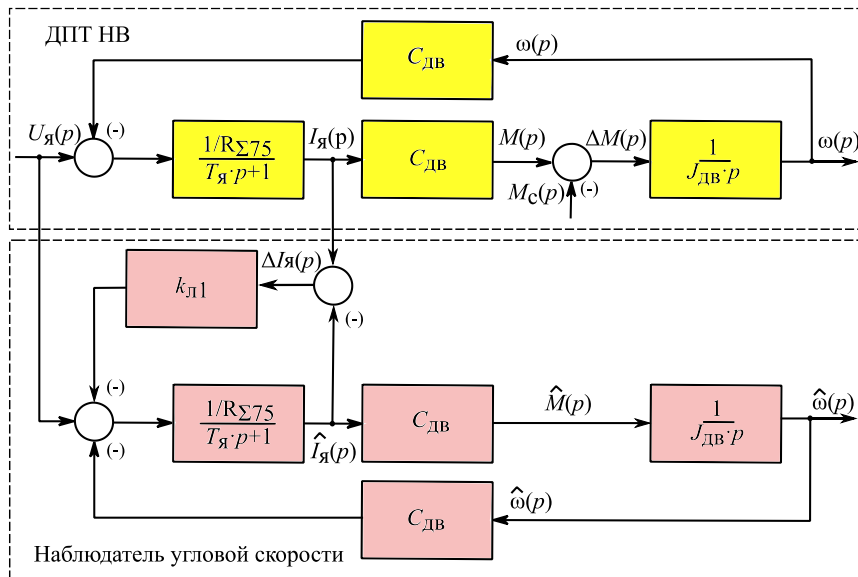


Рис. 1. Структурная схема ДПТ НВ и наблюдателя угловой скорости с усилением невязки по П-принципу

На рисунке 2 представлен результат моделирования.

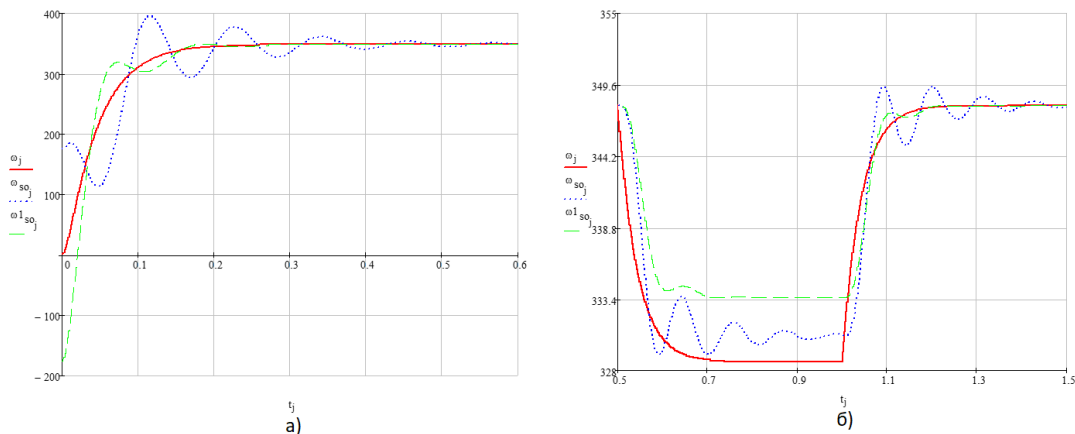


Рис. 2. а) Обработка несогласованности начальных условий, б) Обработка наблюдателем наброса/сброса нагрузки в наблюдателе скорости ДПТ НВ

Наблюдатель демонстрирует существенную статическую ошибку при изменении нагрузки, которую можно снизить за счет увеличения коэффициента $k_{л1}$. Однако, это приводит к росту колебательности, снижению запаса устойчивости, а при значительном увеличении коэффициента и несоблюдении рекомендаций наблюдатель теряет устойчивость. Кроме того, важно отметить, что при изменении знака коэффициента $k_{л1}$ оценка становится неадекватной. Продемонстрируем, что даже незначительное превышение $k_{л1}$ выше установленной границы приводит к потере устойчивости наблюдателя (рис. 3).

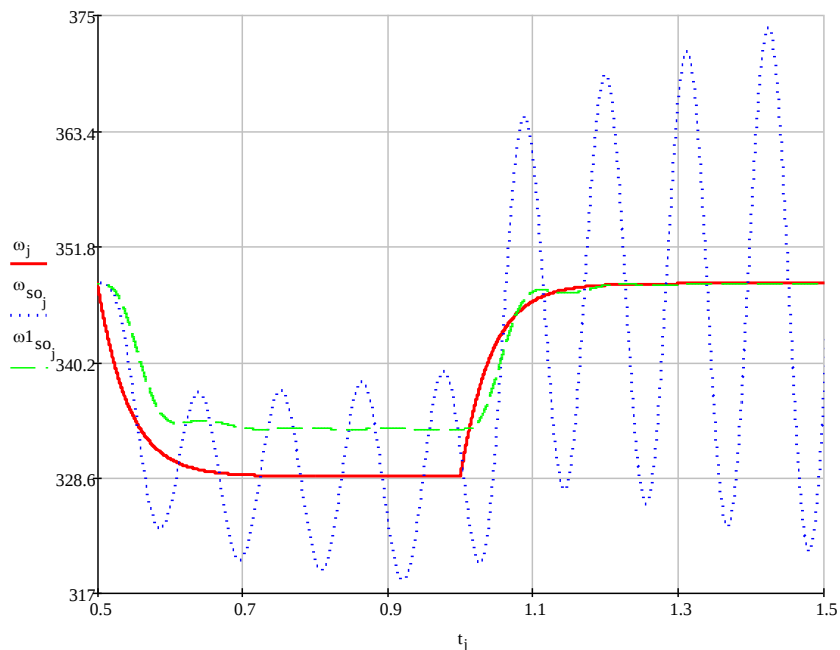


Рис. 3. Превышение граничного значения $k_{л1}$ и выход наблюдателя из устойчивого состояния

Заключение

Пропорциональная компенсационная связь в наблюдателе, воздействующая на сумматор и влияющая на оценку тока, устраняет рассогласование начальных условий между наблюдателем и объектом, не требуя введения более сложной пропорционально-интегральной связи.

Список используемой литературы

1. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями : Учебное пособие. – СПб : СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
2. Глазырин А. С. Пропорциональный и пропорциональноинтегральный принципы отработки невязки в наблюдателе полного порядка электромеханического объекта с линеаризованной моделью // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2015. – №. 1. – С. 28-39.
3. Калачев Ю.Н. Наблюдатели состояния в векторном электроприводе. – Москва : 2015. – 81 с.
4. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. – т. 3. – Томск : Изд-во ТПУ, 2007. –152 с.