

УДК 621.3.076

А.С.ГЛАЗЫРИН, к.т.н., доцент
К.С. АФАНАСЬЕВ, ассистент
К.Н. НЕГОДИН, студент гр. 5Г2А
И.Г. СЛЕПНЁВ, студент гр. 5Г2А

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ДВУХ ВАРИАНТОВ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ ПОЛНОГО ПОРЯДКА ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Введение. Известны две перспективные структуры наблюдателей полного порядка с пропорциональным (П) [1] и пропорционально-интегральным (ПИ) [2] принципами усиления невязки, которые можно использовать в режиме реального времени в асинхронных микропроцессорных электроприводах. Структура первого наблюдателя проще, но в отличие от второго он не позволяет оценивать момент на валу двигателя, что является важным параметром для многомассовых механических подсистем электропривода. Перспективным направлением применения наблюдателей является косвенное оценивание момента на валу установок электроцентробежных насосов УЭЦН [3], и горной электромеханики [4].

Хотя структуры наблюдателей похожи, есть различие коэффициентов усиления невязки, каналов связи, а значит будет присутствовать различие в динамике.

Цель исследования. Целью представленной работы является проведение сравнительного анализа динамики наблюдателей с П и ПИ-принципами усиления невязки.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели было необходимо решить ряд задач:

- рассмотреть методики предварительной настройки коэффициентов обработки невязки;
- провести математическое моделирование динамических режимов АД при предварительно выбранных настройках наблюдателей;
- выполнить сравнительный анализ динамики двух наблюдателей полного порядка.

Методика предварительной настройки коэффициентов обработки невязки. В наблюдателе следует настроить два коэффициента усиления невязки $k_{л1}$ и $k_{л2}$, постоянную времени $T_{л2}$. По методике,

приведенной в [5], граничное значение коэффициента усиления невязки наблюдателя $k_{л1}$ определяется как

$$k_{л1.гр} = R_{\text{э}}'$$

где $R_{\text{э}}$ – эквивалентное сопротивление статорной обмотки АД в Т-образной схеме замещения [6].

При настройке наблюдателя рекомендуется принимать

$$k_{л1\alpha} = k_{л1\beta} = -k_{зп.л1} \cdot k_{л1.гр} = -k_{зп.л1} \cdot R_{\text{э}}'$$

где $k_{зп.л1} = 0,25 \dots 0,6$ – коэффициент запаса устойчивости наблюдателя.

Для устранения отставания по времени в модифицированном наблюдателе Люенбергера (НЛ) полного порядка для асинхронного электродвигателя следует правильно подобрать $k_{л2}$ например, по методу,

предложенному итальянскими исследователями М. Cincirone, М. Pucci, G. Cincirone, G.A. Carolino в [1].

Методика, приведенная в [5] коэффициент $T_{л2}$ предлагает принять

$$T_{л2} = k_{зп.л2} \cdot T_{эм} = k_{зп.л2} \cdot \frac{L_2}{R_2}$$

где $k_{зп.л2} = 0,1 \dots 0,75$ – коэффициент запаса устойчивости наблюдателя, $T_{эм}$ – электромагнитная постоянная ротора.

Математическое моделирование при предварительно выбранных настройках наблюдателей. Математические модели рассмотренных НЛ АД были реализованы на основе систем дифференциальных уравнений, приведенных в [1, 2]. Основное отличие модели из [2] заключается в наличии пропорционально интегральной связи в наблюдателе, что позволяет компенсировать момент сопротивления на валу двигателя.

Сравнительный анализ динамики двух наблюдателей полного порядка. Во всех режимах представленные наблюдатели показали асимптотическую устойчивость и отсутствие статической ошибки по оценке скорости при набросе момента сопротивления нагрузки (рис. 1 – 4).

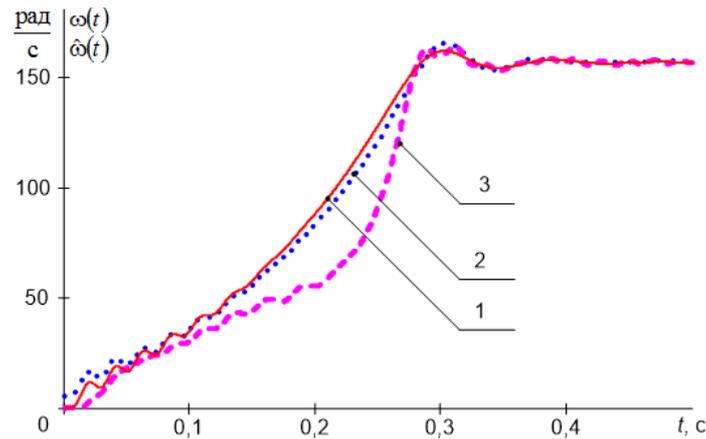


Рис.1. Отработка НЛ процессов пуска АД вхолостую:
 1) $\omega(t)$; 2 и 3 – $\hat{\omega}(t)$ – оценки угловой скорости вращения ротора

АД, полученные от НЛ, вариант ПИ и П; соответственно

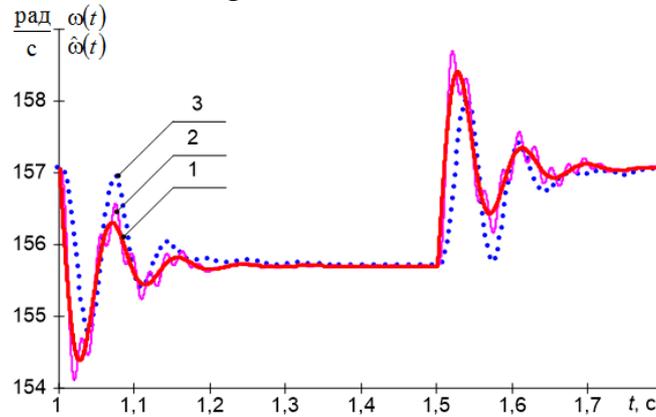


Рис.2. Отработка НЛ процессов наброса и сброса нагрузки АД:
 1 – $\omega(t)$; 2 и 3 – $\hat{\omega}(t)$ – оценки угловой скорости вращения ротора

АД, полученные от НЛ, вариант П и ПИ; соответственно

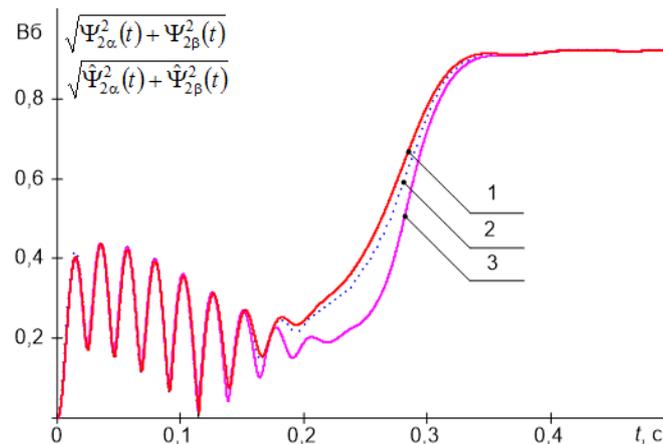


Рис.3. Отработка НЛ процессов пуска АД вхолостую:

1 – $\frac{1}{\sqrt{\Psi_{2\alpha}^2(t) + \Psi_{2\beta}^2(t)}}$; 2 и 3 – $\frac{1}{\sqrt{\hat{\Psi}_{2\alpha}^2(t) + \hat{\Psi}_{2\beta}^2(t)}}$ – оценки модуля вектора потокосцепления ротора АД, полученные от НЛ, вариант ПИ и П; соответственно

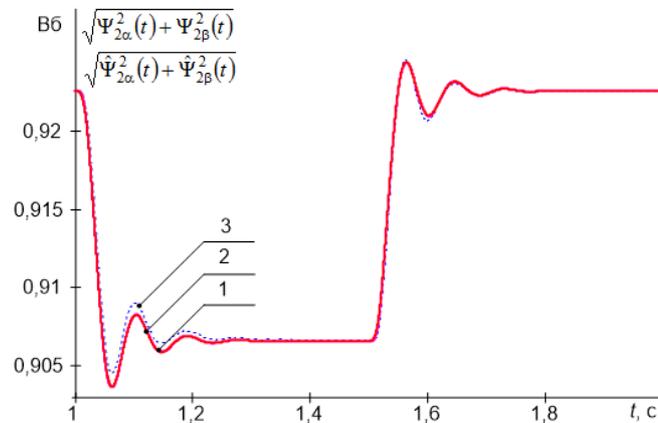


Рис.4. Обработка НЛ процессов наброса и сброса нагрузки АД:
1 – $\frac{1}{\sqrt{\Psi_{2\alpha}^2(t) + \Psi_{2\beta}^2(t)}}$; 2 и 3 – $\frac{1}{\sqrt{\hat{\Psi}_{2\alpha}^2(t) + \hat{\Psi}_{2\beta}^2(t)}}$ – оценки модуля вектора потокосцепления ротора АД, полученные от НЛ, вариант П и ПИ; соответственно

Сравнение динамических режимов (табл.1) предлагается проводить на основе интегральной относительной ошибки оценивания угловой скорости вращения ротора АД

$$\sigma_{\omega} = \frac{1}{t_{\text{конечн}} - t_{\text{нач}}} \cdot \int_{t_{\text{нач}}}^{t_{\text{конечн}}} \left| \frac{\omega(t) - \hat{\omega}(t)}{\omega(t)} \right| \cdot 100\% \cdot dt,$$

где $t_{\text{нач}}$, $t_{\text{конечн}}$ – начальный и конечный моменты времени рассматриваемого динамического режима.

Таблица 1. Интегральная относительная ошибка оценивания угловой скорости вращения ротора ($k_{л1\alpha} = k_{л1\beta} = -0,6 \cdot R_{\text{э}}$, $T_{л2} = 0,15 \cdot T_2$)

№ Опыта. Название режима АД	Интервал		σ_{ω} , %	
	$t_{\text{нач}}$, с	$t_{\text{конечн}}$, с	НЛ АД, П-принцип	НЛ АД, ПИ-принцип
№1. Пуск без нагрузки	$t_{\text{нач}} = t_1$	$t_{\text{конечн}} = t_2$	7,015	2,779
№2. Наброс нагрузки	$t_{\text{нач}} = t_2$	$t_{\text{конечн}} = t_3$	0,041	0,105
№3. Сброс нагрузки	$t_{\text{нач}} = t_3$	$t_{\text{конечн}} = t_4$	0,044	0,105

Аналогично оценивается интегральная относительная ошибка оценивания потокосцепления ротора АД

$$\sigma_{\Psi_2} = \frac{1}{t_{\text{конечн}} - t_{\text{нач}}} \cdot \int_{t_{\text{нач}}}^{t_{\text{конечн}}} \frac{\left| \sqrt{\Psi_{2\alpha}^2(t) + \Psi_{2\beta}^2(t)} - \sqrt{\hat{\Psi}_{2\alpha}^2(t) + \hat{\Psi}_{2\beta}^2(t)} \right|}{\sqrt{\Psi_{2\alpha}^2(t) + \Psi_{2\beta}^2(t)}} \cdot 100\% \cdot dt.$$

Результаты расчёта интегральных относительных ошибок оценивания для режимов пуска АД вхолостую, наброса и сброса нагрузки для НЛ вариантов П и ПИ типа сведены в табл. 2.

Таблица 2. Интегральная относительная ошибка оценивания потокосцепления ротора ($k_{л1\alpha} = k_{л1\beta} = -0,6 \cdot R_{\text{э}}, T_{л2} = 0,15 \cdot T_2$)

№ Опыта. Название режима АД	Интервал		σ_{Ψ_2} , %	
	$t_{\text{нач}}, \text{с}$	$t_{\text{конечн}}, \text{с}$	НЛ АД, П-принцип	НЛ АД, ПИ-принцип
№1. Пуск без нагрузки	$t_{\text{нач}} = t_1$	$t_{\text{конечн}} = t_2$	5,879	1,642
№2. Наброс нагрузки	$t_{\text{нач}} = t_2$	$t_{\text{конечн}} = t_3$	$2,189 \cdot 10^{-3}$	0,039
№3. Сброс нагрузки	$t_{\text{нач}} = t_3$	$t_{\text{конечн}} = t_4$	$2,017 \cdot 10^{-3}$	0,013

Заключение. Исходя из анализа данных, приведенных в табл. 1 и 2, можно отметить, что НЛ АД, вариант (П-принцип) во время пуска АД имеет значительные запаздывание и интегральную относительную ошибку оценивания, а в остальных режимах ошибки оценивания минимальны. НЛ АД, вариант (ПИ-принцип), являющийся наблюдателем, расширенным по вектору состояния, показывает значительно лучшие показатели качества при отработке переходных процессов пуска и реверса, так же приемлемые при отработке переходных процессов наброса и сбросе нагрузки.

Список литературы:

1. Cincirone M., Pucci M., Cincirone G., Capolino G.A. A new experimental application of least-squares techniques for the estimation of the parameter of the induction motor // IEEE Trans. on Ind. Applications, Sep. 2003. – Vol. 39. – №. 5. – P. 1247–1255.
2. Афанасьев К.С., Глазырин А.С. Наблюдатель полного вектора состояния и момента нагрузки асинхронного электродвигателя //

Электротехнические комплексы и системы управления. – 2013. – №4. – С. 24–30.

3. Кузнецов Е.М., Ковалев А.Ю., Аникин В.В. Идентификация параметров погружных асинхронных электродвигателей установок электроцентробежных насосов для добычи нефти // В сборнике: Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы V Международной научно-практической конференции. Под редакцией В.А. Трушкина. – 2014. – С. 178–183.
4. Каширских В.Г., Гаргаев А.Н. Структура системы функциональной диагностики электроприводов карьерных экскаваторов // Вестник КузГТУ. – 2008. – №4. – С. 46–49.
5. Глазырин А.С. Пропорциональный и пропорционально-интегральный принципы обработки невязки в наблюдателе полного порядка электромеханического объекта с линеаризованной моделью // Научный вестник НГТУ. – 2015. – Т. 58. – № 4. – С. 28–39.
6. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: учебное пособие. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод // Томский политехнический университет. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 648 С.