

изготовление и внедрение на рынке электроники данного прибора является экономически целесообразным и весьма перспективным.

Список использованных источников:

1. Цифрові інтегральні мікросхеми: Довідник / М.І. Богданович, І.М. Грель та ін – Мн.: Білорусь, 1991.
2. Фролов В.В. Мова радіосхем – М: Радіо і зв'язок, 1988.
3. Довідкова книга радіоаматора-конструктора / О.О. Бокуняев, Н.М. Борисов, Р.Г. Варламов та ін; Під ред. Н.И. Чистякова. – М: Радіо і зв'язок, 1990.
4. [Электронный ресурс] ©1998-2014 ООО Рынок Микроэлектроники www.gaw.ru
5. [Электронный ресурс] 2001-2014 ООО «Радиотехника» www.radiotekhnika.ru

Козакевич И.А.

старший преподаватель,

Криворожский национальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОГО НАБЛЮДАТЕЛЯ ПОЛНОГО ПОРЯДКА ДЛЯ НИЗКИХ УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИГАТЕЛЯ

Проблемы создания систем бездатчикового векторного управления асинхронными двигателями находятся в поле зрения исследователей и разработчиков уже не одно десятилетие. К неоспоримым преимуществам такого электропривода стоит причислить устранение необходимости подключения датчика угловой скорости, упрощение аппаратной части системы электропривода, уменьшение себестоимости и габаритов, повышение надежности и помехоустойчивости, сокращение затрат на обслуживание. Способы бездатчиковой идентификации угловой скорости можно разделить на те, которые используют модель идеализированной машины, и те, которые используют ее анизотропные свойства. Преимущество в данный момент отдается первому типу идентификаторов, поскольку в этом случае отсутствуют дополнительные пульсации электромагнитного момента и потери мощности, вызванные введением высокочастотных тестовых сигналов, хотя это и не позволяет достичь того же диапазона регулирования, который достигается при наличии датчика на валу машины. К основным способам идентификации, которые базируются на идеализированной модели машины, относятся: адаптивные системы с задающей моделью, наблюдатели со скользящим режимом, фильтры Калмана, а также адаптивные наблюдатели полного порядка.

К преимуществам применения наблюдателя полного порядка следует отнести одновременное оценивание потокосцеплений и угловой скорости двигателя, высокая точность и устойчивость к изменению параметров двигателя, незначительные затраты процессорного времени на идентификацию. За счет соответствующей настройки коэффициентов обратных связей наблюдателя достигаются необходимые статические и динамические характеристики блоков оценивания потокосцепления и угловой скорости. Таким образом, расчет величин этих коэффициентов является основной задачей при разработке наблюдателя. Классический способ расчета параметров наблюдателя заключается в подборе их

величин таким образом, чтобы положение полюсов наблюдателя было кратным полюсам асинхронного двигателя для улучшения динамических показателей качества регулирования. Но оценка угловой скорости с применением такого наблюдателя обладает зоной неустойчивости при работе в рекуперативном режиме в нижней части диапазона регулирования.

Уравнения состояния асинхронного двигателя в векторной форме в неподвижной относительно статора системе координат имеет следующий вид:

$$\frac{di_s}{dt} = A_{11}i_s + A_{12}\psi_r + B_1u_s; \quad \frac{d\psi_r}{dt} = A_{21}i_s + A_{22}\psi_r,$$

где $i_s = [i_{s\alpha} \quad i_{s\beta}]^T$ – вектор тока статора; $u_s = [u_{s\alpha} \quad u_{s\beta}]^T$ – вектор напряжения статора; $\psi_r = [\psi_{r\alpha} \quad \psi_{r\beta}]^T$ – вектор потокосцепления ротора,

$$A_{11} = \left(\frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{R_r(1-\sigma)}{\sigma L_r} \right) \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad A_{21} = \frac{L_m R_r}{L_r} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A_{22} = -\frac{R_r}{L_r} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \omega_r \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}; \quad A_{22} = -\frac{L_m}{\sigma L_s L_r} A_{22},$$

R_s, R_r – активные сопротивления статорных и роторных обмоток, L_s, L_r , L_m – индуктивность статорных, роторных обмоток та взаимная индуктивность, σ – коэффициент рассеяния двигателя.

Адаптивный наблюдатель полного порядка состоит из наблюдателя Люенбергера и адаптивного алгоритма. Уравнения наблюдателя Люенберга можно записать так:

$$\frac{di_{so}}{dt} = A_{11}i_{so} + A_{12}\psi_{ro} + B_1u_s + G_1(i_{so} - i_s);$$

$$\frac{d\psi_{ro}}{dt} = A_{21}i_{so} + A_{22}\psi_{ro} + G_2(i_{so} - i_s).$$

Угловая скорость ротора оценивается с помощью адаптивного механизма:

$$\omega_{ro} = \left(k_{\Pi} + \frac{k_{\Pi}}{p} \right) (i_{so} - i_s) \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \psi_{ro}.$$

Для анализа устойчивости наблюдателя его уравнения следует записать в системе координат, которая вращается синхронно с вектором потокосцепления ротора.

$$\frac{di_{so}}{dt} = \left(A_{11} - \omega_o \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right) i_{so} + A_{12}\psi_{ro} + B_1u_s + G_1(i_{so} - i_s);$$

$$\frac{d\psi_{ro}}{dt} = A_{21}i_{so} + \left(A_{22} - \omega_o \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right) \psi_{ro} + G_2(i_{so} - i_s);$$

$$\omega_{ro} = \left(k_{\Pi} + \frac{k_{\Pi}}{p} \right) (-(i_{sod} - i_{sd})\psi_{rq} + (i_{soq} - i_{sq})\psi_{rq}).$$

Если при этом система координат ориентируется так, что положительное направление оси d совпадает с вектором потокосцепления ротора, то:

$$\omega_{ro} = \left(k_{\pi} + \frac{k_{\pi}}{p} \right) \left((i_{soq} - i_{sq}) \psi_{rq} \right).$$

Влиять на характеристики наблюдателя можно за счет изменения коэффициентов обратных связей. Таким образом, цель проектирования наблюдателя заключается в подборе этих величин для получения наилучшего качества оценивания в широком диапазоне угловых скоростей. При нулевых значениях коэффициентов обратных связей все параметры используемых в наблюдателе матриц являются параметрами схемы замещения двигателя и не используют измеряемые величины токов и напряжений статора двигателя. Исходя из проведенного анализа, можно сделать вывод, что ошибки, вызванные измерением этих величин, не влияют на сходимость наблюдателя. Но, несмотря на это, система управления электроприводом может терять устойчивость.

Таким образом, наблюдатель полного порядка для бездатчикового исследован на устойчивость при работе двигателя с низкими угловыми скоростями. Определено, что в двигательном режиме наблюдатель устойчив для любых величин угловой скорости и момента нагрузки. В режиме рекуперативного торможения наблюдатель имеет зону неустойчивости.

Список использованных источников:

1. Синчук О.Н., Осадчук Ю.Г., Козакевич И.А. Бездатчиковое векторное управление на основе анизотропных свойств машины // Электротехнические и компьютерные системы, К.: «Техника», № 15(91), 2014.
2. Синолиций А.Ф., Козакевич И.А. Сравнительный анализ классического векторного и J-M управления // Вестник Криворожского технического университета, Вып. 30, 2012.
3. Синолиций А.Ф., Осадчук Ю.Г., Козакевич И.А. Исследование наблюдателя Луюенбергера для бездатчикового векторного управления при работе на низкой скорости // Электротехнические и компьютерные системы, К.: «Техника», № 03(79), 2014.
4. Осадчук Ю.Г., Козакевич И.А. Исследование адаптивных систем с задающей моделью для бездатчикового векторного управления асинхронным двигателем при работе на низкой скорости // Вестник Криворожского технического университета, Вып. 29, 2011.
5. Chen B., Wang T., Yao W., Lee K. Speed convergence rate-based feedback gains design of adaptive full-order observer in sensorless induction motor drives // IET Electric Power Applications, vol. 8, iss. 1, 2014.
6. Vicente I., Endemano A., Garin X., Brown M. Comparative study of stabilizing methods for adaptive speed sensorless full-order observers with stator resistance estimation // IET Control Theory Applications, vol. 4, iss. 6, 2010.
7. Vieira R.-P., Gastaldini C.-C., Azzolin R.-Z., Grundling H.-A. Discrete-time sliding mode speed observer for sensorless control of induction motor drives // IET Electric Power Applications, vol. 6, iss. 9, 2012.
8. Vieira R.-P., Gastaldini C.-C., Azzolin R.Z., Grundling H.A. Discrete-time sliding mode approach for speed estimation of symmetrical and asymmetrical induction machines // 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, 2011.