

МЕТОДИКА НАСТРОЙКИ НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ, ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕГО СТАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ МОМЕНТЫ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Введение. В [1] предложено идентифицировать статический и динамический моменты двигателя постоянного тока при помощи наблюдателя состояния (НС) первого порядка, в основу которого положена модель механической части привода. Этот наблюдатель может быть использован при разработке астатических по нагрузке систем регулирования скорости и положения, а также в системах автоматизации технологических процессов. Исследование систем управления с предложенным НС выполнялись в предположении полной идентичности моделей объекта регулирования и прямой части НС. Однако наличие в прямом канале рассматриваемого наблюдателя интегратора делает его чрезвычайно чувствительным к изменению постоянной времени этого интегратора.

Целью работы является разработка методики наладки предложенного наблюдателя состояния.

Материал и результаты исследования Структурные схемы идентифицируемой части объекта регулирования (ОР) и исследуемого НС в относительных единицах (о.е.) представлены на рис. 1.

В качестве базовых величин при нормировании приняты ток и момент короткого замыкания ($I_{\bar{6}} = I_{кз}$, $M_{\bar{6}} = M_{кз}$), скорость идеального холостого хода ($\omega_{\bar{6}} = \omega_0$) и номинальное напряжение двигателя ($E_{\bar{6}} = U_{н}$). В принятой системе о.е. интегрирующее звено в составе ОР имеет постоянную времени, равную электромеханической постоянной времени привода $T_M = J \omega_0 / M_{кз} = J R_{я} / c^2$.

Коэффициент корректирующей связи НС рассчитывается по формуле

$$l = T_M \Omega_{0н}, \quad (1)$$

где $\Omega_{0н}$ – среднегеометрический корень наблюдателя.

Если постоянные времени интегрирования в ОР и НС одинаковы

$$T_M = T_{M1}, \quad (2)$$

то установившиеся ошибки оценивания статического и динамического моментов на участках движения с постоянным ускорением равны нулю. Если же условие (1) не выполняется, то при $d\omega/dt = const \neq 0$ установившиеся значения динамического тока $I_{jуст}$ и его оценки $\hat{I}_{jуст}$ не совпадают друг с другом. В предположении, что при работе на рассматриваемых участках ошибка оценивания скорости близка к нулю, т.е. $\hat{\omega} \approx \omega$, эту взаимосвязь можно выразить следующей формулой:

$$\hat{I}_{jуст} = \frac{T_{M1}}{T_M} I_{jуст},$$

откуда установившаяся ошибка оценивания динамического тока составляет:

$$\tilde{I}_{jуст} = \frac{T_M - T_{M1}}{T_M} I_{jуст}. \quad (3)$$

Поскольку, как видно из рис. 1, $\hat{I}_c = I + \hat{I}_j$, то

$$\tilde{I}_c = \tilde{I}_j, \quad (4)$$

$$\hat{I}_{cуст} = I_c + \tilde{I}_{jуст} = I_c + \frac{T_M - T_{M1}}{T_M} I_{jуст}. \quad (5)$$

Анализируя формулу (5) с учетом того, что при разгоне $I_{jуст} = I_{jp} > 0$, при торможении $I_{jуст} = I_{jt} < 0$, а при движении с установившейся скоростью $I_{jуст} = I_{jy} = 0$, приходим к следующим выводам:

- при $T_{M1} < T_M$ установившееся значение оценки статического тока на участке разгона оказывается больше истинного, а при торможении – меньше;
- при $T_{M1} > T_M$ знак ошибки оценивания статической составляющей тока якоря в пуско-тормозных режимах изменяется на противоположный;

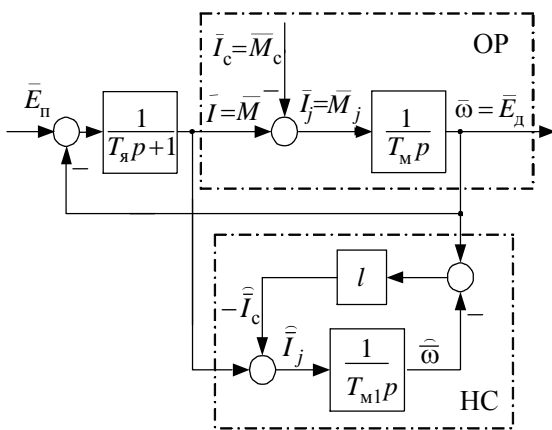


Рисунок 1 – Структурная схема объекта регулирования и наблюдателя состояния в о.е.

- при работе привода на установившейся скорости, несмотря на несовпадении параметров ОР и НС, рассматриваемая ошибка оценивания отсутствует.

Для подтверждения этих положений на рис. 2 приведены графики переходных процессов, полученные при математическом моделировании объекта рис. 1 в составе системы подчиненного регулирования скорости с задатчиком интенсивности (ЗИ). Токи на графиках, в отличие от структурной схемы, где $\bar{I} = I/I_{кз}$, пронормированы по номинальному значению тока якоря ($\bar{i} = I/I_N$).

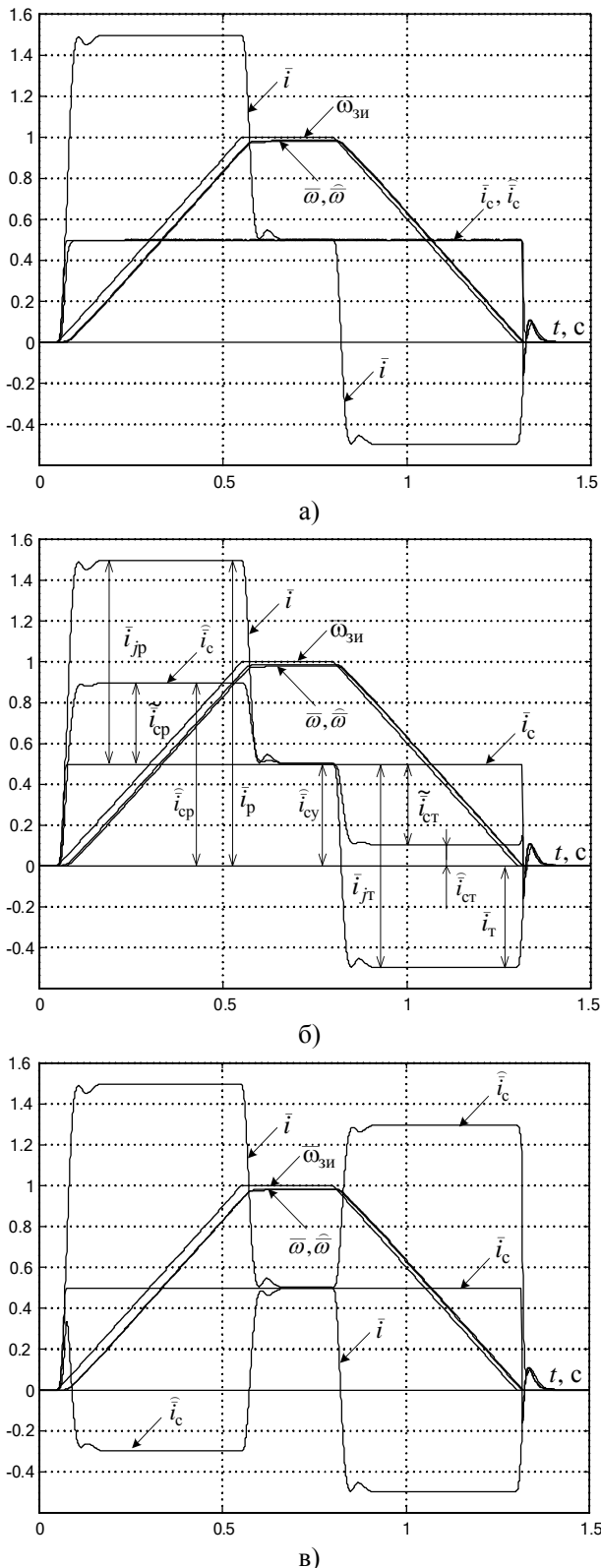


Рисунок 2 – Переходные процессы изменения координат электропривода и их оценок:

по номинальному значению тока якоря ($\bar{i} = I/I_N$).

Из приведенных графиков и формул вытекает следующая методика наладки рассматриваемого наблюдателя состояния:

- 1) собираем НС в соответствии с приведенной структурной схемой, устанавливая в нем ориентировочные значения постоянной времени интегрирующего звена и коэффициента передачи корректирующей связи;
- 2) осуществляем работу привода при постоянном моменте статического сопротивления по трапецидальной тахограмме, формируя управляющее воздействие на входе преобразователя или на входе регулятора скорости с помощью задатчика интенсивности (ЗИ), фиксируя оценку статического тока;
- 3) если сигнал \hat{I}_c при разгоне оказывается больше, чем при торможении, то постоянную времени интегрирующего звена необходимо увеличивать, в противном случае – уменьшать, добиваясь постоянства этого сигнала в течение всего цикла;
- 4) после завершения настройки интегратора подбираем коэффициент корректирующей связи НС из условия достижения компромисса между быстродействием наблюдателя и его помехозащищенностью.

Принципиально настройку НС можно выполнять и при работе привода по треугольной тахограмме. Важно только, чтобы времена разгона и торможения были достаточно велики для того, чтобы токи и их оценки успевали достигать своих установившихся значений. Для достижения этой цели используется задатчик интенсивности.

Величина нагрузки также не имеет значения. В частности, настройку можно выполнять и на холостом ходу. Важно, чтобы нагрузка в течение некоторого времени при переходе от равноускоренного движения к движению с постоянной скоростью или при переходе от движения с постоянной скорости к равнозамедленному движению оставалась неизменной.

Процесс поиска постоянной времени интегрирования наблюдателя можно ускорить, вычисляя ее по формуле, вытекающей из формулы (5):

$$T_m = T_{m1} \frac{I_{jp}}{I_c - \hat{I}_{cp} + I_{jp}} = T_{m1} \frac{I_{jt}}{I_c - \hat{I}_{ct} + I_{jt}}. \quad (6)$$

В соответствии с приведенными графиками и формулами

$$I_c = \hat{I}_{cy} = I_y, \quad (7)$$

$$I_{jp} = I_p - I_y, \quad I_{jt} = I_t - I_y. \quad (8)$$

При отсутствии участка движения с постоянной скоростью, т.е. при работе привода по треугольной тахограмме, величины статической и динамической составляющих тока якоря при одинаковом темпе ускорения и замедления системы можно рассчитать по формулам

$$I_{j\text{p}} = -I_{j\text{т}} = \frac{I_{\text{p}} - I_{\text{т}}}{2}, \quad I_{\text{с}} = \frac{\widehat{I}_{\text{ср}} + \widehat{I}_{\text{ст}}}{2}. \quad (9)$$

После подстановки выражений (9) в формулу (6) последняя примет вид:

$$T_{\text{и}} = T_{\text{и1}} \frac{I_{\text{п}} - I_{\text{т}}}{I_{\text{п}} - I_{\text{т}} + \widehat{I}_{\text{ст}} - \widehat{I}_{\text{ср}}}. \quad (10)$$

Таким образом, для быстрого уточнения постоянной времени интегрирования рассматриваемого наблюдателя при его настройке на графиках переходных процессов достаточно фиксировать два сигнала: ток якоря и оценку статического тока.

Методика наладки наблюдателя не изменяется при наличии в каналах управления и коррекции НС произвольных коэффициентов передачи датчика тока якоря $k_{\text{т}}$ и датчика скорости $k_{\text{с}}$. От величины этих коэффициентов зависит только идентифицируемая постоянная времени интегратора $T_{\text{и}}$, входящего в состав НС. Продемонстрируем это на примере структурной схемы рис.3, в которой при

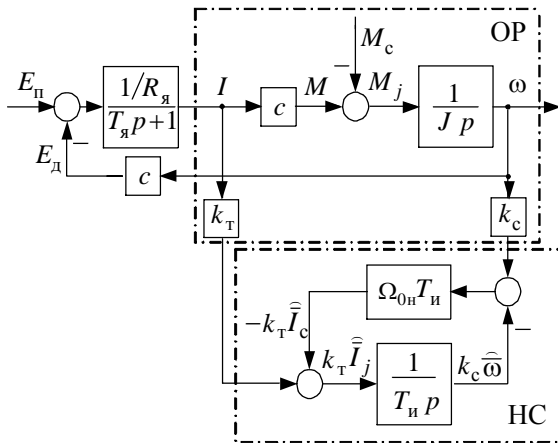


Рисунок 3 – Структурная схема объекта регулирования и наблюдателя состояния в а.е.

$$T_{\text{и}} = \frac{Jk_{\text{т}}}{ck_{\text{с}}} \quad (11)$$

наблюдатель выполняет идентификацию сигналов $k_{\text{т}}\widehat{I}_{\text{я}}$, $-k_{\text{т}}\widehat{I}_{\text{ст}}$ и $k_{\text{с}}\widehat{\omega}$.

Быстрое уточнение постоянной $T_{\text{и}}$ по ее ориентировочному начальному значению $T_{\text{и1}}$ выполняется по формуле, аналогичной (10):

$$T_{\text{и}} = T_{\text{и1}} \frac{k_{\text{т}}I_{\text{п}} - k_{\text{т}}I_{\text{т}}}{k_{\text{т}}I_{\text{п}} - k_{\text{т}}I_{\text{т}} + k_{\text{т}}\widehat{I}_{\text{ст}} - k_{\text{т}}\widehat{I}_{\text{ср}}} \quad (12)$$

НС в виде, изображенном на рис. 3, очень удобен для практической реализации, т.к. восстановленные им сигналы при использовании их в системе управления уже не нужно масштабировать.

Интересно отметить, что идентифицированную в процессе наладки наблюдателя постоянную времени

$T_{\text{и}}$, можно использовать при расчете коэффициента усиления пропорционального регулятора скорости или пропорциональной составляющей пропорционально-интегрального регулятора скорости:

$$k_{\text{рс}} = T_{\text{и}}\Omega_{\text{с}}, \quad (13)$$

где $\Omega_{\text{с}}$ – желаемая частота среза разомкнутого контура скорости.

При этом нет необходимости в определении каждого из параметров, входящих в выражение (11).

Проверка предлагаемой методики настройки рассматриваемого наблюдателя состояния выполнена на экспериментальной установке [2]. В ходе проверки была подтверждена правильность описанной методики настройки наблюдателя состояния.

Выводы

1. Наблюдатели состояния, оценивающие статическую и динамическую составляющие тока якоря или электромагнитного момента двигателя при неточной установке постоянной времени интегратора, моделирующего механическую часть привода, в пуско-тормозных режимах восстанавливают указанные сигналы с ошибкой, определяемой формулами (3), (4).

2. Для ликвидации ошибок оценивания необходимо выполнить наладку наблюдателя, которая выполняется по результатам измерения установившихся значений полного тока (момента) и оценки его статической составляющей при разгоне и торможении привода, управляемого от задатчика интенсивности, при постоянной нагрузке или в режиме холостого хода.

3. Уточненное при наладке НС значение постоянной времени интегрирования можно использовать при настройке регулятора скорости.

4. Предложенная методика наладки может быть использована не только для НС, рассмотренного в данной статье, а для любых наблюдателей статического и динамического моментов электроприводов постоянного и переменного токов, в состав которых входит интегратор, полученный из уравнения движения привода.

Литература

1. Коцегуб П.Х., Толочко О.И., Мариничев В.Ю., Розкаряка П.И. Система подчиненного регулирования скорости с наблюдателем динамического и статического токов первого порядка // Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПУ. – Кременчуг: КГПУ. – 2001. – №1(10) – С. 103-109.
2. Коцегуб П.Х., Толочко О.И., Розкаряка П.И. Реализация алгоритмов цифрового управления позиционным электроприводом постоянного тока // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчуг: КДПУ. – 2007. – №3 (44). – Ч.1. – С. 18-20.