

**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 выполнялось 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 ( $I_{\bar{c}} = I_{кз}$ ,  $M_{\bar{c}} = M_{кз}$ ), скорость идеального холостого хода ( $\omega_{\bar{c}} = \omega_0$ ) и номинальное напряжение двигателя ( $E_{\bar{c}} = U_n$ ). В принятой системе о.е. интегрирующее звено в составе ОР имеет постоянную времени, равную электромеханической постоянной времени привода  $T_M = J\omega_0 / M_{кз} = JR_{я} / c^2$ .

Коэффициент корректирующей связи НС рассчитывается по формуле

$$l = T_M \Omega_{0н}, \tag{1}$$

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

Если постоянные времени интегрирования в ОР и НС одинаковы

$$T_M = T_{M1}, \tag{2}$$

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

$$I_{jуст} = \frac{T_{M1}}{T_M} \tilde{I}_j,$$

откуда установившаяся ошибка оценивания динамического тока составляет:

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

Поскольку, как видно из рис. 1,  $I_c = I + I_j$ , то

$$\tilde{I}_c = \tilde{I}_j, \tag{4}$$

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

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

- при  $T_{M1} < T_M$  установившееся значение оценки статического тока на участке разгона оказывается больше истинного, а при торможении – меньше;

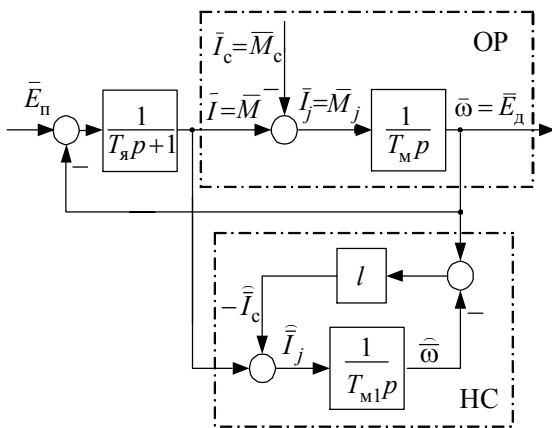


Рисунок 1 – Структурная схема объекта регулирования и наблюдателя состояния в о.е.

- при  $T_{M1} > T_M$  знак ошибки оценивания статической составляющей тока якоря в пуско-тормозных режимах изменяется на противоположный;
- 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

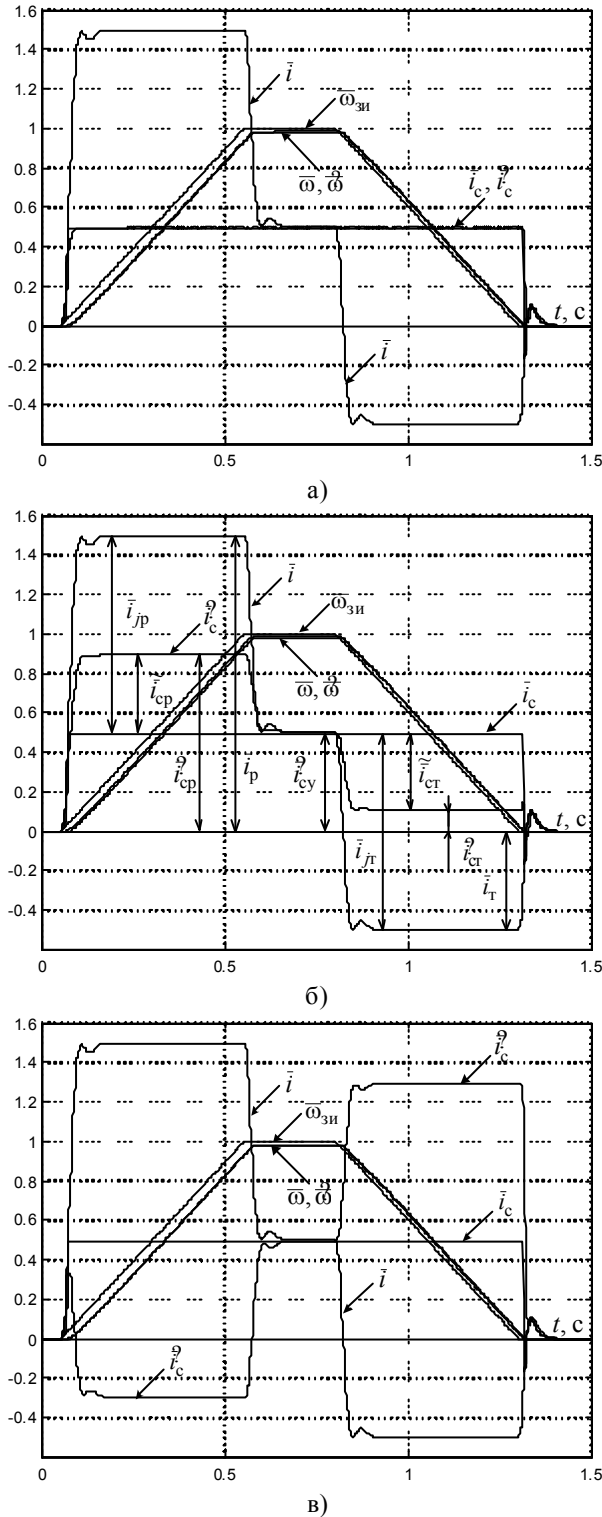


Рисунок 2 – Переходные процессы изменения координат электропривода и их оценок:  
 а)  $T_{M1} = T_M$ ; б)  $T_{M1} = 0.6T_M$ ; в)  $T_{M1} = 1.8T_M$

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  $I_c$  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):

$$T_M = T_{M1} \frac{I_{jp}}{I_c - I_{cp} + I_{jp}} = T_{M1} \frac{I_{jt}}{I_c - I_{ct} + I_{jt}} \quad (6)$$

В соответствии с приведенными графиками и формулами

$$I_c = I_{cy} = I_y, \quad (7)$$

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

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 ускоре-

ния и замедления системы можно рассчитать по формулам:

$$I_{jp} = -I_{jT} = \frac{I_p - I_T}{2}, \quad I_c = \frac{I_{cp} + I_{ct}}{2}. \quad (9)$$

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

$$T_m = T_{m1} \frac{I_p - I_T}{I_p - I_T + I_{ct} - I_{cp}}. \quad (10)$$

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  $k_T$  и датчика скорости  $k_c$ . От величины этих коэффициентов зависит только идентифицируемая постоянная времени интегратора  $T_{и1}$ , входящего в состав НС. Продемонстрируем это на примере структурной схемы рис.3, в которой при

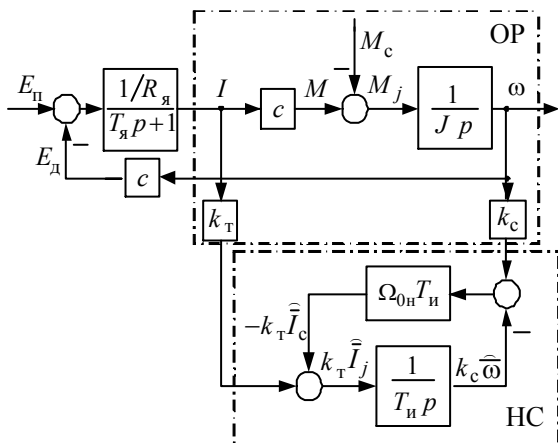


Рисунок 3 – Структурная схема объекта регулирования и наблюдателя состояния в а.е.

$$T_{и} = \frac{Jk_T}{ck_c} \quad (11)$$

наблюдатель выполняет идентификацию сигналов  $k_T I_j$ ,  $-k_T I_c$  и  $k_c \omega$ .

Быстрое уточнение постоянной  $T_{\hat{e}}$  по ее ориентировочному начальному значению  $T_{\hat{e}1}$  выполняется по формуле, аналогичной (10):

$$T_{и} = T_{и1} \frac{k_T I_p - k_T I_T}{k_T I_p - k_T I_T + k_T I_{ct} - k_T I_{cp}}. \quad (12)$$

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

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

$$k_{pc} = T_{и} \Omega_c, \quad (13)$$

где  $\Omega_n$  – 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.