

СИНТЕЗ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ДВУХЗОННЫХ СИСТЕМ КОСВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ

Толочко О.И., Коцегуб П.Х., Писковатская О.В.
Донецкий национальный технический университет

Введение. Системы косвенного регулирования скорости обычно применяют в электроприводах, не предъявляющих высоких требований к точности поддержания этого параметра и к быстродействию систем автоматического управления (САУ). Преимуществом таких систем является отсутствие в них электромеханического датчика скорости (например, тахогенератора). Обычно внешний регулятор в этих САУ замыкают через датчик напряжения (ДН) или через датчик ЭДС (ДЭ). Динамические и статические свойства систем подчиненного регулирования (СПР) с обратной связью (ОС) по напряжению или по ЭДС сильно зависят от параметров объекта регулирования (ОР) и для реальных электроприводов оказываются существенно хуже, чем в СПР с датчиком скорости.

Если требования к системе управления электроприводом высокие, но по каким-либо причинам непосредственное измерение скорости невозможно, то ее можно оценить при помощи наблюдателей состояния (НС).

Однозонные СПР косвенного регулирования скорости с НС, восстанавливающими скорость двигателя и момент статического сопротивления на его валу, рассмотрены в [1].

Между тем, проблема оценки скорости двигателя для систем двухзонного регулирования является еще более актуальной, так как при отсутствии датчика скорости в них приходится применять раздельное управление напряжением или ЭДС якоря и потоком возбуждения, что приводит к ухудшению статических и динамических свойств привода [2].

Цель работы. Целью работы является разработка НС, оценивающего скорость, ЭДС и момент статического сопротивления на валу двигателя постоянного тока, управляемого как по цепи якоря, так и по цепи возбуждения.

Материал и результаты исследований.

Структурная схема двигателя постоянного тока (ДПТ) с управлением по цепи якоря и по цепи возбуждения в относительных единицах представлены на рис. 1, где приняты следующие обозначения: E_{π} , $E_{\text{пв}}$, $E_{\text{д}}$ – ЭДС преобразователя в цепи якоря и в цепи возбуждения и противоЭДС двигателя соответственно; ω , Φ – скорость и поток возбуждения двигателя; I , i_{μ} , $i_{\text{вт}}$, $i_{\text{в}}$ – ток якоря, ток намагничивания, вихревой ток и ток возбуждения; $k_{\text{фн}} = \Phi_{\text{н}}/i_{\text{вн}}$; M , $M_{\text{с}}$ – электромагнитный и статический моменты; $k_{\text{вт}}$ – коэффициент вихревых токов; $T_{\text{вн}}$, $T_{\text{мн}}$ – постоянная времени возбуждения двигателя без учета нелинейности его магнитной

цепи и электромеханическая постоянная времени привода при номинальном возбуждении; $\bar{y} = y/y_{\text{Б}}$ – относительные величины соответствующих абсолютных сигналов. При нормировании рассматриваемого объекта использованы следующие базовые величины: $I_{\text{Б}} = I_{\text{кз}}$, $M_{\text{Б}} = M_{\text{кз}}$, $E_{\text{пБ}} = E_{\text{дБ}} = U_{\text{н}}$, $\Phi_{\text{Б}} = \Phi_{\text{н}}$, $i_{\text{вБ}} = i_{\text{втБ}} = i_{\mu\text{Б}} = i_{\text{вн}}$, $E_{\text{пвБ}} = U_{\text{вн}}$.

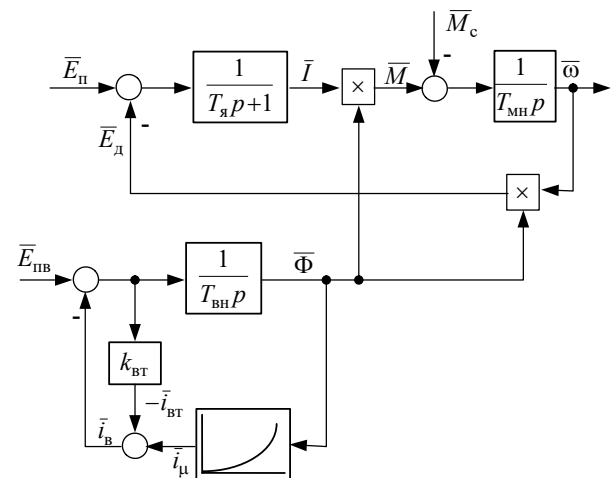


Рис. 1. Структурная схема ДПТ с управлением по цепи якоря и по цепи возбуждения

Как видно из приведенной структурной схемы, для восстановления скорости и статического момента при рассматриваемом способе управления необходимо, прежде всего, идентифицировать поток возбуждения двигателя. Один из вариантов НС, выполняющих эту функцию, рассмотрен в [3].

Имея такой наблюдатель, можно по току якоря и ЭДС двигателя, измеренной при помощи инерционного ДЭ с постоянной времени апериодического звена, равной электромагнитной постоянной времени якоря двигателя $T_{\text{яд}}$, и по восстановленному потоку возбуждения идентифицировать скорость и ЭДС двигателя, а также момент статического сопротивления на его валу, как это показано на рис. 2. Расчетная схема этого НС для определения ошибок оценивания им координат привода при набросе нагрузки показана на рис. 3.

На структурных схемах рис. 2 и рис. 3 обозначены два сигнала оценки ЭДС двигателя – $\hat{E}_{\text{д1}}$ и $\hat{E}_{\text{д2}}$, один из которых, в соответствии с уравнением $\bar{E}_{\text{д}} = \bar{\Phi} \times \bar{\omega}$, расположен на выходе блока умножения, а другой, на основании передаточной функции $\bar{U}_{\text{дэ}}(p)/\bar{E}_{\text{д}}(p) = 1/(T_{\text{яд}}p+1)$, – на входе апериодического звена, моделирующего ДЭ.

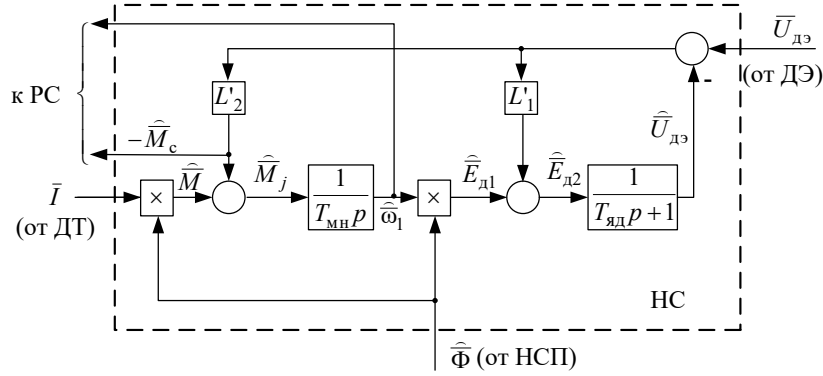


Рис. 2. Структурная схема наблюдателя состояния, оценивающего скорость, ЭДС и ток статической нагрузки ДПТ с регулируемым возбуждением

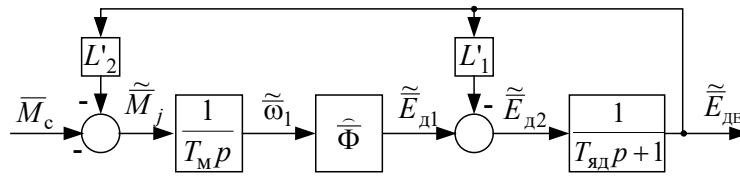


Рис. 3. Расчетная структурная схема НС рис. 2 для определения ошибок оценивания

Из структурной схемы рис. 3 имеем:

$$\frac{\tilde{\omega}_1(p)}{\tilde{M}_c(p)} = -\frac{T_{яд}p + (L'_1 + 1)}{T_{мн}T_{яд}p^2 + T_{мн}(L'_1 + 1)p + L'_2\hat{\Phi}}, \quad (1)$$

$$\frac{\tilde{E}_{д1}(p)}{\tilde{M}_c(p)} = -\frac{[T_{яд}p + (L'_1 + 1)]\hat{\Phi}}{T_{мн}T_{яд}p^2 + T_{мн}(L'_1 + 1)p + L'_2\hat{\Phi}}, \quad (2)$$

$$\frac{\tilde{E}_{д2}(p)}{\tilde{M}_c(p)} = -\frac{(T_{яд}p + 1)\hat{\Phi}}{T_{мн}T_{яд}p^2 + T_{мн}(L'_1 + 1)p + L'_2\hat{\Phi}}. \quad (3)$$

Задавшись желаемым характеристическим полиномом второго порядка

$$G_{2ж}(p) = p^2 + \gamma_1\Omega_H p + \Omega_H^2, \quad (4)$$

находим стандартным способом коэффициенты корректирующих связей НС

$$L'_1 = L_1 = T_{яд}\Omega_H\gamma_1 - 1, \quad L'_2 = L_2/\hat{\Phi} = \Omega_H^2 T_{яд} T_{мн} / \hat{\Phi}. \quad (5)$$

Из (5) следует, что на выходе звена с коэффициентом L_2 , равного постоянной составляющей корректирующего коэффициента L'_2 нужно выполнить операцию деления на оценку потока возбуждения.

Подставляя (5) в (1)-(3) при $p=0$, получим

$$\frac{\tilde{\omega}_{c1}}{\tilde{M}_c} = -\frac{\gamma_1}{T_{мн}\Omega_H}, \quad \frac{\tilde{E}_{сд1}}{\tilde{M}_c} = -\frac{\gamma_1\hat{\Phi}}{T_{мн}\Omega_H}, \quad \frac{\tilde{E}_{сд2}}{\tilde{M}_c} = -\frac{\hat{\Phi}}{T_{мн}T_{яд}\Omega_H^2}.$$

Имея оценку статического момента и потока возбуждения полученные ошибки легко скомпенсировать на основании следующих соотношений:

$$\hat{\omega} = \hat{\omega}_1 + \tilde{\omega}_{c1} = \hat{\omega}_1 - \tilde{M}_c \gamma_1 / T_{мн} \Omega_H, \\ \hat{E}_д = \hat{E}_{д1} + \tilde{E}_{сд1} = \hat{\omega}_1 \hat{\Phi} + \tilde{\omega}_{c1} \hat{\Phi} = (\hat{\omega}_1 + \tilde{\omega}_{c1}) \hat{\Phi} = \hat{\omega} \cdot \hat{\Phi}.$$

Модифицированный вариант наблюдателя (НСМ) с нелинейным корректирующим коэффициентом L'_2 и уточненными оценками скорости и

ЭДС двигателя приведен на рис. 4.

Для упрощения наблюдателя рис.2 при небольшом диапазоне регулирования потока возбуждения, что характерно, например, для главных приводов обжимных прокатных станов ($\Phi_H/\Phi_{min}=1,5\div 2$), блок деления и узел уточнения оценки скорости из него можно удалить. Из выражения для расчета коэффициента L'_2 (5) и передаточных функций (1)-(3) видно, что это приведет только к увеличению характеристической частоты рассматриваемого НС во второй зоне и сделает статическую ошибку оценивания скорости зависимой от величины потока возбуждения двигателя, а статические ошибки оценивания ЭДС – независимыми от этой координаты:

$$\frac{\tilde{\omega}_{c1}}{\tilde{M}_c} = -\frac{\gamma_1}{T_{мн}\Omega_H\hat{\Phi}}, \quad \frac{\tilde{E}_{сд1}}{\tilde{M}_c} = -\frac{\gamma_1}{T_{мн}\Omega_H}, \quad \frac{\tilde{E}_{сд2}}{\tilde{M}_c} = -\frac{1}{T_{мн}T_{яд}\Omega_H^2}.$$

Структурная схема такого упрощенного варианта наблюдателя (НСУ) представлена на рис. 5.

Предложенные варианты наблюдателей состояния можно использовать в системах двухзонного регулирования скорости с зависимым и параметрическим управлением полем двигателя, описанных в [2] при отсутствии в них тахогенератора.

В обеих системах сигнал оценки статического момента на валу двигателя может быть использован для уменьшения или ликвидации статической просадки скорости при набросе нагрузки. В системе с параметрическим управлением потоком возбуждения оценка скорости может быть использована для замыкания контура регулирования скорости, а оценка ЭДС – для компенсации влияния внутренней ратной связи двигателя по этому сигналу. В системе с зависимым управлением оценку ЭДС целесообразно использовать также для замыкания контура стабилизации ЭДС.

