

УДК.:62-83.001.63:681.586.372

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПО СИСТЕМЕ ТП-Д С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДАТЧИКА СКОРОСТИ

КАДЫРОВ И.Ш., ПОЛЯНИНОВ Г.А., ПОСТНОВ А.А., МАТЕКОВА Г.Д.
bgtu_kg@mail.ru

В статье описывается инженерный метод реализации двухконтурной системы управления электропривода по системе ТП-Д, в которой двигатель не имеет встроенный датчик скорости

The article describes the engineering method of implementing a two-loop control system for electric drive controlled TC-M system, in which the engine hasn't built-in speed sensor

Введение. Комплексная автоматизация технологических процессов и агрегатов возлагает на системы автоматического управления (САУ) все более широкие и сложные функции, что усложняет реализацию этих систем, требующей от них высокого быстродействия и надежности. Развитие персональных компьютеров (ПК) привело к широкому использованию их при моделировании проектируемых систем управления электроприводов с целью исследования динамических и статических свойств. Моделирование с помощью программного обеспечения MATLAB замкнутых систем электроприводов полезно и на стадии подготовки специалистов, умеющих проектировать сложные САУС электроприводами, способных к анализу результатов моделирования, позволяющих производить корректировку настройки систем управления, облегчая процедуру ввода в эксплуатацию технологических установок в производство.

Цели и методы. Одной из задач управления электроприводами постоянного тока по системе «Тиристорный преобразователь – двигатель» (ТП-Д) является объект управления, в котором двигатель постоянного тока не имеет встроенный тахогенератор, предназначенный для измерения текущего значения скорости на валу двигателя. Вычисление сигнала, пропорционального скорости двигателя, позволяет построить систему управления электроприводом, имеющего в прямом канале два компенсируемых постоянных времени $T_{я}$, $T_{м}$, применив структуру двухконтурного регулирования скорости с внутренним контуром тока, подчиненным внешнему контуру скорости.

Рассмотрим более подробно методику построения датчиков ЭДС вращения двигателя постоянного тока. Для реализации принципиальной схемы датчика ЭДС запишем уравнение баланса напряжений по второму закону Кирхгофа для якорной цепи:

$$e = u_{я} - i_{я} R_{я\Sigma} - L_{я\Sigma} \cdot di_{я}/dt, \quad (1)$$

где $R_{я\Sigma}$, $L_{я\Sigma}$ – активное сопротивление и индуктивность якоря.

Так как переменные $u_{я}$, $i_{я}$, e измеряются с помощью датчиков напряжения, тока и ЭДС, то необходимо ввести коэффициенты датчиков, учитывающие пропорциональность реальных переменных и измеренных на выходе датчиков электрических сигналов:

– коэффициент передачи по току якоря определяется коэффициентом шунта, т.е.

$$k_{дт} = k_{ш} \cdot U_{шн} / E_{шн} = 0,075/100 = 0,00075;$$

– коэффициент передачи по напряжению якорной цепи определяется делителем напряжения с сопротивлениями $R_1 = 51 \text{ кОм}$ и $R_2 = 1 \text{ кОм}$, тогда:

$$U_{дн\max} = R_2 / (R_1 + R_2) E_{дн\max} = 1 / (1 + 51) 300 = 5,77 \text{ В};$$

$$k_{дн} = U_{дн\max} / E_{дн\max} = 5,77/300 = 0,019.$$

Выходной сигнал на выходе датчика ЭДС, подаваемый на вход регулятора скорости, связан с текущим значением ЭДС вращения двигателя соотношением:

$$k_{де} = U_{ем\max} / E_{ем\max} = 10/173,2 = 0,058,$$

где $E_{\max} = U_{\text{я}} / c \approx 0,1,27 \approx 173,2 \text{ В}$ – максимальное значение ЭДС вращения двигателя;
 $U_{e \max} = 10 \text{ В}$ – максимальное значение выходного напряжения датчика ЭДС.

С учетом принятых значений коэффициентов датчиков, а также операции реального дифференцирования уравнение (1) в операторной форме запишется в следующем виде:

$$\frac{U_e}{k_{де}} = \frac{U_{дн}}{k_{дн}} - \frac{U_{дт}}{k_{ш}} R_{я\Sigma} \left(\frac{T_{я} p}{T_{\mu} p + 1} + 1 \right). \quad (2)$$

Учитывая, что выходным сигналом датчика ЭДС является U_e , а входными напряжения датчика напряжениями ДН $U_{дн}$ и датчика тока ДТ, $U_{дт}$ передаточную функцию ДЭ определим из (2) в виде:

$$W(p) = \frac{U_e(p)}{U_{дн}(p) - \frac{k_{дн}}{k_{ш}} R_{я\Sigma} \left(\frac{T_{я} p}{T_{\mu} p + 1} + 1 \right) U_{дт}(p)} = \frac{k_{де}}{k_{дн}}. \quad (3)$$

Структурная схема датчика ЭДС (рис.1), составленная согласно выражению (3), представляет собой пропорциональное звено, на входе которого суммируются составляющие напряжения и тока якоря, которое можно реализовать с помощью двух операционных усилителей по схеме, показанной на рис.2.

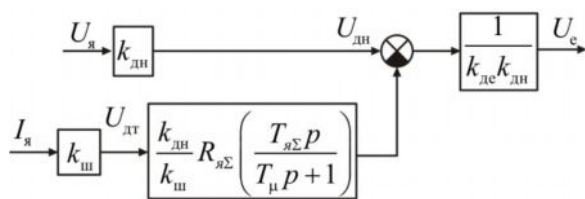


Рис.1. Структурная схема датчика ЭДС.

Настройку датчика ЭДС можно произвести по отдельности по каждому входу операционных усилителей. Например, передаточная функции для операционного усилителя ОУ1, выраженная относительно параметров схемы с напряжением $U_{дт}$, имеет вид:

– по входу с сопротивлением R_2 $W_1 = R_3 / R_2 = k_{дн} / k_{ш} R_{я\Sigma}$; (4)

– по входу с сопротивлением R_1 и емкостью C_1 $W_2 = R_3 C_1 p / (R_1 C_1 p + 1)$. (5)

Передаточная функция операционного усилителя ОУ2 по входу с напряжением $U_{дн}$ и сопротивлением R_5 запишется как:

$$W_3 = R_6 / R_5 = k_{де} / k_{дн}. \quad (6)$$

Сравнивая выражения (4), (5) и (6), можно составить следующие расчетные соотношения:

$$\begin{aligned} R_3 C_1 &= (k_{дн} / k_{ш}) R_{я\Sigma} T_{я}; \\ T_{\mu} &= R_1 C_1; R_3 / R_2 = k_{дн} / k_{ш} R_{я\Sigma}. \end{aligned} \quad (7)$$

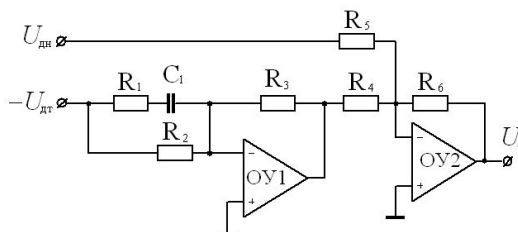


Рис.2. Принципиальная схема датчика ЭДС.

Пользуясь выражениями (6) (7), можно рассчитать значения сопротивлений и емкости датчика ЭДС как по входу $U_{дт}$, так и по входу $U_{дн}$. При этом обычно задаются емкостью конденсатора C_1 и величиной сопротивления R_5 , а значения сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 и R_6 определяются из (6) и (7):

$$C_1 = 1 \text{ мкФ}; R_3 = (k_{дн} \cdot R_{я\Sigma} T_{я}) / (k_{ш} \cdot C_1) = (0,019 \cdot 0,3652 \cdot 0,02) / (0,00075 \cdot 10^{-6}) = 185035 \text{ Ом}$$

$$R_1 = T_{\mu} / C_1 = 0,005 / 10^{-6} = 5000 \text{ Ом};$$

$$R_2 = (k_{ш} R_3) / (k_{дн} R_{я\Sigma}) = (0,00075 \cdot 185035) / (0,019 \cdot 0,3652) = 20000 ;$$

$$R_5 = 10000 \text{ Ом}; R_6 = (k_{дс} R_5) / k_{дн} = (0,058 \cdot 10000) / 0,019 = 30526 \text{ Ом}$$

Для моделирования электропривода по системе ТП-Д с двухконтурной системой регулирования по току и скорости воспользуемся примером из системы **MATLAB 7**, показанной на рис.3

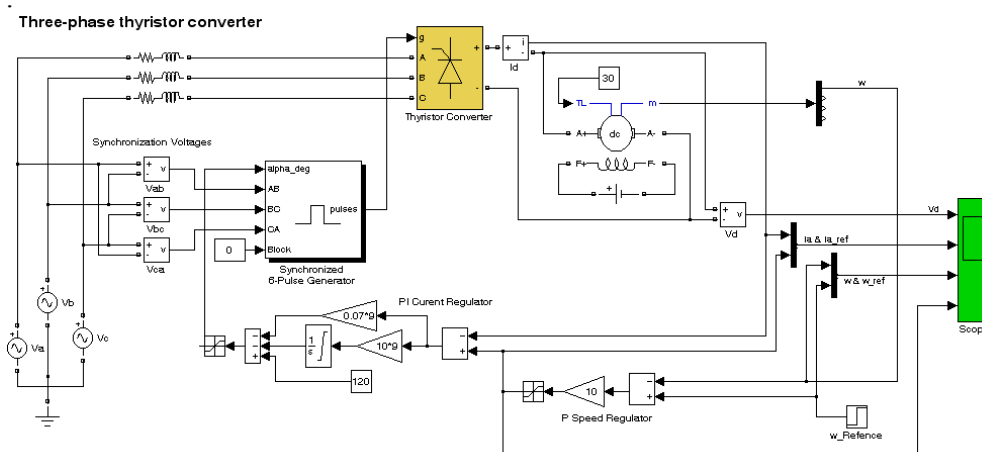


Рис 3. Модель электропривода по системе ТП – Д.



Основными элементами модели электропривода по системе ТП-Д являются: эквивалентная схема двигателя постоянного тока независимого возбуждения (*DC motor equivalent circuit*); математическая модель реального тиристорного преобразователя; блок регуляторов – с пропорционально-интегральным ПИ – регулятором тока и пропорциональным П – регулятором скорости.

Отличительной особенностью модели на рис.3 от классической является то, что в ней вместо стандартной схемы замещения ДПТ взята типовая модель двигателя постоянного тока независимого возбуждения, позволяющая задавать его параметры изменением свойства блока *DC_Motor*. Обмотка возбуждения ДПТ подключена через контакты *F+* и *F-* к источнику питания *Ef* напряжением 220В. Нагрузкой двигателя служит блок *Constanta*, представляющий собой математическую модель реальной механической нагрузки на валу двигателя, задаваемой в $H \cdot м$.

Математическую модель реального управляемого тиристорного преобразователя на рис.3. представляют три блока. К ним относятся: блок силовых тиристоров (*Thyristor Converter*), блок с разомкнутой системой импульсно-фазового управления (СИФУ) (*Synchronized 6-Pulse Generator*), блок синхронизации с сетевым питающим напряжением (*Synchronization Voltages*). Параметром для управления модели тиристорного преобразователя является угол запаздывания открывания тиристорами (*alpha*), формируемый в электрических градусах. Входными переменными для силовых каналов модели тиристорного преобразователя являются токи фаз *A, B, C* (I_A, I_B, I_C), а выходными переменными являются напряжение якоря (U_d) и ток якоря (I_d). Значение каждого из этих переменных, для наблюдения или регистрации, выведены по отдельным каналам экрана запоминающего осциллографа.

Модель источника питания электропривода по системе ТП-Д представляет собой 3-х фазный идеальный источник напряжения с линейным напряжением 380 В и частотой 50 Гц. Приближение модели источника питания к реальным достигается включением в цепь каждой фазы источника активного сопротивления с номиналом 0.01 Ом и индуктивности с номиналом 10 мкГн. Эти элементы источника питания имитируют параметры обмоток питающего трансформатора.

Контур тока содержит регулятор, структура которого определена в результате синтеза. Он составляет основу математической модели типового ПИ-звена и построена параллельным соединением звеньев интегрирующего и пропорционального. Входными сигналами регулятора являются сигнал задания на ток U_{zt} (*Id_reference*), который подается со знаком «+», и сигнал обратной связи по току $U_{от}$ (*Id*), подаваемый со знаком «-». Параметры каждого блока соответствуют параметрам реального ПИ регулятора и могут быть изменены в свойствах соответствующих блоков (*PI Current Regulator*).

Внешний контур скорости содержит пропорциональный П - регулятор. Входными сигналами регулятора скорости являются сигнал задания на скорость U_{zc} (*omega_reference*), поданный со знаком «+», и сигнал обратной связи по скорости U_{oc} (ω) – со знаком «-». Выходным сигналом регулятора скорости является сигнал задания на ток U_{zt} для регулятора тока. Регулятор скорости построен на основе типового пропорционального звена. Параметры звена соответствуют параметрам реального П – регулятора и могут быть изменены в свойствах соответствующих блоков регулятора (*P Speed Regulator*).

Результаты исследований. В математической модели, как и в реальной системе электропривода по системе ТП-Д, в котором отсутствует встроенный в двигатель тахогенератор, сигнал обратной связи по скорости выделяется в результате решения уравнений (1-3), с использованием электрических переменных U_d и I_d , показанных на рис.4, как результат решения задач моделирования. Как видно из рис.4, если удастся получить гладкую составляющую сигнала пропорциональной скорости без пульсаций, то его можно использовать в системе управления электроприводом для стабилизации скорости.

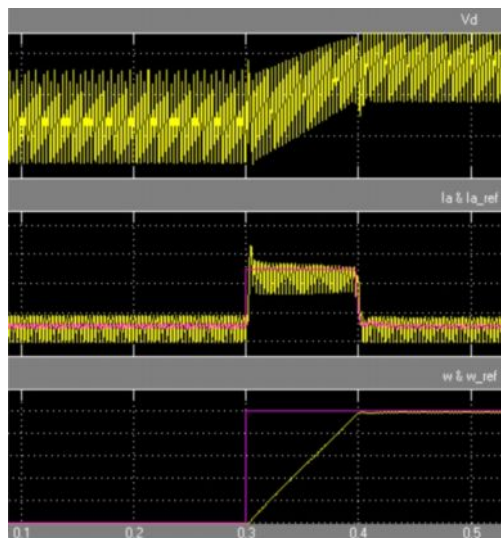


Рис 4. Диаграммы работы модели системы ТП - ДПТ НВ с двухконтурным регулированием тока и скорости.

Таким образом, настроенная на технический оптимум математическая модель двухконтурной системы регулирования электропривода по системе ТП-Д, позволяет производить проверку результатов синтеза для любых двигателей с различным характером нагрузки. Достоинством модели на рис.4 является простота и доступность, когда инженер в процессе ввода электропривода в эксплуатацию или студент в процессе проведения практических занятий может простым изменением параметров регуляторов контуров регулирования получить исчерпывающий материал для настройки реального электропривода.