

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ
ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ВТОРОГО
ПОРЯДКА АЛГЕБРАИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Учебно-методическое пособие
к проведению лабораторной работы
по курсу «Моделирование в электроприводе»

Издательство
Томского политехнического университета
Томск 2018

ББК 31.291я73
УДК 62-83-52.001.5(075.8)
Г524

Глазырин А. С, Боловин Е.В.

Г524 Идентификация параметров динамического объекта второго порядка алгебраическим методом: учебно-методическое пособие к проведению лабораторной работы по курсу «Моделирование в электроприводе». – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 17 с.

В учебно-методическом пособии описаны цели и задачи применения метода обратной матрицы при идентификации параметров динамических объектов. Приведен пример идентификации параметров двигателя постоянного тока с независимым возбуждением. В качестве базового программного продукта при решении задач моделирования и идентификации предлагается использовать *MathCAD*.

Предназначено для магистров, обучающихся по магистерской программе «Электроприводы и системы управления электроприводов».

ББК
31.291я73
УДК 62-83-52.001.5(075.8)

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета

Рецензенты

© А. С. Глазырин, Е.В. Боловин, 2018
© Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2018
© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2018

Цель работы: ознакомиться с процедурой идентификации параметров динамического объекта второго порядка на примере *двигателя постоянного тока независимого возбуждения* (ДПТ НВ) на основе алгебраического подхода.

В настоящее время электропривод является неотъемлемой частью любого технологического процесса, при этом применение находят как асинхронные и синхронные электроприводы, так и электроприводы на основе двигателей постоянного тока. Эффективность работы систем управления электроприводов зависит от достоверного знания оценок параметров электродвигателей, таких как активное сопротивление и индуктивность. При наладке электроприводов не всегда возможно измерить все параметры и зачастую их рассчитывают на основе каталожных данных по эмпирическим методикам. Полученные по этим методикам оценки значений параметров в свою очередь могут сильно отличаться от реальных значений. При этом значения параметров двигателя в течении работы могут меняться в зависимости от времени, например в следствии изменения температурного состояния двигателя. Также необходимо отметить, что двигатели зачастую работают в «некомфортных» режимах, т.е. повышенные или пониженные температуры, повышенная влажность, кратковременные перегрузки двигателя и т.д. Работа в таких режимах приводит к негативному влиянию на реальный остаточный ресурс электродвигателей. Следовательно, есть объективная необходимость в определении оценок значений параметров электродвигателей непосредственно в процессе работы электропривода для следующих целей:

1. Корректной настройки системы управления электроприводом на этапе проектирования и в течении работы, что приведет к улучшению показателей качества всего электропривода.

2. Непрерывной диагностики функционирования двигателя и прогнозированию остаточного ресурса электродвигателей, что приведет к уменьшению эксплуатационных затрат и простою технологического оборудования.

Производить контроль за значениями параметров двигателей возможно, используя динамическую идентификацию параметров объектов на основе алгебраического подхода. Данный подход позволяет найти оценки электромагнитных параметров двигателя. Суть подхода заключается в описании исследуемого динамического объекта с помощью дифференциальных уравнений (ДУ). Далее производится переход от этих ДУ к системе разностных уравнений. Система разностных уравнений записывается в матричном виде относительно вектора неизвестных параметров объекта. Затем обеспечивается решение с помощью одного из алгебраических методов, например метода обратной матрицы [1].

В данной лабораторной работе исследуется динамический объект второго порядка на примере *двигателя постоянного тока независимого возбуждения*. Схема подключения ДПТ НВ к источнику постоянного напряжения представлена на рис. 1.

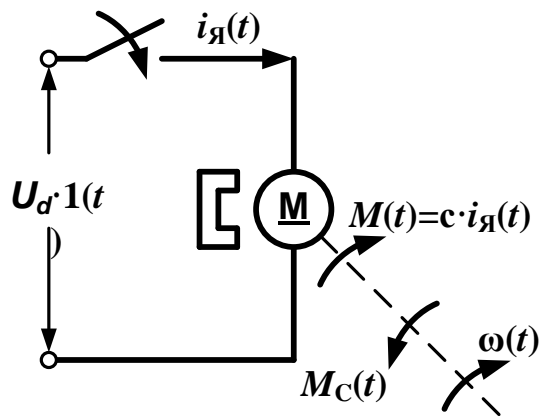


Рис. 1. Схема подключения ДПТ НВ к источнику постоянного напряжения

Схема замещения якорной цепи ДПТ НВ представлена на рис. 2.

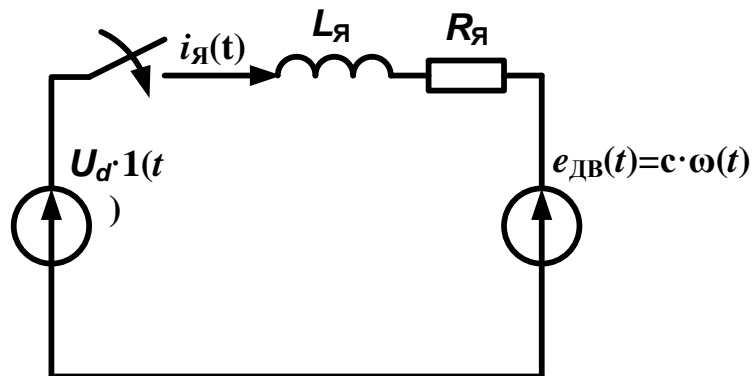


Рис.2. Схема замещения якорной цепи ДПТ НВ

Перед началом составления адекватной математической модели исследуемого динамического объекта (ДПТ НВ) следует определить перечень допущений:

- Не учитывается влияния вихревых токов.
- Поток возбуждения двигателя постоянен. Реакция якоря считается скомпенсированной, т.е. отсутствует размагничивание индуктора в следствии протекания тока якоря, либо вместо обмотки возбуждения в конструкции используются высококачественные магниты.
- Сопротивление и индуктивность якорной цепи не изменяются. Другими словами электромагнитные и механические постоянные времени на несколько порядков меньше тепловых постоянных времени электрической машины.

- Механическую систему электропривода можно представить как одномассовую. Выполнено адекватное приведение всех вращающихся масс к валу двигателя.

Математическую модель ДПТ НВ можно составить из уравнения электрического равновесия якорной цепи. Уравнение электрического равновесия якорной цепи составим на основе второго закона Кирхгофа [2]:

$$U(t) = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + c \cdot \omega(t) \quad (1)$$

где $U(t)$ – напряжение, приложенное к якорю, В;

R – сопротивление якорной цепи, Ом;

$i(t)$ – ток якоря, А;

L – индуктивность якорной цепи, Гн;

c – коэффициент, характеризующий связь между током и электромагнитным моментом $M(t)$, либо между круговой частотой вращения якоря и электродвижущая сила движения $e(t)$, В·с/рад;

$\omega(t)$ – круговая частота вращения якоря, рад/с;

$M(t) = c \cdot i(t)$ – электромагнитный момент, Н·м;

$e(t) = c \cdot \omega(t)$ – электродвижущая сила (ЭДС) движения, В.

Для получения оценок сопротивления \hat{R} и индуктивности \hat{L} якорной цепи дифференциальное уравнение (1) преобразуем к виду:

$$\hat{R} \cdot i(t) + \hat{L} \cdot \frac{di(t)}{dt} = U(t) - c \cdot \omega(t) \quad (2)$$

Необходимо учитывать, что в цифровых системах управления электроприводами каналы измерения переменных состояния объекта управления имеют аналогово-цифровые преобразователи, в которых происходит дискретизация непрерывного сигнала по времени и квантование по уровню. Соответственно уравнение (2) можно представить в виде дискретного уравнения (3), которое описывает электрическое равновесие якорной цепи в дискретном времени:

$$\hat{R} \cdot i(n \cdot \Delta t) + \hat{L} \cdot D^{(1)}[i(n \cdot \Delta t)] = U(n \cdot \Delta t) - c \cdot \omega(n \cdot \Delta t) \quad (3)$$

где Δt – период дискретизации сигнала;

n – номер рассматриваемой точки;

$D^{(1)}[i(n \cdot \Delta t)]$ – первая производная тока в текущий момент времени $n \cdot \Delta t$, которая при переходе от непрерывной модели к дискретной будет вычисляться методом многоточечной аппроксимации [3] как:

$$D^{(1)}[i(n \cdot \Delta t)] = \frac{i_{1a}(n \cdot \Delta t - 2 \cdot \Delta t) - 8 \cdot i_{1a}(n \cdot \Delta t - \Delta t) + 8 \cdot i_{1a}(n \cdot \Delta t + \Delta t) - i_{1a}(n \cdot \Delta t + 2 \cdot \Delta t)}{12 \cdot \Delta t}$$

Видно, что уравнение (3) имеет две неизвестных переменных \hat{R} и \hat{L} . Из курса математики известно, что для нахождения двух неизвестных, необходимо минимум два уравнения, где будут присутствовать данные неизвестные. На основании этого перейдем от дискретного уравнения (3) к системе разностных уравнений (4) с учетом текущего $n \cdot \Delta t$ и предыдущего рассматриваемых моментов времени $n \cdot \Delta t - \Delta t$ при условии постоянства оценок сопротивления \hat{R} и индуктивности \hat{L} якорной цепи:

$$\begin{cases} \hat{R} \cdot i(n \cdot \Delta t) + \hat{L} \cdot D^{(1)}[i(n \cdot \Delta t)] = U(n \cdot \Delta t) - c \cdot \omega(n \cdot \Delta t) \\ \hat{R} \cdot i(n \cdot \Delta t - \Delta t) + \hat{L} \cdot D^{(1)}[i(n \cdot \Delta t - \Delta t)] = U(n \cdot \Delta t - \Delta t) - c \cdot \omega(n \cdot \Delta t - \Delta t) \end{cases} \quad (4)$$

Представим систему разностных уравнений (4) в матричном виде относительно вектора оценок параметров $(\hat{R} \ \hat{L})^T$:

$$\begin{bmatrix} i(n \cdot \Delta t) & D^{(1)}[i(n \cdot \Delta t)] \\ i(n \cdot \Delta t - \Delta t) & D^{(1)}[i(n \cdot \Delta t - \Delta t)] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{R} \\ \hat{L} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U(n \cdot \Delta t) - c \cdot \omega(n \cdot \Delta t) \\ U(n \cdot \Delta t - \Delta t) - c \cdot \omega(n \cdot \Delta t - \Delta t) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Найдем решение матричного уравнения (5) методом обратной матрицы:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B}$$

где $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} i(n \cdot \Delta t) & D^{(1)}[i(n \cdot \Delta t)] \\ i(n \cdot \Delta t - \Delta t) & D^{(1)}[i(n \cdot \Delta t - \Delta t)] \end{bmatrix}$ – матрица регрессоров;

$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} U(n \cdot \Delta t) - c \cdot \omega(n \cdot \Delta t) \\ U(n \cdot \Delta t - \Delta t) - c \cdot \omega(n \cdot \Delta t - \Delta t) \end{bmatrix}$ – вектор зависимых переменных;

$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \hat{R} \\ \hat{L} \end{bmatrix}$ – вектор неизвестных переменных регрессии;

\mathbf{A}^{-1} – обратная матрица от матрицы \mathbf{A} ;

Аналогичное решение задачи идентификации можно представить для механической части ДПТ НВ и нахождения оценок $(\hat{M}_c \hat{j})^T$ на основании уравнения движения якоря ДПТ НВ, составленного на основе второго закона Ньютона [2] для вращательного движения:

$$J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} = M(t) - M_c(t) = c \cdot i(t) - M_c(t) \quad (6)$$

где J – эквивалентный момент инерции, приведённый к валу двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; $M_c(t)$ – момент сопротивления нагрузки на валу, который состоит из суммы момента, $\text{Н} \cdot \text{м}$.

Рассмотрим пример динамической идентификации параметров ДПТ НВ $(\hat{R} \hat{L})^T$ с помощью метода наименьших квадратов на примере двигателя 2ПФ160МГУХЛ4 мощностью 16кВт [4]. Параметры двигателя приведены ниже:

Номинальная мощность – $P_n = 16$ кВт;

Номинальное напряжение – $U_n = 220$ В;

Номинальная частота вращения вала двигателя – $n_n = 3150$ об/мин;

КПД – $\eta = 87$ %;

Активное сопротивление обмотки якоря – $R_{оя} = 0.037$ Ом;

Активное сопротивление добавочных полюсов – $R_{дп} = 0.024$ Ом;

Индуктивность двигателя – $L_{дв} = 0.99$ мГн;

Момент инерции двигателя – $J_{дв} = 0.083$ $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Все величины рассматриваются в единицах СИ, в листинге *MathCAD* размерности параметров и координат не приводятся.

Модель ДПТ НВ и его переходные процессы имитируем в программной среде *MathCAD*. Задаем параметры двигателя:

$$P_n := 16 \cdot 10^3$$

$$U_n := 220$$

$$n_{nom} := 3150$$

$$\eta := 0.87$$

$$R_{oa} := 0.037$$

$$R_{dp} := 0.024$$

$$L_{dv} := 0.99 \cdot 10^{-3}$$

$$J_{eq} := 0.083 \cdot 1$$

$$R_{dv} := 1.24 \cdot (R_{oa} + R_{dp})$$

$$I_n := \frac{P_n}{U_n \cdot \eta}$$

$$\omega_n := \frac{\pi \cdot n_{nom}}{30}$$

$$c_{dv} := \frac{U_n - I_n \cdot R_{dv}}{\omega_n}$$

Моделируем основные режимы работы двигателя: пуск в холостую, наброс нагрузки, сброс нагрузки, реверс.

$$t_1 := 0.5$$

$$t_2 := 1$$

$$t_3 := 1.5$$

$$t_4 := 2$$

$$fU(t) := \begin{cases} U_n & \text{if } (t \geq 0) \wedge (t < t_3) \\ -U_n & \text{if } (t \geq t_3) \wedge (t < t_4) \\ U_n & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Mc_{nom} := I_n \cdot c_{dv}$$

$$Mc_{nom} = 54.15$$

$$Mc_{hh} := 0.1 \cdot Mc_{nom}$$

$$Mc_{hh} = 5.415$$

$$I_{kznom} := \frac{U_n}{R_{dv}}$$

$$I_{kznom} = 2.909 \times 10^3$$

$$M_{kznom} := c_{dv} \cdot I_{kznom}$$

$$M_{kznom} = 1.884 \times 10^3$$

$$\lambda_{Mkznom} := \frac{M_{kznom}}{Mc_{nom}}$$

$$\lambda_{Mkznom} = 34.793$$

$$fSign(x) := \begin{cases} 1 & \text{if } x > 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$fMc_{hh}(\omega) := Mc_{hh} \cdot fSign(\omega)$$

$$fMc(\omega, t) := \begin{cases} Mc_{nom} \cdot fSign(\omega) & \text{if } (t \geq t_1) \wedge (t < t_2) \\ fSign(\omega) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Задаем количество точек (в примере 24000), начальные условия, период дискретизации. Далее с помощью метода Эйлера [1] строим переходные процессы двигателя (рис. 3):

$$\Delta t := 100 \cdot 10^{-6}$$

$$fi(i, \omega, t) := L_{dv}^{-1} \cdot (fU(t) - i \cdot R_{dv} - \omega \cdot c_{dv})$$

$$f\omega(i, \omega, t) := J_{eq}^{-1} \cdot (i \cdot c_{dv} - fMc(\omega, t) - fMc_{hh}(\omega))$$

$$N := 24000$$

$$n := 2 .. N$$

$$\begin{pmatrix} t_0 \\ i_0 \\ \omega_0 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} t_1 \\ i_1 \\ \omega_1 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} t_0 + \Delta t \\ i_0 + \Delta t \cdot fi(i_0, \omega_0, t_0) \\ \omega_0 + \Delta t \cdot f\omega(i_0, \omega_0, t_0) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} t_2 \\ i_2 \\ \omega_2 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} t_1 + \Delta t \\ i_1 + \Delta t \cdot fi(i_1, \omega_1, t_1) \\ \omega_1 + \Delta t \cdot f\omega(i_1, \omega_1, t_1) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} t_{n+1} \\ i_{n+1} \\ \omega_{n+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} t_n + \Delta t \\ i_n + \Delta t \cdot f_i(i_n, \omega_n, t_n) \\ \omega_n + \Delta t \cdot f_\omega(i_n, \omega_n, t_n) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} t_{n+2} \\ i_{n+2} \\ \omega_{n+2} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} t_{n+1} + \Delta t \\ i_{n+1} + \Delta t \cdot f_i(i_{n+1}, \omega_{n+1}, t_{n+1}) \\ \omega_{n+1} + \Delta t \cdot f_\omega(i_{n+1}, \omega_{n+1}, t_{n+1}) \end{pmatrix}$$

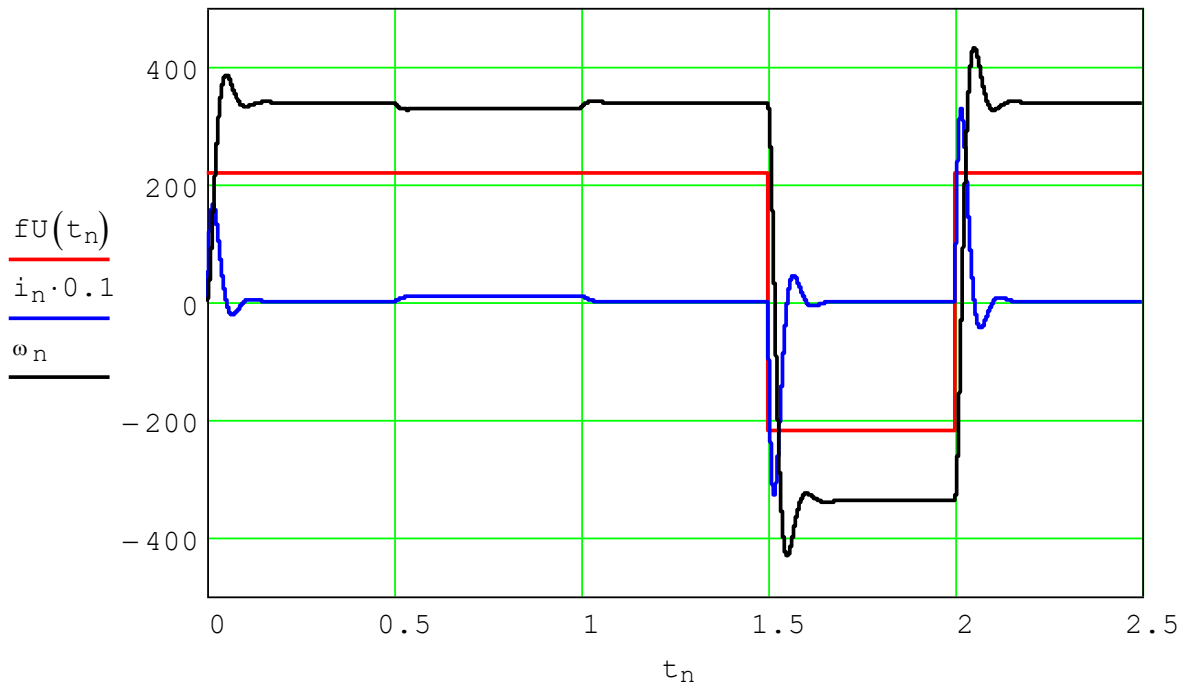


Рис.3. Переходные процессы напряжения, тока и скорости вращения вала ДПТ НВ

Представляем первые производные тока и скорости методом многоточечной аппроксимации:

$$di_n := \frac{i_{n-2} - 8 \cdot i_{n-1} + 8 i_{n+1} - i_{n+2}}{12 \cdot \Delta t}$$

$$d\omega_{n+1} := \frac{\omega_{n-2} - 8 \cdot \omega_{n-1} + 8 \omega_{n+1} - \omega_{n+2}}{12 \cdot \Delta t}$$

Решим задачу идентификации параметров ДПТ НВ методом обратной матрицы:

$$n := 3 .. N - 3$$

$$\begin{pmatrix} rr_n \\ ll_n \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} i_n & di_n \\ i_{n-1} & di_{n-1} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} fU(t_n) - \omega_n \cdot c_{dv} \\ fU(t_{n-1}) - \omega_{n-1} \cdot c_{dv} \end{pmatrix}$$

В связи с тем, что оценки параметров являются зашумленными и имеют ярковыраженные импульсные составляющие, проведем фильтрацию оценок с помощью нелинейного прогнозирующего фильтра [5].

Проведем фильтрацию оценки активного сопротивления ДПТ НВ с помощью нелинейного прогнозирующего фильтра:

$$\tau_{fR} := 0.01$$

$$k_{fR} := 1$$

$$kreg_{fR} := 1$$

$$R_{ogr} := 100$$

$$fFR(x, y) := \tau_{fR}^{-1} \cdot (k_{fR} \cdot x - y)$$

$$RRf_0 := 0.01$$

$$RRf_1 := 0.01$$

$$RRf_2 := 0.01$$

$$RRf_3 := 0.01$$

$$n := 3.. N - 3$$

$$\begin{pmatrix} RR_{cogr_n} \\ RRf_n \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} \begin{cases} rr_n & \text{if } rr_n < R_{ogr} \\ R_{ogr} \cdot \text{sign}(rr_n) & \text{otherwise} \end{cases} \\ \begin{cases} RRf_{n-1} & \text{if } |\Delta t \cdot fFR(RR_{cogr_{n-1}}, RRf_{n-1})| \geq |RRf_{n-1}| \cdot kreg_{fR} \\ RRf_{n-1} + \Delta t \cdot fFR(RR_{cogr_{n-1}}, RRf_{n-1}) & \text{otherwise} \end{cases} \end{pmatrix}$$

Построим график переходного процесса оценивания активного сопротивления ДПТ НВ (рис. 4).

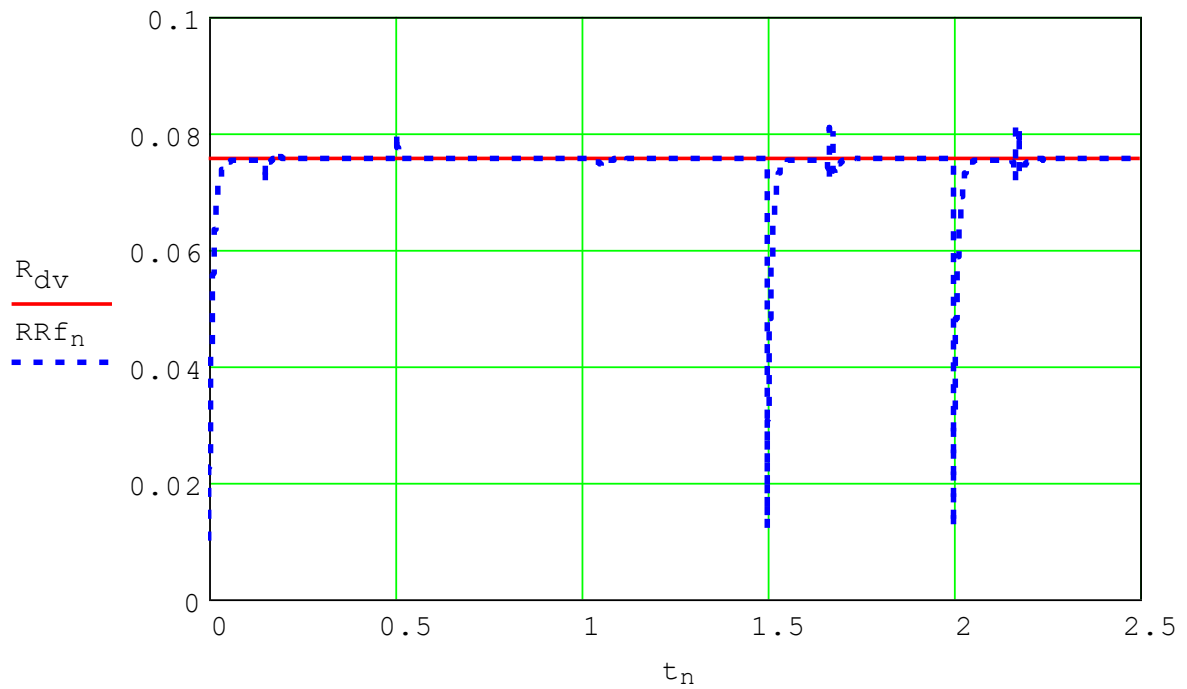


Рис.4. Переходный процесс оценки после прохождения процедуры фильтрации и реальное значение активного сопротивления ДПТ НВ

Проведем аналогичную фильтрацию оценки индуктивности ДПТ НВ с помощью нелинейного прогнозирующего фильтра:

$$\tau_{fL} := 0.1$$

$$k_{fL} := 1$$

$$kreg_{fL} := 1$$

$$L_{ogr} := 100$$

$$fFL(x, y) := \tau_{fL}^{-1} \cdot (k_{fL} \cdot x - y)$$

$$LLf_0 := 0.0001$$

$$LLf_1 := 0.0001$$

$$LLf_2 := 0.0001$$

$$LLf_3 := 0.0001$$

$$L_{dv} = 9.9 \times 10^{-4}$$

$$\begin{pmatrix} LL_{\text{cogr}_n} \\ LLf_n \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} \begin{cases} ll_n & \text{if } ll_n < L_{\text{ogr}} \\ L_{\text{ogr}} \cdot \text{fSign}(ll_n) & \text{otherwise} \end{cases} \\ \begin{cases} LLf_{n-1} & \text{if } |\Delta t \cdot \text{fFL}(LL_{\text{cogr}_{n-1}}, LLf_{n-1})| \geq |LLf_{n-1}| \cdot k_{\text{reg}_{fL}} \\ LLf_{n-1} + \Delta t \cdot \text{fFL}(LL_{\text{cogr}_{n-1}}, LLf_{n-1}) & \text{otherwise} \end{cases} \end{pmatrix}$$

Построим график переходного процесса оценивания индуктивности ДПТ НВ (рис. 5)

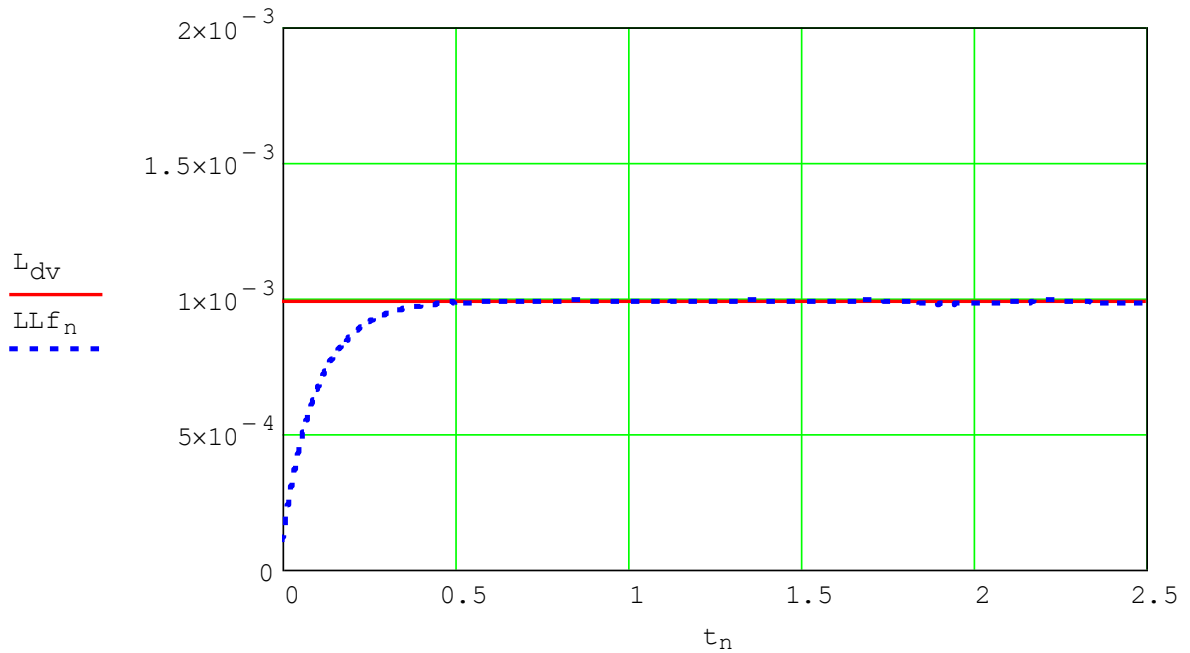


Рис.5. Переходный процесс оценки после прохождения процедуры фильтрации и реальное значение индуктивности ДПТ НВ

Для анализа качества процесса оценивания параметров ДПТ НВ рассмотрена интегральная среднеквадратическая ошибка оценивания:

$$\delta_x = \sqrt{\frac{1}{t_{\text{уст.кон.}} - t_{\text{уст.нач.}}} \sum_{k=t_{\text{уст.нач.}}}^{t_{\text{уст.кон.}}} \left(\frac{x - \hat{x}_k}{x} \right)^2} \cdot 100\%$$

где $x=R, L$ – это истинное значение исследуемого параметра, $\hat{x} = \hat{R}, \hat{L}$ – оцененное значение исследуемого параметра, $t_{\text{уст.нач.}}$, $t_{\text{уст.кон.}}$ – время начала и окончания установившийся и достаточного режима оценивания параметров, соответственно. В нашем случае могут быть приняты, как $t_{\text{уст.нач.}}$ – время последнего вхождения в 5-ти процентную зону относительно истинного значения исследуемого параметра, $t_{\text{уст.кон.}}$ – время окончания моделирования.

Найдем интегральная среднеквадратическая ошибка оценивания активного сопротивления ДПТ НВ:

$$\delta_{\Delta RR} := \sqrt{\frac{1}{20000 - 3000} \cdot \sum_{k=3000}^{20000} \left(\frac{R_{dv} - RRf_k}{R_{dv}} \right)^2} \cdot 100$$

$$\delta_{\Delta RR} = 4.164$$

Найдем интегральная среднеквадратическая ошибка оценивания индуктивности ДПТ НВ:

$$\delta_{\Delta LL} := \sqrt{\frac{1}{20000 - 2000} \cdot \sum_{k=2000}^{20000} \left(\frac{L_{dv} - LLf_k}{L_{dv}} \right)^2} \cdot 100$$

$$\delta_{\Delta LL} = 2.204$$

Представим переходные процессы (рис 6, 7) решение задачи идентификации для механической части ДПТ НВ и нахождения оценок $(\hat{M}_c \hat{j})^T$ на основании уравнения (6)

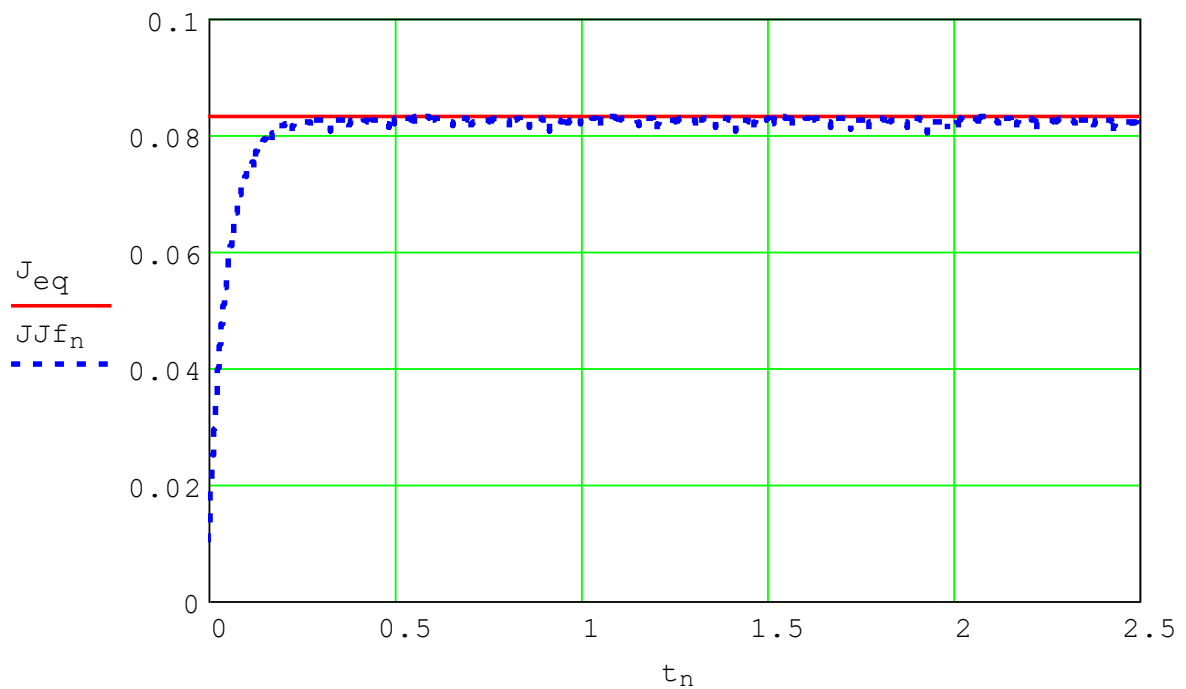


Рис.6. Переходный процесс оценки после прохождения процедуры фильтрации и реальное значение момента инерции вала ДПТ НВ

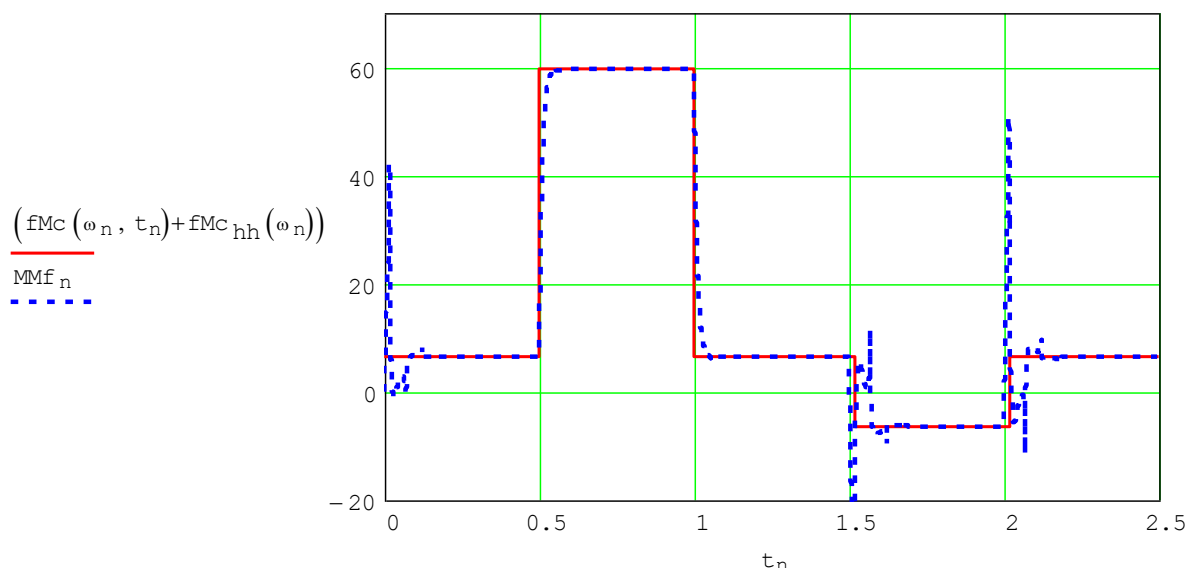


Рис.7. Переходный процесс оценки после прохождения процедуры фильтрации и реальное значение момента сопротивления на валу ДПТ НВ

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что идентификация параметров двигателя постоянного тока с независимым возбуждением методом наименьших квадратов позволяет получить асимптотически устойчивые несмещенные оценки параметров. При этом погрешность полученных оценок составляет не более 5%, что приемлемо для большинства технических задач.

Индивидуальное задание

Самостоятельно вывести систему разностных уравнений в матричном виде относительно вектора оценок параметров эквивалентный момент инерции, приведённый к валу двигателя и момента сопротивления нагрузки на валу $(\hat{M}_c \hat{j})^T$, опираясь на выкладки, представленных в методических указаниях. Основой служит уравнение (6). Провести идентификацию параметров ДПТ НВ, параметры которого приведены в таблице 1 (по указанию преподавателя). В таблице 1 приведены каталожные данные ДПТ НВ, взятые из источника [4].

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Описание объекта исследования.
3. Алгоритм вывода системы разностных уравнений в матричном виде относительно вектора оценок параметров эквивалентный момент инерции, приведённый к валу двигателя и момента сопротивления нагрузки на валу $(\hat{M}_c \hat{j})^T$.
4. Результаты идентификации параметров ДПТ НВ (индивидуальное задание).

5. Сводная таблица интегральных среднеквадратических ошибок оценивания параметров $\delta_{\Delta R}$, $\delta_{\Delta L}$, $\delta_{\Delta J}$, $\delta_{\Delta M_c}$

6. Выводы по работе.

Таблица 1 – Варианты параметров двигателей постоянного тока

№	Тип двигателя	P_n , кВт	U_n , В	n_n , об/мин	η , %	$R_{оя}$, Ом	$R_{дп}$, Ом	$L_{дв}$, мГн	$J_{дв}$, кг·м ²
1	2ПФ132МУХЛ4	3	220	1060	74	0.906	0.692	18.5	0.038
2	2ПФ132ЛУХЛ4	4.2	220	1000	69	4.05	2.92	86	0.048
3	2ПФ160МУХЛ4	4.2	220	750	73	0.516	0.407	14	0.083
4	2ПФ160ЛУХЛ4	11	220	1500	84.5	0.096	0.073	3.1	0.1
5	2ПФ180МУХЛ4	15	220	1500	85.5	0.084	0.056	2.7	0.2
6	2ПФ180ЛУХЛ4	14	220	1000	82	0.136	0.084	4.4	0.23
7	2ПФ200МУХЛ4	22	220	1600	87.5	0.047	0.029	1.6	0.25
8	2ПФ200ЛУХЛ4	15	220	750	82.5	0.125	0.08	4.6	0.3
9	2ПБ90МУХЛ4	0.55	220	3000	71.0	3.99	2.55	82	0.004
10	2ПБ90ЛУХЛ4	0.75	220	3150	77	2.28	1.609	63	0.005
11	2ПБ100МУХЛ4	1.2	220	3150	80	1.325	0.7	45	0.011
12	2ПБ112МУХЛ4	1.4	220	3000	78.5	0.788	0.682	11	0.015
13	2ПБ112ЛУХЛ4	2	220	3150	81	0.413	0.411	7.1	0.018
14	2ПБ132МУХЛ4	4.5	220	3150	81.5	0.185	0.148	4.2	0.038
15	2ПБ132ЛУХЛ4	5.3	220	3000	85.5	0.167	0.124	4	0.048
16	2ПБ160МУХЛ4	4.2	220	1500	84.5	0.326	0.208	10	0.083
17	2ПБ160ЛУХЛ4	7.5	220	2240	88	0.096	0.073	3.6	0.1
18	2ПБ180МУХЛ4	7.1	220	1500	86.5	0.15	0.092	5.5	0.2
19	2ПО132МУХЛ4	2.8	220	1500	76.5	0.601	0.454	15	0.038
20	2ПО160МУХЛ4	6	220	1600	84.5	0.235	0.151	7.1	0.083

Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы решения матричных уравнений?
2. Понятие асимптотически устойчивой оценки параметра?
3. Алгоритм идентификации параметров динамических объектов с помощью метода обратной матрицы?
4. Чем обуславливается необходимость использования нелинейного прогнозирующего фильтра, применяемого для фильтрации полученных оценок?
5. Чем обуславливается необходимость использования методов идентификации параметров в реальных установках.
6. Что такое несмещенная оценка параметра?

Библиографический список

1. Мальцева О.П., Кояин Н.В., Удут Л.С. Численные методы в электротехнике: Компьютерный лабораторный практикум – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2003. – 100 с.

2. Глазырин А.С. Математическое моделирование электромеханических систем. Аналитические методы: учебное пособие – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 204 с.
3. Кирьянов Д.В., Кирьянова Е.Н. Вычислительная физика – М.: Полибук Мультимедиа, 2006. – 352 с.
4. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 3. Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода: учебное пособие – Издание 2-е переработанное и дополненное. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 152 с.
5. Глазырин А. С. Динамическая идентификация параметров объектов управления электропривода на основе разностных схем // Электротехнические комплексы и системы управления. 2012. № 2 (26). С. 42–48.

Александр Савельевич Глазырин
Евгений Владимирович Боловин

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ВТОРОГО ПОРЯДКА АЛГЕБРАИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Учебно-методическое пособие к проведению лабораторной работы по курсу
«Моделирование в электроприводе»

Научный редактор

Компьютерная верстка

Е. В. Боловин

Подписано к печати ... Формат 60x84/16.

Бумага «Классика».

Печать RISO. Усл.печ.л. 11,57. Уч.-изд.л. 10,47.


Заказ . Тираж 300 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета
сертифицирована

NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO
9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.