

# Определение в Matlab параметров системы управления электроприводом постоянного тока методом статистических испытаний

А. Н. Горин, email: algorin.algoral@mail.ru

Н. Е. Ходырева, email: x.nat2021@mail.ru

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

***Аннотация.** Рассмотрено применение Matlab+Simulink для определения параметров системы подчиненного управления электроприводом постоянного тока. Модель динамики электропривода и системы управления реализована в Simulink. При каждой реализации модели со случайными параметрами управляющих устройств оценивается значение обобщенного показателя (функционала). На основе множества испытаний определяются параметры управляющих устройств, обеспечивающих минимум обобщенного показателя.*

***Ключевые слова:** Ключевые слова: электропривод постоянного тока, система управления, модель динамики, статистические испытания, Matlab+Simulink*

## Введение

Системы управления электроприводами постоянного тока строятся как системы подчиненного управления, при этом во внешнем контуре из-за особенностей объекта управления применяется пропорциональный регулятор скорости, т. е. в системе изначально предполагается наличие статической ошибки [1, 2]. Как правило, этапы расчета параметров управляющих устройств с использованием того или метода и анализ качества функционирования системы управления путем построения переходных процессов выполняются последовательно [1-3]. Достаточно высокий уровень развития современных программных средств для решения сложных вычислительных задач и моделирования, например Matlab+Simulink, позволяет объединить оба этапа [4].

## 1. Постановка задачи

В статье ставится задача разработки в Simulink динамической модели системы управления электроприводом постоянного тока и формирования в Matlab программы поиска параметров управляющих

устройств, минимизирующих обобщенный показатель качества функционирования системы.

## 2. Схема решения задачи

Обобщенная схема решения задачи представлена на рис. 1.

Модель динамики строится в Simulink, при этом параметры модели задаются не числовыми значениями, а именами.

Значения именованные параметры получают в программе Matlab. В этой же программе выполняется планирование экспериментов на модели (задание случайных значений параметров управляющих устройств), вычисление значения обобщенного показателя качества функционирования системы управления для каждой реализации модели и поиск параметров управляющих устройств, обеспечивающих минимальное значение обобщенного показателя.



Рис. 1. Общая схема решения задачи

## 3. Подход к построению динамической модели

При моделировании процессов в электроприводе постоянного тока с независимым возбуждением используем детализированную структурную схему объекта, в которой переменные состояния имеют физический смысл, т.е. являются сигналами в различных точках схемы [1].

Для рассматриваемого объекта детализированная структурная схема объекта без учета системы регулирования представлена на рис. 2.

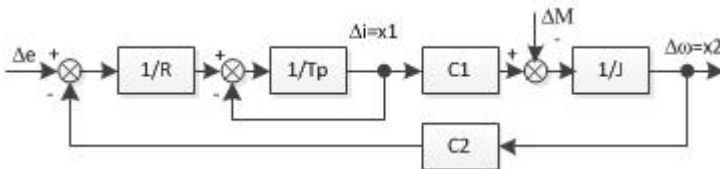


Рис. 2. Детализированная структурная схема электропривода постоянного тока

На рис. 2 приняты следующие обозначения:

$\Delta i = x_1$  – ток якорной цепи;

$\Delta\omega = x_2$  – скорость вращения двигателя;  
 $\Delta e$  – выходной сигнал регулятора тока (управляющее воздействие);  
 $\Delta M$  – изменение момента на валу двигателя (возмущающее воздействие);

$T = 0,05$  с – постоянная времени якорной цепи двигателя;

$R = 2,6$  Ом – активное сопротивление якорной цепи;

$C_1 = 2$  Н·м/А,  $C_2 = 2$  В·с/рад – конструктивные параметры двигателя;

$J = 0,115$  кг·м<sup>2</sup> – момент инерции двигателя совместно с моментом инерции исполнительного органа, приведенным к валу двигателя.

Числовые значения параметров объекта взяты из [1].

Из рис. 2 легко может быть получена математическая модель электропривода в следующем виде, где  $p$  – комплексная переменная:

$$\Delta i(p) = \frac{p}{RTp^2 + Rp + \frac{C_1 C_2}{J}} \Delta e(p),$$

$$\Delta \omega(p) = \frac{C_1 C_2}{J} \Delta i(p) - \frac{1}{Jp} \Delta M(p).$$

В промышленных электроприводах переменная состояния  $x_1$ , представляющая ток якорной цепи, и переменная  $x_2$ , представляющая скорость вращения двигателя, регулируются с помощью автоматических устройств.

Для уменьшения влияния изменений момента нагрузки на скорость вращения построим подчиненную систему управления, в которой внутренний контур представляет собой пропорционально-интегральный регулятор тока якорной цепи, внешний – пропорциональный регулятор скорости (рис. 3).

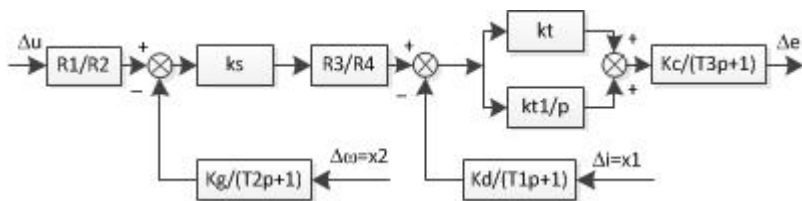


Рис. 3. Структурная схема системы регулирования скорости

На рис. 3 приняты следующие обозначения (обозначения после знака равенства использованы в программе):

$\Delta u$  – выходной сигнал регулятора положения;

$K_d=K_{dt}=1,5 \text{ В/А}$ ,  $K_g=K_{tg}=1 \text{ В}\cdot\text{с/рад}$ ,  $K_c=K_{tp}=26$  – коэффициенты передачи датчика тока (ДТ), тахогенератора (ТГ) и тиристорного преобразователя (ТП);

$R_1=R_2=R_3=R_4=10 \text{ кОм}$  – резисторы на входах регуляторов скорости и тока;

$T_1=T_{dt}=0,002 \text{ с}$ ,  $T_2=T_{tg}=0,01 \text{ с}$ ,  $T_3=T_{tp}=0,003 \text{ с}$  – постоянные времени, характеризующие инерционности ДТ, ТГ и ТП;

$k_s=k_{rs}$ ,  $k_t=k_{rt}$ ,  $k_{t1}=k_{rt1}$  – параметры управляющих устройств.

Модель динамики электропривода с системой управления, построенная в Simulink на основе рис. 3, представлена на рис. 4.

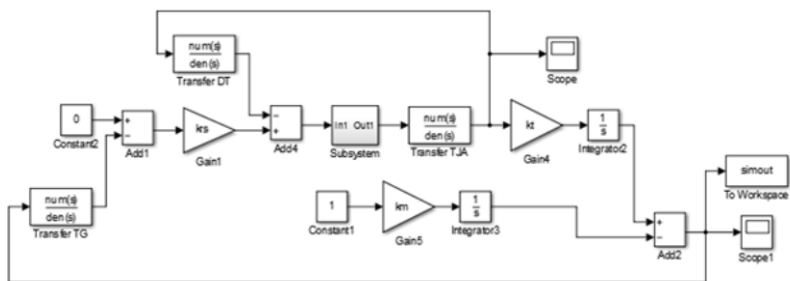


Рис. 4. Модель электропривода с системой управления

Модель регулятора тока и тиристорного преобразователя оформлена в виде подсистемы Subsystem и представлена на рис. 5.

Передача данных, характеризующих переходный процесс, в рабочее пространство MatLab обеспечивается включением в модель блока To Workspace из библиотеки Sinks.

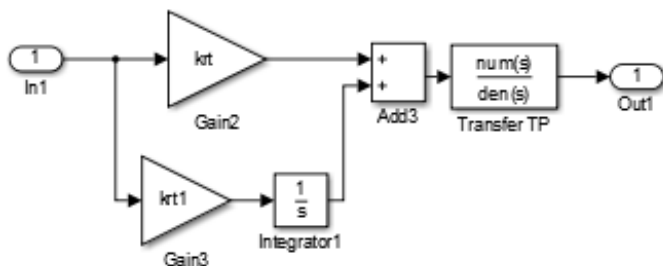


Рис. 5. Модель регулятора тока и тиристорного преобразователя

В рабочую область Workspace среды MatLab (в работе использована версия 15) передается массив временных отсчетов Time() и переходного процесса Data().

Программный код Matlab представлен в листинге 1. Открытие и запуск модели Simulink, вычисление и анализ обобщенного показателя качества функционирования системы управления выполняются в цикле.

В качестве обобщенного показателя качества использован интеграл от абсолютного отклонения скорости электропривода от установившегося значения. Вычисление интеграла выполняется методом трапеций.

Открытие модели Simulink выполняется оператором `open('electroprivod_control.mdl')`, а запуск модели на выполнение – оператором `sim('electroprivod_control.mdl')`.

Листинг 1

*Задание параметров модели динамики и статистические  
испытания модели*

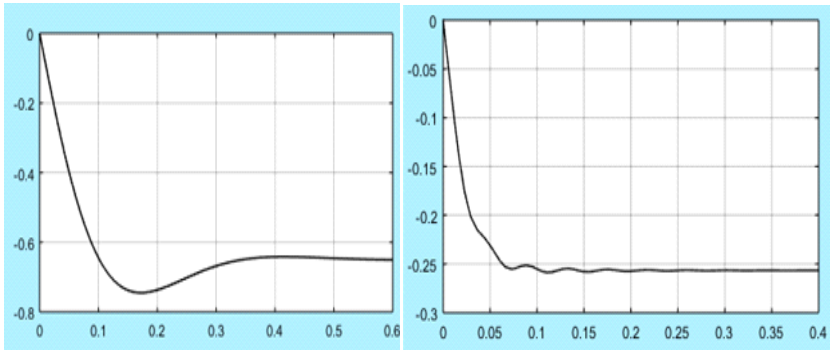
```
%Число испытаний модели системы управления
N=200;
%Параметры электропривода
T=0.05;R=2.6;k1=2;k2=2;J=0.115;
%Параметры модели электропривода
z2=T*R; z1=R; z0=k1*k2/J;
nmr=[1 0]; dnmr=[z2 z1 z0];
nmr1=[k2/J]; dnmr1=dnmr;
kt=k1/J; km=1/J;
nmr2=[-R*T/J -R/J];
dnmr2=dnmr;
%Параметры измерительно-исполнительной части
%системы управления
Kdt=1.5;Tdt=0.002;Ktp=26;Ttp=0.003;
Ktg=1;Ttg=0.01;
ndt=[Kdt];ddt=[Tdt 1];
ntp=[Ktp];dtp=[Ttp 1];
ntg=[Ktg];dtg=[Ttg 1];
%Граничные значения параметров регуляторов
krm=0.1; krb=0.5; Tim=0.01; Tib=0.1;
krsm=0.2; krsb=3;
intmin=1e8;
for i=1:1:N,
    krt=random('unif',krm,krb);
    krt1=1/random('unif',Tim,Tib);
    krs=random('unif',krsm,krsb);
    open('electroprivod_control.mdl');
    sim('electroprivod_control.mdl');
    d=size(tout); integral=0;
    for j=2:1:d(1),
        p1=abs(simout.Data(j))+
```

```

        abs(simout.Data(j-1));
        p2=simout.Time(j)-simout.Time(j-1);
        integral=integral+p1*p2;
    end;
    if (integral<intmin)
        intmin=integral; krz=krt;
        Tiz=1/krt1; krsz=krs;ii=i;
    end;
end;
krt=krz; krt1=1/Tiz; krs=krsz;
open('electroprivod_control.mdl.mdl');
sim('electroprivod_control.mdl.mdl');
intmin,krz,Tiz,krsz,ii

```

На рис. 6 приведены графики изменения скорости электропривода при единичном ступенчатом возмущении со стороны момента на валу электропривода при отсутствии и наличии системы управления.



*а - без системы управления б - с системой управления*

*Рис. 6. Графики переходных процессов при единичном изменении момента*

Из графиков, представленных на рис. 6, следует, что при возмущении по нагрузке и наличии системы регулирования скорости максимальное отклонение скорости от номинальной в 3 раза меньше, чем в нерегулируемом электроприводе, а установившееся отклонение меньше приблизительно в 2,5 раза

### **Заключение**

Разработанная модель регулируемого электропривода позволяет определить оптимальные значения параметров управляющих устройств и построить графики переходных процессов в системе. Анализ

переходных процессов приводит к необходимости ограничения коэффициента передачи регулятора скорости из-за наличия внутренней обратной связи в объекте управления. Увеличение коэффициента передачи позволяет уменьшить статическую ошибку, но процесс приобретает колебательный характер.

Модель может быть легко адаптирована для расчетов параметров управляющих устройств электроприводов с другими значениями конструктивных параметров.

### **Список литературы**

1. Башарин, А. В. Примеры расчета автоматизированного электропривода на ЭВМ: Учеб. пособие для вузов /А. В. Башарин, Ю. В. Постников. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 512 с.
2. Сабинин, Ю. А. Электромашинные устройства автоматики: Учебник для вузов / Ю. А. Сабинин. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 408 с.
3. Герман-Галкин, С. Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С. Г. Герман-Галкин. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
4. Определение параметров управляющих устройств в сложных системах управления с использованием компьютерного моделирования в среде Matlab+Simulink / А. М. Литвиненко [и др.] // Вестник Воронежского гос. техн. ун-та. – 2019. – Том 15. – № 3 – С. 16-23.