

Исследование влияния эксплуатационных параметров на динамические характеристики релейного электромагнитного рулевого привода

Н.С. Илюхина, А.А. Фролов

Аннотация

В данной работе представлено математическое описание, расчет и анализ динамических характеристик релейного электромагнитного привода. Рассмотрено влияние эксплуатационных параметров на динамику привода.

Ключевые слова

электромагнит втяжного типа; электромагнитный рулевой привод; вихревой ток; поле рассеяния

Введение

Электромагнитные рулевые приводы широко используются в системах автоматического управления летательными аппаратами вследствие высокого их быстродействия и надежности конструкций. В качестве исполнительных элементов при малых шарнирных нагрузках и низких начальных скоростях полета для управления аэродинамическими рулями применяются нейтральные электромагниты.

Электромагнитный рулевой привод (ЭМРП) представляет собой единую динамическую систему: усилитель мощности – электромагнит. Причем конструктивная реализация усилителя мощности и электромагнита определяется режимом работы системы управления в целом, требованиями к ее динамическим характеристикам и т.д.

Эффективное проектирование ЭМРП возможно на основе математического описания, отражающего основные явления, присущие релейным электромагнитам (вихревые токи, насыщение материала магнитопровода, соизмеримость величин потоков рассеяния с рабочими потоками, нелинейность характеристик электрических цепей и т.д.).

Принципиальные схемы магнитной и электрической цепей электромагнита поворотного типа с двумя обмотками приведены на рис. 1.

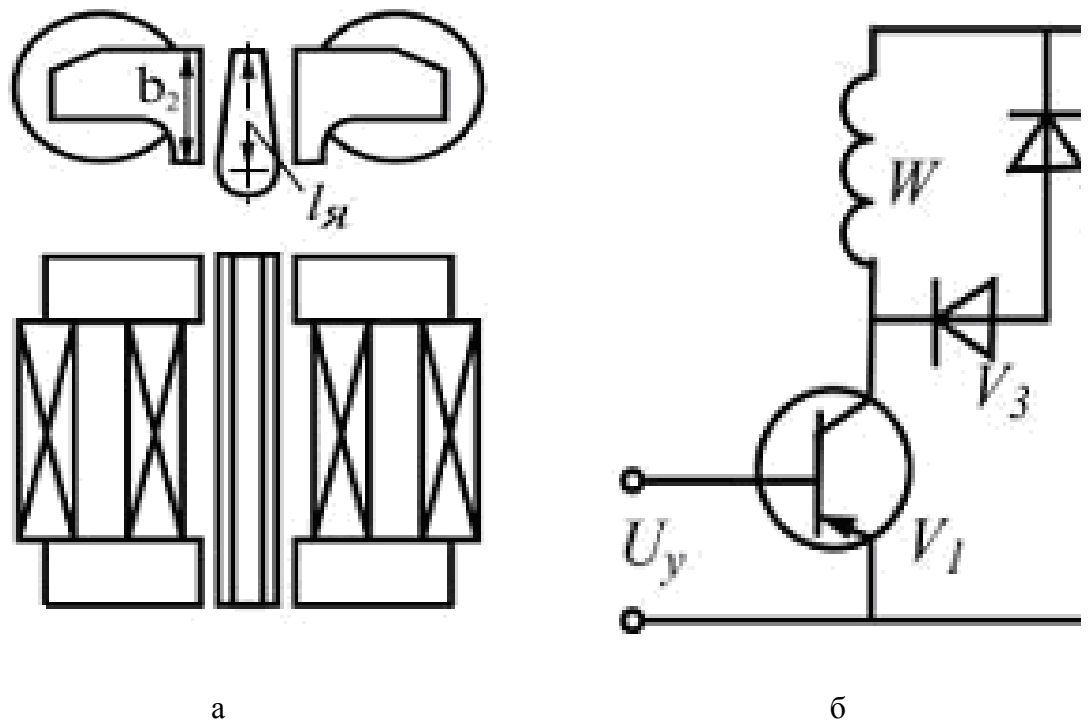


Рис.1 Принципиальные схемы магнитной (а) и электрической (б) цепей.

Построение математической модели проводилось согласно общепринятому подходу к описанию квазистатических, низкоскоростных систем [1].

Нелинейная математическая модель с учетом принятых допущений, полученная на основании интегральных принципов, будет иметь вид:

$$M_{\partial\delta} = \frac{\partial W'}{\partial \delta};$$

$$Y \frac{d^2\delta}{dt^2} + h \cdot \frac{d\delta}{dt} + c \cdot \delta = M_{\partial\delta} - M_H;$$

$$\frac{d\psi_1}{dt} + i_1 \cdot r_1 + U_{y1} = E_1;$$

$$\frac{d\psi_2}{dt} + i_2 \cdot r_2 + U_{y2} = E_2;$$

$$\frac{d\psi_{\epsilon 1}}{dt} + i_{\epsilon 1} \cdot r_{\epsilon 1} = 0;$$

$$\frac{d\psi_{\epsilon 2}}{dt} + i_{\epsilon 2} \cdot r_{\epsilon 2} = 0;$$

$$W' = \int_0^{i_1} \psi(i_1, 0, 0, 0, \delta) di_1 + \int_0^{i_{\epsilon 1}} \psi(i_1, i_{\epsilon 1}, 0, 0, \delta) di_{\epsilon} +$$

$$+ \int_0^{i_2} \psi(i_1, i_{\epsilon 1}, i_2, 0, \delta) di_2 + \int_0^{i_{\epsilon 2}} \psi(i_1, i_{\epsilon 1}, i_2, i_{\epsilon 2}, \delta) di_{\epsilon 2};$$

$$U_{y1,2} = \begin{cases} i_{1,2} \cdot r_m & r_m = r_{m0} \\ i_{1,2} \cdot r_m & \text{при } r_m = r_{m3} \wedge |i_{1,2} \cdot r_m - E_k| \leq U_c; \\ 0 & r_m = r_{m3} \wedge |i_{1,2} \cdot r_m - E_k| > U_c \end{cases}$$

$$E_{1,2} = \begin{cases} E_k & r_m = r_{m0} \vee r_m = r_{m3} \wedge |i_{1,2} \cdot r_m - E_k| \leq U_c \\ -U_c & \text{при } r_m = r_{m3} \wedge |i_{1,2} \cdot r_m - E_k| > U_c \end{cases}$$

Исследование динамических характеристик ЭМРП проводилось численно с использованием нелинейной модели, при изменении температуры окружающей среды в диапазоне $\pm 50^\circ\text{C}$ и напряжения источника питания в пределах установленных допусков ($E_k = 16 \pm 5 \text{ В}$).

На рис. 2 приведены переходные процессы привода по углу поворота якоря $\delta = f(t)$ и токам в обмотках $I_{1,2} = f(t)$ при нормальных условиях эксплуатации ($T=20^\circ\text{C}$).

На рис. 3 и 4 приведены динамические характеристики при $T=-50^\circ\text{C}$ и $T=50^\circ\text{C}$ соответственно.

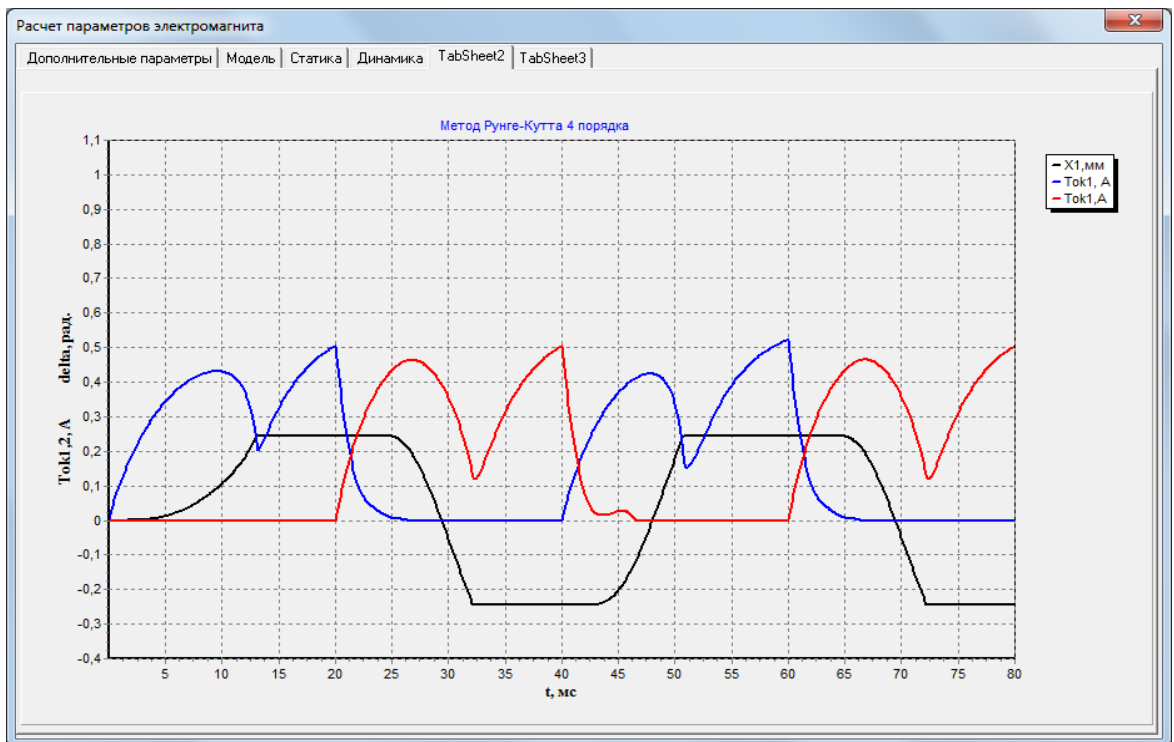


Рис.2 Динамические характеристики ЭМРП при T=20°C

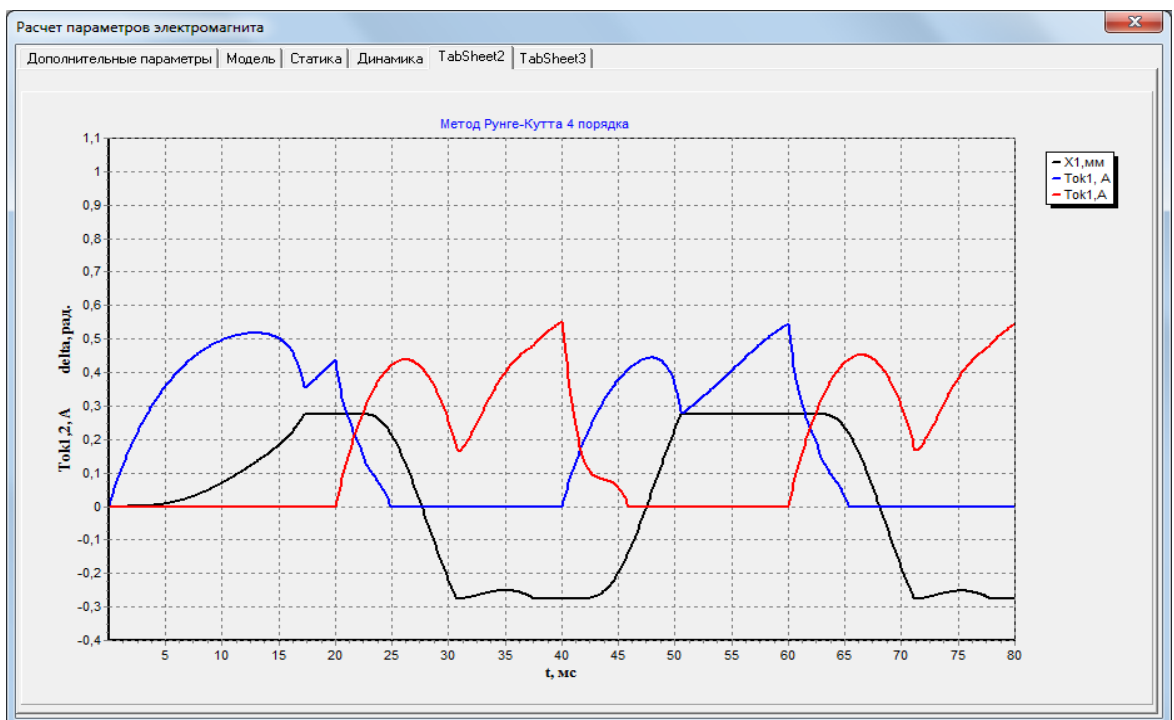


Рис.3 Динамические характеристики ЭМРП при T=-50°C

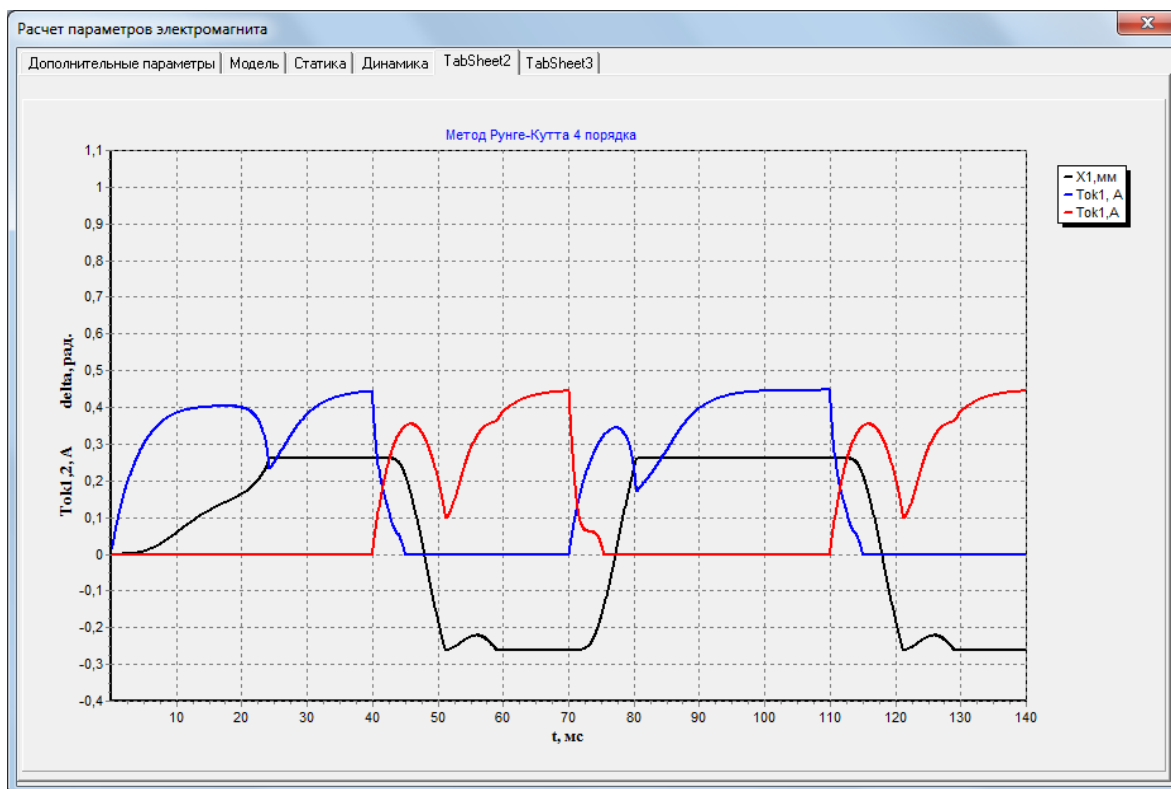


Рис.4 Динамические характеристики ЭМРП при $T=50^{\circ}\text{C}$

В таблице 1 приведены значения времени срабатывания и отпускания, а так же ЭДС источника питания при трех значениях температуры

Таблица 1.

1. $T=20^{\circ}\text{C}$ ($r_{обм} = 24\text{ Ом}$, $r_{выпр} = 0.0005\text{ Ом}$)		
$t_{ср}, \text{ мс}$	$t_{омн}, \text{ мс}$	$E, \text{ В}$
11	6.5	14
11.4	7.8	16
12.2	9.4	21
2. $T=-50^{\circ}\text{C}$ ($r_{обм} = 17.3\text{ Ом}$, $r_{выпр} = 0.000325\text{ Ом}$)		
$t_{ср}, \text{ мс}$	$t_{омн}, \text{ мс}$	$E, \text{ В}$
12	7.7	14
11.6	8.3	16
12.6	10.2	21
3. $T=50^{\circ}\text{C}$ ($r_{обм} = 26.9\text{ Ом}$, $r_{выпр} = 0.000575\text{ Ом}$)		
$t_{ср}, \text{ мс}$	$t_{омн}, \text{ мс}$	$E, \text{ В}$

11.1	7.3	14
11	7.7	16
12.1	8.3	21

На рис. 5 и 6 приведены графики зависимостей времени срабатывания и отпускания от ЭДС источника питания при трех значениях температуры.

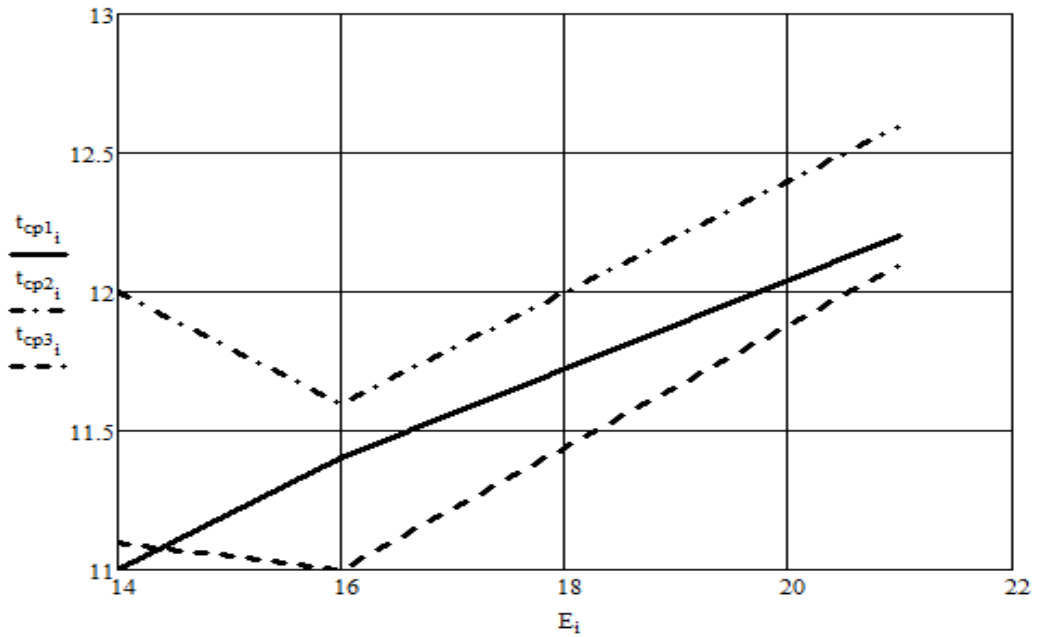


Рис. 5. Зависимость времени срабатывания от ЭДС источника питания при трех значениях температуры (t_{cp1} , при $T = 20^\circ C$, t_{cp2} , при $T = -50^\circ C$, t_{cp3} , при $T = 50^\circ C$).

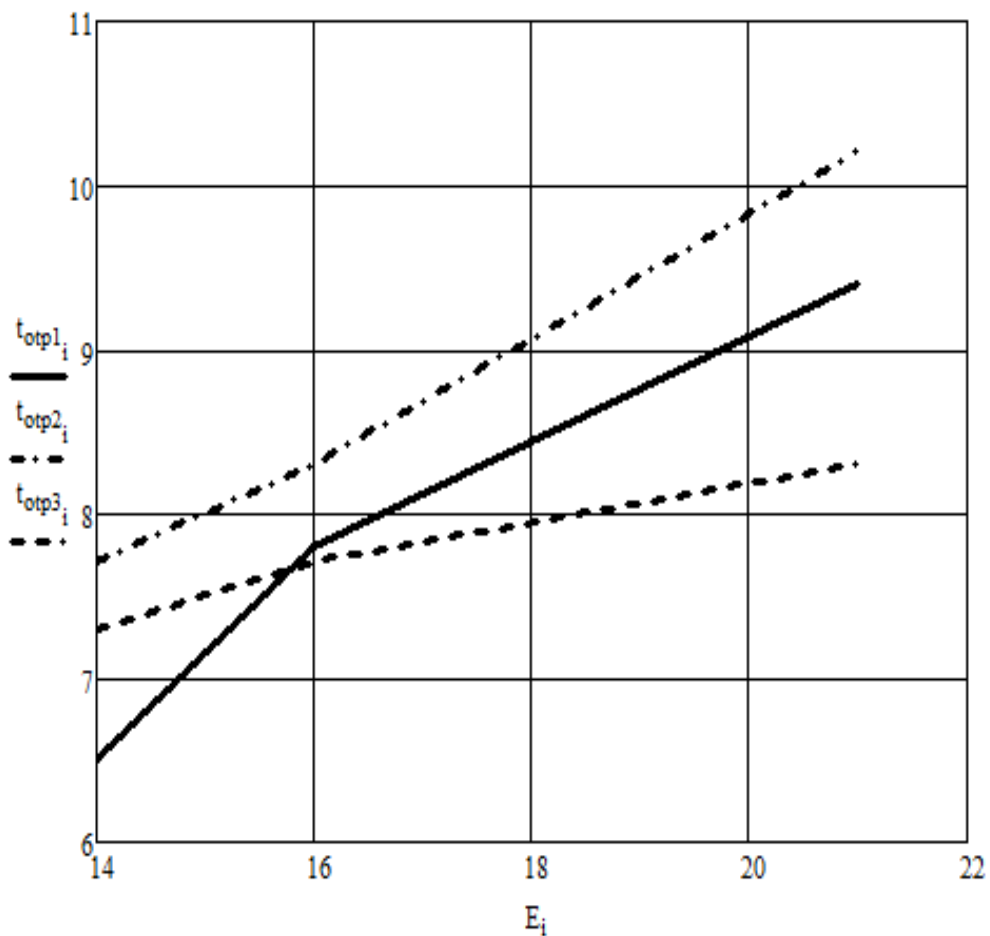


Рис. 6 Зависимость времени отпускания от ЭДС источника питания при трех значениях температуры (t_{omn1} , при $T = 20^\circ C$, t_{omn2} , при $T = -50^\circ C$, t_{omn3} , при $T = 50^\circ C$).

Выводы

Выполненные расчёты и анализ переходных процессов в релейных электромагнитных приводах показали, что на время срабатывания t_{mp} и время отпускания t_{omn} якоря электромагнита существенное влияние оказывают параметры как магнитной так и электрической частей системы. Изменение условий эксплуатации существенно влияет на динамику привода, особенно в момент первого, энергетически наиболее тяжелого, срабатывания из нейтрального положения на упор.

Библиографический список

1. Елецкая Г.П. Электромеханические системы / Елецкая Г.П., Илюхина Н.С., Панков А.П. -Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. – 214 с., ил.

Сведения об авторах

Илюхина Наталья Сергеевна, профессор Тульского государственного университета, к.т.н.
ТулГУ, пр. Ленина, 95,г. Тула, 300012;
тел.: 8-910-941-27-02; e-mail: nsi-il@yandex.ru

Фролов Александр Александрович, аспирант Тульского государственного университета.
ТулГУ, пр. Ленина, 95, г. Тула, 300012;
e-mail: neymles@rambler.ru