

УДК 687.05

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРИВОДА МЕХАНИЗМА НОЖА ПЕТЕЛЬНОГО ПОЛУАВТОМАТА

Сункуев Б.С., Бувевич Т.В. (ВГТУ)

В петельном полуавтомате с микропроцессорным управлением, разработанном на кафедре "Машины и аппараты легкой промышленности" Витебского государственного технологического университета, для механизма ножа предложен электромагнитный привод. В ходе лабораторных испытаний полуавтомата была зафиксирована нестабильная работа механизма. Для выявления и устранения причины нестабильности были проведены теоретические и экспериментальные исследования динамики электромагнитного привода механизма ножа.

Разработана математическая модель динамики электромагнитного привода механизма ножа, учитывающая изменение тока в обмотке электромагнита и силу сопротивления, возникающую при движении якоря.

Период срабатывания электромагнита состоит из двух этапов: этапа трогания и этапа движения. Рассмотрим этапы более подробно.

Этап трогания определяется временем $t_{\text{тр}}$ от момента подачи тока в цепь электромагнита до момента перехода якоря в состояние движения. В начальный момент времени воздушный зазор электромагнита максимальный. Якорь пока находится в покое, геометрия контура не изменяется и индуктивность остается постоянной: $L=L(x_0)=\text{const}$. Ток в обмотке электромагнита нарастает до величины $i_{\text{тр}}$, обеспечивающей равенство электромагнитной силы силам, противодействующим движению. Уравнение, описывающее изменение тока в обмотке электромагнита до момента трогания, имеет вид [1, 2]:

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

где R - активное сопротивление катушки, U - напряжение.

При начальном условии $i(t=0)=0$ уравнение (1) имеет решение вида:

$$i = I_y \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T_1}}), \quad (2)$$

где I_y - установившийся ток электромагнита, T_1 - электромагнитная постоянная времени при включении электромагнита.

$$I_y = \frac{U}{R}, \quad (U=\text{const}) \quad (3)$$

$$T_1 = \frac{L(x_0)}{R}. \quad (4)$$

Условием трогания якоря электромагнита является равенство силы электромагнитного притяжения $F_{\text{эм}}(x)$ силе первоначального сопротивления $F_c(x_0)$:

$$F_{\text{эм}}(x) = F_c(x_0) \quad (5)$$

Сила электромагнитного взаимодействия якоря и сердечника электромагнита (электродвижущая сила) определяется по формуле:

$$F_{\text{эм}}(x) = \frac{i^2}{2} \cdot \frac{dL(x)}{dx} \quad (6)$$

После определения для условия (5) из уравнения (6) тока трогания $i_{тр}$, и подстановки этого значения в левую часть (2) находится время трогания:

$$i_{mp} = T_i * \ln \frac{I_y}{I_y - I_{mp}} \quad (7)$$

Этап движения определяется временем движения $t_{дв}$ от момента трогания якоря до конца его хода. При движении якоря геометрия контура изменяется и $L=L[x(t)]$. Изменение тока в обмотке электромагнита для этапа движения описывается следующим уравнением [1, 2]:

$$U = iR + L(x) * \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt} \quad (8)$$

Уравнение движения якоря имеет вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_{зм}(x) - F_c(x), \quad (9)$$

где m - приведенная масса движущихся звеньев.

Характер движения штока электромагнита зависит от соотношения электродвижущей силы, силы сопротивления и массы движущихся звеньев. Изменение тока в обмотке электромагнита связано с процессом его установления в обмотке при неподвижном якоре и при возникновении противоЭДС, возникающей во время движения якоря.

Полная электромеханическая картина процесса движения электромагнита получается совместным решением уравнений (8) и (9) с начальными условиями $i(t=0)=i_{тр}$, $x(t=0)=0$.

Для решения системы уравнений (8) и (9) была составлена программа на языке TurboPascal [4]. Исходные данные для расчета динамики электромагнитного привода механизма ножа петельного полуавтомата:

Напряжение питания электромагнита $u=24$ В.

Активное сопротивление обмотки электромагнита $R=9$ Ом.

Механическая характеристика рычажной цепи механизма ножа (определена экспериментально): $F_c(x)=z*(x-x_n)$, где $z=110000$ Н/м- жесткость рычажной цепи механизма ножа, $x_n=0.0105$ м- положение штока, с которого начинает действовать сила сопротивления.

Приведенная масса движущихся звеньев $m=0.98$ кг.

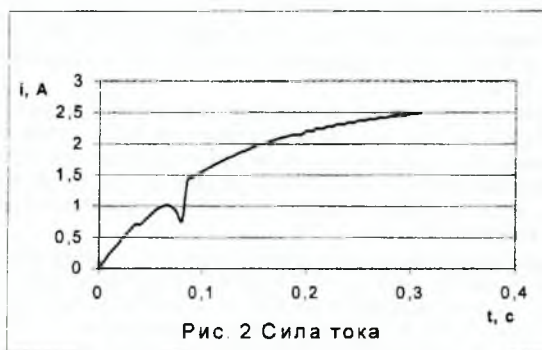
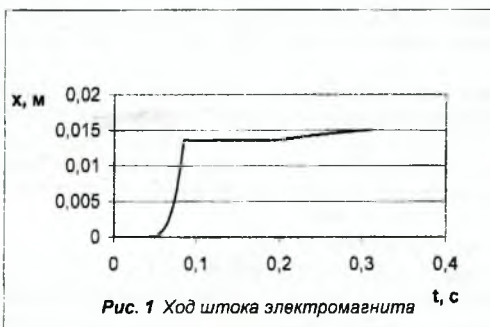
Зависимость индуктивности обмотки от положения штока для электромагнита привода ножа определена экспериментально [3] и описывается функцией: $L(x)=10000x^3+4208x^2+29x+1.03$.

В результате численного решения математической модели методом Эйлера были получены зависимости $x=x(t)$, $i=i(t)$, представленные в виде графиков на рис. 1-2, определены величины $t_{тр}$, $t_{дв}$ и $t_{ср}=t_{тр}+t_{дв}$, характеризующие динамику работы электромагнитного привода механизма ножа. Для исследуемого механизма ножа время трогания составило $t_{тр}=0.04$ с. Время движения $t_{дв}=0.27$ с. Соответственно время срабатывания электромагнита $t_{ср}=0.31$ с.

После окончания перемещения якоря следует период включенного состояния, в течение которого система находится в покое, а обмотка остается во включенном состоянии. В начальной стадии этого периода ток в обмотке электромагнита нарастает до установившегося значения, после чего при постоянных напряжении питания сети и сопротивлении обмотки, ток остается неизменным. Ток исследуемого электромагнита достигает установившегося значения при $t_{уст}=0.5$ с. К этому времени электродвижущая сила электромагнита достигает максимального значения (рис. 3). Таким образом, мож-

но регулировать величину электродвижущей силы, изменяя соответственно время нахождения электромагнита ножа во включенном состоянии. Теоретический расчет показал, что при паспортной регулировке механизма ножа времени включения электромагнита, недостаточно для достижения равенства электродвижущей силы величине прорубания материала.

Для исследования динамики электромагнитного привода механизма ножа был проведен эксперимент. В соответствии с теоретическим расчетом был изменен фазовый угол момента включения электромагнита ножа, обеспечивающий увеличение периода нахождения электромагнита во включенном состоянии, что оказалось достаточным для стабилизации операции прорубания петель. Экспериментально были зафиксированы моменты включения и отключения электромагнита, момент прорубания материала. Расхождение теоретических и экспериментальных результатов составило 8-15%. Таким образом, результаты эксперимента подтвердили правильность математической модели динамики электромагнитного привода механизма ножа.



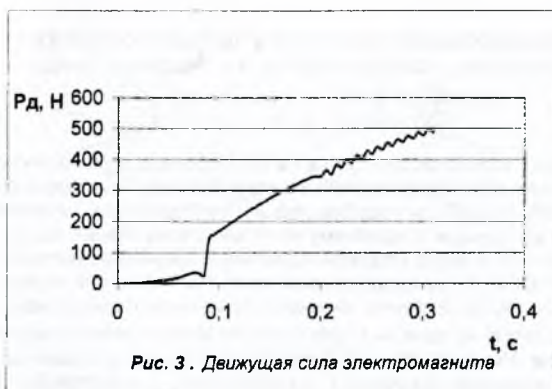


Рис. 3. Движущая сила электромагнита

Литература:

1. Любчик. М.А. Оптимальное проектирование силовых электромагнитных механизмов. М.: Энергия, 1974.
2. Сливинская А.Г. Электромагниты и постоянные магниты. Учебное пособие для студентов вузов. М.: Энергия, 1972.- 248 с.: ил.
3. Электрические измерения: Учебник для вузов/ Байда Л.И., Добротворский Н.С., Душин Е.М. и др.; Под ред. А.В. Фремке и Е.М. Душина. - 5-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергия. Ленингр. Отд-ние, 1980.- 392 с., ил.
4. Мудров А.Е. Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран, Паскаль.- Томск: МП "РАСКО", 1991.- 272 с.