

ЭЛЕКТРОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

С. Н. Кожевников, В. М. Лобода, Л. П. Фабрика

К и е в

Широкое распространение в системах автоматического управления и регулирования получили электромагниты постоянного тока (реле, контакторы, муфты, тормозные и тяговые электромагниты). Расчет статических характеристик этих устройств довольно подробно освещен в литературе [1, 2, 3]. Имеются некоторые сведения по исследованию динамических режимов [3, 4]. Определялось время срабатывания электромагнита с учетом [5] или без учета [6] насыщения магнитной цепи.

В большинстве случаев расчетная схема представляется одностепенной механической системой, на которую действует результирующий момент [для поворотных электромагнитов]

$$\theta \frac{d^2\varphi}{dt^2} = 5,1 i^2 W^2 \frac{dG}{d\varphi} - r \frac{d\varphi}{dt} - k\varphi - M_0 + M_\tau \operatorname{sign} \frac{d\varphi}{dt}. \quad (1)$$

Здесь θ — приведенный к валу якоря электромагнита момент инерции подвижных масс;

φ — угол поворота якоря;

i — ток в обмотках электромагнита;

ω — число витков обмоток электромагнита;

G — проводимость магнитной цепи;

r — сопротивление трения;

k — жесткость пружины;

M_0 — момент сил технологического сопротивления;

M_τ — момент сил трения.

Изменение тока i в обмотках электромагнита при включении его а постоянное напряжение U описывается известным [6] уравнением

$$U = iR + \omega^2 \left(\frac{di}{d\varphi} G + \frac{dG}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} i \right), \quad (2)$$

де R — омическое сопротивление обмоток.

Связь между током и магнитным потоком выражается равенством

$$\Phi = i\omega G. \quad (3)$$

В общем случае проводимость G магнитной цепи определяется соотношением

$$G = \frac{1}{R_b + R_c}, \quad (4)$$

R_b — магнитное сопротивление воздушного зазора;

R_c — магнитное сопротивление железа магнитопроводов.

Уравнения (1), (2) с учетом соотношений (3) и (4) легко преобразуются к виду

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{U}{\omega} - \frac{R}{\omega^2} \Phi (R_B + R_C) \quad (5)$$

Диод D ограничивает влияние пассивных сил статического сопротивления при трогании. Якорь электромагнита начнет перемещаться, когда электромагнитный момент $M_s = [\Phi(R_b + R_c)]^2$ станет больше момента статического сопротивления $M_c = M_0 + M_r$. В дальнейшем диод шунтируется контактами (P реле, срабатывающее в начале перемещения якоря).

Учет насыщения магнитной цепи на электронной модели позволил осуществить в широком диапазоне изменение параметров электромагнита и оценить их влияние на быстрдействие электромагнита.

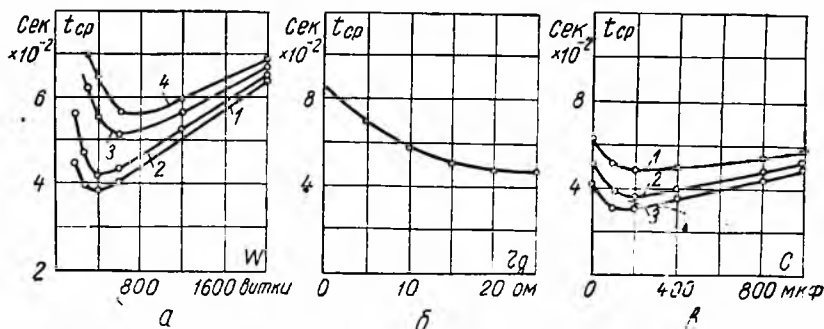


Рис. 2. Зависимость времени срабатывания электромагнита: а — от числа витков обмоток; б — от величины дополнительного сопротивления; в — от шунтирующей емкости.

На рис. 2 представлены зависимости времени срабатывания электромагнита t_{cp} от числа витков обмоток w (рис. 2, а) от величины дополнительного сопротивления r_d (рис. 2, б) и шунтирующей емкости c (рис. 2, в).

Как видно из приведенных графиков, зависимость $t_{cp} = f(w)$ имеет минимум; при этом, с увеличением активного сопротивления обмоток положение минимума смещается в сторону большого числа витков.

При исследовании также установлено, что переходный процесс срабатывания электромагнита определяется соотношением параметров электромагнита G и R и параметров форсирующей цепи r_d и c . При заданных значениях G , R и r_d существует такое значение c , при котором время срабатывания будет наименьшим (рис. 2, в).

Типичная осциллограмма переходного процесса показана на рис. 3. Из рисунка видно, что в момент включения наблюдается резкий бросок тока. Дополнительное сопротивление оказывается шунтированным емкостью, ток в цепи определяется значением активного сопротивления обмотки R и величиной приложенного напряжения U . По мере нарастания тока конденсатор заряжается. Максимальное значение тока соответствует моменту трогания якоря.

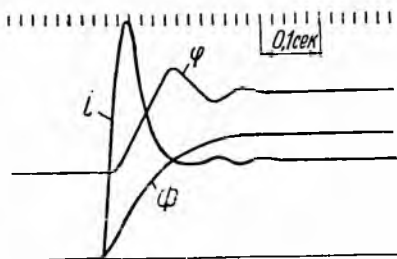


Рис. 3. Типичная осциллограмма процесса срабатывания электромагнита с форсировкой:

i — ток, Φ — магнитный поток, φ — перемещение якоря.

По мере поворота якоря конденсатор разряжается, несколько компенсируя уменьшение тока, вызываемое наведением противо-э. д. с. К мо-

менту перехода якоря через нейтраль значение тока близко к установившемуся, определяемому суммарным активным сопротивлением цепи

$$i = \frac{U}{R + r_a}.$$

На рис. 4 приведена номограмма для выбора оптимального значения емкости в зависимости от активного сопротивления R и индуктивности обмотки L , определяемой по начальному значению проводимости G_0 воздушных зазоров при выведенном якоре $L = G_0 \omega^2$. Номограмма построена по результатам обработки осциллограмм, полученных на электронной модели при отношении

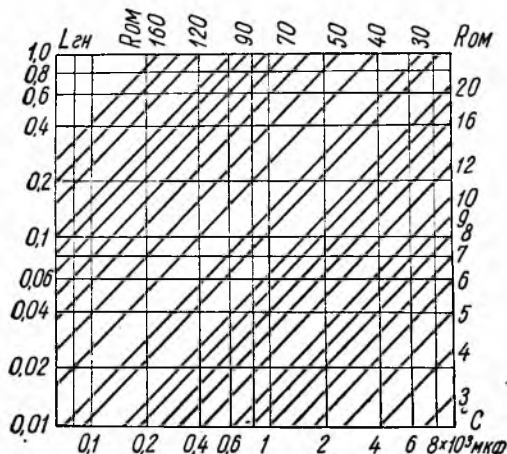


Рис. 4. Номограмма для выбора оптимальных параметров форсирующей цепи.



Рис. 5. Зависимость коэффициента k от отношения $\frac{r_d}{R}$.

$\frac{r_d}{R} = 1$. При других отношениях $\frac{r_d}{R}$, найденное по номограмме, оптимальное значение емкости умножается на коэффициент k , определяемый по графику рис. 5.

Вариации параметров брались в диапазонах: $L = 0,01 \div 1$ гн; $R = 3 \div 160$ ом; $\frac{r_d}{R} = 1 \div 6$. При этом наивыгоднейшее значение емкости лежит в пределах $C_{\text{опт}} = 70 \div 10^4$ мф. Завышенное против оптимального значение емкости ведет к затягиванию процесса спада тока, а заниженное — делает процесс колебательным.

Проведенные на физической модели эксперименты в основном подтвердили результаты электронного моделирования. Отклонение по времени срабатывания электронной модели не превышает 8—10%. Это расхождение, по-видимому, объясняется пренебрежением вихревыми токами и гистерезисом, а также погрешностями определения функций G и $\frac{dG}{d\varphi}$.

ВЫВОДЫ

1. Построенная электронная модель поворотного электромагнита с достаточной для практических расчетов точностью позволяет определить динамические характеристики электромагнита при включении его на постоянное напряжение.

2. Время срабатывания электромагнита существенно зависит от числа витков обмотки, причем эта зависимость имеет явно выраженный минимум.

3. Характер переходного процесса срабатывания электромагнита определяется соотношением параметров электромагнита и форсирующей цепи. Полученные графические зависимости позволяют выбрать наилучшее значение форсирующей емкости, при котором быстродействие электромагнита является наиболее высоким.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. С. Сотсков. Элементы автоматической и телемеханической аппаратуры. Госэнергоиздат, 1950.
 2. М. И. Витеберг. Расчет электромагнитных реле для аппаратуры автоматики и связи. Госэнергоиздат, 1965.
 3. А. В. Гордон, А. Г. Сливинская. Электромагниты постоянного тока. Госэнергоиздат, 1960.
 4. Н. Е. Лысов. Расчет электромагнитных механизмов. Оборониздат, 1946.
 5. Баумгартен. Определение времени срабатывания механизма с соленоидным приводом. «Конструирование и технология машиностроения». Тр. американского общества инженеров-механиков. Русский перевод, серия В., 1962, № 4.
 6. В. Б. Гоголевский. Сб. «Автоматическое управление». К вопросу распада динамики электромагнитных механизмов. Изд-во АН СССР, 1960.
-