

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СО ВСТРОЕННЫМ ТОРМОЗНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В. С. ГРИНБЕРГ, Э. М. ГУСЕЛЬНИКОВ, Е. В. КОНОНЕНКО

(Представлена научным семинаром кафедр электрических
машин и общей электротехники)

Повышение производительности труда требует сокращения непроизводительного рабочего времени, объем которого в значительной степени определяется временем пуска и останова механизмов. В аварийных ситуациях, возникающих в результате внезапного перерыва в снабжении электроэнергией или по другим причинам, время останова механизмов имеет большое значение и с точки зрения техники безопасности. Поэтому для нормальной эксплуатации многие типы электроприводов необходимо снабжать электродвигателями с надежно действующими механическими пружинными тормозами, обеспечивающими в нужный момент быстрый останов машины или механизма. Механический способ торможения по сравнению с электрическим позволяет резко увеличить число циклов работы электродвигателя в час, улучшить его тепловой режим, значительно сократить количество пусковой аппаратуры и упростить схему управления двигателем [1].

Компактным и удобным приводом такого типа являются электродвигатели со встроенным тормозным электромагнитом постоянного тока. Эти электродвигатели конструктивно просты и технологичны по сравнению с другими типами тормозных электродвигателей [2].

Однако недостатком этих электродвигателей является значительное время трогания тормозного электромагнита при включении, обусловленное, в частности, тем, что магнитопровод электромагнита не шихтуется по технологическим соображениям (обмотка электромагнита 1 (рис. 1) располагается в специальном подшипниковом щите 2 электродвигателя).

Значительное время трогания тормозного электромагнита приводит к разгону электродвигателя при неразомкнутых фрикционных накладках 3 (рис. 1) тормозного устройства, замедлению пуска электродвигателя, ухудшению теплового режима (особенно при большой частоте включений), увеличенному износу фрикционных накладок. Поэтому время трогания встроенного электромагнита является одним из основных параметров тормозного электродвигателя, от которого также зависят долговечность тормозного электродвигателя, вес меди обмотки электромагнита и потребляемая им мощность.

При выборе допустимого значения времени трогания тормозного электромагнита необходимо увязывать его с временем пуска электродвигателя. Процесс пуска тормозного электродвигателя можно разбить во времени на три этапа. Первый этап характеризуется тем, что вал элек-

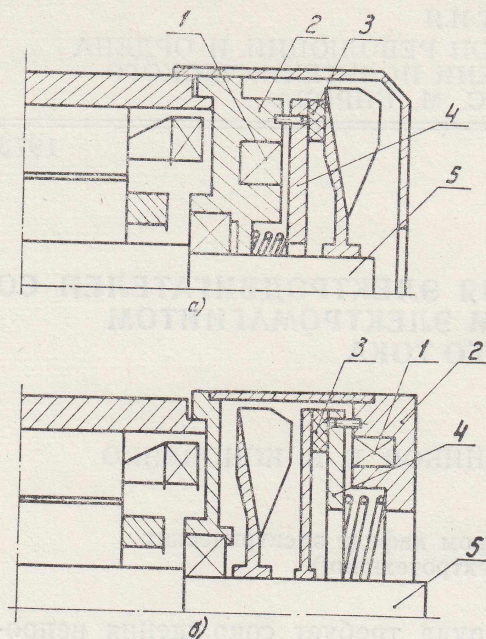


Рис. 1. Схематическое изображение конструкций электродвигателей со встроенным тормозным электромагнитом постоянного тока: а) со встроенным в подшипниковый щит электромагнитом; б) с пристроенным к подшипниковому щиту электромагнитом

тродвигателя заторможен. При этом соотношение между моментами, приложенными к валу, следующее:

$$M \leq M_c + M_T, \quad (1)$$

где

M — переходный электромагнитный момент электродвигателя;
 M_T — тормозной момент;
 M_c — момент сопротивления.

По мере нарастания магнитного потока тяговое усилие электромагнита постоянного тока увеличивается, а тормозной момент M_T уменьшается. В момент времени, когда величина переходного электромагнитного момента электродвигателя превысит величину суммы момента сопротивления M_c и тормозного момента M_T , наступает второй этап пуска, при котором электродвигатель начинает вращаться при неразомкнутых фрикционных накладках. Уравнение второго этапа пуска

$$M - M_c - M_T = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (2)$$

где $J \frac{d\omega}{dt}$ — динамический момент.

В течение этого этапа тормозной момент M_T продолжает уменьшаться, и в момент трогания ($t=t_{тр}$) якоря 4 электромагнита вал электродвигателя 5 (рис. 1) полностью растормаживается. Уравнение третьего этапа ($t \geq t_{тр}$) не отличается от уравнения пуска обычного электродвигателя

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (3)$$

Из приведенного выше следует, что время трогания тормозного электромагнита оказывает влияние на переходные электромеханические процессы электродвигателя в начале пуска (первый и второй этапы). При этом превышение величины времени трогания $t_{тр}$ некоторого допустимого значения $t_{тр_{доп}}$ приводит к быстрому износу фрикционных накладок.

Анализ каталожных данных и экспериментальные исследования, проведенные в СКБЭМ г. Томска на опытных образцах тормозных электродвигателей серии 4А с высотами осей вращения от 56 до 132 мм, показали, что для достижения требуемого срока службы фрикционных накладок асинхронных тормозных электродвигателей (1—2 миллиона срабатываний) допустимые значения времени трогания $t_{тр доп}$ не должны превышать 0,05—0,12 сек (рис. 2). Здесь большие значения допустимо-

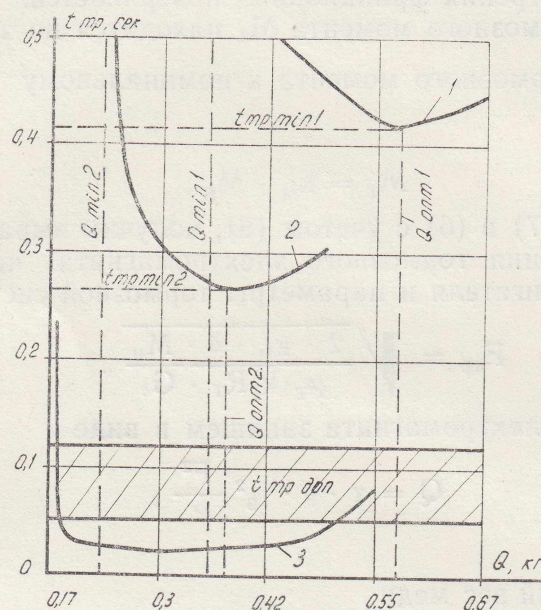


Рис. 2. Зависимости времени трогания встроенных тормозных электромагнитов от веса меди их обмоток

го времени трогания относятся к электродвигателям с большими высотами осей вращения (рис. 3).

Время трогания $t_{тр}$ при включении тормозного электромагнита постоянного тока при общепринятых допущениях записывается в виде [3]

$$t_{тр} = T \ln \frac{F}{F - F_{ср}}, \quad (4)$$

где

T — постоянная времени электромагнита при начальном воздушном зазоре δ ;

F — ампервитки электромагнита;

$F_{ср}$ — ампервитки срабатывания.

При этом постоянную времени электромагнита T можно представить так:

$$T = \frac{G_{\delta} \cdot F^2}{P}, \quad (5)$$

где

G_{δ} — проводимость при начальном воздушном зазоре,

P — мощность, потребляемая электромагнитом.

Ампервитки срабатывания $F_{ср}$ запишем в виде [4]

$$F_{ср} = \sqrt{\frac{2 P_{пр} \cdot \delta}{G_{\delta}}}, \quad (6)$$

где $P_{\text{пр}}$ — противодействующее усилие, которое определяется тормозным моментом M_T и параметрами тормозной системы

$$P_{\text{пр}} = \frac{M_T}{\mu_T k_i R_T}, \quad (7)$$

где

μ_T — коэффициент трения материала фрикционных поверхностей;

k_i — число пар фрикционных поверхностей;

R_T — радиус трения фрикционных поверхностей.

Величина тормозного момента M_T находится по заданному отношению $k_M = \frac{M_T}{M_H}$ тормозного момента к номинальному моменту электродвигателя

$$M_T = k_M \cdot M_H. \quad (8)$$

Подставляя (7) в (6) с учетом (8), получим выражение для ампервитков срабатывания тормозного электромагнита через номинальный момент электродвигателя и параметры тормозной системы:

$$F_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{2 \cdot k_M \cdot \delta \cdot M_H}{\mu_T \cdot k_i \cdot R_T \cdot G_\delta}}. \quad (9)$$

Вес меди Q электромагнита запишем в виде

$$Q = \gamma \cdot \rho \cdot l_B^2 \frac{F^2}{P}, \quad (10)$$

где

γ — удельный вес меди;

ρ — удельное сопротивление меди;

l_B — длина среднего витка катушки.

Отсюда ампервитки электромагнита

$$F = \frac{1}{l_B} \cdot \sqrt{\frac{P \cdot Q}{\gamma \cdot \rho}}. \quad (11)$$

Подставляя (5) и (9) в (4) с учетом (11), после несложных преобразований получаем

$$t_{\text{тр}} = \frac{G_\delta \cdot Q}{\gamma \cdot \rho \cdot l_B^2} \cdot \ln \frac{1}{1 - l_B \sqrt{\frac{2\gamma \cdot \rho \cdot k_M \cdot \delta M_H}{\mu_T k_i R_T G_\delta \cdot P \cdot Q}}}. \quad (12)$$

Как видно из (12), время трогания зависит от геометрических размеров (δ , l_B , R_T , G_δ) и параметров тормозного устройства (μ_T , k_i , k_M), от веса меди (Q) электромагнита и потребляемой им мощности (P), а также от номинального момента (M_H) электродвигателя.

Для конкретного габарита (оси вращения) электродвигателя и выбранной конструктивной схемы (рис. 1) геометрические размеры электромагнита на поверхности воздушного зазора изменяются в небольших пределах (l_B , $G_\delta \approx \text{const}$), а величины δ , R_T , μ_T , k_i , k_M , M_H в целях унификации тормозной системы принимаются при проектировании постоянными. Поэтому время трогания определяется главным образом расходом меди Q и потребляемой электромагнитом мощностью P .

Тормозные электродвигатели могут быть выполнены по двум основным конструктивным схемам [5]: со встроенным в подшипниковый щит (рис. 1, а) или с пристроенным к нему (рис. 1, б) электромагнитом.

По первой конструктивной схеме можно создать простую, технологичную конструкцию тормозного электродвигателя, но условия охлаждения электромагнита при этом существенно ограничивают потребляе-

мую им мощность P . По второй схеме конструкция тормозного электродвигателя усложняется, но допустимая из условий нагрева мощность P может быть увеличена вследствие лучшего охлаждения.

Из (12) минимальный вес меди, необходимый для срабатывания электромагнита, равен

$$Q_{\min} = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \rho \cdot l_B^2 \delta \cdot k_M \cdot M_H}{P \cdot \mu_T \cdot k_i R_T \cdot G_0} \quad (13)$$

С учетом изложенного, задаваясь значениями веса меди $Q > Q_{\min}$, можно найти для конкретного габарита электродвигателей зависимость $t_{\text{тр}} = f(Q)$ при максимально допустимых величинах мощности электромагнита $P_{\text{доп}}$, которые определяются принятой конструктивной схемой тормозного устройства.

На рис. 2 представлены расчетные зависимости времени трогания в функции веса меди электромагнита для асинхронных тормозных электродвигателей серии 4А с высотой от вращения 132 мм для двух конструктивных исполнений тормозного устройства: кривая 1 соответствует конструктивной схеме рис. 1, а и допустимой из условий нагрева мощности $P_{\text{доп}1} = 55$ вт, кривая 2 — конструктивной схеме рис. 1, б и допустимой мощности $P_{\text{доп}2} = 85$ вт. Здесь же приведена аналогичная зависимость (кривая 3) для тормозного электродвигателя с высотой от вращения 56 мм, выполненного по схеме рис. 1, а ($P_{\text{доп}3} = 20$ вт).

Зависимости, приведенные на рис. 2, показывают, что увеличение веса меди более значения $G_{\text{опт}}$ не приводит к дальнейшему уменьшению времени трогания. Из сравнения кривых 1 и 2 видно, что увеличение допустимой мощности электромагнита $P_{\text{доп}}$ позволяет уменьшить не только время трогания, но и расход меди электромагнита. Тем не менее для электродвигателей с высотой оси вращения 132 мм допустимое время трогания $t_{\text{тр доп}}$ недостижимо при обоих конструктивных исполнениях тормозного устройства и указанных величинах допустимой мощности электромагнита. В таких случаях уменьшение времени трогания может быть достигнуто за счет подведения большей мощности к электромагниту только на время срабатывания, т. е. за счет форсировки срабатывания электромагнита.

На рис. 3 приведены усредненные зависимости расчетных значений минимального времени трогания в функции высоты h оси вращения электродвигателей серии 4А, кривая 1 на этом рисунке соответствует конструктивной схеме рис. 1, а, кривая 2 — конструктивной схеме

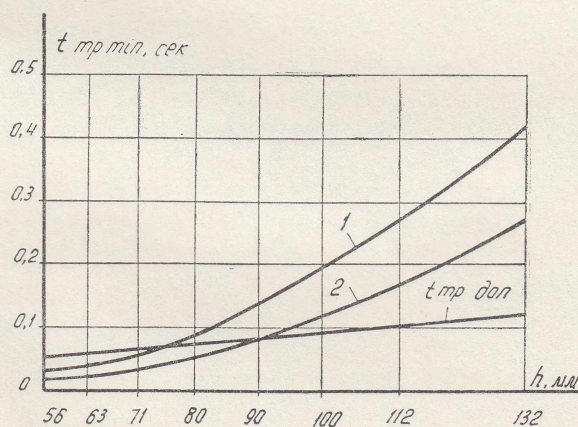


Рис. 3. Зависимости минимального времени трогания встроенных тормозных электромагнитов от высоты осей вращения электродвигателей

рис. 1, б. Из рис. 3 видно, что для электродвигателей серии 4А с высотами осей вращения 56—63 мм требуемое значение времени трогания $t_{тр доп}$ может быть получено по упрощенной конструктивной схеме рис. 1, а, для электродвигателей с высотами осей вращения 71—90 мм — по усложненной конструктивной схеме рис. 1, б, а для двигателей с высотами осей вращения более 90 мм требуемое время трогания $t_{тр доп}$ не может быть достигнуто без форсировки срабатывания электромагнита. Поэтому тормозные электродвигатели с высотами осей вращения более 90 мм целесообразно проектировать по конструктивным исполнениям рис. 1, а со схемой управления, предусматривающей форсировку электромагнита. Рациональное же конструктивное исполнение тормозных электродвигателей с высотами осей ниже 100 мм должно быть выбрано на основании технико-экономического сравнения конструкций тормозных электродвигателей с учетом себестоимости их изготовления, срока службы, а также надежности тормозного устройства и схемы управления электромагнитом.

Таким образом, при проектировании электродвигателей со встроенными тормозными электромагнитами постоянного тока необходимо учитывать ряд факторов, которые не имеют место при независимом проектировании обычных электродвигателей и тормозных электромагнитов постоянного тока, в частности, влияние переходных процессов в электромагните на переходные процессы в электродвигателе и влияние конструктивной схемы тормозного электродвигателя на максимальное быстроедействие, а также весовые показатели, встроенного электромагнита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Н. Молчанов. Электродвигатели со встроенным электромагнитным тормозом. Электрические машины переменного тока. М., Информэлектро, 1969.
2. Э. М. Гусельников, Б. С. Цукерман. Самотормозящиеся электродвигатели. «Энергия», 1971.
3. Б. К. Буль, Г. В. Буткевич и др. Основы теории электрических аппаратов. «Высшая школа», 1970.
4. А. К. Тер-Акопов. Динамика быстродействующих электромагнитов. «Энергия», 1965.
5. W. Baumann. Bauarten und Eigenschaften elektromagnetisch gelufteter Bremsen an Stoppmotoren, Konstruktion, 21 (1969), Heft 4, S. 137—147.

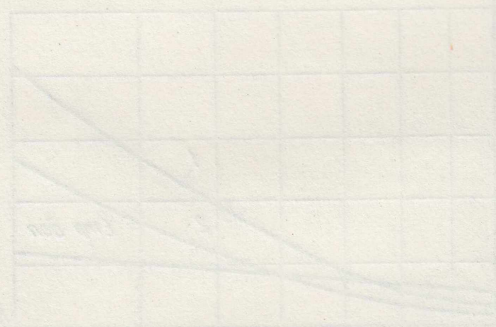


Рис. 3. Зависимость требуемого времени трогания от высоты оси вращения электродвигателя