

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СО ВСТРОЕННЫМИ ТОРМОЗНЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТАМИ

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

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и аппаратов
и общей электротехники)

Уменьшение времени останова механизмов приводит к сокращению непроизводительного рабочего времени и увеличению эффективности использования оборудования. В связи с этим широкое распространение получают асинхронные электродвигатели со встроенными пружинными тормозами, позволяющими значительно сократить время останова и повысить безопасность эксплуатации.

Для растормаживания вала электродвигателя при включении его в сеть применяются тормозные электромагниты, питание которых осуществляется от статорной обмотки электродвигателя через выпрямитель (рис. 1). При включении электродвигателя в сеть на катушку электромагнита через выпрямитель подается напряжение, электромагнит срабатывает, растормаживая вал электродвигателя. При отключении электродвигателя от сети происходит отпускание якоря электромагнита, тормозное устройство срабатывает, затормаживая вал электродвигателя. Вход выпрямителя (рис. 1) обычно соединяется с выводами статорной обмотки непосредственно (пунктирная линия) или через дополнительные контакты пускателя [4 и др.].

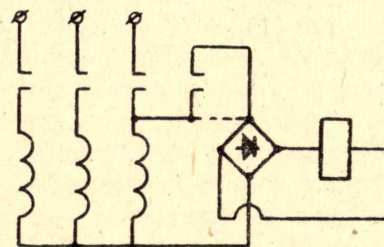


Рис. 1. Схема управления тормозного электродвигателя

Как показали экспериментальные исследования, решающую роль на быстродействие тормозных электродвигателей при отключении оказывает величина времени отпускания электромагнита $t_{отп}$, поэтому при проектировании тормозных электродвигателей необходимо учитывать эту величину.

При соединении входа выпрямителя со статорной обмоткой через дополнительные контакты пускателя переходные процессы в асинхронном электродвигателе и в электромагните протекают независимо друг от друга. Они изучены достаточно полно [1—3 и др.]. При медленном уменьшении скорости электродвигателя во времени после отключения его от сети магнитный поток и амплитуда э. д. с., наводимой в обмотке статора, уменьшаются по экспоненциальному закону с постоянной времени ротора. Время отпускания электромагнита в этом случае определяется известным выражением (при условии, что вентили идеальные):

$$t_{отп1} = T \cdot \ln \frac{i_{обм}}{i_{отп}}, \quad (1)$$

где

$T = \frac{L}{R}$ — постоянная времени электромагнита с притянутым

якорем;

$i_{обм}$ — ток в обмотке электромагнита в момент отключения;

$i_{отп}$ — ток, при котором электромагнит перестанет удерживать свой якорь;

L и R — соответственно индуктивность и активное сопротивление электромагнита.

В случае же непосредственного соединения входа выпрямителя с выводами статорной обмотки переходные процессы в электродвигателе и в электромагните оказывают взаимное влияние друг на друга, так как обмотка статора электродвигателя остается связанной с обмоткой электромагнита (электрическая связь через выпрямитель) и с обмоткой ротора (магнитная связь).

Наличие тока в статорной обмотке приводит к замедлению спадения магнитного потока и амплитуды э. д. с. электродвигателя по сравнению со случаем полного обесточивания статора при отключении. Это ведет к медленному спадению напряжения и тока электромагнита, что опять же способствует демпфированию затухания магнитного потока электродвигателя и т. д. При этом время опускания электромагнита $t_{отп2}$ значительно увеличивается по сравнению с временем $t_{отп1}$ и может превысить допустимое значение $t_{доп}$.

Величина времени отпускания $t_{отп2}$ может быть просто определена, если известен закон изменения во времени тока электромагнита после отключения. Однако найти этот закон в аналитическом виде без дополнительных упрощений не представляется возможным вследствие наличия нелинейного элемента (выпрямителя) и несимметричного соединения статорной цепи (при замене схемы выпрямления эквивалентной линейной нагрузкой и преобразовании дифференциальных уравнений к ортогональным осям, неподвижным относительно статора, приходится отыскивать корни характеристического уравнения третьей степени, которые имеют громоздкие выражения).

Для инженерных расчетов можно воспользоваться предлагаемой ниже упрощенной методикой определения закона изменения тока электромагнита и величины времени отпускания $t_{отп2}$.

При выводе закона изменения тока электромагнита при отключении в первом приближении принимаем, что переходные процессы в статорной цепи не оказывают влияния на переходные процессы в роторной обмотке. В соответствии с принятым допущением амплитуда э. д. с., наводимой в обмотке статора, и среднее значение напряжения на обмотке электромагнита должны уменьшаться после отключения по экспоненциальному закону с постоянной времени ротора. При таком рассмотрении влияние переходных процессов в роторной обмотке на переходные процессы в электромагните учитываются не полностью. Однако взаимное влияние переходных процессов в электродвигателе и в электромагните может быть учтено более полно при подстановке соответствующих параметров в расчетные выражения, выведенные при указанном допущении.

В соответствии с изложенным, уравнение равновесия напряжения обмотки электромагнита относительно средних значений переменных можно записать в виде

$$U_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} = R \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} \quad (2a)$$

или

$$i_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} = i + T \cdot \frac{di}{dt}, \quad (2б)$$

где U_0 и i_0 — средние составляющие напряжения и тока электромагнита в номинальном режиме перед отключением;

i — средняя составляющая тока электромагнита после отключения;

$T_2 = \frac{x_0 + x_2'}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot r_2'}$ — постоянная времени обмотки ротора, приведенной к статору;

x_0 ; x_2' и r_2' — соответственно индуктивное сопротивление взаимной индукции между статором и ротором, индуктивное сопротивление рассеяния и активное сопротивление ротора;

f — частота сети.

Решая уравнение (2б) относительно тока i , получим

$$i = i_0 \cdot \frac{T_2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - T \cdot e^{-\frac{t}{T}}}{T_2 - T}, \text{ если } T_2 \neq T, \quad (3a)$$

$$i = i_0 \cdot \left(1 + \frac{t}{T}\right) \cdot e^{-\frac{t}{T}}, \text{ если } T_2 = T. \quad (3б)$$

Зная величину тока $i_{отп}$, с помощью выражений (3a) или (3б) нетрудно определить значение времени отпущения $t_{отп2}$ методом последовательных приближений.

В соответствии с принятыми допущениями расчетные значения $t_{отп2}$, определенные по выражениям (3), должны быть заведомо меньше реальных (экспериментальные исследования, проведенные на нескольких опытных образцах тормозных электродвигателей, показали, что значения времени отпущения, определенные из осциллограмм, превышают расчетные в 2 и более раз). Поэтому, если расчетные значения $t_{отп2}$, определенные по этим выражениям, превышают допустимое значение времени отпущения $t_{доп}$, то при отключении тормозного электродвигателя по указанной схеме не может быть достигнуто необходимое быстродействие.

Если же эти расчетные значения оказываются меньше допустимого, то вопрос о быстродействии схемы остается открытым: требуется более полный учет взаимного влияния переходных процессов в электродвигателе и в электромагните. Последнее удобно осуществить путем увеличения постоянных времени, применяемых в расчетах. Хорошее совпадение результатов может дать замена величин T_2 и T на $T_{сум}$ в выражениях (2б) или (3б):

$$\frac{i_{отп}}{i_0} = \left(1 + \frac{t_{отп2}}{T_{сум}}\right) \cdot e^{-\frac{t_{отп2}}{T_{сум}}}, \quad (4)$$

где

$$T_{сум} = T + T_2.$$

Сравнение значений времени отпускания, рассчитанных по выражению (4), с экспериментальными показало, что расхождение результатов обычно не превышает нескольких процентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. П. Ковач, И. Рад. Переходные процессы в машинах переменного тока. М.-Л., Госэнергоиздат, 1963.
 2. М. М. Соколов и др. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе. М., «Энергия», 1967.
 3. А. Г. Сливанская, А. В. Гордон. Электромагниты со встроенными выпрямителями. М., «Энергия», 1970.
 4. Baumann W. Bauarten und Eigenschaften electromagnetisch gelüfteter Bremsen an Stoppmotoren, Konstruktion, 21 (1969), Heft 4.
-