

рианта составляет 20 – 30 мин, основную часть которого занимает печать результатов.

Поскольку программа универсальна, то печать результатов может производиться выборочно, в определенные моменты времени.

На рис. 2 в качестве примера приведены фазовые портреты частотного пуска и торможения привода при питании двигателя синусоидальным (кривая 1) и несинусоидальным (кривая 2) напряжением при номинальной нагрузке. При этом использовался линейный закон частотного управления частотой во времени $\omega = \omega_{нач} + \epsilon t$ и пропорциональный закон частотного управления, при котором двигатель развивает момент, равный критическому в номинальном режиме. Результаты расчетов показали, что они отражают явления, протекающие в частотноуправляемом электроприводе.

Л и т е р а т у р а

1. Петренко Ю.Н. Разработка и исследование частотного электропривода с асинхронным двигателем при питании от инвертора напряжения. Дис. Минск, 1971, 2. Копылов И.П., Мамедов Ф.А., Беспалов В.Я. Математическое моделирование электрических машин. М., 1969. 3. Ильин О.П. и др. Электромагнитные процессы асинхронного электродвигателя при несинусоидальном питающем напряжении на электронной модели. – В сб.: Источники и потребители переменного тока повышенной частоты. Кишинев, 1972.

А.И. Плакс

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ ТИРИСТОРНЫХ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В статье исследуются вопросы определения быстродействия тиристорных возбудителей при срабатывании форсировки. Под быстродействием в данном случае будем понимать время нарастания тока возбуждения синхронного двигателя при форсировке, т.е. от номинального до максимального (форсировочного) значения.

Для удобства делаем ряд допущений: питающая сеть имеет бесконечную мощность; выпрямленный ток идеально сглажен;

вентили являются "идеальными"; влиянием активных сопротивлений элементов возбuditеля пренебрегаем.

В основу анализа переходных процессов положен метод [1], основанный на периодичности процессов и линейности цепей в интервалы времени, в течение которых не происходит изменения числа работающих вентилей, и возможности использования в этом случае внешних характеристик преобразователей, определенных в установившихся режимах.

В общем случае уравнение внешней характеристики преобразовательного устройства с учетом принятых допущений имеет вид

$$U_{dH} = U_d - \Delta U_x, \quad (1)$$

где U_{dH} и U_d - средние выпрямленные напряжения на выходе устройства с учетом нагрузки и при холостом ходе; ΔU_x - среднее значение индуктивного падения напряжения устройства.

$$\Delta U_x = k_x x_k I_d. \quad (2)$$

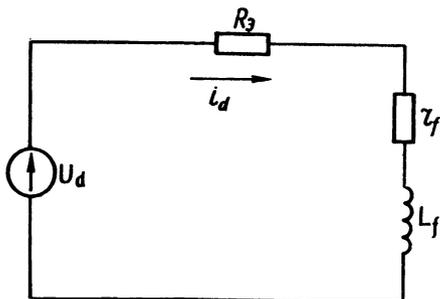
Здесь I_d - средний выпрямленный ток; k_x - коэффициент, зависящий от вида схемы устройства и режима его работы; x_k - приведенное эквивалентное реактивное сопротивление устройства, объединяющее приведенные ко вторичной обмотке реактивные сопротивления питающей сети и рассеяния первичной обмотки и индуктивность рассеяния вторичной обмотки выпрямительного трансформатора.

Из уравнения (2) видно, что индуктивность цепей переменного тока оказывает такое же влияние на напряжение, как и активное сопротивление в цепи постоянного тока. Поэтому это влияние можно учесть эквивалентным сопротивлением R_\varnothing , т.е.

$$\Delta U_x = R_\varnothing I_d. \quad (3)$$

С влиянием же индуктивности цепей переменного тока на результирующую реактивность цепи обмотки возбуждения (учитывая, что обычно для возбуждательных систем она значительно меньше индуктивности обмотки возбуждения) можно не считаться [1]. Тогда схема замещения преобразовательного устройства будет включать параметры цепи постоянного тока (индуктивность L_f и активное сопротивление r_f обмотки воз-

Рис. 1. Схема замещения преобразовательного устройства.



буждения) и сопротивление $R_э$ (рис. 1). В этом случае для переходного процесса можно записать

$$i_d = \frac{U_d}{r_f + R_э} (1 - e^{-\frac{t}{T_э}}), \quad (4)$$

где i_d - текущее значение выпрямленного тока; $T_э = \frac{L_f}{R_э + r_f}$ -

эквивалентная постоянная времени преобразовательного устройства и нагрузки; t - время.

Преобразуем выражение для $T_э$

$$T_э = \frac{L_f}{r_f} \left(\frac{1}{\frac{R_э}{r_f} + 1} \right) = T_f k_f, \quad (5)$$

где T_f - постоянная времени нагрузки; k_f - коэффициент изменения постоянной времени, зависящий от схемы и режима работы преобразовательного устройства.

В зависимости от режима работы возбудителя на двигатель можно рассмотреть два случая.

1. Цепь возбуждения включается на напряжение возбудителя при разомкнутой цепи статора. Тогда процессы в возбудителе будут происходить с постоянной времени T_{do}

$$i_d = \frac{U_d k_f}{r_f} (1 - e^{-\frac{t}{k_f T_{do}}}). \quad (6)$$

2. Цепь возбуждения включается на напряжение возбудителя при замкнутой накоротко цепи статора. Тогда ток возбуждения (пренебрегая периодическим током, индуцируемым м.д.с. аperiodического тока статора) будет нарастать с постоянной вре-

мени T'_d , а уравнение переходного процесса имеет вид (6) с заменой T_{d0} на T'_d .

Таким образом, время нарастания тока в обмотке возбуждения при переходных процессах будет определяться ее постоянной времени и схемой преобразователя возбудителя.

Следует отметить, что на величину постоянных времени T_{d0} и T'_d влияет степень насыщения синхронного двигателя, а также величина реального сопротивления обмотки возбуждения с учетом нагрева. Реальная величина T_{d0} и T'_d практически не имеет значения при сопоставительных расчетах быстродействия возбудителей с различными схемами преобразователя.

В процессе форсировки угол регулирования вентилей уменьшается до нуля, т.е. происходит полное открытие вентилей. А ток в обмотке возбуждения синхронного двигателя возрастает согласно уравнению

$$i_f = \frac{k_f}{r_f} \left[U_d + (U_{d(0)} - U_d) e^{-\frac{t}{k_f T'_d}} \right], \quad (7)$$

где $U_{d(0)}$ - напряжение, предшествующее началу форсировки.

Для сравнения быстродействия возбудителей с преобразователями, выполненными по различным схемам, считаем, что угол регулирования изменяется мгновенно, коэффициент форсировки $k_\phi = 1,4$, т.е. установившийся форсировочный ток $I_{f\phi} = 1,4 I_{fn}$ (I_{fn} - номинальный ток возбуждения). Тогда уравнение переходного процесса возбудителя при срабатывании форсировки приобретает вид

$$i_f = (1 - 0,29 e^{-\frac{t}{k_f T'_d}}) I_{f\phi}. \quad (8)$$

По величинам k_x и x_k , известным и вычисленным для конкретных схем преобразователей (при пренебрежении реактивным сопротивлением питающей сети и одинаковых значениях реактивной составляющей напряжения короткого замыкания трансформатора), рассчитаны величины коэффициента k_f для тиристорных возбудителей со следующими схемами преобразователя: однофазная полууправляемая (схема 1), трехфазная с нулевым выводом (схема 2), трехфазная полууправляемая мостовая (схема 3), трехфазная симметрично управляемая мостовая (схема 4), последовательного включения управляемого и неуправляемого трехфазных мостов (схема 5) и трехфазная мостовая схема с нулевым выводом (схема 6) [2]. Полученные

результаты приведены в табл. 1. Наименьшее значение k_f , T'_d и времени нарастания форсировочного тока имеет возбудитель с преобразователем, выполненным по схеме 6.

Для численной оценки быстрейшего действия отметим, что переходный процесс считается законченным при достижении 95% установившейся величины. Тогда, считая $i_f = 0,95 I_{f\phi}$ и решив уравнение (8) относительно $t_{\text{пер}}$, получим

$$t_{\text{пер}} = 1,75 T'_d k_f, \quad (9)$$

где $t_{\text{пер}}$ — время регулирования, время нарастания тока возбуждения при форсировке, с.

Отношения $t_{\text{пер}}/T'_d$ и $t_{\text{пер}}/t_{\text{пер}6}$ для всех рассматриваемых схем также приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Номер схемы	1	2	3,4,5	6
k_f	0,944	0,937	0,977	0,936
$t_{\text{пер}}/T'_d$	1,650	1,693	1,710	1,538
$t_{\text{пер}}/t_{\text{пер}6}$	1,010	1,037	1,046	1

Результаты экспериментального сравнения возбудителей с преобразователями, выполненными по второй и шестой схемам, показали правильность приведенной методики и расчетов по ней. При форсировке возбуждения синхронного двигателя типа СДНЗ-59-12 мощностью 3200 кВт $I_{fH} = 286$ А время регулирования оказалось равным $t_{\text{пер}2} = 0,79$ с, $t_{\text{пер}6} = 0,76$ с, $t_{\text{пер}2}/t_{\text{пер}6} = 1,04$.

Л и т е р а т у р а

1. Глебов И.А. Системы возбуждения синхронных генераторов с управляемыми преобразователями. М., 1960.
2. Михеев Н.Н., Плакс А.И. Экономичный выпрямитель для возбуждения синхронных электродвигателей. — "Изв. вузов. Энергетика", 1969, № 12.