

УДК 62-83 (075.8)

МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ДВИГАТЕЛЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Эсауленко В.А., Никорюк Н.С.

Донецкий национальный технический университет

Пурис А.И.

ОАО "Автоматгормаш" им. В.А. Антипова

Введение. В электроприводах подъемно-транспортных механизмов широко используются электродвигатели постоянного тока последовательного возбуждения. Методик и алгоритмов расчета переходных процессов в таком типе привода, учитывающих его нелинейные свойства и влияние вихревых токов, в современной литературе нет.

Цель работы – разработка методики и алгоритма численного расчета переходных процессов в нелинейных системах электропривода с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения, учитывающей влияние вихревых токов, которые наводятся в полюсах и станине при быстрых изменениях потока.

Материал и результаты исследований. Схема включения двигателя с последовательной обмоткой возбуждения (ДПТ с ПВ) показана на рис. 1. Включение обмотки возбуждения в силовую цепь, мощность которой на два порядка выше, чем мощность цепи возбуждения, создает условия для форсированного изменения потока двигателя. При этом анализ динамических свойств двигателя без учета влияния вихревых токов, наводящихся в полюсах и станине при быстрых изменениях потока, приводит в большинстве случаев к значительным ошибкам [1]. Влияние вихревых токов может быть учтено добавлением короткозамкнутой обмотки на оси β , показанной на рис. 1, имеющей условное

число витков $w_{\epsilon.m.}$, обтекаемой током $i_{\epsilon.m.}$ и связанной с потоком машины Φ по продольной оси β коэффициентом связи, равным единице. Система уравнений динамического процесса преобразования энергии в двигателе с последовательным возбуждением будет иметь следующий вид [1]:

$$\left. \begin{aligned} 0 &= i_{\epsilon.m.} R_{\epsilon.m.} + w_{\epsilon.m.} \frac{d\Phi}{dt}; \\ U_{\alpha} &= k\Phi\omega + i_{\alpha} R_{\alpha\delta} + L_{\alpha\delta} \frac{di_{\alpha}}{dt} + w_{\epsilon} \frac{d\Phi}{dt}; \\ M - Mc &= J \frac{d\omega}{dt}, \end{aligned} \right\} (1)$$

где $i_{\epsilon.m.}$ – условный вихревой ток; $R_{\epsilon.m.}$ – сопротивление короткозамкнутой обмотки вихревых токов; $w_{\epsilon.m.}$ – условное число витков короткозамкнутой обмотки вихревых токов; Φ – магнитный поток двигателя; $k = p_n \cdot N / 2\pi \cdot a$ – конструктивный коэффициент; p_n – число пар полюсов обмотки возбуждения; N – число активных проводников якоря двигателя; a – число параллельных ветвей якорной обмотки; ω – угловая скорость двигателя; i_{α} – ток якорной обмотки двигателя; $R_{\alpha\delta}$ – суммарное

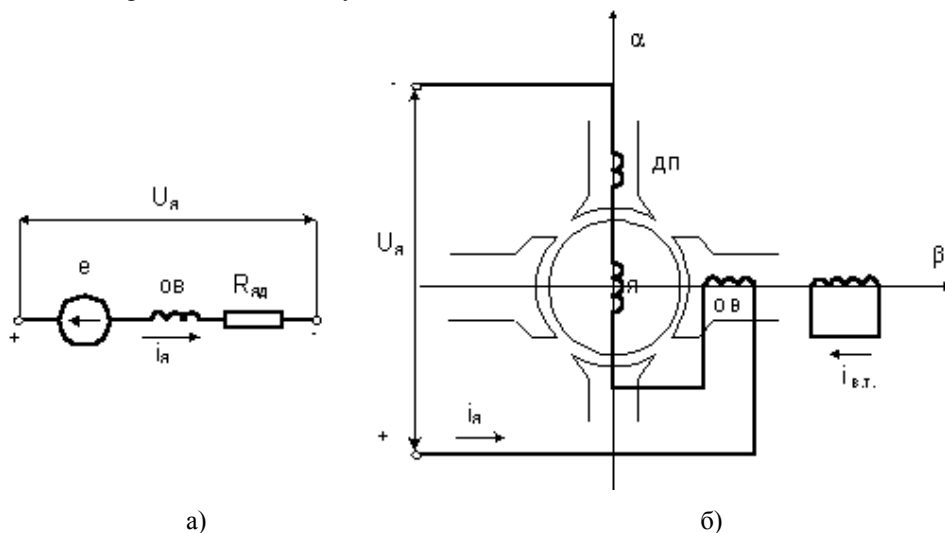


Рисунок 1 - Схема двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением (а) и соединение обмоток обобщенной машины для получения модели (б)

сопротивление якорной цепи двигателя, $L_{я\delta} = L_{я} + L_{\delta n}$ - индуктивность якоря и дополнительных полюсов, w_{ϕ} - число витков обмотки возбуждения двигателя; M - момент, развиваемый двигателем, M_c - активный момент сопротивления на валу двигателя.

Для практического использования системы уравнений (1) исключаем вихревой ток $i_{в.м}$ и решаем эту систему относительно первых производных переменных. После преобразований получаем систему уравнений (2):

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Phi}{dt} &= \frac{1}{T_{\phi}} (k_{\phi} \cdot i_{я} - \Phi) \\ \frac{di_{я}}{dt} &= \frac{I_{к.з}}{T_{я}} - i_{я} \frac{T_{\phi} + T_{\phi}}{T_{\phi} \cdot T_{я}} - \frac{k \cdot \omega - \frac{T_{\phi} \cdot R_{я\delta}}{T_{\phi} \cdot k_{\phi}} \cdot \Phi}{L_{я\delta}} \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{M - M_c}{J} = \frac{k \cdot \Phi \cdot i_{я} - M_c}{J} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где $T_{\phi} = k_{\phi} \cdot w_{\phi} / R_{я\delta}$ - постоянная времени обмотки возбуждения двигателя; $T_{\phi} = (0.1 - 0.2) \cdot T_{\phi}$ - постоянная времени контура вихревых токов; $k_{\phi} = \frac{\Phi}{i_{я} + i_{в.м}}$ - коэффициент, соответствующий кривой намагничивания двигателя; $I_{к.з} = \frac{U_{я}}{R_{я\delta}}$ - ток короткого замыкания якорной цепи двигателя; $T_{я} = \frac{L_{я\delta}}{R_{я\delta}}$ - постоянная времени якорной обмотки двигателя; $L_{я\delta}$ - индуктивность якорной обмотки двигателя; J - момент инерции двигателя.

Полученная система уравнений (2) является нелинейной в связи с наличием произведений переменных $e = k\Phi\omega$ и $M = k\Phi i_{я}$, а также из-за нелинейности потока двигателя от м.д.с. возбуждения.

Основная проблема, которая возникает при решении рассматриваемой системы уравнений (2), связана с учетом нелинейной зависимости потока от м.д.с. возбуждения. При решении рассматриваемой задачи эта нелинейная зависимость учитывается с помощью коэффициента k_{ϕ} , который является функцией суммарного тока $i_{я} + i_{в.м}$.

На каждом шаге численного решения системы дифференциальных уравнений (2) определяются поток Φ , ток якоря $i_{я}$, угловая скорость ω двигателя. Для определения суммарного тока $i_{я} + i_{в.м}$ необходимо определить вихревой ток $i_{в.м}$ и его знак, что сделать, однако, невозможно. Параметры контура вихревых токов неизвестны. На наш взгляд

определить коэффициента k_{ϕ} можно иначе. А именно, используя кривую намагничивания определяем зависимость коэффициента k_{ϕ} от магнитного потока Φ . В дальнейшем на каждом шаге численного решения системы уравнений (2) используем эту функциональную зависимость для определения значений коэффициента k_{ϕ} по известным значениям магнитного потока Φ .

Для рассматриваемой задачи может быть предложен следующий алгоритм решения.

1. По кривым намагничивания двигателя определяем зависимость коэффициента k_{ϕ} от магнитного потока Φ ($k_{\phi} = f(\Phi)$).

2. Для полученных численных значений магнитного потока Φ_i и коэффициента $k_{\phi i}$ находим полином k -ой степени, сглаживающий численные значения Φ_i и $k_{\phi i}$.

3. Составляем программу решения системы уравнений (2), в которой на каждом шаге численного интегрирования уравнений коэффициент k_{ϕ} определяется с помощью полинома k -ой степени.

Для апробации предложенного алгоритма разработана программа расчета переходных процессов пуска двигателя постоянного тока с помощью пакета MathCAD 2001.

В этих расчетах были использованы паспортные данные краново-металлургического двигателя МП-72 с номинальными данными: мощность 80 кВт, угловая скорость $n=460$ об/мин, ток $I_n=405$ А. Кривая намагничивания этого двигателя была задана массивом значений тока и потока (14 точек) с помощью универсальной кривой намагничивания двигателей типов МП, ДП, Д. Эти численные значения переменных были сглажены полиномом третьего порядка. Кривые, рассчитанные с помощью этого полинома, приведены на рис. 2.

Результаты расчета переходного процесса пуска двигателя МП-72 при линейном изменении напряжения на зажимах двигателя и моменте сопротивления, равно номинальному моменту, показаны на рис. 3. Здесь приведены кривые зависимостей угловой скорости ω , тока $i = i_{я}$, магнитного потока Φ , момента M , напряжения на зажимах двигателя U от времени t .

Значения переменных скорости ω_* , тока i_* , потока Φ_* , момента M_* , напряжения U_* даны на этом рисунке в относительных единицах:

$$\omega_* = \frac{\omega}{\omega_{ном}}; \quad i_* = \frac{i}{I_{ном}}; \quad \Phi_* = \frac{\Phi}{\Phi_{ном}}, \quad M_* = \frac{M}{M_{ном}}; \\ U_* = \frac{U}{U_{ном}}.$$

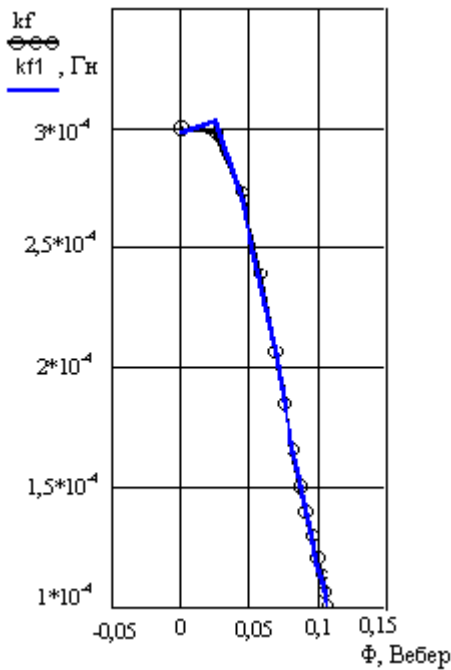


Рисунок 2 – Звисимість коефіцієнта k_{Φ} от потока (k_f - по данным универсальной кривой намагничивания, k_{f1} - по уравнению аппроксимирующего полинома)

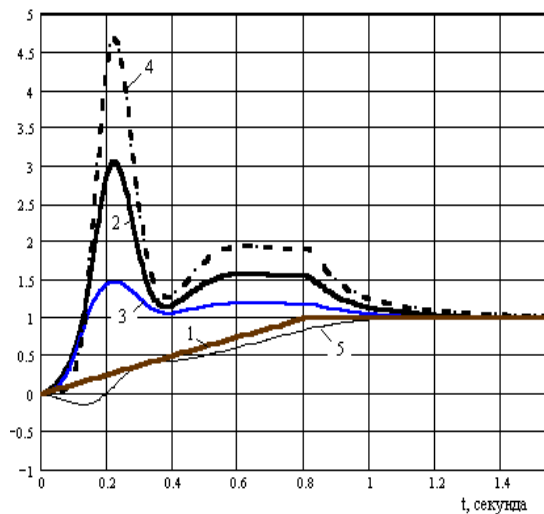


Рисунок 3 – Результаты расчета переходного процесса пуска двигателя при линейном изменении напряжения на его зажимах: 1 – напряжение источника U , 2 – ток i , 3 – магнитный поток Φ , 4 – момент M , 5 – угловая скорость двигателя ω (все величины представлены в относительных единицах)

Из анализа этих кривых следует, что переходный процесс пуска этого типа двигателя при линейном изменении напряжения, также как и для двигателя постоянного тока с независимым возбуждением, протекает в три этапа.

На первом этапе (в течение 0 – 0,55 секунды) происходит электромеханический переходный процесс, т.е. одновременно протекают механический и электромагнитный переходные процессы; на втором - механический переходный процесс (в течение 0,55 – 0,8 секунды); на третьем этапе - электромагнитный переходный процесс (в течение 0,8 – 1,2 секунды), причиной возникновения которого является изменение управляющего воздействия.

Выводы. Предложены простые методика и алгоритм численного расчета переходных процессов в нелинейных системах электропривода с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения, учитывающие влияние вихревых токов, которые наводятся в полюсах и станине двигателя при быстрых изменениях потока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чиликин М.Г. и др. Теория автоматизированного электропривода / Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С – М.: Энергия, 1979. – 616 с

Стаття надійшла 15.04.2006 р.
Рекомендована до друку
д.т.н., проф. Родькіним Д.Й.