DOI: 10.17117/na.2016.03.03.182

<http://ucom.ru/doc/na.2016.03.03.182.pdf>

Поступила (Received): 27.03.2016

Усольцев В.К. Косвенное ограничение тока электродвигателя постоянного тока

Usolicev V.K. Indirect restriction of the current of the electric motor of the direct current

Рассмотрены два метода косвенного (без измерения) ограничения якорного тока электродвигателя постоянного тока. Получены условия ограничения тока якоря путем применения задатчика интенсивности и путем ограничения падения на активном сопротивлении якоря электродвигателя. Методика подтверждается примерами цифрового моделирования конкретной системы управления. Рекомендуются для применения в учебном процессе и инженерной практике

Ключевые слова: электродвигатель, управление, структура, ограничение, интенсивность

Усольцев Валерий Константинович
Кандидат технических наук, доцент
Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, ул. Суханова, 8

They Are Considered two methods indirect (without measurement) limit-thread of the anchor current of the electric motor of the direct current. They Are Received condition of the restriction of the current of the anchor by using задатчика intensities and by restrictions of the fall on active resistance of the anchor of the electric motor. The Methods is confirmed example of digital modeling concrete managerial system. It Is Recommended for using in scholastic process and engineering practical person

Key words: electric motor, management, structure, restriction, intensity

Usolicev Valeriy Konstantinovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Far Eastern federal university
Vladivostok, Suhanova st., 8

В ряде случаев не осуществляется измерения тока якоря двигателя постоянного тока. Это связано либо с ограниченным числом аналоговых входов управляющего микроконтроллера, либо с относительно высокой стоимостью датчика тока либо по некоторым другим причинам. Однако в большинстве случаев требуется ограничение максимального тока якоря допустимым значением. Ограничить максимальный ток якоря электродвигателя без его непосредственного измерения можно двумя способами: применением задатчика интенсивности (ограничением скорости изменения заданной частоты вращения двигателя); ограничением падения напряжения на активном сопротивлении якоря двигателя. Оба способа приводят к похожим переходным процессам в электродвигателе, но имеют и существенные отличия.

Применение задатчика интенсивности.

Функционирование задатчика интенсивности описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} u_{3И} &= U_{3И}(0) + K_{3И}t \text{ при } u_{зад} > u_{3И}; \\ u_{3И} &= U_{3И}(0) - K_{3И}t \text{ при } u_{зад} < u_{3И}; \\ &\text{иначе } u_{3И} = u_{зад}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $u_{зад}$ – входной сигнал задатчика интенсивности, $u_{3И}$ – выходной сигнал задатчика интенсивности, $U_{3И}(0)$ – выход задатчика в момент выполнения неравенства, t – время, $K_{3И}$ – коэффициент задатчика интенсивности.

Функциональная схема системы управления частотой вращения электродвигателя с задатчиком интенсивности приведена на рисунке 1.

Рис. 1. Система ограничения тока якоря с задатчиком интенсивности

Параметрами двигателя постоянного тока являются: $I_я$ – ток якоря; $R_я$ – активное сопротивление якоря; $T_я$ – постоянная времени якорной цепи; $T_{эм}$ – электрохимическая постоянная времени; n – частота вращения электродвигателя; $E_я$ – Э.Д.С. двигателя; K_e – коэффициент Э.Д.С.

Задающий сигнал $U_{зад}$ задатчиком интенсивности с передачей $W_{3И}(s)$ преобразуется в сигнал $U_{3И}$ с ограниченной скоростью изменения. Регулятор с передаточной функцией $W_p(s)$ обеспечивает изменение частоты вращения n и Э.Д.С. двигателя $E_я$ пропорционально сигналу $U_{3И}$.

Изменение частоты вращения и Э.Д.С. двигателя обеспечивает динамическая составляющая тока якоря $I_{дин}$, которая является разницей между током якоря $I_я$ и статическим током $I_{ст}$. Ток $I_{ст}$ обеспечивает статический момент нагрузки двигателя.

Скорость изменения напряжения задатчика интенсивности должна обеспечивать изменение Э.Д.С. двигателя при предельном допустимом токе якоря $I_{ядоп}$, что определяется уравнением

$$E_я(t) = \frac{K_e(I_{ядоп} - I_{ст})}{T_{эм}}t = K_{3И}t, \quad (3)$$

Уравнение (2) позволяет определить необходимый коэффициент задатчика интенсивности

$$K_{3И} = \frac{K_e(I_{ядоп} - I_{ст})}{T_{эм}}. \quad (4)$$

На рисунке 2 приведены временные диаграммы тока якоря и частоты вращения, полученные путем цифрового моделирования системы управления двигателем постоянного тока типа П61 с задатчиком интенсивности, реализованным согласно уравнению (4).

Двигатель П61 обладает следующими параметрами: номинальное напряжение $U_{НОМ} = 220$ В; номинальный ток якоря $I_{НОМ} = 40$ А; номинальная частота вращения $n_{НОМ} = 1000$ об/мин; сопротивление якорной цепи $R_{я} = 0.5$ Ом, индуктивность якоря $L_{я} = 0.0166$ Гн.

Принято: $I_{СТ} = I_{НОМ}$, $I_{Ядоп} = 2.4I_{НОМ}$. Статический ток скачком меняет знак при изменении реверсе двигателя. В качестве регулятора используется ПИ – регулятор, обеспечивающий перерегулирование в линейной системе (без задатчика интенсивности) 13%.

Рис. 2. Переходные процессы в системе с задатчиком интенсивности

Из рисунка 2 видно, что при разгоне двигателя ток ограничивается допустимым значением $I_{Ядоп}$, а при торможении, за счет дополнительного торможения статическим моментом, уменьшается до значения $I_{Ядоп} - I_{СТ}$. Следует отметить, что применение задатчика интенсивности существенно снижает перерегулирование.

Ограничением падения напряжения на активном сопротивлении якоря двигателя

Функциональная схема системы управления частотой вращения электродвигателя с ограничением падения напряжения на активном сопротивлении якоря двигателя приведена на рисунке 3.

Рис. 3. Система управления с ограничением падения напряжения

Напряжение на якоре двигателя формируется как сумма Э.Д.С. двигателя и добавка ΔU , то есть $U_{\text{я}} = E_{\text{я}} + \Delta U$. Добавка напряжения формируется из напряжения регулятора $U_{\text{р}}$ и ограничивается нелинейным элементом НЭ согласно алгоритму:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \Delta U_{\text{м}} \text{ при } U_{\text{р}} > \Delta U_{\text{м}}, \\ \Delta U &= -\Delta U_{\text{м}} \text{ при } U_{\text{р}} < \Delta U_{\text{м}}, \\ &\text{иначе } \Delta U = U_{\text{р}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Максимальное значение добавки напряжения определяется условием

$$\Delta U_{\text{м}} = I_{\text{ядоп}} R_{\text{я}}. \quad (6)$$

Выполнение условия 6 обеспечивает ограничение якорного тока допустимой величиной. Передаточная функция электродвигателя с учетом положительной обратной связи по Э.Д.С. двигателя, которая компенсирует внутреннюю отрицательную обратную связь по Э.Д.С., принимает вид

$$W(s) = \frac{K_e / R_{\text{я}}}{T_{\text{эм}} (1 + T_{\text{я}} s)}. \quad (7)$$

В качестве регулятора может использоваться пропорциональный П – регулятор или пропорционально-интегральный ПИ – регулятор, синтез которых не вызывает затруднений. Однако в ПИ – регуляторе возникают свободные движения при выходе нелинейного элемента из зоны ограничения, что ухудшает переходные процессы. На рисунке 4 приведены временные диаграммы переходного процесса в системе с пропорциональным регулятором.

Рис. 4. Переходные процессы в системе с ограничением падения напряжения в якорной цепи

В зоне разгона и торможения двигателя ток якоря ограничивается допустимым значением $I_{Ядоп}$. Наличие статического момента затягивает разгон двигателя и ускоряет торможение.

Выводы: Оба способа обеспечивают ограничение максимального тока якоря допустимым значением. Система с ограничением падения напряжения в якорной цепи обладает большим быстродействием благодаря более эффективному ограничению якорного тока.

© 2016, Усольцев В.К.

*Косвенное ограничение тока электродвигателя
постоянного тока*

© 2016, Usolicev V.K.

*Indirect restriction of the current of the electric motor
of the direct current*