

ЦИФРОВОЙ КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ В УСЛОВИЯХ ДВУХЗОННОГО РЕЖИМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Совершенствование системы управления с тяговым двигателем и повышение качественных ее показателей ускорит процесс замены традиционного городского и специализированного транспорта на электромобили [3,4,6].

Скоростью городского и внутризаводского транспорта, как правило, управляет водитель. Ток якоря тягового двигателя зависит от его загрузки, скорости и направлении ветра, которые являются статистическими величинами, трудно поддающимися измерению. Поэтому целесообразно для электромобилей разработать систему управления по поддержанию ускорения (замедления) на заданном уровне.

На рис. 1 показана структурная схема автоматизированной системы управления.

EMC2 – электромеханическая система (объект управления). На входы In1, In2, In3, In4 подаются сигналы управления напряжением якорной обмотки U_{ya} , напряжением обмотки возбуждения U_{yb} , передаточным числом трансмиссии U_0 и моментом при малой скорости M_{mc} соответственно. ДАТ – блок датчиков тока I , напряжений U_y и U_a , соответствующих заданному угловому ускорению и напряжению якорной обмотки, и частоты вращения выходного вала n_1 . Напряжение на выходе датчиков должны быть согласованы с входом аналого-цифрового преобразователя (АЦП) выбранного контроллера. CONTR – разрабатываемый цифровой контроллер; Scope 1 – регистрирующий прибор (осциллограф).

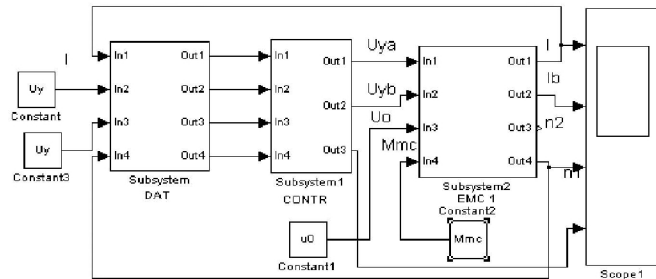


Рис. 1 Структурная схема автоматизированной системы управления

На основании работы [8] на рис. 2 показана структурная схема объекта управления.

Рассматриваемая система нелинейна, нестационарна и многосвязна, так как входы In2, In3 и In4 и выходы Out1, Out3 и Out4 могут связывать несколько subsystem в одну систему.

Если синтезировать систему автоматического управления так, чтобы ток якоря двигателя во время разгона был постоянным, то ускорение будет переменным при неизменном передаточном числе трансмиссии. В таком случае для заданного времени разгона начальное ускорение будет большим, что приведет к преждевременному износу частей трансмиссии и ухудшению качественных показателей пассажирского транспорта.

В этой связи необходимо создать систему, которая автоматически должна поддерживать заданное ускорение на всем участке разгона и замедления. Для этой цели предлагается цифровой контроллер. Так как трудно замерять возмущения системы, которые являются статистическими величинами, принимается система автоматического управления по отклонению.

Для получения сигнала, пропорционального ускорению, контроллер содержит цифровой дифференциатор с передаточной функцией [7]

$$W_D(z) = \frac{z-1}{T_0 z}, \quad (1)$$

где T_0 – период квантователя. Последовательно дифференциатору необходимо установить усилитель для того, чтобы общий коэффициент усиления цепи с учетом датчика скорости был равен единице.

Если на выходе датчика скорости будут присутствовать высокочастотные составляющие, то вместо дифференциатора, описываемого выражением (1) нужно применить цифровое инерционно-дифференцирующее звено с передаточной функцией

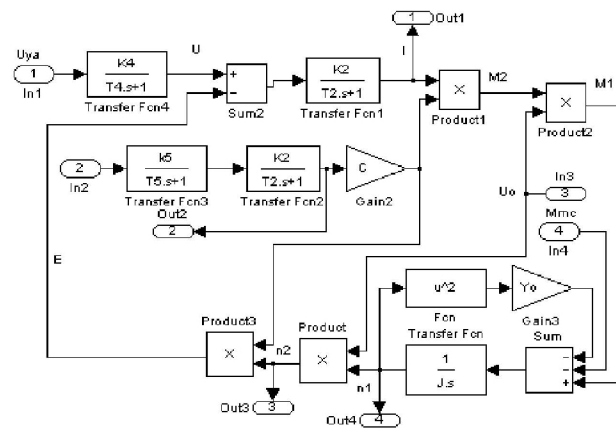


Рис. 2 Структурно-функциональная схема электромеханической системы

$$W_{\partial z}(z) = \frac{z-1}{T_u(z-z_u)}, \quad (2)$$

где T_u – постоянная времени инерционного звена;

$$z_u = e^{-\frac{T_0}{T_u}} - \text{поллюс звена.}$$

При соответствующем выборе T_u , незначительно снижая качество переходного процесса, можно уменьшить амплитуду высокочастотных колебаний системы.

Из выражения (1) выводится

$$\frac{U_{\partial 2}}{U_{\partial 1}} = \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_0} z^{-1}, \quad (3)$$

где $U_{\partial 1}$ и $U_{\partial 2}$ – входной и выходной сигнал дифференцирующего звена.

Применив обратное Z – преобразование, получим

$$U_{\partial 2}(t) = \frac{1}{T_0} U_{\partial 1}(t) - \frac{1}{T_0} U_{\partial 1}(t - T_0). \quad (4)$$

Известно множество способов автоматического управления ускорением транспортного средства. Возможно применение цифровых ПИД – регулятора, регулятора с компенсацией полюсов и нулей передаточной функции объекта и других регуляторов и корректирующих устройств. Однако наличие только двух коэффициентов у ПИ – регулятора делает его более практичным при настройке и работе с учетом реальных вариаций параметров объекта.

Передаточная функция цифрового ПИ – регулятора при интегрировании по методу трапеций равна [7]

$$W_{pi}(z) = \frac{a_{11}(z - a_{12})}{z - 1}, \quad (5)$$

где $a_{11} = \frac{2K_r + K_I T_0}{2}$, $a_{12} = \frac{2K_r - K_I T_0}{2K_r + K_I T_0}$;

K_r – коэффициент усиления пропорционального звена;

K_I – коэффициент усиления цифрового интегратора.

Введем обозначения: Z_1 – полюс передаточной функции объекта, ближайшей к единице (границе устойчивости), v_1 – коэффициент усиления разомкнутой нескорректированной системы, Δ – статическая погрешность. Тогда при компенсации полюса и заданной погрешности можно составить условие

$$z_1 = a_{12} = \frac{2K_r - K_I T_0}{2K_r + K_I T_0}; \quad b_1 a_{11} = \frac{(1 - z_2)(1 - \Delta)}{\Delta}, \quad (6)$$

где z_2 – другой полюс передаточной функции объекта.

Из условия (6) определим a_{11} и a_{12} параметры регулятора.

Преобразуем выражение (5)

$$W_{pi}(Z) = \frac{U_{\kappa 2}(Z)}{U_{\kappa 1}(Z)} = \frac{a_{11} - a_{22} Z^{-1}}{1 - Z^{-1}},$$

где $a_{22} = a_{11} a_{12}$.

Откуда

$$U_{\kappa 2}(Z)(1 - Z^{-1}) = U_{\kappa 1}(Z)(a_{11} - a_{22} Z^{-1}).$$

Выполнив обратное Z -преобразование, получим:

$$U_{\kappa 2}(t) = a_{11} U_{\kappa 1}(t) - a_{22} U_{\kappa 1}(t - T_0) + U_{\kappa 2}(t - T_0). \quad (7)$$

При двухзонном управлении скорость тягового двигателя увеличивается сверх номинальной путем уменьшения тока возбуждения. Аналитическая зависимость ускорения выходного вала от тока возбуждения является нелинейной и сложной [5]. Поэтому при разработке алгоритма регулятора при двухзонной работе тягового двигателя применим имитационный (логический) метод.

Примем следующие обозначения сигналов и их соответствия: U_m – номинальному напряжению якорной обмотки; $A1$ – номинальному току возбуждения; U_{mc} – току возбуждения при максимальной скорости тягового двигателя; $\Delta U_{vm} = A1 - U_{mc}$.

По уравнению (4) и (7) и логике управления током возбуждения в двухзонном режиме на рис. 3 показан алгоритм работы контроллера. U_3 – задание по ускорению; ω_1 – скорость выходного вала трансмиссии; $U_{\kappa 1}$, $U_{\kappa 2}$ – входной и выходной сигналы регулятора; U_{ya} , U_{yb} – управляющие сигналы якорной обмотки и обмотки возбуждения; E – код, соответствующий угловому ускорению выходного вала.

Регулятор путем изменения тока возбуждения должен поддерживать заданное значение ускорения. Двухзонный режим вступает в работу только при значении напряжения якорной обмотки равному номинальному.

С учетом алгоритма изображенного на рис. 3 приведена структурная схема контроллера, управляющего тяговым двигателем в двухзонном режиме и поддерживающего ускорение при разгоне и замедлении на заданном

уровне. На входы тракта управления током возбуждения поступают сигналы с выхода ПИ-регулятора U_{k2} (рис. 4) и U_a – задатчика напряжения. С помощью звеньев ДЗ2, Sign и Product представляется возможность включать в работу вторую зону только при напряжении якорной обмотки, близкому к номинальному.

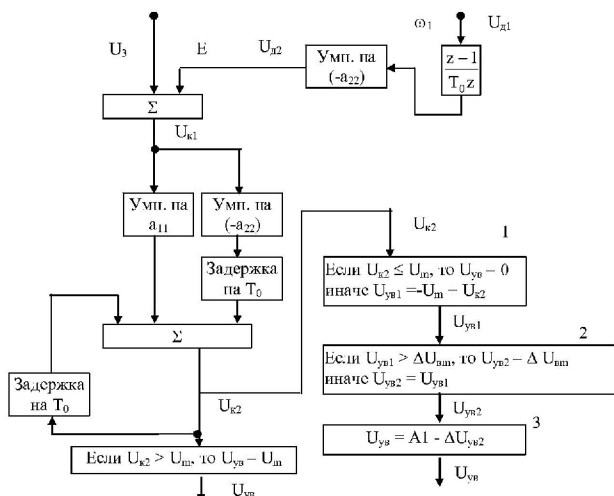


Рис. 3 Алгоритм работы контроллера при управлении по ускорению

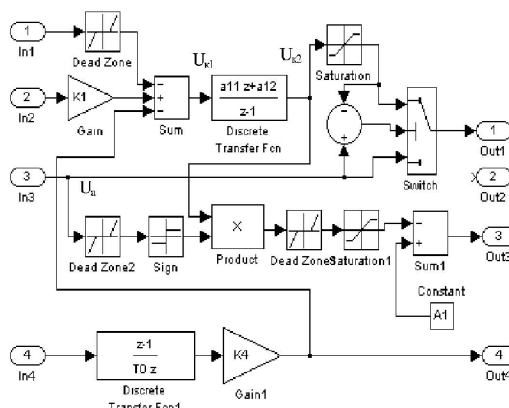


Рис.4 Структурно-функциональная схема контроллера

Звено с зоной нечувствительности ДЗ1 настроено на сигнал, соответствующий номинальному напряжению якорной обмотки. А1 – число, соответствующее номинальному току обмотки возбуждения. Звено ограничения Satur1 настраивается так, что после сумматора сигнал соответствует максимальной скорости тягового двигателя.

Для следующих параметров объекта управления с учетом работы [1]: $m_a = 1000\text{кг}$ – полная масса транспортного средства; $r_0 = 0,27\text{м}$ – эффективный радиус колеса; $U_m = 25\text{ м/с}$ (90 км/ч) – максимальная скорость; $\eta_T = 0,9$ – к.п.д. трансмиссии [15]; $f_0 = 0,0255$ – коэффициент сопротивления движению при малой скорости [15]; $A_b = 2\text{ м}^2$ – площадь лобового сопротивления для малого класса [15]; $K_b = 0.3$ коэффициент сопротивления воздуха [15]; $n = 8$ – число секций аккумуляторной батареи; $\Psi = f_0$ – коэффициент сопротивления дороги [15], в данном случае без подъемов.

Составлена математическая модель в среде Matlab [2]. На рис. 5 показаны осциллограммы тока якоря, тока возбуждения, угловой частоты и ускорения выходного вала (сверху в низ соответственно) при разгоне до 7 с и замедлении. Как видно из осциллограмм, разработанный контроллер с ПИ-регулятором обеспечивает необходимое качество управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришкевич А.И. Автомобили. Теория, Минск.1986. 198 с.
2. Гулятьев А. Визуальное моделирование в среде MATLAB. Изд. дом Питер. 2000 г.
3. Павлов В.Б., Скиданов В.М. Украинский электромобиль. // Машинобудування України. 1995, №3, с. 17-19.
4. Павлов В.Б., Скиданов В.М., Рычков В.А. Электромобиль. Технический и эксплуатационный аспекты. // Промышленный транспорт. 1987, №10 с. 11-12.
5. Павлов В.Б., Скиданов В.М., Юрченко О.М. Спосіб двозонного управління перетворювачами у транспортних електроприводах з позитивним зворотнім зв'язком по швидкості. // Технічна електродинаміка. 1988 №6, с. 34-38.
6. Шидловский А.К., Павлов В.Б., Скиданов В.М., Юрченко О.Н. Украинский электромобиль - опыт создания и эксплуатации (состояние и перспективы) // Труды 3-й Междунар. научно-техн. конф. "Неграниц. Электромех. и электрич. системы" (3-rd ISTC - UEES'97). – Алушта (Украина). – т. 1. – С Л 33-138.
7. Ципки Я.З. Теория линейных импульсных систем. М. 1963. с. 968.
8. Будников В.Н. Разработка алгоритма цифрового регулятора тока и скорости тягового двигателя с аperiodическим переходным процессом. Технічна електродинаміка. №2, 2001, с. 42.

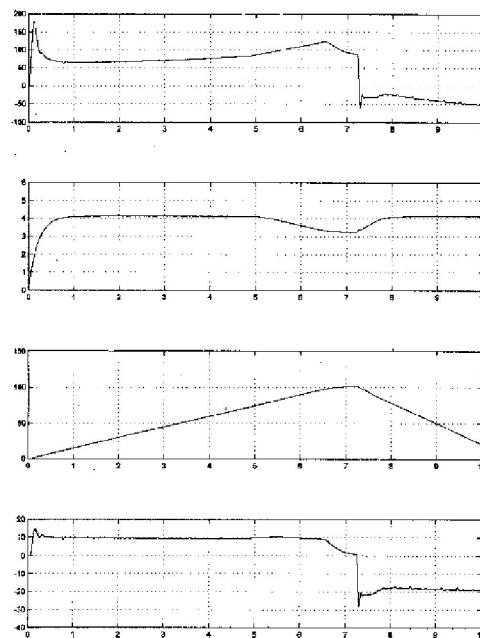


Рис. 5 Осциллограммы переходного процесса системы с разработанным контроллером