

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННОГО ПОДВИЖНОГО МОДУЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

Д.В. Нефедов, Д.Ю. Фадеев

**г. Челябинск, Высшее военное автомобильное
командно-инженерное училище**

MOTION CONTROL SYSTEM OF A ROBOT MOBILE MODULE WITH THE USE CAPACITIVE ENERGY STORAGE

D.V. Nefyodov, D.Y. Fadeev

Chelyabinsk, Chelyabinsk Higher Military Command School

Предложена схема автоматической системы управления тяговым двигателем роботизированного подвижного модуля при использовании емкостного накопителя энергии. Приведен пример математического моделирования работы тягового двигателя с предлагаемой системой на различных режимах движения роботизированного подвижного модуля.

Ключевые слова: система управления, емкостный накопитель, тяговый двигатель.

An automatic control system of a traction motor of a robot mobile module using the capacitive energy storage is offered in the article. An example of mathematical simulation of operation of a traction motor with the offered system at various movement modes of the robot mobile module is given.

Keywords: control system, capacitive energy storage, traction motor.

Эффективность применения емкостного накопителя в силовой цепи с тягового двигателя (ТД) определяется схемой коммутации электрических машин, структурой, параметрами и алгоритмом функционирования системы управления. На основе проведенных исследований разработаны технические предложения по организации автоматической системы управления движением роботизированного подвижного модуля (РПМ) с использованием емкостных накопителей [1, 2].

Комплексная функциональная схема системы управления движением РПМ представлена на рисунке.

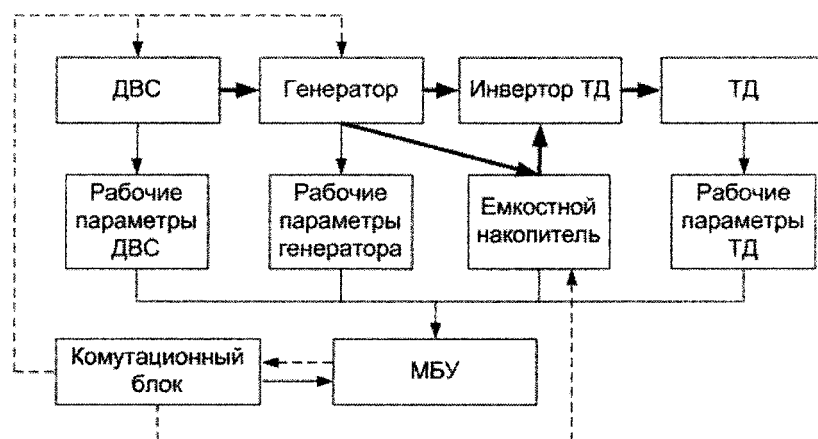
Данная схема характеризует взаимодействие элементов системы управления как с аккумулятором, так и с бензоэлектрическим агрегатом при использовании емкостного накопителя.

Особенность предлагаемой схемы заключается в установке блока коммутации, предназначенного для переключения емкостного накопителя энергии на заряд или разряд по команде микропроцессорного блока управления (МБУ) в зависимости от режима работы электропривода и изменения направления и величины напряжения и тока на тяговом двигателе.

Автоматическая система управления РПМ, содержащая микропроцессорный блок управления, блок коммутации, датчики и аппаратуру, информирующую о состоянии и режимах работы систем, агрегатов модуля, исполнительные элементы, обеспечивает запуск двигателя внутреннего сгорания (ДВС), разгон, движение с постоянной скоростью (режим стабилизации скорости), повороты и торможение машины.

Блок коммутации в совокупности с микропроцессорным блоком управления осуществляет подключение накопителя: на разряд при провалах напряжения на ТД, а также при разгонах машины в качестве дополнительного запаса энергии; на заряд от генератора при торможении тягового двигателя в режиме рекуперации.

После запуска двигателя в зависимости от степени заряженности емкостной накопитель энергии по команде микропроцессорного блока управления может быть подключен на заряд, осуществляемый с помощью зарядного устройства. По мере заряда емкостной накопитель энергии отключается от зарядного устройства блоком коммутации по команде микропроцессорного блока. Состояние емкостного накопителя определяется в



Принципиальная схема системы управления движением РПМ:

→ Силосовая цепь, ---→ цепь управления, —→ информационная цепь

результате обработки сигналов датчиков, поступающих в микропроцессорный блок управления.

При разгоне, увеличении нагрузки, работе ТД на режимах максимальной мощности, поворотах в тяжелых условиях местности автоматическая система управления по мере необходимости параллельно с генератором осуществляет подключение к ТД емкостного накопителя, используя его в качестве дополнительного источника энергии. Это позволит повысить крутящий момент на ведущих колесах модуля и снизить ток нагрузки I_r генератора, обеспечивая улучшение тягово-динамических свойств РПМ,

$$I_{эд} = I_r + I_{ен}, \quad (1)$$

где $I_{эд}$ – ток нагрузки ТД;

$I_{ен}$ – ток емкостного накопителя.

При этом подводимая к ТД мощность равна сумме мощностей, разводимых генератором P_r и емкостным накопителем $P_{ен}$,

$$P_{эд} = P_r + P_{ен}. \quad (2)$$

В процессе торможения модуля электродинамическим способом энергия, вырабатываемая ТД, при переходе в генераторный режим, запасается емкостными накопителями с целью дальнейшего ее использования.

В качестве примера рассмотрим прямолинейное движение модуля, описываемое уравнением [1, 2]

$$m \frac{dv}{dt} = F_T - F_c, \quad (3)$$

где m – масса модуля;

$\frac{dv}{dt}$ – ускорение движения модуля;

$$F_T = \frac{M_{вк}}{r_{вк}} = \frac{M_{эд} i_{ред} \eta_{ред}}{r_{вк}} \text{ – сила тяги, обеспе-}$$

чивающая движение модуля,

$M_{вк}$ – момент на ведущем колесе;

$r_{вк}$ – радиус ведущего колеса;

$M_{эд}$ – момент на валу тягового электродвигателя;

$i_{ред}$ – передаточное число редуктора;

$\eta_{ред}$ – КПД редуктора;

$F_c = f_c G_m$ – сила сопротивления движению, здесь G_m – вес модуля;

f_c – суммарный коэффициент сопротивления движению.

Решив уравнение (3) относительно момента $M_{эд}$, получим

$$M_{эд} = \frac{r_{вк}}{i_{ред} \eta_{ред}} \left(m \frac{dv}{dt} + f_c G_m \right). \quad (4)$$

Момент на валу ТД также может быть описан выражением [1]

$$M_{эд} = c_m \Phi I_{эд}, \quad (5)$$

где c_m – коэффициент пропорциональности, постоянный для данной электрической машины;

Φ – магнитный поток электродвигателя.

С учетом уравнений (4) и (5) запишем выражение для тока нагрузки $I_{эд}$, необходимого для реализации требуемого режима движения РПМ в заданных внешних условиях:

$$I_{эд} = \frac{r_{вк}}{i_{ред} \eta_{ред} c_m \Phi} \left(m \frac{dv}{dt} + f_c G_m \right). \quad (6)$$

Требования к емкости накопителя определяются объемом энергии, вырабатываемой ТД в процессе торможения и используемой в дальнейшем для реализации высоких тягово-динамических свойств РПМ и минимизации мощности генератора либо аккумулятора. Вследствие этого при разработке систем управления с емкостным накопителем энергии необходимо обосновать емкость накопителя $C_{ен}$, обеспечивающего, с одной стороны, возможность его заряда за счет энергии, вырабатываемой при рекуперации, а с другой – сохранение требуемых тягово-динамических свойств модуля при использовании генератора пониженной мощности.

Соотношение мощности генератора и емкости накопителя, обеспечивающее требуемый уровень тягово-динамических свойств РПМ в заданных

внешних условиях движения для случая $\frac{dv}{dt} > 0$ определяется выражением (2) или с учетом формул, изложенных в модели [2]:

$$P_r = \frac{r_{вк} U_{эд}}{i_{ред} \eta_{ред} c_m \Phi} \left(m \frac{dv}{dt} + f_c G_m \right) - \frac{U^2}{(R_{ц} + R_{ен})} e^{-\frac{2t_p}{C_{ен}(R_{ц} + R_{ен})}}, \quad (7)$$

где $U_{эд}$ – напряжение на выводах ТД в генераторном режиме;

U – конечное напряжение на выводах накопителя;

$R_{ц}$ – эквивалентное сопротивление цепи тягового электродвигателя;

$R_{ен}$ – сопротивление емкостного накопителя;

t_p – время разгона модуля.

На режимах торможения при $\frac{dv}{dt} < 0$ емкостный накопитель энергии подключается к сети, обеспечивая использование энергии рекуперации, вырабатываемой электроприводами при торможении модуля, за счет ее аккумуляции. При этом с учетом формул, приведенных в [2], выражение (2) принимает вид

$$P_r = \frac{U^2}{(R_{ц} + R_{ен})} e^{-\frac{t_T}{C_{ен}(R_{ц} + R_{ен})}} \left(1 - e^{-\frac{t_T}{C_{ен}(R_{ц} + R_{ен})}} \right) - \left(\frac{C_E \Phi v i_{ред}}{2\pi r_{вк}} - U_d \right) \frac{U_d}{R_a}, \quad (8)$$

где t_T – время торможения модуля;

C_E – коэффициент пропорциональности, постоянный для данной электрической машины.

В случае равномерного движения, когда $\frac{dv}{dt} = 0$, и работе генератора с ТД на частичных

характеристиках (при движении РПМ с неполной нагрузкой на генератор) питание электроприводов и заряд накопителей осуществляются от генератора:

$$P_r = \frac{r_{вк} U_{эд}}{i_{ред} \eta_{ред} c_m \Phi} f_c G_m + \frac{U^2}{(R_{ц} + R_{ен})} e^{-\frac{t_3}{C_{ен}(R_{ц} + R_{ен})}} \left(1 - e^{-\frac{t_3}{C_{ен}(R_{ц} + R_{ен})}} \right), \quad (9)$$

где t_3 – время заряда накопителя.

Таким образом, можно сделать вывод, что предложенная схема системы управления движением РПМ, в основу которой положено использование емкостного накопителя энергии, позволяет:

– повысить эффективность использования электрической энергии затрачиваемой для движения РПМ, за счет рекуперации;

– улучшить динамические свойства РПМ за счет совершенствования системы управления ТД.

Кроме того, математическая модель предлагаемой системы управления тяговым двигателем с емкостным накопителем энергии позволяет получить характеристики изменения направления и величины напряжения и тока на тяговом двигателе роботизированного подвижного модуля и может быть использована для оценки параметров эффективности РПМ как объекта управления.

Литература

1. Микропроцессоры: учебник. В 3 т. / под ред. П.В. Нестерова. – М.: Высшая школа, 1986. – Т. 1. – 338 с.
2. Нефедов, Д.В. Роботизированные средства подвижности вооружения, эффективность функционирования / Д.В. Нефедов. – Челябинск: Изд-во ЧВВАКИУ, 2009. – 215 с.

Поступила в редакцию 2.09.2010 г.

Нефедов Дмитрий Владимирович. Начальник кафедры «Двигатели автомобильной техники», Челябинское высшее военное автомобильное командно-инженерное училище. Область научных интересов – автоматизация двигателестроения, системы управления.

Nefyodov Dmitry. Head of the Engines of Automotive Engineering Department of the Chelyabinsk Higher Military Automobile Command-Engineering School. Research interests: automation of engine-building, control systems.

Фадеев Дмитрий Юрьевич. Адъюнкт кафедры «Двигатели автомобильной техники», Челябинское высшее военное автомобильное командно-инженерное училище. Область научных интересов – автоматизация двигателестроения, системы управления.

Fadeev Dmitry. A student of the Engines of Automotive Engineering Department of the Chelyabinsk Higher Military Automobile Command-Engineering School. Research interests: automation of engine-building, control systems.