

УДК 62-83

Е.А. Смотров, канд. техн. наук,

В.Г. Герасимьяк

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ МОТОР – КОЛЕС ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

**Аннотация.** Рассматривается взаимосвязь мотор - колес электротранспортного средства и особенности при их использовании. Предлагается модель, позволяющая исследовать динамику транспортного средства при отказе одного из приводов.

**Ключевые слова:** электротранспортное средство, мотор – колесо, взаимосвязь.

Е.А. Smotrov, Ph.D.,

V.G. Gerasymiak

### MODELLING OF INTERCONNECTED ELECTRIC IN – WHEEL MOTORS OF THE ELECTRIC VEHICLES

**Abstract.** This paper examines the relationship in-wheel motors, and especially when using them. The model that allows to investigate the dynamics of the vehicle is presented if one of the drives is out.

**Keywords:** Electric Vehicle, in0wheel motor, relationship.

Е.О. Смотров, канд. техн. наук,

В.Г. Герасимьяк

### МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОЗАЛЕЖНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ МОТОР – КОЛІС ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБА

**Анотація.** Розглядається взаємозв'язок мотор-коліс електротранспортного засоба й особливості при їх використанні. Запропоновано модель, що дозволяє досліджувати динаміку електротранспортного засобу при відмові одного з приводів.

**Ключові слова:** електротранспортний засіб, мотор – колесо, взаємодія.

Рассматриваемое электротранспортное средство (ЭТС) представлено в виде электромобиля с четырьмя мотор-колесами (МК). Для управления приводами этих четырёх мотор-колёс как комплексной системой применяется Система Управления Верхнего Уровня (СУВУ). Она служит для формирования сигналов задания скоростей и моментов на все МК в соответствии с ситуацией на дороге – необходимость поворота, торможения, пробуксовка, занос на повороте, т.е. может выполнять функции одновременно механического дифференциала, антиблокировочной (ABS) и антипробуксовочной систем (ESP).

В статье [1] описана работа СУВУ при повороте ЭТС. В дальнейшем планируется реализовать функции ABS и ESP, но для этого необходимо понимать основополагающие принципы связи между колесами ЭТС через общую нагрузку и учитывать связь колес с общей инерционной массой всей ЭТС.

Предположим, исходя из компоновки ЭТС, что нагрузка между передней и задней осями распределены в соотношении один к одному.

Тогда нагрузки на все четыре колеса при прямолинейном движении будут одинаковы

© Смотров Е.А., Герасимьяк В.Г., 2011

$$M_{ci} = \frac{M_{c\Sigma}}{4}, \quad (1)$$

где  $i$  – номер колеса (1,2,3,4);  $M_{ci}$  – нагрузка на  $i$ -е МК,  $M_{c\Sigma}$  – суммарный момент нагрузки на все МК.

Примем, что  $M_{c\Sigma}$  во время движения не изменяется, а аэродинамические потери отнесем к постоянным. Тогда  $M_{c\Sigma}$  можно считать по формуле

$$M_{c\Sigma} = (m \cdot g \cdot \mu) \cdot R_k + M_w, \quad (2)$$

где  $m$  – масса ЭТС,  $g$  – ускорение свободного падения,  $\mu$  – коэффициент качения колеса,  $M_w$  – составляющая статического момента, характеризующая аэродинамическое сопротивление,  $R_k$  – радиус колеса.

Приведенные моменты инерции ЭТС на каждое МК  $J_i$  также равны, исходя из равенства нагрузок на колеса,

$$J_i = J_{mki} + \frac{m_{\text{эмс}} \cdot R_k^2}{4}, \quad (3)$$

где  $J_{mki}$  – момент инерции отдельного МК,

$m_{\text{эмс}}$  – масса ЭТС.

Основное условие, на которое необходимо ориентироваться при моделировании взаимосвязанных через дорожное полотно МК, это одинаковые скорости всех МК при прямолинейном движении и одинаковых до-

рожных условиях для этих МК. Если предположить, что во время разгона ЭТС на одном из МК сработала система защиты и отключила привод, тогда это МК продолжает вращаться со скоростью остальных мотор-колес, но не участвует в разгоне.

Когда одно из колес становится ведомым и перестает участвовать в разгоне ЭТС, нагрузка на оставшиеся ведущие колеса увеличится, как и приведенный момент инерции,

$$M_{cni} = \frac{M_{c\Sigma}}{3} \quad (4)$$

$$J_{ni} = \frac{J_1 + J_2 + J_3 + J_4}{3}, \quad (5)$$

где  $J_1, J_2, J_3, J_4$  – приведенные суммарные моменты инерции МК;  $J_{ni}$  – перераспределенные моменты инерции на ведущие МК. На рис.1. представлена упрощенная модель системы. Блоки «Распределение  $M_c$ » и «Распределение  $J$ » состоят из подсистем, рассчитывающих по формулам (1-5) нагрузки и моменты инерции на все колеса, используя поступающие сигналы от блока «Масса ЭТС» и сигналов токов МК. Блок «Задание скорости» преобразует угол наклона педали газа в сигнал задания скорости. Блоки «Привод МК» (1-4) состоят из модели привода с системой подчиненного регулирования скорости и тока двигателя, где на входе сигнал задания скорости, а на выходе – динамический момент и ток соответствующего МК. На блоки «Привод МК»(1-4) поступают также сигнал обратной связи по скорости ЭТС,

сигналы моментов сопротивления ( $M_c$ ) и моментов инерции ( $J$ ). Блок «Расчет скорости ЭТС» рассчитывает скорость, исходя из поступающих динамических моментов всех МК и общего приведенного момента инерции, по формуле

$$w_{эмс} = \int \frac{M_{din1} + M_{din2} + M_{din3} + M_{din4}}{J_{\Sigma}} dt, \quad (6)$$

где  $M_{din i}$  – динамический момент  $i$ -го МК,  $J_{\Sigma}$  – приведенный момент инерции ЭТС

Алгоритм распределения  $M_c$  и  $J$  состоит в том, что модель определяет по данным с блоков «Привод МК» (1-4), что ток одного из приводов стал равен 0, и тогда происходит операция перераспределения моментов нагрузки и моментов инерции по формулам (4) и (5). На рис.2. представлена осциллограмма скорости ЭТС при разгоне. В момент времени  $t=5c$  из-за аварийной ситуации одно из МК отключилось, вследствие чего ускорение ЭТС уменьшается. Суммарный момент, вырабатываемый для движения ЭТС, уменьшается на  $1/4$ , а суммарный момент сопротивления и суммарный момент инерции не изменяются, что и приводит к уменьшению ускорения ЭТС и увеличению времени разгона. Ток МК, на котором сработала защита, становится равным 0. Стоит также отметить, что отказ одного из приводов может привести к потере управления – ЭТС может начать отклоняться от прямолинейного курса. Но если скорость не будет большой

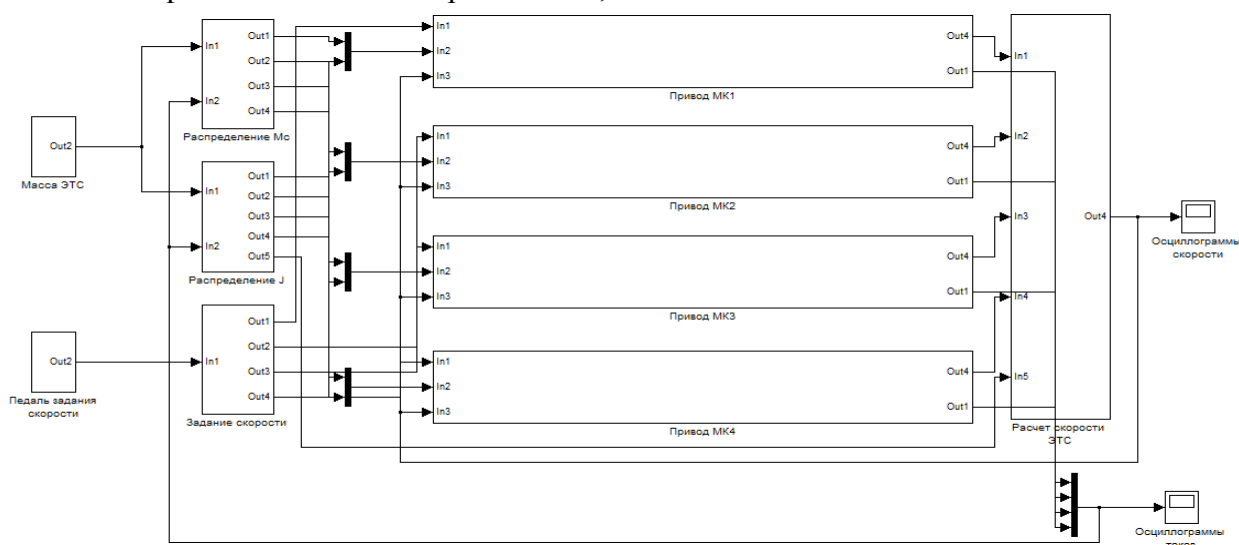


Рис.1. Модель взаимосвязанных МК ЭТС

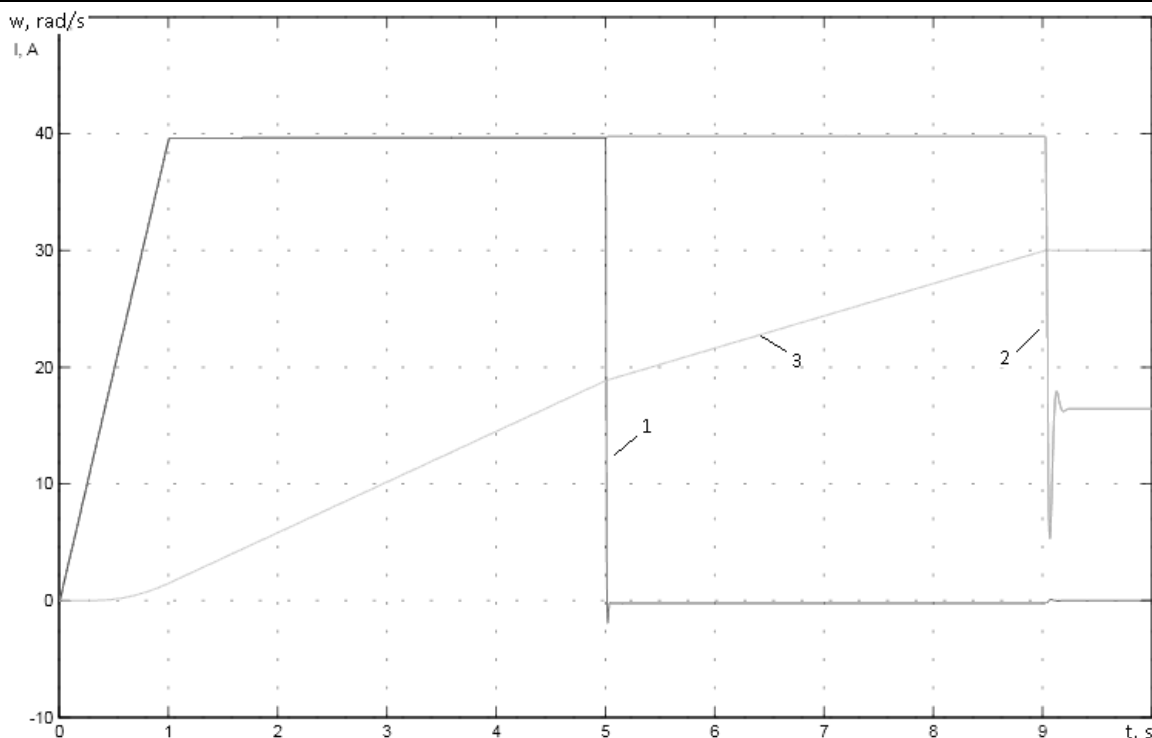


Рис.2. Осциллограмма значений скоростей и токов во время разгона разных МК  
1 – ток МК, которое отключилось, 2 – ток остальных МК, 3 – угловые скорости всех МК

(не выше 30 км/ч), то отказ одного из приводов не будет оказывать существенного влияния на траекторию движения, в особенности при прямолинейном движении. Таким образом, предложен способ определения скорости электро-транспортного средства по динамическим моментам всех мотор-колес. С помощью предложенной модели можно оценить динамику электротранспортного средства при отказе одного из приводов мотор-колес по техническим причинам. Исходя из осциллограммы скорости ЭТС (рис.2), можно судить о том, насколько уменьшилось ускорение ЭТС при переходе одного МК в режим ведомого.

#### Список использованной литературы

1. Вершинин Д.В. Некоторые особенности построения системы управления многодвигательного электротранспортного средства / Д.В. Вершинин, В.А. Войтенко Е.А.Смотров // *Электромашинобуд. та електрообладн.* – № 75. – 2010. – С.12-21.
2. Дугин Г.С. Автомобильный справочник фирмы Bosch / Г.С.Дугин, Е.И.Комаров, Ю.В. Онуфрийчук. – М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2004. – 992 с.

Получено 20.10.2011

#### References

1. Vershinin D.V., Voitenko V.A., Smotrov E.A. Some features of the building control system set-godvigatel'nogo vehicles / *Elektromashinobud that elektroobladn.* – № 75. – 2010. – P.12–21 [in Russian].
2. Dugin, GS Car Guide Company Bosch / G.Dugin, V.EKomarov, Y.Onufriyчук. – Moscow: ZAO ECC "For pylemma", 2004. –992 p. [in Russian].



Смотров Евгений Александрович, канд. техн. наук, ведущий инженер НТЦ «Станко-серт», тел. 048-728-85-05



Герасимьяк Валдис Георгиевич, магистр Одесск.нац. политехн.ун-та, каф. ЭМС КУ, т.050-3928084