

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛА, СООТВЕТСТВУЮЩЕГО  
ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММЕ ДЛЯ МАЛЫХ  
ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА  
ПОСТОЯННОГО ТОКА С ЗАВИСЯЩИМ ОТ СКОРОСТИ МОМЕНТОМ  
СОПРОТИВЛЕНИЯ**

**Ю.П. ДОБРОБАБА, Г.А. КОШКИН, Н.Я. ПРОХОРЕНКО**

*Кубанский государственный технологический университет,  
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;  
электронная почта: nicita\_ximik@mail.ru*

Статья посвящена разработке устройства для формирования сигнала, соответствующего оптимальной по быстродействию диаграмме для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления при ограничениях максимального и минимального значений напряжения. Приведена математическая модель силовой части электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления. Представлена структурная схема устройства, содержащего блоки генераторов ступенчатого сигнала, интеграторы, блоки пропорциональные и алгебраические сумматоры. Рассмотрен принцип работы устройства для формирования сигнала, соответствующего оптимальной по быстродействию диаграмме для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления.

**Ключевые слова:** электропривод; малые перемещения; диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода, генератор ступенчатого сигнала, алгебраические сумматоры.

Математическая модель электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления описывается уравнениями [1]:

$$\left. \begin{aligned} U(t) &= C_e \cdot \omega(t) + R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}(t) + L_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}^{(1)}(t); \\ C_m \cdot I_{\text{я}}(t) &= M_{\text{co}} + K_c \cdot \omega(t) + J \cdot \omega^{(1)}(t); \\ \varphi^{(1)}(t) &= \omega(t), \end{aligned} \right\}$$

где  $U$ —напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, В;

$\omega$ —угловая скорость исполнительного органа электродвигателя,  $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$ ;

$I_{\text{я}}$ —ток якорной цепи электродвигателя, А;

$M_{\text{co}}$ —постоянный по величине момент сопротивления электропривода,

Н·м;

$\varphi$ —угол поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$C_e$  – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью и ЭДС электродвигателя,  $\frac{В \cdot с}{рад}$ ;

$R_{я}$  – сопротивление якорной цепи электродвигателя, Ом;

$L_{я}$  – индуктивность якорной цепи электродвигателя, Гн;

$C_m$  – коэффициент пропорциональности между током и моментом электродвигателя, В · с;

$K_c$  – коэффициент,  $\frac{Н \cdot м \cdot с}{рад}$ ;

$J$  – момент инерции исполнительного органа электропривода,  $кг \cdot м^2$ .

В настоящее время разработаны три оптимальные по быстродействию диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода с зависящим от скорости моментом сопротивления [1÷4].

Оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления состоит из трёх этапов.

На первом и третьем этапах напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, равно максимально допустимому значению  $U_{доп}$ ; на втором этапе напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, равно максимальному значению со знаком «минус»  $-U_{доп}$ . Длительность первого этапа равна  $t_1$ ; длительность второго этапа равна  $t_2$ ; длительность третьего этапа равна  $t_3$ . На первом этапе ток якорной цепи электропривода увеличивается от начального значения  $I_{нач}$  до максимального значения  $I_{max}$ ; на втором этапе ток якорной цепи электропривода уменьшается от максимального значения  $I_{max}$  до минимального значения  $I_{min}$ ; на третьем этапе ток якорной цепи электропривода увеличивается от минимального значения  $I_{min}$  до конечного значения  $I_{кон}$ . При этом начальное и конечное значения равны  $I_{нач} = I_{кон}$ . На первом этапе угол поворота исполнительного органа электропривода увеличивается от начального значения  $\varphi_{нач}$  до значения  $\varphi_1$ ; на

втором этапе угол поворота исполнительного органа электропривода увеличивается от значения  $\varphi_1$  до значения  $\varphi_2$ ; на третьем этапе угол поворота исполнительного органа электропривода увеличивается от значения  $\varphi_2$  до конечного значения  $\varphi_{\text{кон}}$ . На первом этапе первая производная угла поворота исполнительного органа электропривода увеличивается от нулевого значения до значения  $\varphi_1^{(1)}$ ; на втором этапе первая производная угла поворота исполнительного органа электропривода сначала увеличивается от значения  $\varphi_1^{(1)}$  до максимального значения  $\varphi_{\text{max}}^{(1)}$ , а затем уменьшается от максимального значения  $\varphi_{\text{max}}^{(1)}$  до значения  $\varphi_2^{(1)}$ ; на третьем этапе первая производная угла поворота исполнительного органа электропривода уменьшается от  $\varphi_2^{(1)}$  до нулевого значения. На первом этапе вторая производная угла поворота исполнительного органа электропривода  $\varphi^{(2)}$  увеличивается от нулевого значения до максимального значения  $\varphi_{\text{max}}^{(2)}$ ; на втором этапе вторая производная угла поворота  $\varphi^{(2)}$  исполнительного органа электропривода уменьшается от максимального значения  $\varphi_{\text{max}}^{(2)}$  до минимального значения  $\varphi_{\text{min}}^{(2)}$ ; на третьем этапе вторая производная угла поворота исполнительного органа электропривода  $\varphi^{(2)}$  увеличивается от минимального значения  $\varphi_{\text{min}}^{(2)}$  до нулевого значения. На первом этапе третья производная угла поворота исполнительного органа электропривода  $\varphi^{(3)}$  в начале увеличивается скачком от нулевого значения до первого максимального значения  $\varphi_{\text{max1}}^{(3)}$ , а затем уменьшается до первого минимального значения  $\varphi_{\text{min1}}^{(3)}$ , на втором этапе третья производная угла поворота исполнительного органа электропривода  $\varphi^{(3)}$  в начале уменьшается скачком от первого минимального значения  $\varphi_{\text{min1}}^{(3)}$  до второго минимального значения  $\varphi_{\text{min2}}^{(3)}$ ; а затем увеличивается до второго максимального значения  $\varphi_{\text{max2}}^{(3)}$ ; на третьем этапе третья производная угла поворота исполнительного

органа электропривода  $\varphi^{(3)}$  увеличивается скачком от второго максимального значения  $\varphi_{max2}^{(3)}$  до третьего максимального значения  $\varphi_{max3}^{(3)}$ , а затем уменьшается до третьего минимального значения  $\varphi_{min3}^{(3)}$ .

В статье [1] разработано оптимальное по быстродействию управление малыми перемещениями исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления. В статье [2] определены параметры оптимальной по быстродействию первого вида диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления (характеристическое уравнение системы имеет два отрицательных неравных по величине корня и один нулевой корень). В статье [3] определены параметры оптимальной по быстродействию второго вида диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления (характеристическое уравнение системы имеет два отрицательных равных по величине корня и один нулевой корень). В статье [4] определены параметры оптимальной по быстродействию третьего вида диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления (характеристическое уравнение системы имеет пару комплексных корней с отрицательной действительной частью и один нулевой корень).

На рисунке 1 представлена структурная схема устройства для формирования сигналов, соответствующих трем видам оптимальных по быстродействию диаграммам для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления при ограничениях максимального и минимального значений напряжения.

Так как система третьего порядка, то перемещение исполнительного органа электропривода осуществляется за три этапа, поэтому необходима

реализация четырех переключений напряжения, приложенного к якорной цепи электродвигателя. Для этого используются четыре блока генераторов ступенчатого сигнала step1–step4 и три блока алгебраического суммирования.

На выходе третьего блока алгебраического суммирования сигнал соответствует зависимости напряжения, приложенного к якорной цепи электродвигателя  $U$  от времени  $t$ . На четвертый алгебраический сумматор поступают: сигнал с выхода первого блока пропорциональности БП1, соответствующий  $C_e \cdot \varphi^{(1)}(t)$ ; сигнал с выхода второго блока пропорциональности БП2, соответствующий  $R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}(t)$ . На пятый алгебраический сумматор поступают: сигнал с выхода третьего алгебраического сумматора, соответствующий  $U(t)$ ; со знаком «минус» сигнал с выхода четвертого алгебраического сумматора, соответствующий  $[C_e \cdot \varphi^{(1)}(t) + R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}(t)]$ . Сигнал с выхода пятого алгебраического сумматора соответствует  $[U(t) - C_e \cdot \varphi^{(1)}(t) - R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}(t)] = L_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}^{(1)}(t)$ . На выходе четвертого блока пропорциональности БП4 сигнал соответствует  $I_{\text{я}}^{(1)}(t)$ . На выходе первого блока интегрального БИ1 сигнал соответствует  $I_{\text{я}^*}(t)$ . На шестой алгебраический сумматор поступают: сигнал с выхода шестого блока пропорциональности БП6, соответствующий  $\frac{M_{\text{co}}}{C_{\text{м}}}$ ; сигнал с первого блока интегрального БИ1, соответствующий  $I_{\text{я}^*}(t)$ . На выходе шестого блока алгебраического суммирования сигнал соответствует  $[\frac{M_{\text{co}}}{C_{\text{м}}} + I_{\text{я}^*}(t)] = I_{\text{я}}(t)$ . На выходе пятого блока пропорциональности БП5 сигнал соответствует  $C_{\text{м}} \cdot I_{\text{я}}(t)$ . На седьмой алгебраический сумматор поступают: сигнал с выхода пятого блока пропорциональности БП5, соответствующий  $C_{\text{м}} \cdot I_{\text{я}}(t)$ ; со знаком «минус» сигнал с выхода третьего блока пропорциональности БП3, соответствующий  $K_c \cdot \varphi^{(1)}(t)$ ; со знаком «минус» сигнал, соответствующий моменту сопротивления электропривода  $M_{\text{co}}$ .

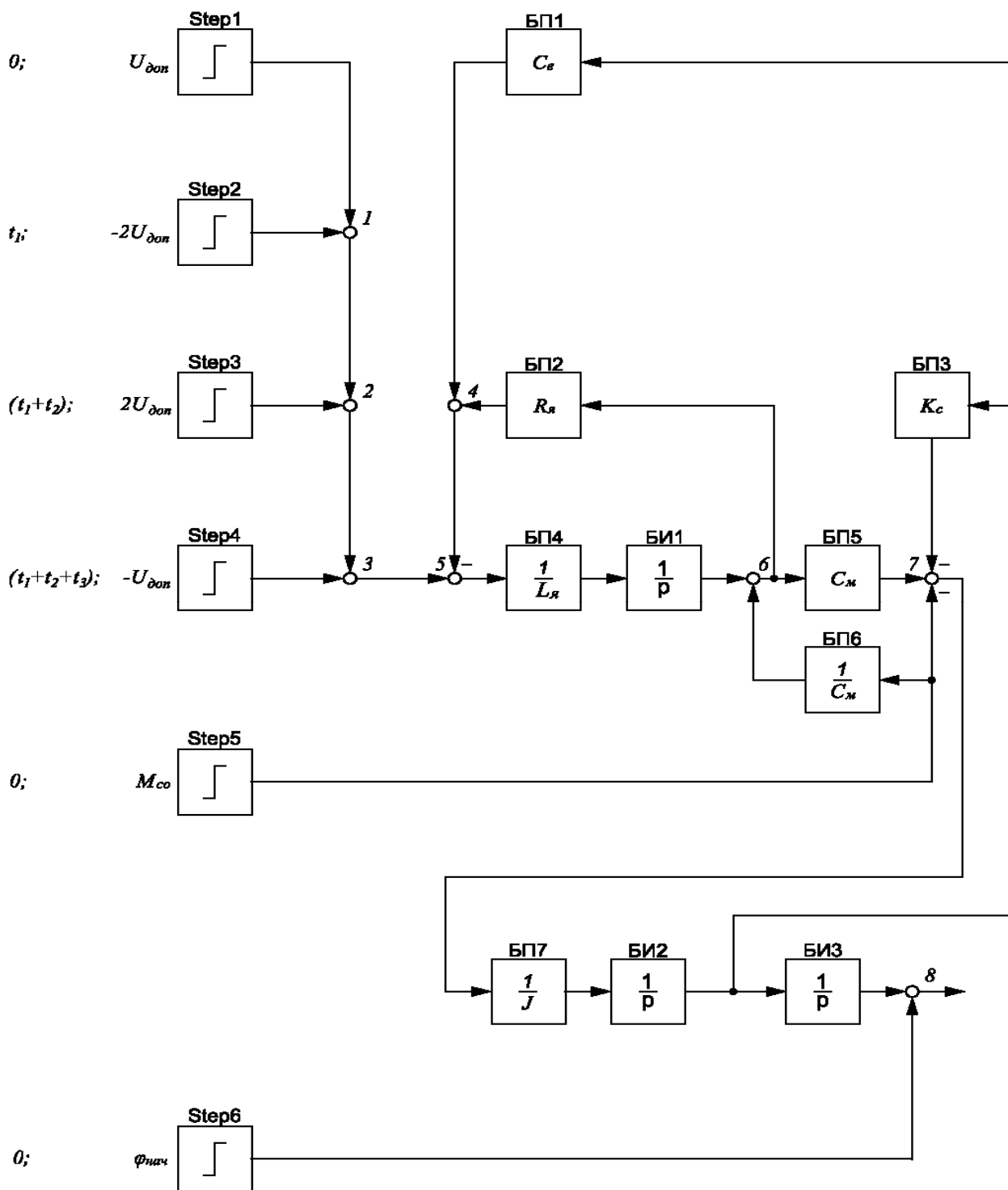


Рисунок 1 – Структурная схема устройства для формирования сигналов, соответствующих трем видам оптимальным по быстродействию диаграммам для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления

На выходе седьмого блока алгебраического суммирования сигнал соответствует  $[C_m \cdot I_y(t) - M_{co} - K_c \cdot \varphi^{(1)}(t)] = J \cdot \varphi^{(2)}(t)$ . На выходе седьмого блока пропорциональности БП7 сигнал соответствует

$$\frac{C_m \cdot I_y(t) - M_{co} - K_c \cdot \varphi^{(1)}(t)}{J} = \varphi^{(2)}(t).$$
 На выходе второго блока интегрального

БИ2 сигнал соответствует  $\varphi^{(1)}(t)$ . На выходе третьего блока интегрального БИ3 сигнал соответствует  $\varphi(t)$ . Пятый блок генератора ступенчатого сигнала step5 формирует сигнал соответствующий  $M_{co}$ . Шестой блок генератора ступенчатого сигнала step6 формирует сигнал соответствующий начальному значению угла поворота исполнительного органа электропривода  $\varphi_{нач}$ .

Выводы:

- разработано устройство, обеспечивающее формирование сигнала, соответствующего оптимальной по быстродействию диаграмме перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления при ограничениях максимального и минимального значений напряжения;

- реализация устройства позволит интенсифицировать процесс передвижения исполнительных органов промышленных механизмов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.П. Добробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко. Оптимальное по быстродействию управление малыми перемещениями исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления. Технические и технологические системы : Материалы восьмой международной научной конференции «ГТС-16» (24–26 ноября 2016 года) / ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова; под общей редакцией Б.Х. Гайтова. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2016. – 109-114 с. URL: [http://www.id-yug.com/images/id-yug/Book\\_id-yug/464-f.pdf](http://www.id-yug.com/images/id-yug/Book_id-yug/464-f.pdf).

2. Ю.П. Добробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко. Определение параметров оптимальной по быстродействию первого вида диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления. - Научные труды КубГТУ, 2016, №12. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1221>.

3. Ю.П. Добробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко. Определение параметров оптимальной по быстродействию второго вида диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления. - Научные труды КубГТУ, 2016, №13. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1265>

4. Ю.П. Добробаба, Г.А. Кошкин, Н.Я. Прохоренко. Определение параметров оптимальной по быстродействию третьего вида диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с зависящим от скорости моментом сопротивления. - Научные труды КубГТУ, 2016, №15. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1288>.

#### REFERENCES

1. YU.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, N.YA. Prokhorenko. Optimalnoe po bystrodeystviyu upravlenie malymi peremeshcheniyami ispolnitelnogo organa elektroprivoda postoyannogo toka s zavisyashchim ot skorosti momentom soprotivleniya. Technical and technological systems: Materials of the eighth international scientific TTS-16 conference (on November 24–26, 2016) / FGBOU VO «KUBGTU», KVVAUL of A.K. Serov; under the general editorial office B.H. Gaytova. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 109-114 p. URL: [http://www.id-yug.com/images/id-yug/Book\\_id-yug/464-f.pdf](http://www.id-yug.com/images/id-yug/Book_id-yug/464-f.pdf).

2. YU.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, N.YA. Prokhorenko. Opredelenie parametrov optimalnoj po bystrodejstviju pervogo vida diagrammy dlja malyh peremeshhenij ispolnitelnogo organa jelektroprivoda postojannogo toka s zavisjashhim ot skorosti momentom - Nauchnye trudy KubGTU, 2016, №12. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1221>.

3. YU.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, N.YA. Prokhorenko. Opredelenie parametrov optimalnoj po bystrodejstviju vtorogo vida diagrammy dlja malyh peremeshhenij ispolnitelnogo organa jelektroprivoda postojannogo toka s zavisjashhim ot skorosti momentom - Nauchnye trudy KubGTU, 2016, №13. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1265>.



4. YU.P. Dobrobaba, G.A. Koshkin, N.YA. Prokhorenko. Opredelenie parametrov optimalnoj po bystrodejstvu tretego vida diagrammy dlja malyh peremeshhenij ispolnitelnogo organa jelektroprivoda postojannogo toka s zavisjashhim ot skorosti momentom - Nauchnye trudy KubGTU, 2016, №13. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1288>.

*APPARATUS FOR FORMING A SIGNAL CORRESPONDING TO THE OPTIMAL FIGURE FOR SMALL MOVEMENTS OF THE EXECUTIVE BODY OF THE DC MOTOR WITH A SPEED-DEPENDENT RESISTIVE TORQUE*

**YU.P. DOBROBABA, G.A. KOSHKIN, N.YA. PROKHORENKO**

*Kuban State Technological University,  
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072;  
e-mail: nicita\_ximik@mail.ru*

The article is devoted to the development of a device for signal corresponding to the optimal figure for small movements of the Executive body of the DC motor with a speed-dependent resistive torque under the constraints of maximum and minimum voltage values. The mathematical model of the power of the DC electric drive with speed-dependent resistive torque. The block diagram of the device containing the blocks of the speed signal generators, integrators, blocks of proportional and algebraic adders. The principle of operation of the device for signal corresponding to the optimal figure for small movements of the Executive body of the DC motor with a speed-dependent resistive torque.

**Key words:** electric drive; small move; diagram of movement of electric drives Executive authority, generator speed signal, algebraic adders.