

*РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ, ФОРМИРУЮЩИХ ОПТИМАЛЬНЫЕ ПО
МИНИМУМУ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДИАГРАММЫ ДЛЯ
МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ*

А.Ю. ЛУЦЕНКО

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: arthlucenk@yandex.ru*

В статье рассмотрены устройства, формирующие оптимальные по минимуму потребляемой электроэнергии диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с постоянным моментом сопротивления.

Ключевые слова: электропривод, малые перемещения, постоянный моментом сопротивления

Во всех развитых странах энергосбережение является приоритетным направлением технической политики. Поскольку электроприводы потребляют около 70 % вырабатываемой электроэнергии, то наиболее существенная экономия достигается при использовании регулируемых электроприводов постоянного и переменного тока, обеспечивающих минимальное потребление электроэнергии при выполнении необходимых технологических процессов.

В настоящей статье рассмотрены устройства, формирующие оптимальные по минимуму потребляемой электроэнергии диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с постоянным моментом сопротивления [1]:

- без ограничения координат электропривода (рисунок 1);
- с ограничением максимального значения тока якорной цепи электродвигателя (рисунок 2);
- с ограничениями максимального и минимального значений тока якорной цепи электродвигателя (рисунок 3).

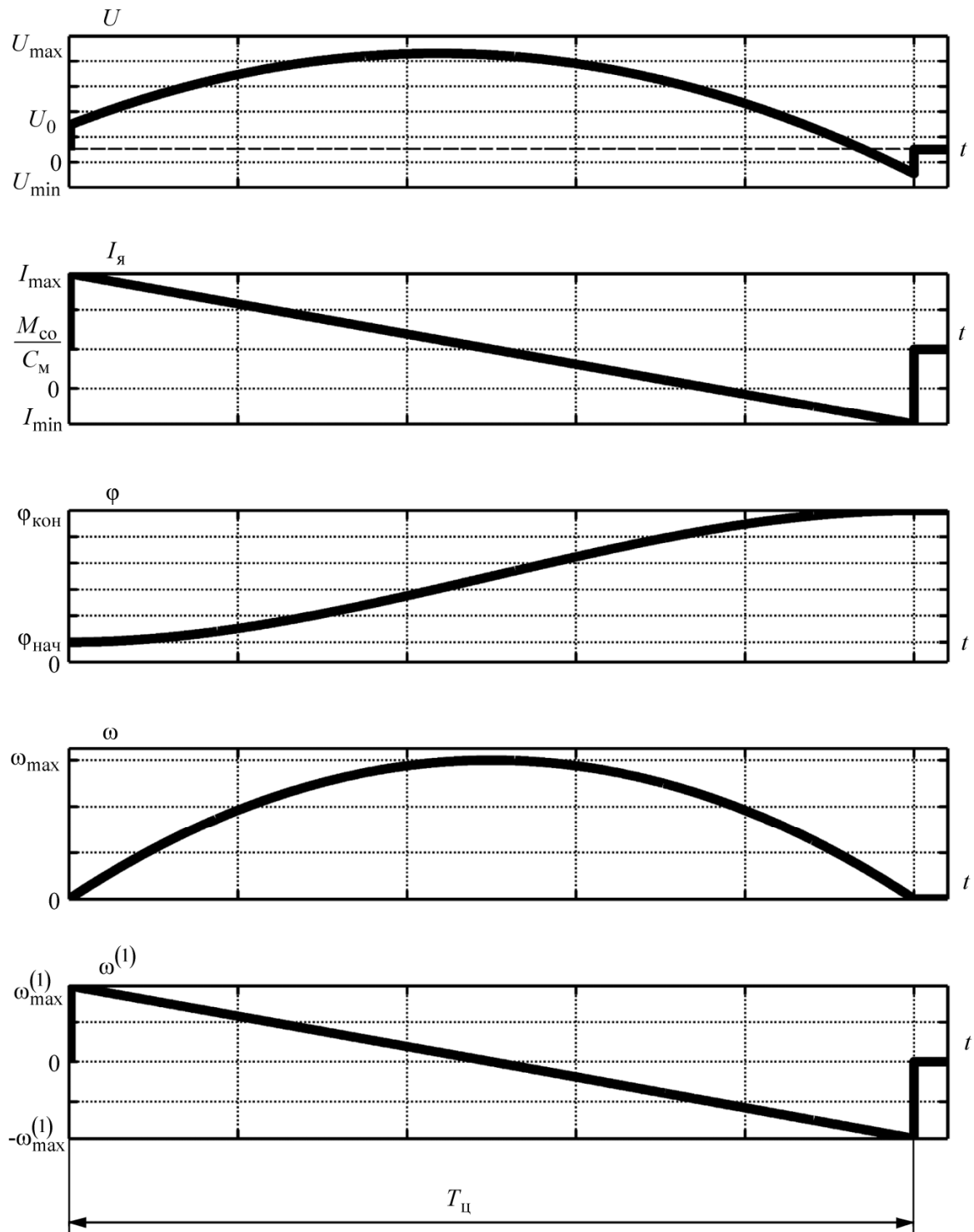


Рис. 1

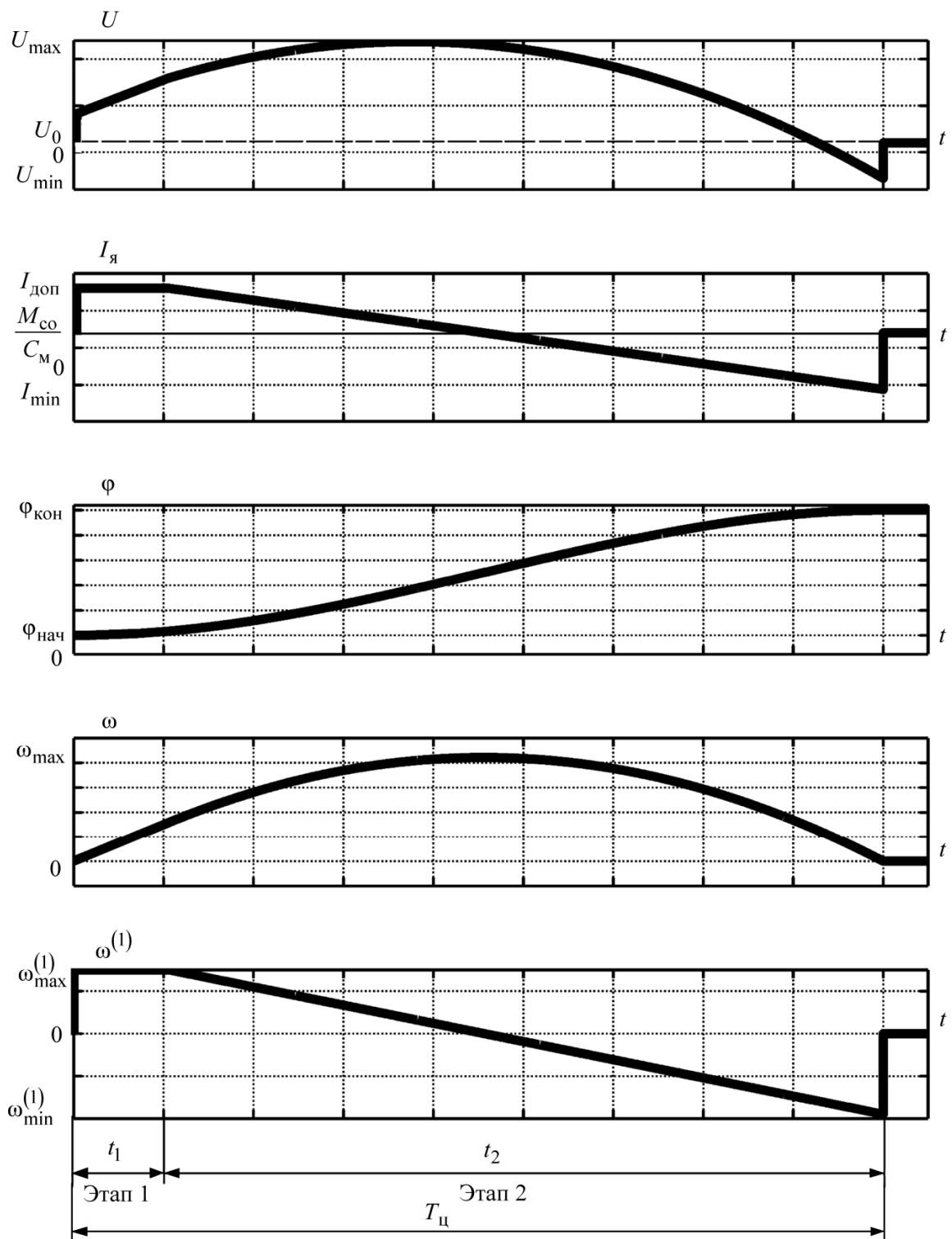


Рис. 2

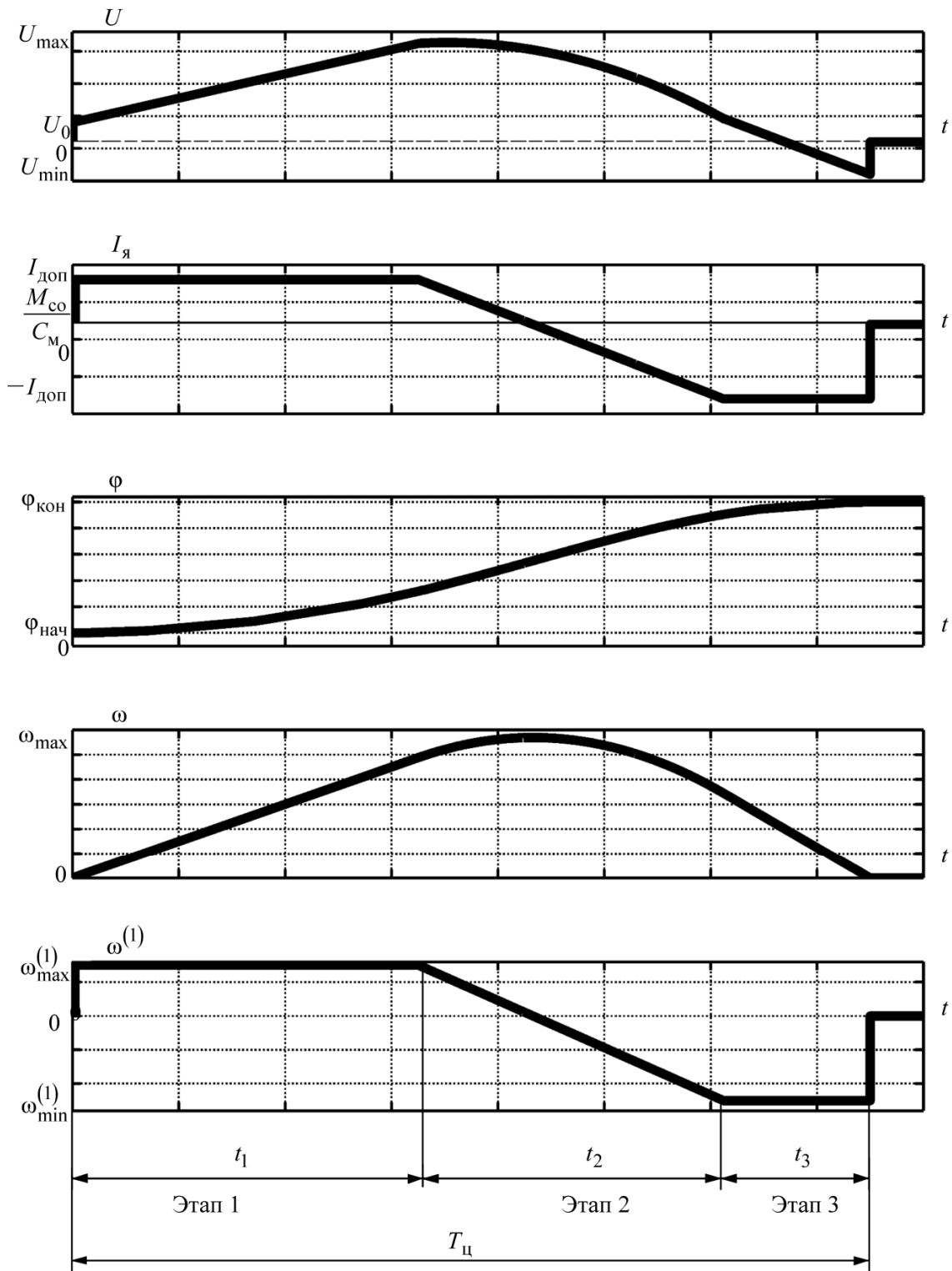


Рис. 3

На рисунках приняты обозначения:

U – напряжение, приложенное к якорной цепи двигателя, В;

U_{\max} – максимальное значение напряжения, приложенного к якорной цепи электродвигателя, В;

U_{\min} – минимальное значение напряжения, приложенного к якорной цепи электродвигателя, В;

U_0 – начальное значение напряжения, приложенное к якорной цепи электродвигателя, В;

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

I_{\max} – максимальное значение тока якорной цепи электродвигателя, А;

I_{\min} – минимальное значение тока якорной цепи электродвигателя, А;

$I_{\text{доп}}$ – допустимое значение тока якорной цепи электродвигателя, А;

$M_{\text{со}}$ – постоянный по величине момент сопротивления электропривода, Н·м;

$C_{\text{м}}$ – коэффициент пропорциональности между током и электромагнитным моментом электродвигателя, В·с;

φ – угол поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\varphi_{\text{нач}}$ – начальное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

$\varphi_{\text{кон}}$ – конечное значение угла поворота исполнительного органа электропривода, рад;

ω – угловая скорость исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

ω_{\max} – максимальное значение угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

$\omega^{(1)}$ – первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

$\omega_{\max}^{(1)}$ – максимальное значение первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

$\omega_{\min}^{(1)}$ – минимальное значение первой производной скорости исполнительного органа электропривода, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$;

$T_{\text{ц}}$ – длительность цикла перемещения, с;

t_1 – длительность первого этапа, с;

t_2 – длительность второго этапа, с;

t_3 – длительность третьего этапа, с.

Для диаграммы, представленной на рисунке 1 справедливы зависимости:

$$T_{\text{ц}} = \sqrt{6 \cdot \frac{(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})}{\omega_{\max}^{(1)}}}; \quad (1)$$

$$\omega_{\min}^{(2)} = -2 \cdot \frac{\omega_{\max}^{(1)}}{T_{\text{ц}}}; \quad (2)$$

$$\omega_{\max}^{(1)} = 6 \cdot \frac{(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}})}{T_{\text{ц}}^2}; \quad (3)$$

$$\omega_{\max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{T_{\text{ц}}}. \quad (4)$$

При увеличении максимального значения первой производной скорости исполнительного органа электропривода $\omega_{\max}^{(1)}$ увеличивается максимальное значение тока якорной цепи электродвигателя I_{\max} . При достижении максимального тока якорной цепи I_{\max} допустимого значения тока якорной цепи электродвигателя $I_{\text{доп}}$ следует использовать оптимальную по минимуму потребляемой энергии диаграмму перемещения исполнительного органа

электропривода постоянного тока с постоянным моментом сопротивления с ограничением максимального значения тока якорной цепи электродвигателя.

Для оптимальной по минимуму потребляемой электроэнергии диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с постоянным моментом сопротивления с ограничением максимального значения тока якорной цепи электродвигателя, представленной на рисунке 2, справедливы зависимости:

$$t_1 = 3 \cdot \frac{J}{T_{\text{ц}}} \cdot \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{C_{\text{м}} I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} - \frac{1}{2} T_{\text{ц}}; \quad (5)$$

$$t_2 = \frac{3}{2} T_{\text{ц}} - 3 \cdot \frac{J}{T_{\text{ц}}} \cdot \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{C_{\text{м}} I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}; \quad (6)$$

$$\omega_{\text{min}}^{(2)} = -2 \cdot \frac{C_{\text{м}} I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{J} \cdot \frac{t_1 + t_2}{t_2^2}; \quad (7)$$

$$\omega_{\text{max}} = \frac{1}{4} \cdot \frac{C_{\text{м}} I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{J} \cdot \frac{(2t_1 + t_2)^2}{t_1 + t_2}; \quad (8)$$

$$\omega_{\text{max}}^{(1)} = \frac{C_{\text{м}} I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{J}; \quad (9)$$

$$\omega_{\text{min}}^{(1)} = -\frac{C_{\text{м}} I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{J} \cdot \frac{2t_1 + t_2}{t_2}; \quad (10)$$

где J – момент инерции электропривода, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

При дальнейшем уменьшении длительности цикла $T_{\text{ц}}$ минимальное значение тока якорной цепи электродвигателя достигает допустимого значения тока якорной цепи электродвигателя со знаком «минус» $-I_{\text{доп}}$. При этом следует использовать оптимальную по минимуму потребляемой энергии диаграмму перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с постоянным моментом сопротивления с ограничениями максимального и минимального значений тока якорной цепи электродвигателя.

Для оптимальной по минимуму потребляемой электроэнергии диаграммы перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с постоянным моментом сопротивления с ограничениями максимального и минимального значений тока якорной цепи электродвигателя, представленной на рисунке 3, справедливы зависимости:

$$t_2 = \sqrt{3 \cdot \frac{C_M^2 I_{\text{доп}}^2 - M_{\text{со}}^2}{C_M^2 I_{\text{доп}}^2} \cdot T_{\text{ц}}^2 - 12J \cdot \frac{\Phi_{\text{кон}} - \Phi_{\text{нач}}}{C_M I_{\text{доп}}}}; \quad (11)$$

$$t_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{C_M I_{\text{доп}}} \cdot T_{\text{ц}} - \frac{1}{2} t_2; \quad (12)$$

$$t_3 = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{C_M I_{\text{доп}}} \cdot T_{\text{ц}} - \frac{1}{2} t_2; \quad (13)$$

$$\omega_{\text{min}}^{(2)} = -2 \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}}}{J t_2}; \quad (14)$$

$$\omega_{\text{max}}^{(1)} = \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{J}; \quad (15)$$

$$\omega_{\text{min}}^{(1)} = -\frac{C_M I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{J}; \quad (16)$$

$$\omega_{\text{max}} = \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{J} \cdot \left[t_1 + \frac{1}{4} \cdot \frac{C_M I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{C_M I_{\text{доп}}} \cdot t_2 \right]. \quad (17)$$

На рисунке 4 приведено устройство, формирующее оптимальную по минимуму потребляемой электроэнергии диаграмму перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с постоянным моментом сопротивления без ограничений его координат.

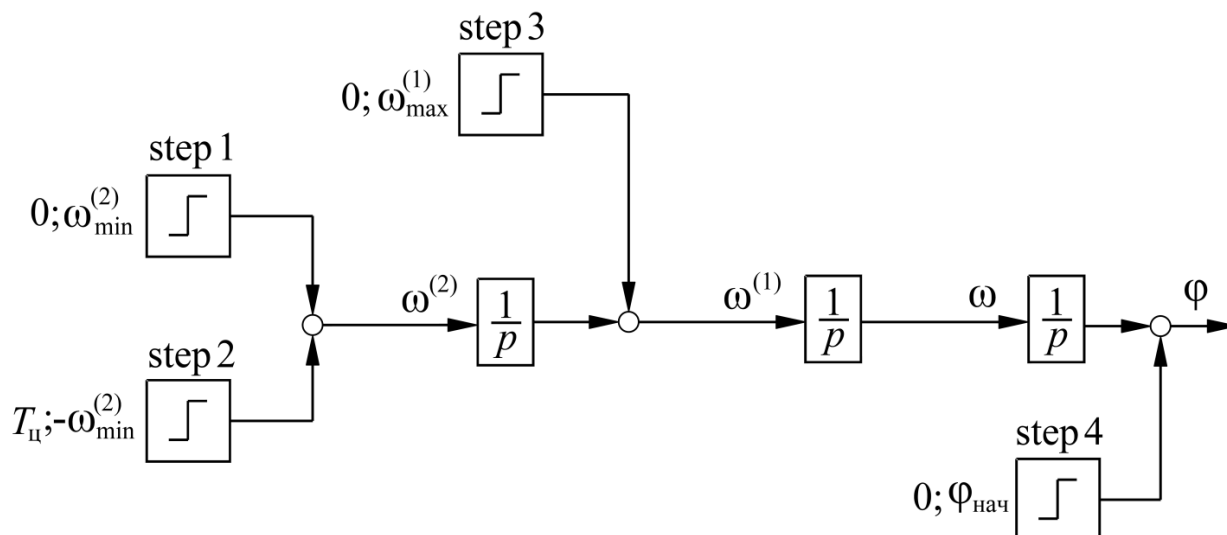


Рис. 4

Для формирования второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода используются два блока генератора ступенчатого сигнала step 1 и step 2, а также блок алгебраического суммирования. Функция первой производной угловой скорости исполнительного органа определяется интегрированием функции второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, для чего применен первый интегратор и использованием блока генератора ступенчатого сигнала step 3 с алгебраическим сумматором. Функция угловой скорости исполнительного органа электропривода определяется интегрированием функции первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода для чего применен второй интегратор. Функция угла поворота исполнительного органа электропривода получается интегрированием функции угловой скорости исполнительного органа электропривода для чего используется третий интегратор. Для введения начального значения угла поворота исполнительного органа электропривода применяют step 4 и алгебраический сумматор.

На рисунке 5 представлено устройство, формирующее оптимальную по минимуму потребляемой электроэнергии диаграмму перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с постоянным

моментом сопротивления с ограничением максимального значения тока якорной цепи электродвигателя.

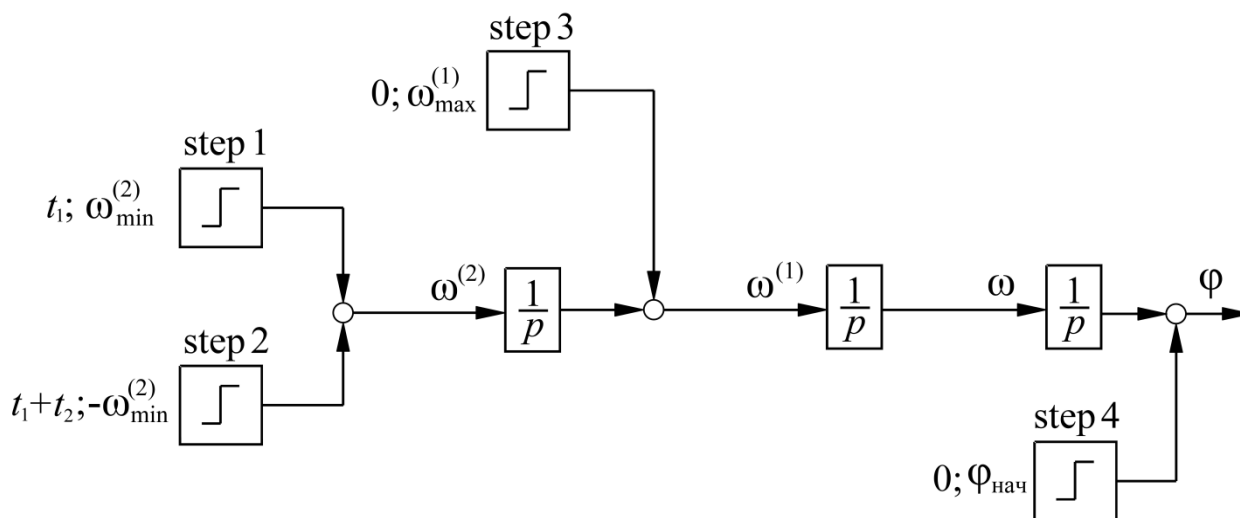


Рис. 5

Для формирования второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода используются два блока генератора ступенчатого сигнала step 1 и step 2, а также блок алгебраического суммирования. Функция первой производной угловой скорости исполнительного органа определяется интегрированием функции второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, для чего применен первый интегратор и использованием блока генератора ступенчатого сигнала step 3 с алгебраическим сумматором. Функция угловой скорости исполнительного органа электропривода определяется интегрированием функции первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода для чего применен второй интегратор. Функция угла поворота исполнительного органа электропривода получается интегрированием функции угловой скорости исполнительного органа электропривода для чего используется третий интегратор. Для введения начального значения угла поворота исполнительного органа электропривода применяют step 4 и алгебраический сумматор.

На рисунке 6 представлено устройство, формирующее оптимальную по минимуму потребляемой электроэнергии диаграмму перемещения исполнительного органа электропривода постоянного тока с постоянным моментом сопротивления с ограничениями максимального и минимального значений тока якорной цепи электродвигателя.

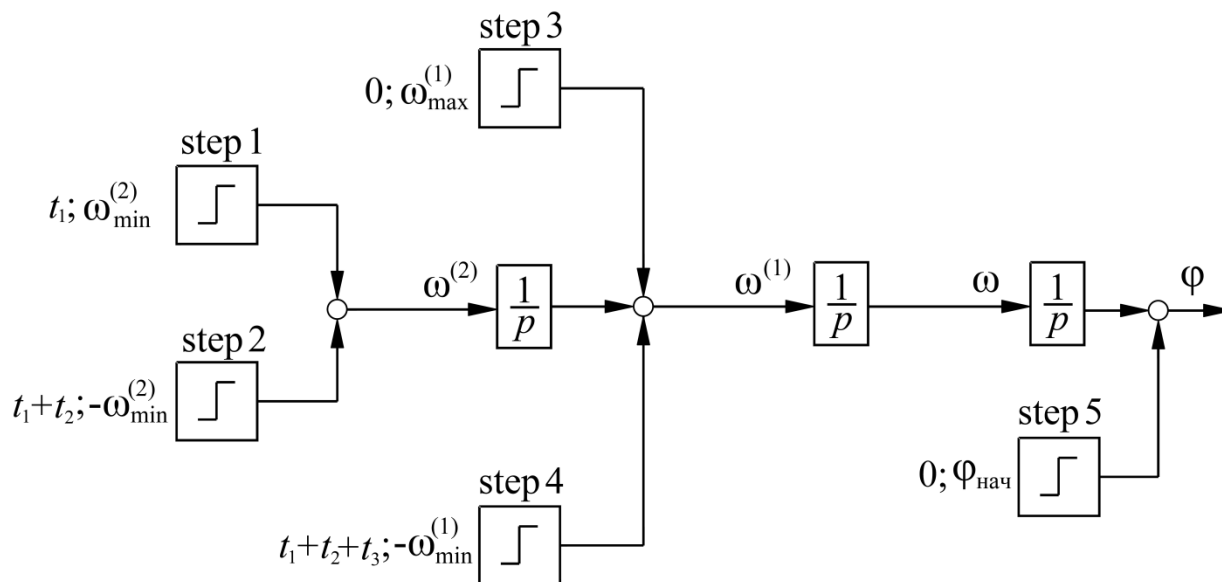


Рис. 6

Для формирования второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода используются два блока генератора ступенчатого сигнала step 1 и step 2, а также блок алгебраического суммирования. Функция первой производной скорости исполнительного органа определяется интегрированием функции второй производной угловой скорости исполнительного органа электропривода, для чего применен первый интегратор и использованием двух блоков генератора ступенчатого сигнала step 3 и step 4 с алгебраическим сумматором. Функция угловой скорости исполнительного органа электропривода определяется интегрированием функции первой производной угловой скорости исполнительного органа электропривода для чего применен второй интегратор. Функция угла поворота исполнительного органа электропривода получается интегрированием функции угловой скорости исполнительного органа электропривода для чего используется третий

интегратор. Для введения начального значения угла поворота исполнительного органа электропривода применяют step 5 и алгебраический сумматор.

ВЫВОДЫ

Разработаны устройства, формирующие оптимальные по минимуму потребляемой электроэнергии диаграммы для малых перемещений исполнительного органа электропривода постоянного тока с постоянным моментом сопротивления.

Реализация предложенных устройств позволит экономить электрическую энергию в позиционных электроприводах постоянного тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добробаба, Ю.П. Управление энергосберегающими позиционными электроприводами с постоянным моментом сопротивления: учебное пособие / Ю.П. Добробаба, А.Ю. Луценко. – Краснодар: ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2015. – 108 с.

REFERENCES

1. Dobrobaba, Ju.P. Upravlenie jenergoseberegajushhimi pozicionnymi jelektroprivodami s postojannym momentom soprotivlenija: uchebnoe posobie / Ju.P. Dobrobaba, A.Ju. Lucenko. – Krasnodar: FGBOU VPO «KubGTU», 2015. – 108 s.

DEVELOPMENT OF DEVICES FORMING OPTIMAL FOR MINIMIZING ELECTRICITY CONSUMPTION DIAGRAMS FOR SMALL DISPLACEMENTS OF THE EXECUTIVE BODIES OF ELECTRIC DRIVES

A.JU. LUTSENKO

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

The article considered the devices that form optimal for minimizing electricity consumption diagrams for small displacements executive DC drive with constant moment resistance.

Keywords: electric drive, small movements, constant moment resistance