

62.83.52:62.503.56

**БЛИЗКАЯ К ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММА  
ДЛЯ БОЛЬШИХ ИЗМЕНЕНИЙ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ  
ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА**



**CLOSE TO OPTIMUM OPTIMUM DIAGRAM  
FOR LARGE CHANGE IN ANGULAR SPEED  
OF THE EXECUTIVE DC CONTROLLER**

**Добробаба Юрий Петрович**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры электроснабжения  
промышленных предприятий,  
Кубанский государственный  
технологический университет

**Овсиенко Виктория Александровна**

студентка,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
alexandrovnav32@mail.ru

**Аннотация.** Для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода разработана трехэтапная близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма. Получен алгоритм, позволяющий определить длительности этапов трехэтапной близкой к оптимальной по быстродействию диаграммы для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода.

**Ключевые слова:** трехэтапная близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма, большие изменения угловой скорости, исполнительный орган электропривода.

**Dobrobaba Yuriy Petrovich**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Associate Professor of the Department  
of Power Supply of Industrial Enterprises,  
Kuban State Technological University

**Ovsienko Victoria Alexandrovna**

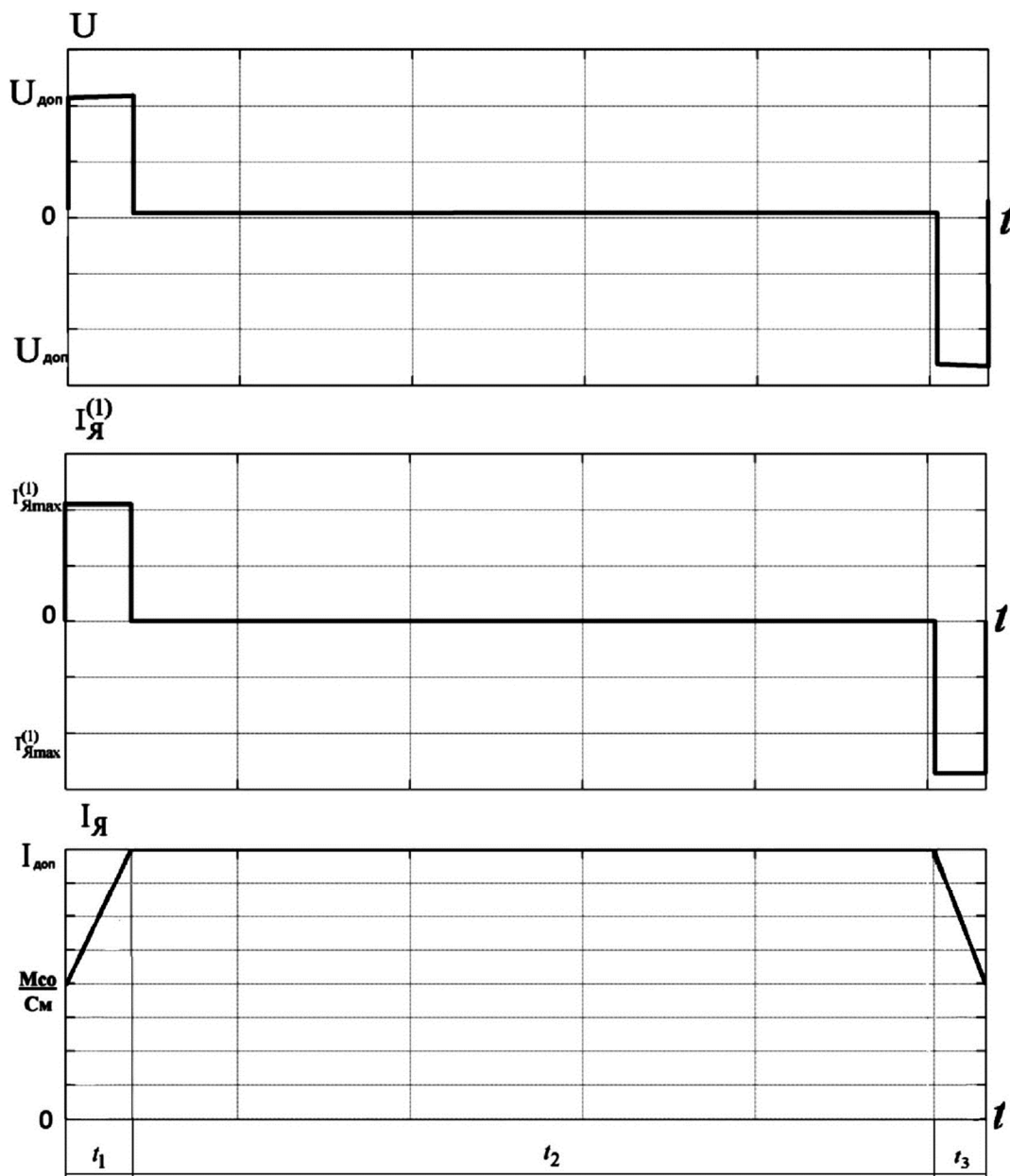
Student,  
Kuban State Technological University  
alexandrovnav32@mail.ru

**Annotation.** For large changes in the angular velocity of the actuator, the electric drive has developed a three-stage diagram that is close to optimal in speed. An algorithm is obtained that allows one to determine the duration of the three-stage stages close to the optimal speed diagram for large changes in the angular velocity of the actuator's actuator.

**Keywords:** three-stage diagram close to optimal in speed, large changes in angular velocity, the Executive body of the electric drive.

**Н**а рисунке 1 и 2 представлена близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода постоянного тока, состоящая из трех этапов.

На первом этапе напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, ступенчато возрастает до максимально допустимого значения  $U_{доп}$ ; на третьем этапе напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя, ступенчато убывает до максимально допустимого значения со знаком «минус»  $-U_{доп}$ . На первом этапе первая производная тока якорной цепи электродвигателя равна максимальному значению  $I_{max}^{(1)}$ , на третьем этапе первая производная тока якорной цепи электродвигателя равна минимальному значению  $I_{min}^{(1)}$ . На первом этапе ток якорной цепи электродвигателя линейно возрастает от значения  $\frac{M_{CO}}{C_M}$  до максимально допустимого значения  $I_{доп}$ , а на третьем этапе – линейно убывает от максимально допустимого значения  $I_{доп}$  до значения, равного  $\frac{M_{CO}}{C_M}$ . В момент времени  $t_1$  угловая скорость исполнительного органа электропривода равна начальному значению  $\omega_{нач}$  а в момент времени  $t_3$  равна конечному значению  $\omega_{кон}$ . На первом этапе первая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода линейно растет от 0 до максимального значения  $\omega_{max}^{(1)}$ , на третьем этапе линейно убывает от максимального значения  $\omega_{max}^{(1)}$  до 0. На первом этапе вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равна максимальному значению  $\omega_{max}^{(2)}$ ; на третьем этапе вторая производная угловой скорости исполнительного органа электропривода равна минимальному значению  $\omega_{min}^{(2)}$ .



**Рисунок 1** – Близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода постоянного тока (электрические координаты)

Для указанной диаграммы справедливы соотношения:

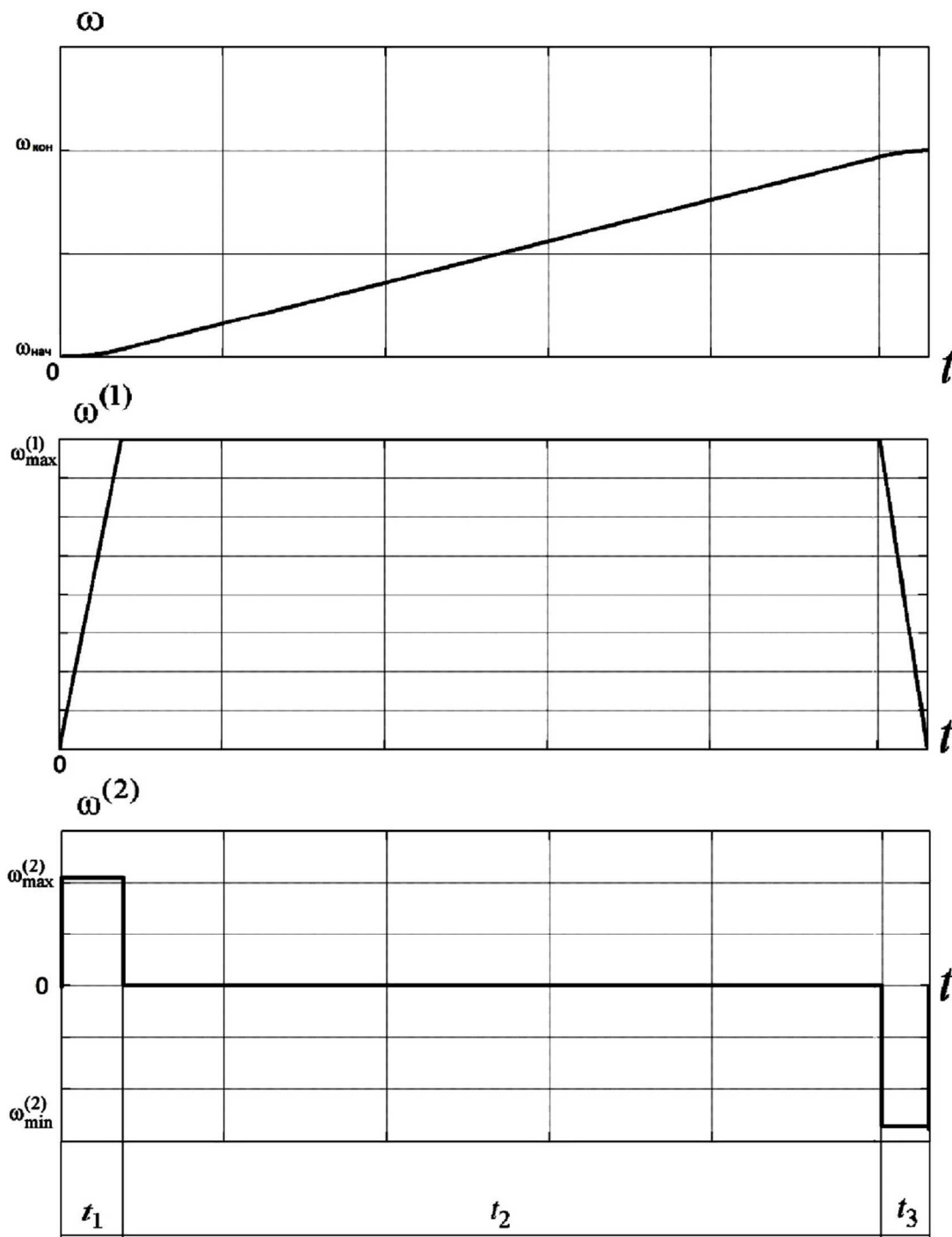
$$\omega_{max}^{(1)} = \frac{C_M I_{доп} - M_{CO}}{J};$$

$$t_1 = \frac{J}{C_M I_{доп} - M_{CO}} \cdot \left( \frac{U_{доп}}{C_e} - \omega_{нач} - \frac{R_{Я} I_{доп}}{C_e} \right) \pm$$

$$\pm \sqrt{\left[ \frac{J}{C_M I_{доп} - M_{CO}} \cdot \left( \frac{U_{доп}}{C_e} - \omega_{нач} - \frac{R_{Я} I_{доп}}{C_e} \right) \right]^2 - 2 \cdot \frac{L_{Я} J}{C_M C_e}};$$

$$\omega_{max}^{(2)} = \frac{\omega_{max}^{(1)}}{t_1},$$

где  $\omega_{max}^{(2)}$  – значение второй производной угловой скорости исполнительного электропривода постоянного тока в конце первого этапа.



**Рисунок 2** – Близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода постоянного тока (механические координаты)

$$\omega_{min}^{(2)} = \frac{C_M}{L_{\text{я}}J} \cdot U_{\text{доп}} - \frac{C_e C_M}{L_{\text{я}}J} \cdot \omega_{кон} - \frac{R_{\text{я}}}{L_{\text{я}}J} \cdot M_{\text{с0}},$$

где  $\omega_{min}^{(2)}$  – значение второй производной угловой скорости исполнительного электропривода постоянного тока в конце третьего этапа.

$$t_3 = \frac{\omega_{max}^{(1)}}{\omega_{min}^{(2)}};$$

$$t_2 = \frac{(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}})}{\omega_{\text{max}}^{(1)}} - \frac{1}{2}t_1 - \frac{1}{2}t_3;$$

$$T_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3;$$

$$\omega_1 = \omega_{\text{нач}} + \frac{1}{2}\omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot t_1;$$

$$\omega_2 = \omega_{\text{нач}} + \omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot \left(\frac{1}{2}t_1 + t_2\right);$$

$$I_{\text{max}}^{(1)} = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\text{max}}^{(2)};$$

$$I_{\text{min}}^{(1)} = \frac{J}{C_M} \cdot \omega_{\text{min}}^{(2)}.$$

Если  $t_2 = 0$ , то  $(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}) = \omega_{\text{зр}}$ ,  
 где  $\omega_{\text{зр}}$  – граничное значение угловой скорости исполнительного электропривода постоянного тока.

$$t_3 = - \left[ \frac{1}{\omega_{\text{max}}^{(1)}} \cdot \left( \frac{U_{\text{доп}}}{C_e} + \omega_{\text{нач}} + \frac{R_{\text{я}}}{C_e C_M} \cdot M_{\text{CO}} \right) + \frac{1}{2}t_1 \right] \pm$$

$$\pm \left[ \frac{1}{\omega_{\text{max}}^{(1)}} \cdot \left( \frac{U_{\text{доп}}}{C_e} + \omega_{\text{нач}} + \frac{R_{\text{я}}}{C_e C_M} \cdot M_{\text{CO}} \right) + \frac{1}{2}t_1 \right]^2 + 2 \cdot \frac{L_{\text{я}} J}{C_e C_M};$$

$$\omega_{\text{min}}^{(2)} = - \frac{\omega_{\text{max}}^{(1)}}{t_3};$$

$$\omega_{\text{гр}} = \frac{1}{2}\omega_{\text{max}}^{(1)} \cdot (t_1 + t_3).$$

В статье рассматривается электропривод, имеющий следующие параметры:

$$C_e = 1,25 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}; C_M = 1,25 \text{ В} \cdot \text{с}; R_{\text{я}} = 5 \text{ Ом}; L_{\text{я}} = 0,1 \text{ Гн}; J = 0,125 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$U_{\text{доп}} = 250 \text{ В}; I_{\text{доп}} = 8 \text{ А}; \omega_{\text{доп}} = 160 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

где  $C_e$  – коэффициент пропорциональности между угловой скоростью и ЭДС электродвигателя,  $\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$ ;  $R_{\text{я}}$  – сопротивление якорной цепи электродвигателя, Ом;  $L_{\text{я}}$  – индуктивность якорной цепи электродвигателя, Гн;  $C_M$  – коэффициент пропорциональности между током и моментом электродвигателя, В·с;  $J$  – момент инерции электропривода, кг·м<sup>2</sup>.

Момент сопротивления электропривода  $M_{\text{CO}} = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

На рисунках 1 и 2 представлена близкая к оптимальной по быстродействию диаграмма для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода постоянного тока, на которой угловая скорость исполнительного органа электропривода изменяется на:  $(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}) = 1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  за время  $T_{\text{ц}} = 0,26689924 \text{ с}$ .

Остальные параметры диаграммы:  $t_1 = 0,001905194 \text{ с}$ ;  $\omega_{\text{max}}^{(2)} = 20995,23723 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$ ;  
 $\omega_{\text{min}}^{(1)} = -27125 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$ ;  $t_3 = 0,001474564 \text{ с}$ ;  $t_2 = 0,023310076 \text{ с}$ .

Проведён численный эксперимент. Получены все параметры близкой к оптимальной по быстродействию диаграммы для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода постоянного тока при различных значениях изменения угловой скорости исполнительного органа механизма  $(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}})$ , которые приведены в таблице 1. По результатам численного эксперимента на рисунке 3 по-

строена зависимость времени цикла  $T_{ц}$  от изменения угловой скорости исполнительного органа электропривода ( $\omega_{кон} - \omega_{нач}$ ).

Таблица 1 – Результаты численного эксперимента при  $\omega_{нач} = 0 \frac{рад}{с}$

$(\omega_{кон} - \omega_{нач}), \frac{рад}{с}$	$t_1, с$	$t_2, с$	$t_3, с$	$T_{ц}, с$	$\omega_{min}^{(2)} \frac{рад}{с^2}$
0	0,00190519	0	0,001481481	0,001693338	-27000
10		0,248339438	0,001415929	0,251660561	-28250
20		0,498369437	0,001355932	0,501630563	-29500
30		0,748396996	0,001300813	0,751603003	-30750
40		0,998422403	0,00125	1,001577597	-32000
50		1,248445899	0,001203008	1,251554101	-33250
60		1,498467693	0,001159420	1,501532307	-34500
70		1,748487963	0,001118881	1,751512038	-35750
80		1,998506862	0,001081081	2,001493138	-37000
90		2,248524527	0,001045752	2,251475473	-38250
100		2,498541074	0,001012658	2,501458926	-39500
110		2,748556605	0,000981595	2,751443395	-40750
120		2,998571213	0,000952381	3,001428787	-42000
130		3,248584975	0,000924855	3,251415025	-43250
140		3,498597965	0,000898876	3,501402035	-44500
150		3,748610245	0,000874317	3,751389755	-45750
160		3,998621871	0,000851064	4,001378129	-47000

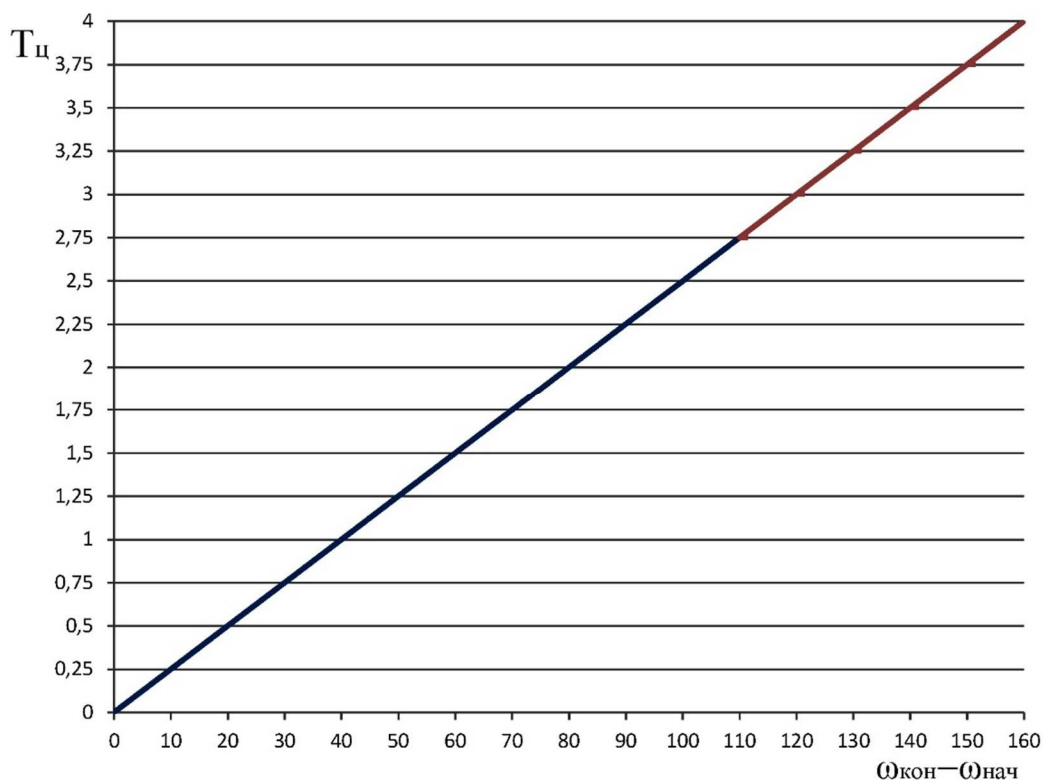


Рисунок 3 – Зависимость времени цикла  $T_{ц}$  от изменения угловой скорости исполнительного органа электропривода ( $\omega_{кон} - \omega_{нач}$ ) при  $\omega_{нач} = 0 \frac{рад}{с}$

### **Выводы**

Таким образом, для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода разработана трехэтапная близкая к оптимальным по быстродействию диаграмма.

Получено математическое обеспечение, позволяющее определить параметры трехэтапной близкой к оптимальной по быстродействию диаграммы для больших изменений угловой скорости исполнительного органа электропривода.