

УДК 62.83.52:62.503.56

АССИМЕТРИЧНАЯ ОПТИМАЛЬНАЯ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ДИАГРАММА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ОСОБО ТОЧНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С УПРУГИМ ВАЛОПРОВОДОМ С ОГРАНИЧЕНИЕМ ПО СКОРОСТИ



ASYMMETRIC SPEED-OPTIMAL DIAGRAM OF THE MOVEMENT OF THE EXECUTIVE BODY OF A PARTICULARLY PRECISE DC ELECTRIC DRIVE WITH AN ELASTIC SHAFT LINE WITH A SPEED LIMIT

Добробаба Юрий Петрович

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

Ульрих Ренат Викторович

студент,
Кубанский государственный
технологический университет

Аннотация. Разработана асимметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничением по скорости. Разработан алгоритм определения параметров асимметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничением по скорости.

Ключевые слова: оптимальная по быстродействию диаграмма, особо точный электропривод.

Dobrobaba Yury Petrovich

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

Ulrikh Renat Viktorovich

Student,
Kuban State Technological University

Annotation. An asymmetric diagram of the movement of the executive body of a particularly precise dc electric drive with an elastic shaft line with a speed limit is developed, which is optimal in terms of speed. An algorithm for determining the parameters of an asymmetric optimal-speed diagram of the movement of the executive body of a particularly precise dc electric drive with an elastic shaft line with a speed limit is developed.

Keywords: the optimum diagramme on speed, high-precision electric drive.

В монографии [1] представлена квазиоптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа электропривода с упругим валопроводом при ограничениях по максимальному и минимальному значениям тока.

В монографии [2] показано, что из-за влияния инерционности системы автоматического регулирования положения реальное перемещение исполнительного органа электропривода отличается от перемещения исполнительного органа электропривода, формируемого задающим устройством, на величину ошибки.

В данной работе для прецизионного электропривода разработана асимметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничением по скорости, состоящая из 27 этапов.

Пятая производная угловой скорости механизма $\omega_2^{(5)}$ на этапах первом, третьем, пятом, девятом, одиннадцатом и тринадцатом принимает максимальное значение $\omega_{\max}^{(5)}$. На этапах втором, четвертом, шестом, восьмом, десятом, и двенадцатом принимаем максимальное значение со знаком «минус» $\omega_{\max}^{(5)}$. На этапе седьмом пятая производная угловой скорости механизма $\omega_2^{(5)}$ равна нулю.

Пятая производная угловой скорости механизма $\omega_2^{(5)}$ на этапах шестнадцатом, восемнадцатом, двадцатом, двадцать втором, двадцать четвертом и двадцать шестом принимаем максимальное значение $\omega_{\max}^{(5)}$. На этапах пятнадцатом, семнадцатом, девятнадцатом, двадцать третьем, двадцать пятом и двадцать седьмом принимает мак-

симальное значение со знаком «минус» $\omega_{\max}^{(5)}$. На этапах седьмом, четырнадцатом и двадцать первом пятая производная угловой скорости механизма $\omega_2^{(5)}$ равна нулю.

На рисунках 1–3 приведена асимметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничением по скорости. Для данной диаграммы перемещения исполнительного органа справедливы следующие четырнадцать уравнений:

$$C_m I_{\text{доп}} = M_{\text{сo}} + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\max}^{(1)}; \quad (1)$$

$$\omega_{\max}^{(4)} = \omega_{\max}^{(5)} \cdot t_1; \quad (2)$$

$$\omega_{\max}^{(3)} = \omega_{\max}^{(4)} \cdot t_1 = \omega_{\max}^{(5)} \cdot t_1^2; \quad (3)$$

$$\omega_{\max}^{(2)} = 2\omega_{\max}^{(3)} \cdot t_1 = 2\omega_{\max}^{(5)} \cdot t_1^3; \quad (4)$$

$$\omega_{\max}^{(1)} = 4\omega_{\max}^{(2)} \cdot t_1 = 8\omega_{\max}^{(5)} \cdot t_1^4; \quad (5)$$

$$\omega_{\text{доп}} = \omega_{\max}^{(1)} \cdot (8t_1 + t_2); \quad (6)$$

$$-C_m I_{\text{доп}} = M_{\text{сo}} + (J_1 + J_2) \cdot \omega_{\min}^{(1)}; \quad (7)$$

$$\omega_{\max}^{(4)*} = \omega_{\max}^{(5)} \cdot t_1; \quad (8)$$

$$\omega_{\max}^{(3)*} = \omega_{\max}^{(4)*} \cdot t_1 = \omega_{\max}^{(5)} \cdot t_1^2; \quad (9)$$

$$\omega_{\max}^{(2)*} = 2\omega_{\max}^{(3)*} \cdot t_1 = 2\omega_{\max}^{(5)} \cdot t_1^3; \quad (10)$$

$$\omega_{\min}^{(1)} = -4\omega_{\max}^{(2)*} \cdot t_1 = 8\omega_{\max}^{(5)} \cdot t_1^4; \quad (11)$$

$$\omega_{\text{доп}} = -\omega_{\min}^{(1)} \cdot (8t_1 + t_3); \quad (12)$$

$$(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \omega_{\text{доп}} \cdot (16t_1 + \frac{1}{2}t_2 + \frac{1}{2}t_3 + t_4); \quad (13)$$

$$T_{\text{ц}} = 32t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (14)$$

где C_m – коэффициент пропорциональности между током якорной цепи электродвигателя и его моментом, В · с;

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

$M_{\text{сo}}$ – момент сопротивления электропривода, Н · м;

J_1 – момент инерции исполнительного органа электродвигателя, кг · м²;

J_2 – момент инерции исполнительного органа механизма, кг · м²;

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

$\omega_{\max}^{(2)}$ – максимальное значение второй производной скорости при разгоне, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$;

$\omega_{\max}^{(3)}$ – максимальное значение третьей производной скорости при разгоне, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$;

$\omega_{\max}^{(4)}$ – максимальное значение четвертой производной скорости при разгоне, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^5}$;

$\omega_{\max}^{(5)}$ – максимальное значение пятой производной скорости при разгоне, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^6}$;

ω_{\max} – допустимое значение скорости, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$;

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

$\omega_{\max}^{(2)*}$ – максимальное значение второй производной скорости при торможении, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$;

$\omega_{\max}^{(3)*}$ – максимальное значение третьей производной скорости при торможении, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^4}$;

$\omega_{\max}^{(4)*}$ – максимальное значение четвертой производной скорости при торможении, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^5}$;

$\omega_{\max}^{(5)}$ – максимальное значение пятой производной скорости при торможении, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^6}$;

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

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

t_1 – длительность первого, третьего, четвертого, шестого, восьмого, десятого, одиннадцатого, тринадцатого, пятнадцатого, семнадцатого, восемнадцатого, двадцатого, двадцать второго, двадцать четвертого, двадцать пятого, двадцать седьмого этапов, с;

$2t_1$ – длительность второго, пятого, девятого, двенадцатого, шестнадцатого, девятнадцатого, двадцать третьего, двадцать шестого этапов, с;

t_2 – длительность седьмого этапа, с;

t_3 – длительность двадцать первого этапа, с;

t_4 – длительность четырнадцатого этапа, с;

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

Для определения параметров асимметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничением по скорости справедливы зависимости

$$\omega_{\max}^{(1)} = \frac{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{J_1 + J_2}; \quad (15)$$

$$\omega_{\max}^{(5)} = \frac{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}}{8 \cdot (J_1 + J_2) \cdot t_1^4}; \quad (16)$$

$$t_2 = \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} - 8t_1; \quad (17)$$

$$\omega_{\min}^{(1)} = -\frac{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{J_1 + J_2}; \quad (18)$$

$$\omega_{\max}^{(5)*} = \frac{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}}{8 \cdot (J_1 + J_2) \cdot t_1^4}; \quad (19)$$

$$t_3 = \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}} - 8t_1; \quad (20)$$

$$t_4 = \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}} - 8t_1; \quad (21)$$

$$T_{\text{ц}} = \frac{\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}}{\omega_{\text{доп}}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}} + 8t_1. \quad (22)$$

Если то $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = \varphi_{\text{гр.2}}$, где

$$\varphi_{\text{гр.2}} = \omega_{\text{доп}} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} - M_{\text{со}}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{(J_1 + J_2) \cdot \omega_{\text{доп}}}{C_m I_{\text{доп}} + M_{\text{со}}} + 8t_1 \right]. \quad (23)$$

Если $t_1 = 0,05$ с, то

$$\varphi_{\text{гр.2}} = 490 \frac{2}{3} \text{ рад.}$$

При этом $t_2 = 3,6$ с; $t_3 = \frac{14}{15}$ с; $t_4 = 0$ с; $T_{\text{ц}} = 6 \frac{2}{15}$ с;

$$\omega_{\max}^{(5)} = 800000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^6}; \quad \omega_{\max}^{(4)} = 40000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5}; \quad \omega_{\max}^{(3)} = 2000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4};$$

$$\omega_{\max}^{(2)} = 200 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \quad \omega_{\max}^{(1)} = 40 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2};$$

$$\omega_{\max}^{(5)*} = 2400000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^6}; \quad \omega_{\max}^{(4)*} = 120000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5}; \quad \omega_{\max}^{(3)*} = 6000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4};$$

$$\omega_{\max}^{(2)*} = 600 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \quad \omega_{\min}^{(1)} = -120 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

Если $t_1 = 0,05$ с и $(\varphi_{\text{кон}} - \varphi_{\text{нач}}) = 570 \frac{2}{3}$ рад, то

$$\begin{aligned}
 t_2 &= 3,6 \text{ с}; t_3 = \frac{14}{15} \text{ с}; t_4 = 0,5 \text{ с}; T_{Ц} = 6 \frac{19}{30} \text{ с}; \\
 \omega_{\max}^{(5)} &= 800000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^6}; \omega_{\max}^{(4)} = 40000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5}; \omega_{\max}^{(3)} = 2000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}; \\
 \omega_{\max}^{(2)} &= 200 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \omega_{\max}^{(1)} = 40 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}; \\
 \omega_{\max*}^{(5)} &= 2400000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^6}; \omega_{\max*}^{(4)} = 120000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^5}; \omega_{\max*}^{(3)} = 6000 \frac{\text{рад}}{\text{с}^4}; \\
 \omega_{\max*}^{(2)} &= 600 \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}; \omega_{\min}^{(1)} = -120 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.
 \end{aligned}$$

Выводы

Для прецизионного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом разработана ассиметричная оптимальная по быстродействию диаграмма перемещения исполнительного органа с ограничением по скорости.

Получен алгоритм, позволяющий определить параметры ассиметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом с ограничением по скорости.

Построены механические и электрические координаты особо точного электропривода постоянного тока с упругим валопроводом от времени при обработке им ассиметричной оптимальной по быстродействию диаграммы перемещения исполнительного органа с ограничением по скорости.

Литература

1. Добробаба Ю.П., Литаш Б.С. Квазиоптимальный по быстродействию программно-управляемый позиционный электропривод: монография // Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар : Изд. ГУО ВПО «КубГТУ», 2009. – 178 с.
2. Добробаба Ю.П., Хорцев А.Л. Особо точный позиционный электропривод постоянного тока: монография. – Краснодар : Изд-во ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2014. – 104 с.

References

1. Dobrobaba Y.P., Litash B.S. Quasi-optimal in terms of speed of the program-controlled positional electric drive: monograph // Kuban State Technological University. – Krasnodar : Publishing house of State Educational Institution of Higher Professional Education «Kuban State Technical University», 2009. – 178 p.
2. Dobrobaba Y.P., Hortsev A.L. Particularly-precise position electric drive of direct current (in Russian) : monograph. – Krasnodar : Izd vo FGBOU VO «KubGTU», 2014. – 104 p.