

УДК 62.83.52:62.503.56

UDC 62.83.52:62.503.56

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВИВШИХСЯ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ВТОРОГО ВИДА В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ТИРИСТОРНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ В РЕЖИМЕ НЕПРЕРЫВНЫХ ТОКОВ

RESEARCH OF THE SECOND TYPE FLUCTUATIONS IN DIRECT CURRENT ELECTRIC DRIVE WITH THYRISTOR CONVERTER IN UNINTERRUPTED CURRENT MODE

Добробаба Юрий Петрович
к.т.н., профессор

Dobrobaba Yurii Petrovitch
Cand.Tech.Sci., professor

Шевченко Жанна Ивановна
к.т.н., доцент

Shevchenko Zhanna Ivanovna
Cand.Tech.Sci., associate professor

Коновалов Федор Вячеславович
студент

Konovalov Fedor Vyacheslavovich
student

Хорцев Анатолий Леонидович
студент
Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

Khortsev Anatoliy Leonidovich
student
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

В статье получено математическое обеспечение, позволяющее определить размахи отклонений тока якорной цепи электродвигателя и отклонений угловой скорости электропривода постоянного тока с тиристорным преобразователем в режиме непрерывных токов

In this article, the software that allows determining the ranges of deviations of a motor anchor chain current and angular velocity deviations of a DC electric drive with a thyristor converter in the continuous currents mode has been presented

Ключевые слова: УСТАНОВИВШИЕСЯ КОЛЕБАНИЯ, РАЗМАХ ОТКЛОНЕНИЙ, РЕЖИМ НЕПРЕРЫВНЫХ ТОКОВ

Keywords: STEADY STATE OSCILLATIONS, RANGE OF DEVIATIONS, UNINTERRUPTED CURRENT MODE

Тиристорные преобразователи обычно используются в промышленности для регулирования координат электропривода.

Математическая модель силовой части электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения имеет вид [1÷3]:

$$\begin{cases} U(t) = C_e \omega(t) + R_{я} \cdot I_{я}(t) + L_{я} \cdot \frac{dI_{я}}{dt}; \\ C_M I_{я}(t) = M_c + J \cdot \frac{d\omega}{dt}(t), \end{cases} \quad (1)$$

где U – напряжение, подаваемое на якорную цепь двигателя, B ;

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

$I_{я}$ – ток якорной цепи электродвигателя, A ;

M_c – момент сопротивления электропривода, $H \cdot м$;

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

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

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

C_M – коэффициент пропорциональности между током и моментом электродвигателя, $В \cdot с$;

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

На выходе двухтактного трехфазного мостового тиристорного преобразователя на интервале $t_B \leq t \leq (t_B + t_p)$ формируется напряжение [3]:

$$U(t) = U_M \cdot \sin \left[\Omega \cdot (t - t_B) + \frac{\pi}{3} + \alpha \right], \quad (2)$$

где Ω – угловая частота, $\frac{рад}{с}$;

t_B – время включения тиристора, $с$;

t_p – время работы тиристора, $с$;

α – угол управления, $рад$.

Применение тиристорного преобразователя приводит в квазиустановившемся режиме к возникновению вынужденных колебаний тока и угловой скорости в системе электропривода.

Цель работы – выяснить влияние индуктивности якорной цепи электродвигателя на величину размахов отклонений тока якорной цепи $\Delta I_{я}$ и отклонений угловой скорости электропривода $\Delta \omega$.

Математическую модель силовой части электропривода постоянного тока с тиристорным преобразователем целесообразно представить в виде [3]:

$$\begin{aligned} & \frac{L_{я}J}{C_e C_M} \cdot \frac{d^2 \omega}{dt^2}(t) + \frac{R_{я}J}{C_e C_M} \cdot \frac{d \omega}{dt}(t) + \omega(t) = \\ & = \frac{U_M}{C_e} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \cdot \sin \Omega \cdot (t - t_B) + \\ & + \frac{U_M}{C_e} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \cdot \cos \Omega \cdot (t - t_B) - \frac{R_{я}M_c}{C_e C_M}. \end{aligned} \quad (3)$$

В зависимости от параметров электропривода возможны два варианта.

Первый (при выполнении условия $\frac{R_{я}J}{C_e C_M} > 4 \cdot \frac{L_{я}}{R_{я}}$) подробно рассмотрен в статье [3]. Увеличение индуктивности якорной цепи электродвигателя (когда $\frac{R_{я}J}{C_e C_M} < 4 \cdot \frac{L_{я}}{R_{я}}$) приводит ко второму варианту. При этом характеристическое уравнение системы представимо в виде:

$$T^2 p^2 + 2\xi T p + 1 = 0, \quad (4)$$

где $T = \sqrt{\frac{L_{я}J}{C_e C_M}}$;

$$\xi = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{R_{я}}{L_{я}} \cdot \frac{R_{я}J}{C_e C_M}}.$$

Зависимости координат электропривода на интервале времени $t_B \leq t \leq (t_B + t_p)$ имеют вид:

$$\begin{aligned}
 \omega(t) = & \left[\frac{2\xi T \Omega}{T^4 \Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2 \Omega^2 + 1} \cdot \frac{U_M}{C_e} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \right. \\
 & - \frac{1 - T^2 \Omega^2}{T^4 \Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2 \Omega^2 + 1} \cdot \frac{U_M}{C_e} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) + \\
 & \left. + \frac{R_{я} M_c}{C_e C_M} + \omega_{нач} \right] \cdot e^{-\frac{\xi}{T}(t-t_g)} \cdot \cos \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T} (t-t_g) + \\
 & + \left[- \frac{\Omega T}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \frac{-T^2 \Omega^2 - 2\xi^2 + 1}{T^4 \Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2 \Omega^2 + 1} \cdot \frac{U_M}{C_e} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \right. \\
 & - \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \frac{1 + T^2 \Omega^2}{T^4 \Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2 \Omega^2 + 1} \cdot \frac{U_M}{C_e} \times \\
 & \times \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \frac{R_{я} M_c}{C_e C_M} + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \omega_{нач} + \\
 & \left. + \frac{T}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \omega_{нач}^{(1)} \right] \cdot e^{-\frac{\xi}{T}(t-t_g)} \cdot \sin \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T} (t-t_g) + \\
 & + \left[\frac{2\xi T \Omega}{T^4 \Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2 \Omega^2 + 1} \cdot \frac{U_M}{C_e} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) + \right. \\
 & \left. + \frac{1 - T^2 \Omega^2}{T^4 \Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2 \Omega^2 + 1} \cdot \frac{U_M}{C_e} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right] \cdot \sin \Omega (t-t_g) + \\
 & + \left[\frac{1 - T^2 \Omega^2}{T^4 \Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2 \Omega^2 + 1} \cdot \frac{U_M}{C_e} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \right. \\
 & \left. - \frac{2\xi T \Omega}{T^4 \Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2 \Omega^2 + 1} \cdot \frac{U_M}{C_e} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right] \cdot \cos \Omega (t-t_g) - \\
 & - \frac{R_{я} M_c}{C_e C_M}.
 \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 \omega^{(1)}(t) = & \left[-\frac{(1-T^2\Omega^2)\Omega}{T^4\Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2\Omega^2 + 1} \cdot \frac{U_M}{C_e} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \right. \\
 & \left. -\frac{2\xi T\Omega^2}{T^4\Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2\Omega^2 + 1} \cdot \frac{U_M}{C_e} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) + \omega_{\text{нач}}^{(1)} \right] \\
 & \times e^{-\frac{\xi}{T}(t-t_0)} \cdot \cos\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T}(t-t_0) + \\
 & + \left[-\frac{\Omega\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \frac{1+T^2\Omega^2}{T^4\Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2\Omega^2 + 1} \cdot \frac{U_M}{C_e} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) + \right. \\
 & + \frac{1-T^2\Omega^2 + 2\xi^2 T^2\Omega^2}{T\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \frac{1}{T^4\Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2\Omega^2 + 1} \cdot \frac{U_M}{C_e} \times \\
 & \times \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \frac{1}{T\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \frac{R_{\text{я}}M_{\text{с}}}{C_e C_{\text{М}}} - \frac{1}{T\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \omega_{\text{нач}} - \\
 & \left. -\frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \omega_{\text{нач}}^{(1)} \right] \cdot e^{-\frac{\xi}{T}(t-t_0)} \cdot \sin\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T}(t-t_0) + \\
 & + \frac{\Omega}{T^4\Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2\Omega^2 + 1} \cdot \left[2\xi T\Omega \cdot \frac{U_M}{C_e} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) + \right. \\
 & \left. + (1-T^2\Omega^2) \cdot \frac{U_M}{C_e} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right] \cdot \cos\Omega(t-t_0) - \\
 & - \frac{\Omega}{T^4\Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2\Omega^2 + 1} \cdot \left[(1-T^2\Omega^2) \cdot \frac{U_M}{C_e} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \right. \\
 & \left. - 2\xi T\Omega \cdot \frac{U_M}{C_e} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right] \cdot \sin\Omega(t-t_0). \tag{6}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{я}}(t) = & \frac{M_{\text{с}}}{C_{\text{М}}} - \frac{J}{C_{\text{М}}} \cdot \left[\frac{(1-T^2\Omega^2)\Omega}{T^4\Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2\Omega^2 + 1} \cdot \frac{U_{\text{М}}}{C_{\text{е}}} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) + \right. \\
 & \left. + \frac{2\xi T\Omega^2}{T^4\Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2\Omega^2 + 1} \cdot \frac{U_{\text{М}}}{C_{\text{е}}} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \omega_{\text{нач}}^{(1)} \right] \times \\
 & \times e^{-\frac{\xi}{T}(t-t_{\theta})} \cdot \cos\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T}(t-t_{\theta}) - \\
 & - \frac{J}{C_{\text{М}}} \cdot \left[\frac{\xi\Omega}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \frac{1+T^2\Omega^2}{T^4\Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2\Omega^2 + 1} \cdot \frac{U_{\text{М}}}{C_{\text{е}}} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \right. \\
 & - \frac{1-T^2\Omega^2 + 2\xi^2 T^2\Omega^2}{T\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \frac{1}{T^4\Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2\Omega^2 + 1} \cdot \frac{U_{\text{М}}}{C_{\text{е}}} \times \\
 & \times \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) + \frac{1}{T\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \frac{R_{\text{я}}M_{\text{с}}}{C_{\text{е}}C_{\text{М}}} + \frac{1}{T\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \omega_{\text{нач}} + \\
 & \left. + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \omega_{\text{нач}}^{(1)} \right] \cdot e^{-\frac{\xi}{T}(t-t_{\theta})} \cdot \sin\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T}(t-t_{\theta}) + \\
 & + \frac{J}{C_{\text{М}}} \cdot \frac{\Omega}{T^4\Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2\Omega^2 + 1} \cdot \left[2\xi T\Omega \cdot \frac{U_{\text{М}}}{C_{\text{е}}} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) + \right. \\
 & \left. + (1-T^2\Omega^2) \cdot \frac{U_{\text{М}}}{C_{\text{е}}} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right] \cdot \cos\Omega(t-t_{\theta}) - \\
 & - \frac{J}{C_{\text{М}}} \cdot \frac{\Omega}{T^4\Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2\Omega^2 + 1} \cdot \left[(1-T^2\Omega^2) \cdot \frac{U_{\text{М}}}{C_{\text{е}}} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \right. \\
 & \left. - 2\xi T\Omega \cdot \frac{U_{\text{М}}}{C_{\text{е}}} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right] \cdot \sin\Omega(t-t_{\theta}). \tag{8}
 \end{aligned}$$

Начальные значения угловой скорости $\omega_{\text{нач}}$ и первой производной угловой скорости $\omega_{\text{нач}}^{(1)}$ определяются по формулам:

$$\omega_{\text{нач}} = \frac{A_1 C_2 + A_2 C_1}{B_1 C_2 + B_2 C_1} \cdot \frac{U_M}{C_e} - \frac{R_{\text{я}} M_{\text{с}}}{C_e C_M};$$

$$\omega_{\text{нач}}^{(1)} = \frac{A_2 B_1 - A_1 B_2}{B_1 C_2 + B_2 C_1} \cdot \frac{U_M}{C_e},$$

где

$$A_1 = \frac{1}{T^4 \Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2 \Omega^2 + 1} \cdot \left[2\xi T \Omega \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \right. \\ \left. - (1 - T^2 \Omega^2) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right] \cdot e^{-\frac{1}{3} \frac{\xi \pi}{T \Omega}} \cdot \cos \frac{\pi \sqrt{1 - \xi^2}}{3 T \Omega} + \\ + \frac{1}{\sqrt{1 - \xi^2}} \cdot \frac{1}{T^4 \Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2 \Omega^2 + 1} \times \\ \times \left[-T \Omega (1 - 2\xi^2 - T^2 \Omega^2) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \right. \\ \left. - \xi (1 + T^2 \Omega^2) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right] \cdot e^{-\frac{1}{3} \frac{\xi \pi}{T \Omega}} \cdot \sin \frac{\pi \sqrt{1 - \xi^2}}{3 T \Omega} + \\ + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{T^4 \Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2 \Omega^2 + 1} \cdot \left[2\xi T \Omega \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) + \right. \\ \left. + (1 - T^2 \Omega^2) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right] + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{T^4 \Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2 \Omega^2 + 1} \times \\ \times \left[(1 - T^2 \Omega^2) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - 2\xi T \Omega \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right];$$

$$B_1 = 1 - e^{-\frac{1}{3} \frac{\xi \pi}{T \Omega}} \cdot \cos \frac{\pi \sqrt{1 - \xi^2}}{3 T \Omega} - \frac{\xi}{\sqrt{1 - \xi^2}} \cdot e^{-\frac{1}{3} \frac{\xi \pi}{T \Omega}} \cdot \sin \frac{\pi \sqrt{1 - \xi^2}}{3 T \Omega};$$

$$C_1 = \frac{T}{\sqrt{1 - \xi^2}} \cdot e^{-\frac{1}{3} \frac{\xi \pi}{T \Omega}} \cdot \sin \frac{\pi \sqrt{1 - \xi^2}}{3 T \Omega};$$

$$\begin{aligned}
 A_2 = & \frac{\Omega}{T^4\Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2\Omega^2 + 1} \cdot \left[-(1 - T^2\Omega^2) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \right. \\
 & \left. - 2\xi T\Omega \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right] \cdot e^{-\frac{1}{3} \frac{\xi\pi}{T\Omega}} \cdot \cos\frac{\pi}{3} \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T\Omega} + \\
 & + \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \frac{1}{T^4\Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2\Omega^2 + 1} \times \\
 & \times \left[-\Omega\xi(1 + T^2\Omega^2) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) + \right. \\
 & \left. + \frac{1 - T^2\Omega^2 + 2\xi^2 T^2\Omega^2}{T} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right] \cdot e^{-\frac{1}{3} \frac{\xi\pi}{T\Omega}} \cdot \sin\frac{\pi}{3} \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T\Omega} + \\
 & + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Omega}{T^4\Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2\Omega^2 + 1} \cdot \left[2\xi T\Omega \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) + \right. \\
 & \left. + (1 - T^2\Omega^2) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right] + \\
 & + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{\Omega}{T^4\Omega^4 + 2(2\xi^2 - 1)T^2\Omega^2 + 1} \cdot \left[-(1 - T^2\Omega^2) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) + \right. \\
 & \left. + 2\xi T\Omega \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right];
 \end{aligned}$$

$$B_2 = \frac{1}{T\sqrt{1-\xi^2}} \cdot e^{-\frac{1}{3} \frac{\xi\pi}{T\Omega}} \cdot \sin\frac{\pi}{3} \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T\Omega};$$

$$C_2 = 1 - e^{-\frac{1}{3} \frac{\xi\pi}{T\Omega}} \cdot \cos\frac{\pi}{3} \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T\Omega} + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot e^{-\frac{1}{3} \frac{\xi\pi}{T\Omega}} \cdot \sin\frac{\pi}{3} \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T\Omega}.$$

На рисунках 1÷4 представлены диаграммы напряжения сети U_c , напряжения на выходе двухтактного трехфазного мостового тиристорного преобразователя U , тока якорной цепи электродвигателя $I_{я}$, угловой скорости электропривода ω , первой производной угловой скорости электропривода (ускорение) $\omega^{(1)}$ в режиме непрерывного тока при различных значениях угла управления α и моменте сопротивления электропривода $M_c = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Диаграммы контролируемых координат построены для электропривода, имеющего следующие характеристики:

$$L_{я} = 0,2 \text{ Гн}; R_{я} = 5 \text{ Ом}; C_e = 1,25 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}; C_M = 1,25 \text{ В} \cdot \text{с}; J = 0,028125 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

При этом максимальное значение напряжения на выходе двухтактного трехфазного мостового тиристорного преобразователя принято равным $U_M = 240 \text{ В}$.

При уменьшении момента сопротивления ток якорной цепи электродвигателя уменьшается, а угловая скорость электропривода увеличивается. Для каждого угла управления α существует такое минимальное значение момента сопротивления $M_{c.\min}$, при котором минимальное значение тока якорной цепи электродвигателя принимает нулевое значение. Дальнейшее уменьшение момента сопротивления электропривода приведет к переходу в режим прерывистых токов якорной цепи электродвигателя, что подробно рассмотрено в статье [3].

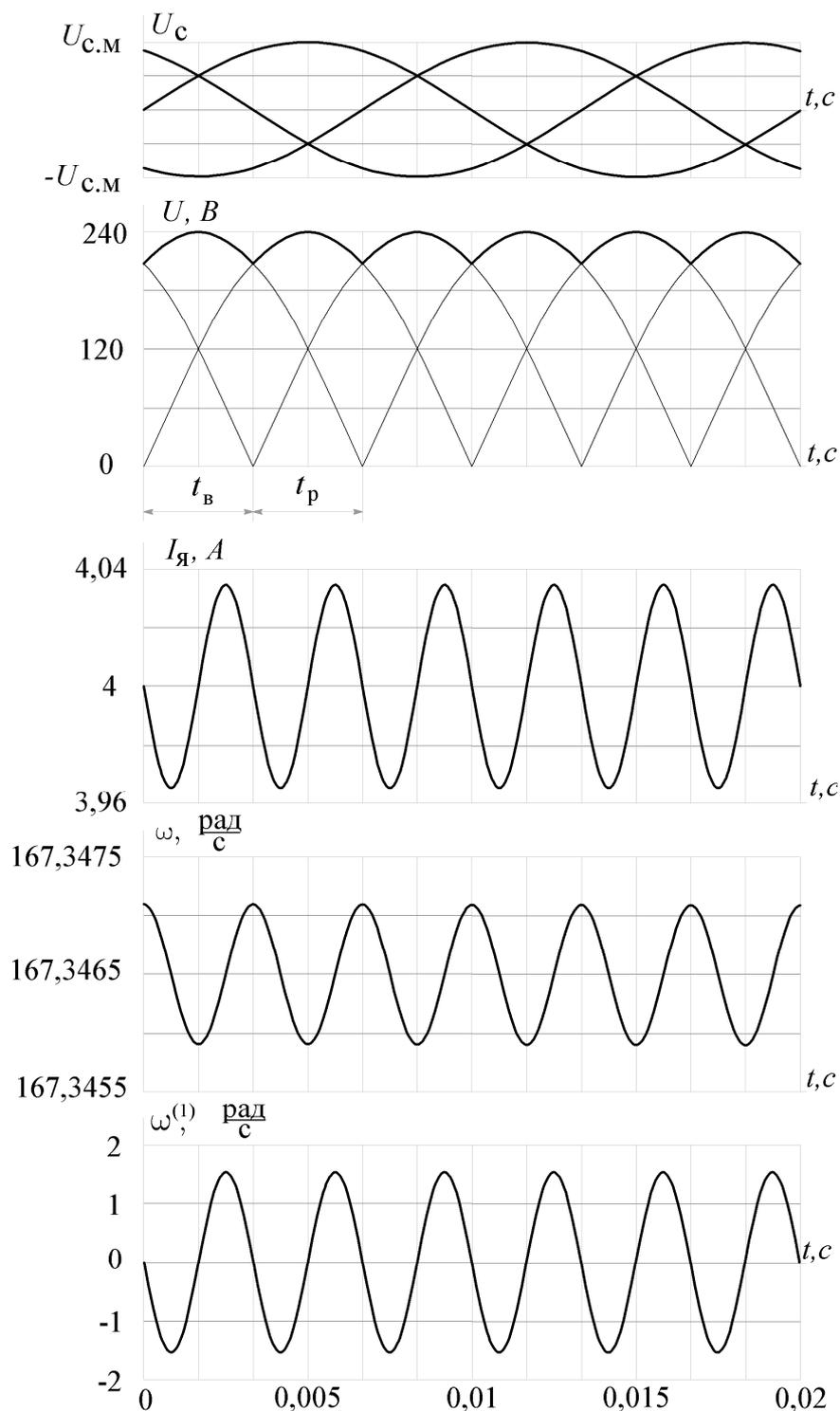


Рисунок 1 – Диаграммы напряжения сети U_c , напряжения на выходе двухтактного трехфазного мостового тиристорного преобразователя U , тока якорной цепи I_a , угловой скорости электропривода ω , первой производной угловой скорости электропривода (ускорение) $\omega^{(1)}$ в режиме непрерывного тока при $\alpha = 0$ и моменте сопротивления электропривода $M_c = 5 H \cdot м$

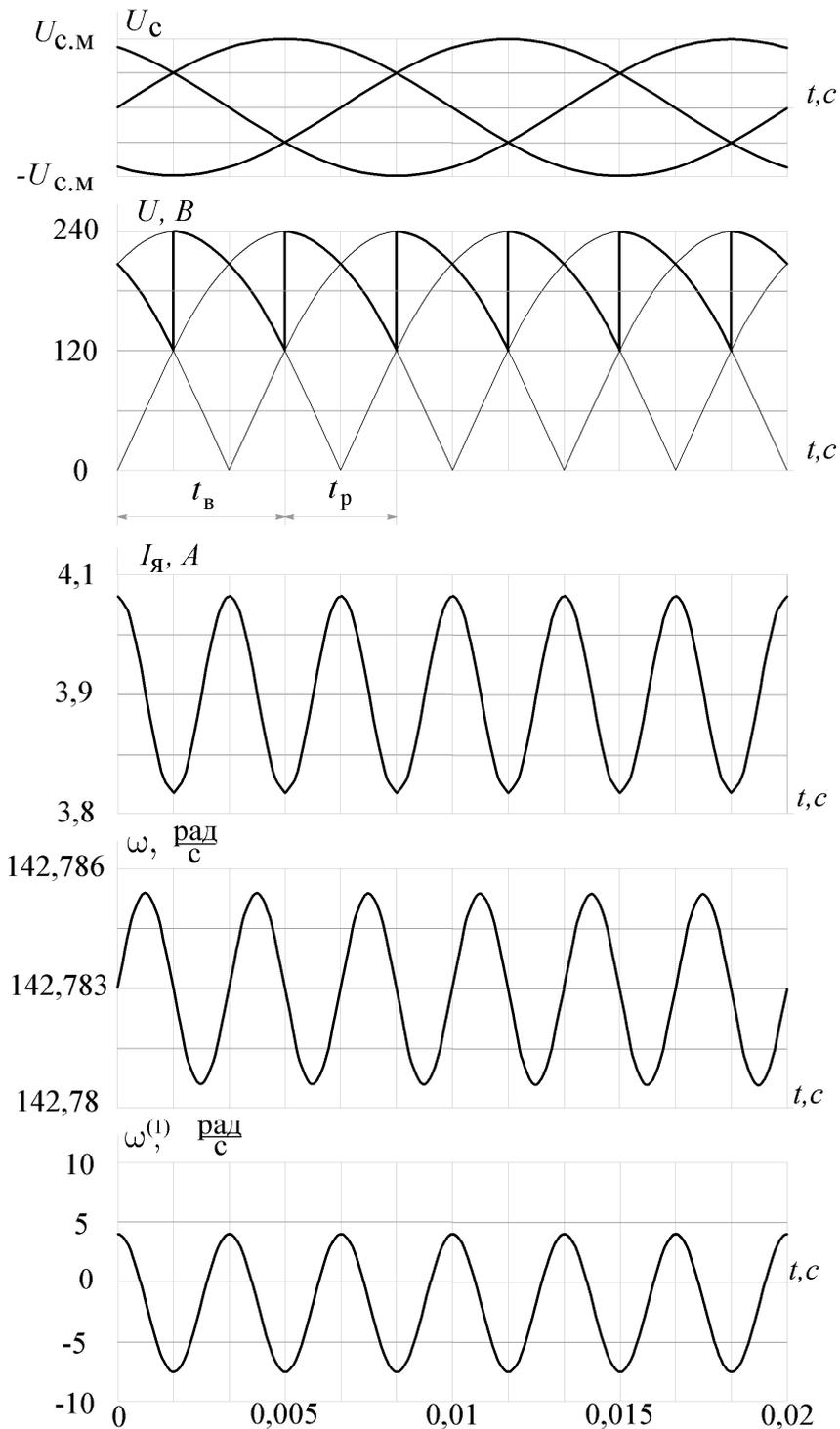


Рисунок 2 – Диаграммы напряжения сети U_c , напряжения на выходе двухтактного трехфазного мостового тиристорного преобразователя U , тока якорной цепи $I_я$, угловой скорости электропривода ω , первой производной угловой скорости электропривода (ускорение) $\omega^{(1)}$ в режиме непрерывного тока при $\alpha = \frac{\pi}{6}$ и моменте сопротивления электропривода $M_c = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}$

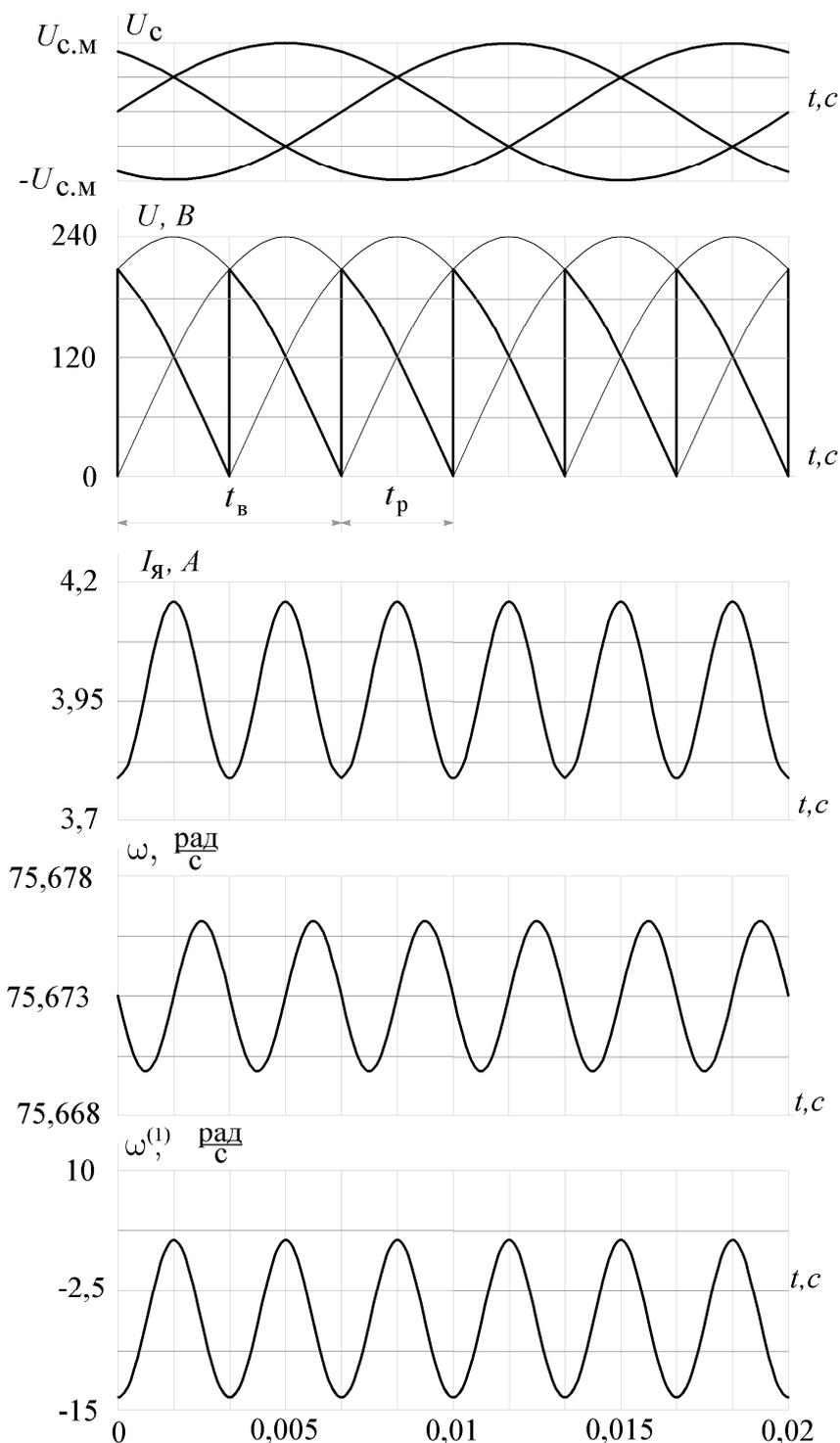


Рисунок 3 – Диаграммы напряжения сети U_c , напряжения на выходе двухтактного трехфазного мостового тиристорного преобразователя U , тока якорной цепи $I_{я}$, угловой скорости электропривода ω , первой производной угловой скорости электропривода (ускорение) $\omega^{(1)}$ в режиме непрерывного тока при $\alpha = \frac{\pi}{3}$ и моменте сопротивления электропривода $M_c = 5 H \cdot м$

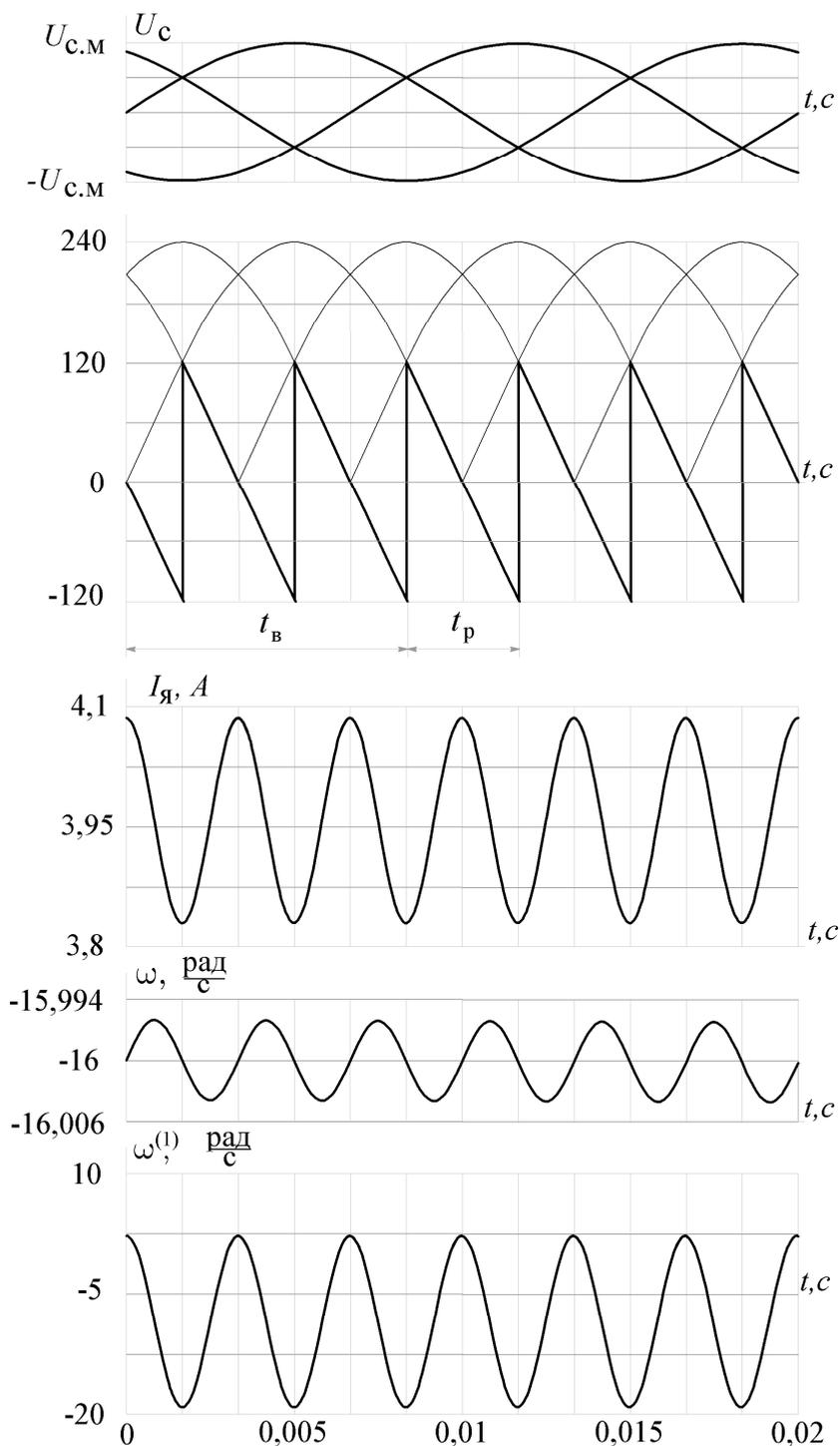


Рисунок 4 – Диаграммы напряжения сети U_c , напряжения на выходе двухтактного трехфазного мостового тиристорного преобразователя U , тока якорной цепи $I_{я}$, угловой скорости электропривода ω , первой производной угловой скорости электропривода (ускорение) $\omega^{(1)}$ в режиме непрерывного тока при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ и моменте сопротивления электропривода $M_c = 5 H \cdot м$

На рисунке 5 для электропривода с индуктивностью якорной цепи электродвигателя $L_{я} = 0,1 \text{ Гн}$; приведены: зависимость размаха отклонений тока якорной цепи электродвигателя $\Delta I_{я}$ от угла управления α ; зависимость размаха отклонений угловой скорости электропривода $\Delta \omega$ от угла управления α [3].

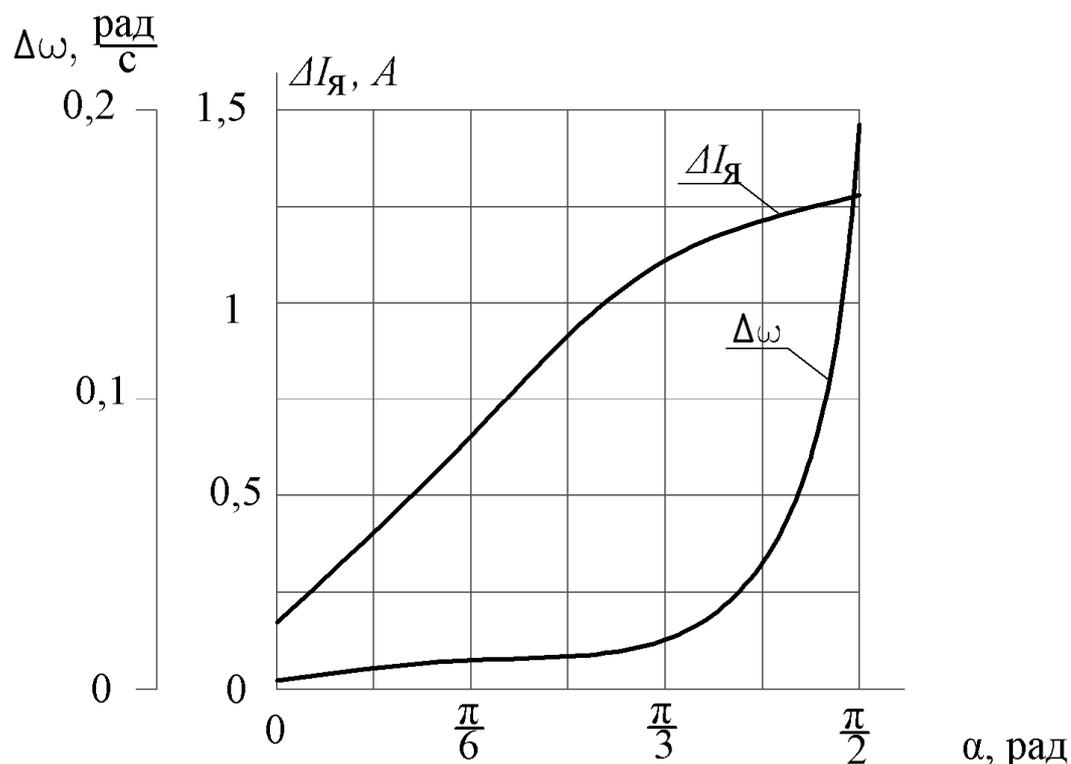


Рисунок 5 – Зависимости размаха отклонений тока якорной цепи электродвигателя $\Delta I_{я}$ и угловой скорости электропривода $\Delta \omega$ от угла управления α

На рисунке 6 для электропривода с индуктивностью якорной цепи электродвигателя $L_{я} = 0,2 \text{ Гн}$; приведены: зависимость размаха отклонений тока якорной цепи электродвигателя $\Delta I_{я}$ от угла управления α ; зависимость размаха отклонений угловой скорости электропривода $\Delta \omega$ от угла управления α .

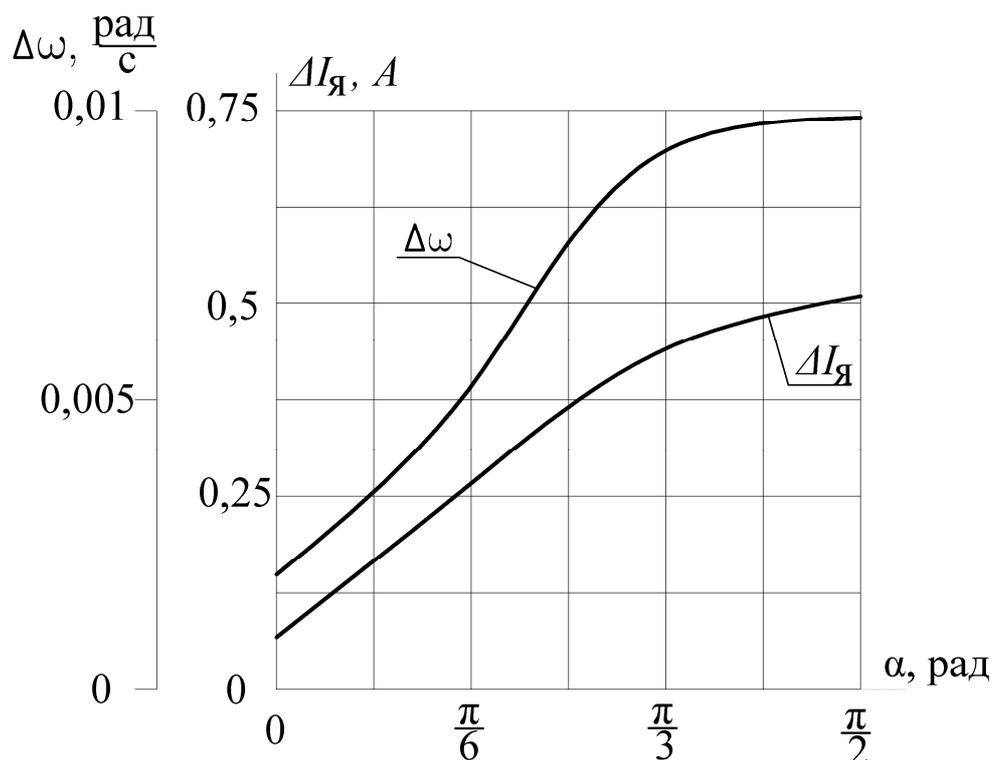


Рисунок 6 – Зависимости размаха отклонений тока якорной цепи электродвигателя $\Delta I_{я}$ и угловой скорости электропривода $\Delta \omega$ от угла управления α

Из рисунков 5 и 6 видно, что увеличение индуктивности позволяет снизить размахи отклонений тока якорной цепи электродвигателя $\Delta I_{я}$ и угловой скорости электропривода $\Delta \omega$.

Выводы

Доказано, что увеличение величины индуктивности якорной цепи электродвигателя позволяет снизить величину размахов отклонений тока якорной цепи $\Delta I_{я}$ и отклонений угловой скорости электропривода $\Delta \omega$.

Полученное математическое обеспечение позволяет определить размахи отклонений электроприводов постоянного тока с тиристорным преобразователем в режиме непрерывных токов при различных величинах индуктивности якорной цепи электродвигателя. Если размах отклонений тока

якорной цепи электродвигателя или размах отклонений угловой скорости электропривода не удовлетворяют требованиям, предъявляемым технологическим процессом, то необходимо разработать соответствующие мероприятия на стадии проектирования.

Список литературы

- 1 Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода. – М.: Энергия, 1979. – 616 с.
- 2 Добробаба Ю.П. Электрический привод. учеб. пособие /Кубан. гос. технол. ун-т. Краснодар: Изд-во ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2013. – 303 с.
- 3 Ю.П. Добробаба, Ж.И. Шевченко, Ф.В. Коновалов, А.Л. Хорцев. Разработка рационального управления позиционным электроприводом постоянного тока с постоянным моментом сопротивления. -Научный журнал КубГАУ №86(02), 2013. Ссылка на интернет-ресурс: <http://ej.kubagro.ru/2013/02/pdf/42.pdf>

References

- 1 Chilikin M.G., Kljuhev V.I., Sandler A.S. Teorija avtomatizirovannogo jelektroprivoda. – M.:Jenergija, 1979. – 616 s.
- 2 Dobrobaba Ju.P. Jelektricheskij privod. ucheb. posobie /Kuban. gos. tehnol. un-t. Krasnodar: Izd-vo FGBOU VPO «KubGTU», 2013. – 303 s.
- 3 Ju.P. Dobrobaba, Zh.I. Shevchenko, F.V. Konovalov, A.L. Horcev. Razrabotka racional'nogo upravlenija pozicionnym jelektroprivodom postojannogo toka s postojannym momentom soprotivlenija. -Nauchnyj zhurnal KubGAU №86(02), 2013. Ssylka na internet-resurs: <http://ej.kubagro.ru/2013/02/pdf/42.pdf>