

- **НАБЛЮДАТЕЛЬ ТОКА НАГРУЗКИ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

- **Евдокимов П.А.**

- **Научный руководитель: профессор
Кунинин П.Н.**

- *Сибирский государственный
индустриальный университет*

- *г. Новокузнецк*

- Синтез систем каскадного управления электроприводом осуществляется по управляющему воздействию, причем реакция системы на возмущение нагрузкой существенно зависит от параметров объекта управления. Так для электродвигателей большой мощности при пропорциональном регуляторе скорости статизм системы может превышать 30%. Применение системы с пропорционально-интегральным (ПИ) регулятором уменьшает быстродействие системы управления более чем в два раза, что приводит к большому перерегулированию тока якоря электродвигателя свыше 50% при отработке скачкообразного возмущающего воздействия по нагрузке.

- Уменьшить статизм системы с пропорциональным регулятором скорости, сохранить ее быстродействие и уменьшить перерегулирование тока при приложении нагрузки можно введением компенсирующей обратной связи по току нагрузки, обеспечивая тем самым, согласно [1], упреждающее управление, которое обеспечивает отработку нагрузки с существенно меньшим перерегулированием тока электродвигателя, чем система с ПИ регулятором.
- Отсутствие простых, достаточно точных и надежных датчиков для измерения тока нагрузки переводит задачу в разряд трудноразрешимых. В связи с этим, в данной работе для решения указанной проблемы предлагается простой наблюдатель, построенный на основе легко измеряемых и уже применяемых в системе для формирования обратных связей сигналы по току и скорости электродвигателя. Структурная схема наблюдателя для оценки тока нагрузки электродвигателя постоянного тока, приведена на рисунке 1.

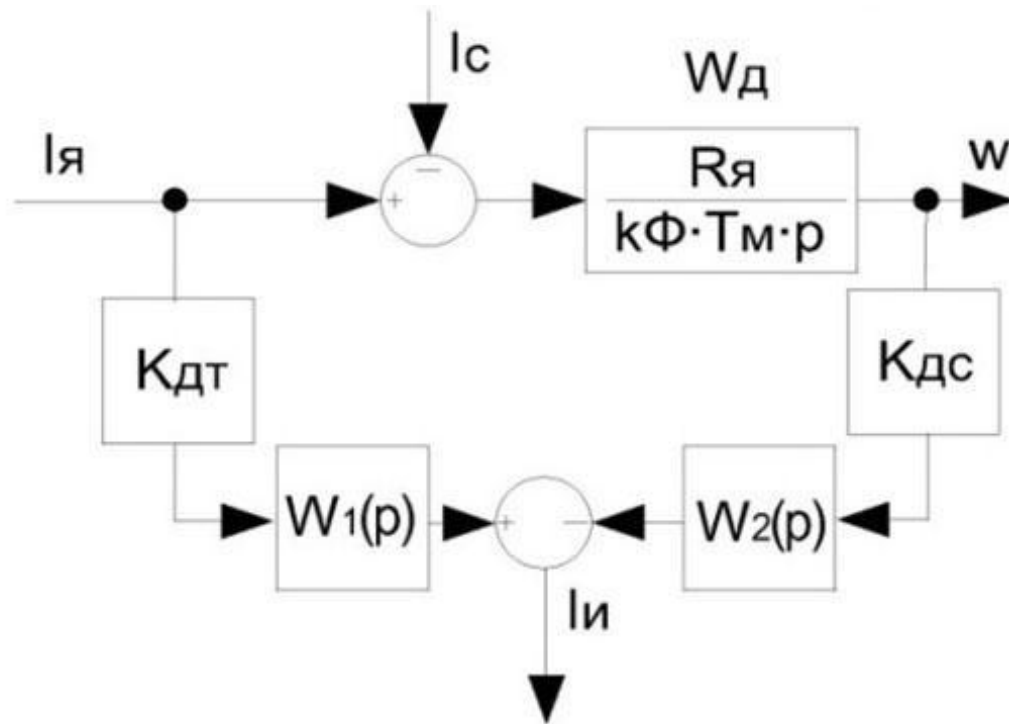


Рисунок 1 – Структурная схема наблюдателя тока нагрузки

- На рисунке 1 приняты следующие обозначения:
- ω – скорость вращения вала электродвигателя; $I_{\text{я}}$, $I_{\text{с}}$ – соответственно полный и ток нагрузки электродвигателя;
- $I_{\text{и}}$ – оценка тока нагрузки наблюдателем;
- $W_{\text{д}}$ - передаточная функция механической части электродвигателя;
- W_1 , W_2 – подлежащие определению динамические звенья наблюдателя;
- $R_{\text{я}}$ – сопротивление якорной цепи электродвигателя;
- $K_{\text{дт}}$, $K_{\text{дс}}$ – коэффициенты преобразования датчиков тока и скорости;

- $\hat{e}\hat{O} = (U_{\beta} - R_{\beta} I_{\beta}) / \omega_{\text{I}} \quad (1)$, где
- $U_{\text{я}}, \omega_{\text{H}}$ - напряжение на якоре и номинальная скорость вращения вала.
- Для определения передаточных функций звеньев W_1, W_2 наблюдателя, по структурной схеме на рисунке 1 запишем операторное уравнение, связывающее оценку $I_{\text{И}}(p)$ возмущающего воздействия с его действительным значением $I_{\text{С}}(p)$:

$$\begin{aligned} I_{\text{И}}(p) &= I_{\text{я}}(p) \cdot K_{\text{дт}} \cdot W_1(p) - [I_{\text{я}}(p) - I_{\text{С}}(p)] \cdot W_{\text{д}}(p) \cdot K_{\text{дс}} \cdot W_2(p) = \\ &= I_{\text{я}}(p) \cdot [K_{\text{дт}} \cdot W_1(p) - W_{\text{д}}(p) \cdot K_{\text{дс}} \cdot W_2(p)] + I_{\text{С}}(p) \cdot W_{\text{д}}(p) \cdot K_{\text{дс}} \cdot W_2(p); \end{aligned}$$

- Оцениваемое значение $I_{\text{И}}(p)$ не должно зависеть от полного тока якоря электродвигателя $I_{\text{я}}(p)$. Для выполнения этого условия потребуем, чтобы выражение в квадратных скобках было равно нулю:
- $K_{\text{дт}} \cdot W_1(p) - W_{\text{д}}(p) \cdot K_{\text{дс}} \cdot W_2(p) = 0, \quad (3)$
- тогда соотношение (2) примет вид:
- $I_{\text{И}}(p) = I_{\text{С}}(p) \cdot W_{\text{д}}(p) \cdot K_{\text{дс}} \cdot W_2(p) . \quad (4)$

- Чтобы удовлетворялось равенство $I_{\text{И}}(p) = I_{\text{С}}(p)$, должно выполняться условие:

$$W_{\text{д}}(p) \cdot K_{\text{дс}} \cdot W_2(p) = 1,$$

откуда имеем:

$$W_2(p) = \frac{1}{K_{\text{дс}} W_{\text{д}}(p)} = \frac{k\Phi T_{\text{М}} p}{K_{\text{дс}} R_{\text{я}}}.$$

- Получили звено чистого дифференцирования. Следовательно, абсолютная точность оценки тока нагрузки трудноразрешима из-за сложности реализации звена чистого дифференцирования. Для практической реализации заменим это звено дифференцирующим звеном в ограниченном диапазоне частот:

$$W_2(p) = \frac{k\Phi T_{\text{М}} p}{K_{\text{дс}} R_{\text{я}} (\delta T_{\text{М}} p + 1)}, \quad \delta \ll 1. \quad (5)$$

- Подставляя выражение для $W_2(p)$ из (5) в (3) найдем:
- $$W_1(p) = W_d(p)W_2(p) \frac{K_{дс}}{K_{дт}} = \frac{K_{дс}}{K_{дт}} \frac{R_{я}k\Phi T_M p}{K_{дс} R_{я}k\Phi T_M p(\delta \cdot T_M p + 1)} = \frac{1}{K_{дт}(\delta T_M p + 1)}. \quad (6)$$
- Чтобы установить связь оценки тока нагрузки $I_{\dot{I}}(p)$ с действительным его значением $I_c(p)$, подставим найденные выражения для $W_2(p)$ из соотношения (5) и $W_1(p)$ из (6) в соотношение (4):
- $$I_{\dot{I}}(p) = \frac{I_c(p)}{\delta T_I p + 1}. \quad (7)$$
- из соотношения (7) следует, что ошибка оценки тока нагрузки тем меньше, чем меньше коэффициент δ . Согласно [1] для реального дифференцирования достаточно принять $\delta=0.2 \dots 0.1$.
- Выполним исследование синтезированного наблюдателя тока нагрузки. Исследования произведем для электродвигателя постоянного тока типа П2-1000-248-14С с номинальными данными [2, с.437, табл. 10.44]: мощность кВт; ток якоря А; частота вращения вала рабочего механизма ; электромеханическая постоянная времени ; сопротивление якорной цепи . Соответствующая модель наблюдателя тока нагрузки приведена на рисунке 2.

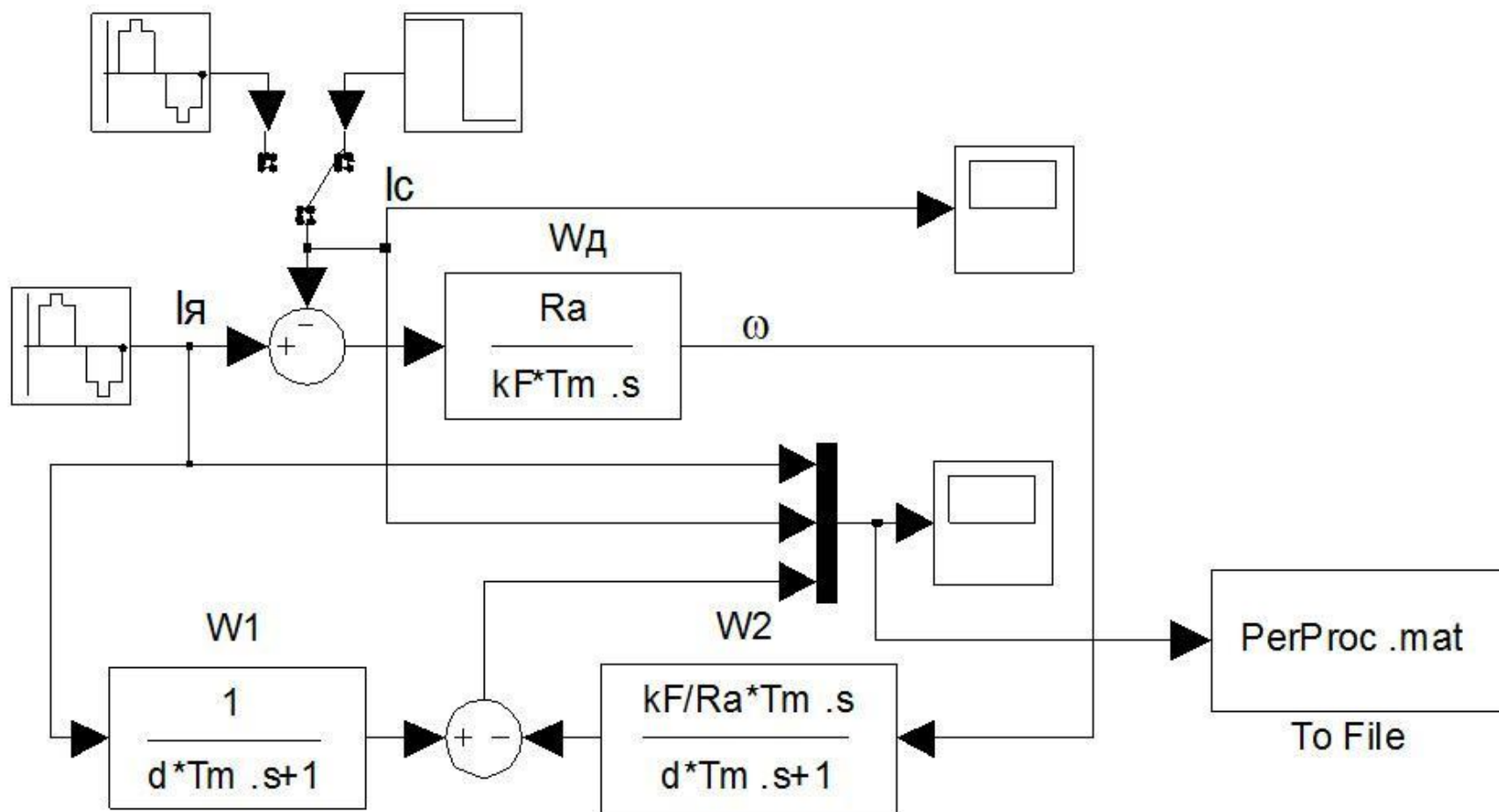


Рисунок 2 – Модель наблюдателя тока нагрузки

- Модель наблюдателя позволяет исследовать различные типы нагрузок I_c : ступенчатое со сбросом воздействие, синусоидальное, косинусоидальное, синусоидальное с начальным фазовым сдвигом. Кроме того, имеется возможность настраивать постоянную времени фильтра, изменяя коэффициент d в звеньях наблюдателя $W1$ и $W2$. Однако, необходимо при этом следить за тем, чтобы не нарушалось соотношение
- $d \cdot T_m > \text{Fixed-step size}$,
- где Fixed-step size – конфигурационный параметр, расположенный в окне Configuration Parameter. Доступ до окна конфигурации осуществляется через последовательность меню: Simulation->Configuration Parameters. Кроме того, Simulink не поддерживает форматирование рисунков для вывода на печать. Чтобы добавить эту возможность воспользуемся компонентом To File, в который записывается матрица данных процессов моделирования.

- На рисунках 3 и 4 показаны кривые действительного тока нагрузки I_c и тока I_i , полученной с помощью наблюдателя при $d=0.1$ при противоположных фазах тока двигателя I_a . Параметр Fixed-step size принят равным 0.001. Сравнение показывает их хорошую сходимость, которая не зависит от вида тока I_a . Если принять $d=0.01$ (рисунок 5), то расхождение действительного I_c и оцененного наблюдателем тока I_i становится исчезающим. При этом необходимо установить Fixed-step size = 0.0001. Аналогичная картина наблюдается на рисунках 6 и 7, где показаны кривые тока при синусоидальном (рисунок 6) и косинусоидальном токах нагрузки. Отклонение I_i от I_c остается в тех же пределах, что и при ступенчатом характере изменения нагрузки.

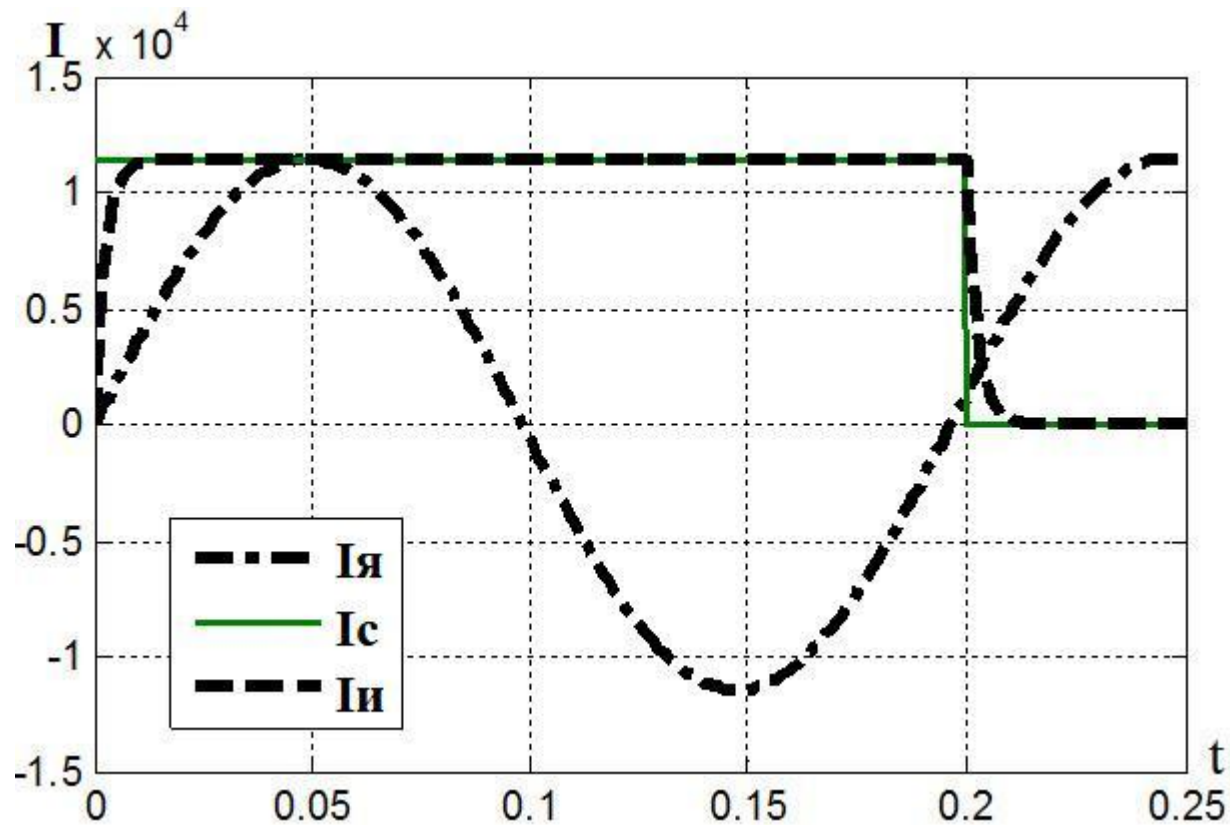


Рисунок 3 – Кривые I_c и $I_{и}$ при $d=0.1$, прямоугольном импульсе тока нагрузки I_c и синусоидальном токе I_a

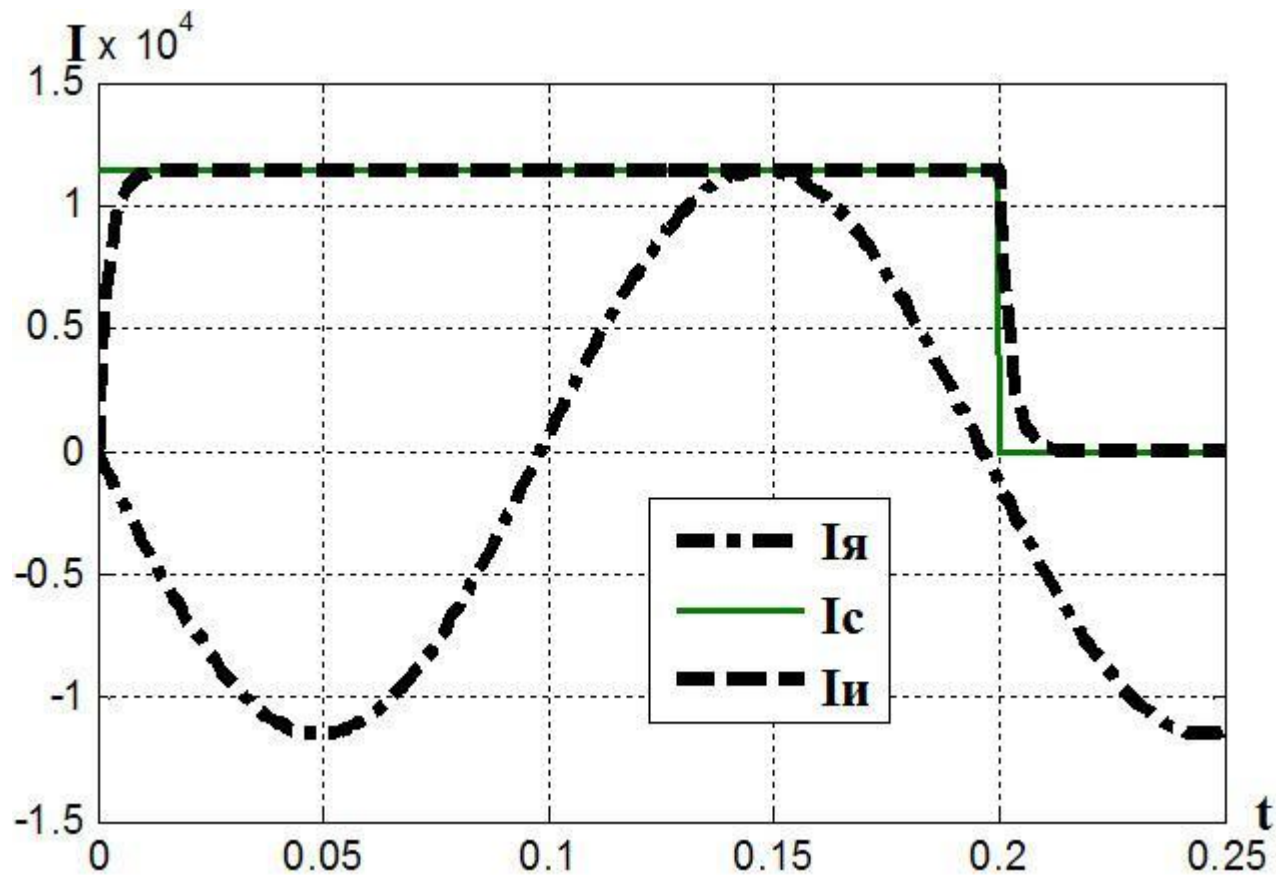


Рисунок 4 – Кривые $I_{\text{с}}$ и $I_{\text{и}}$ при $d=0.1$, прямоугольном импульсе тока нагрузки $I_{\text{с}}$ и синусоидальном $I_{\text{я}}$ (в противофазе по отношению к рисунку 4)

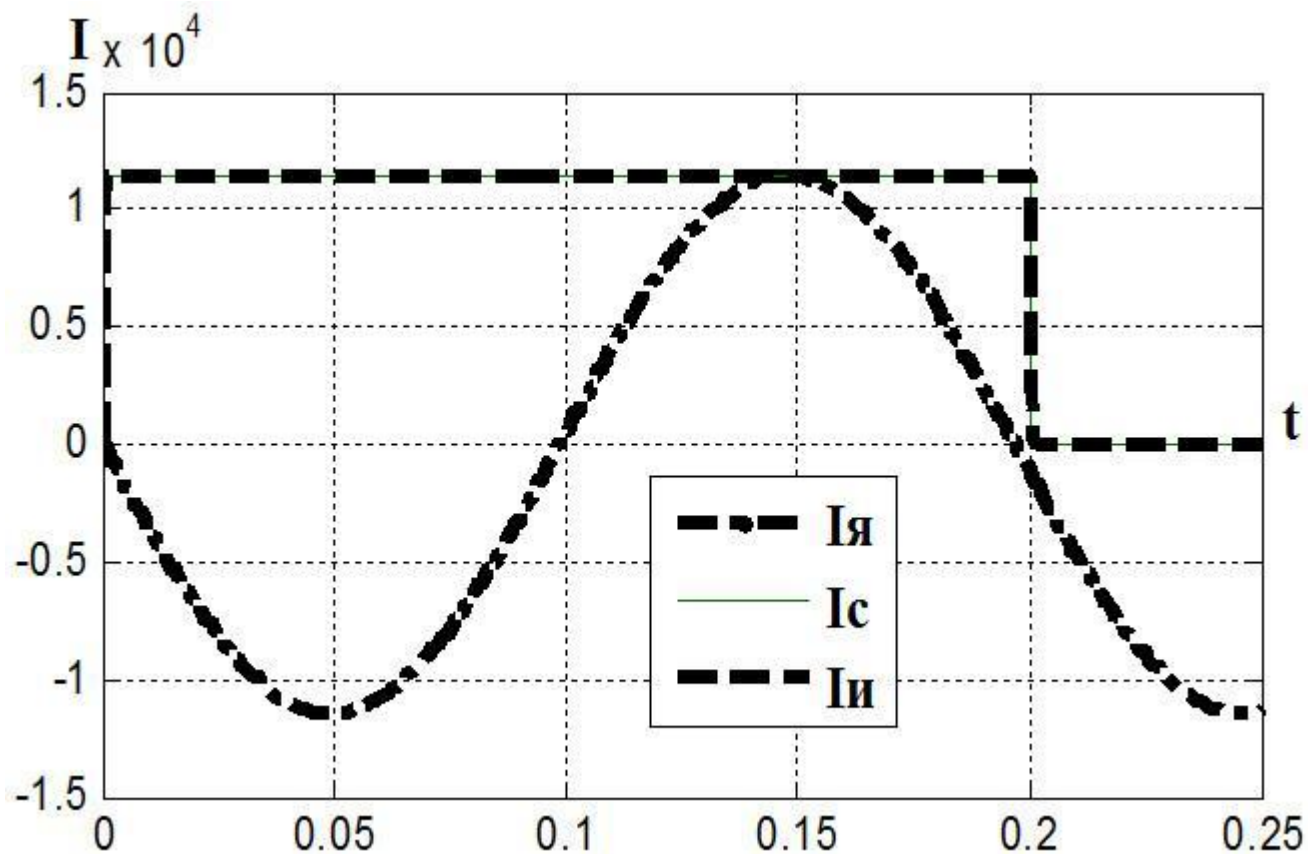


Рисунок 5 - Кривые $I_{\text{с}}$ и $I_{\text{я}}$ при $d=0.01$, прямоугольном импульсе тока нагрузки $I_{\text{с}}$ и синусоидальном токе $I_{\text{я}}$

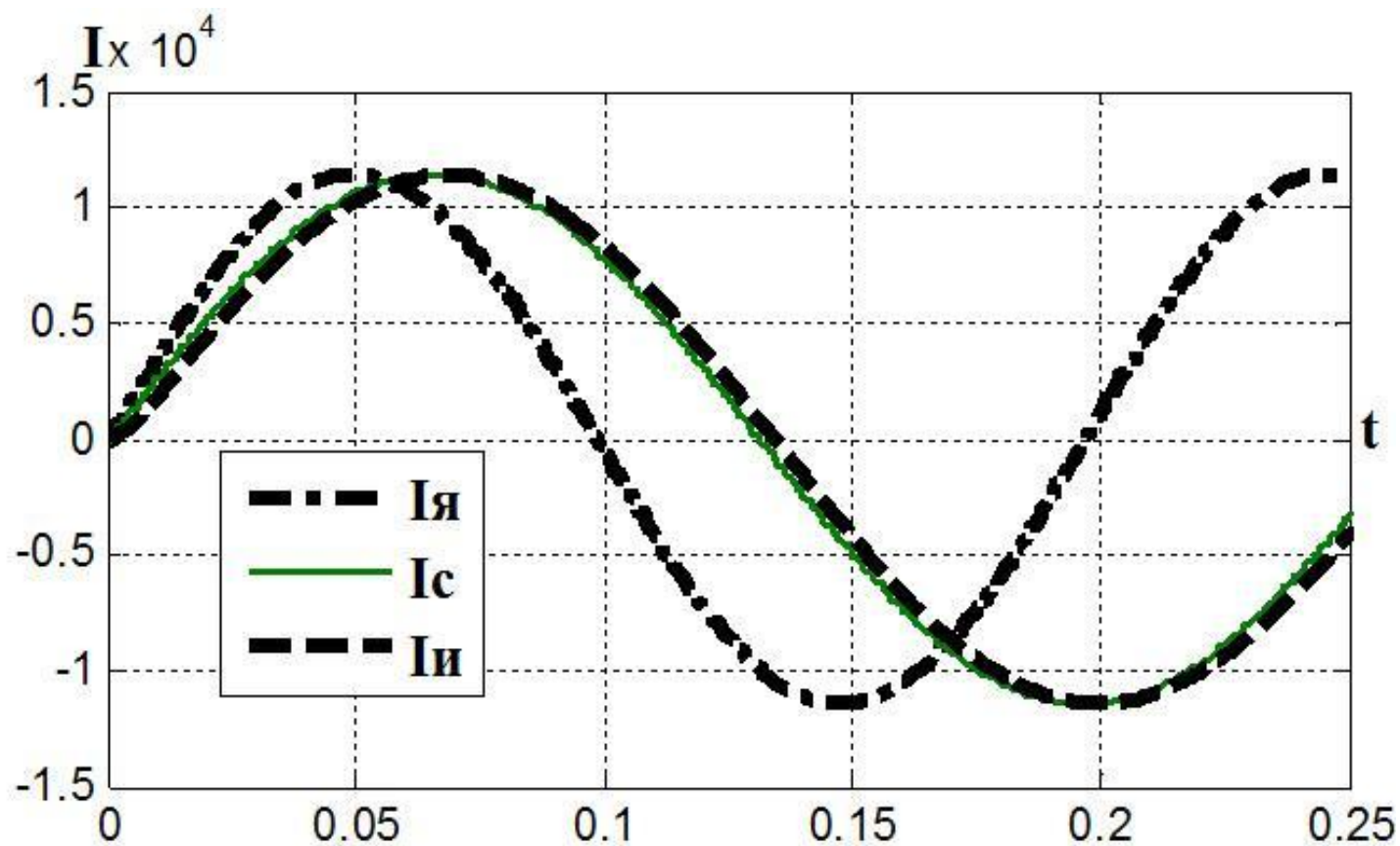


Рисунок 6 - Кривые $I_{\text{с}}$ и $I_{\text{и}}$ при $d=0.1$, синусоидальном токе нагрузки $I_{\text{с}}$ и синусоидальном токе $I_{\text{я}}$

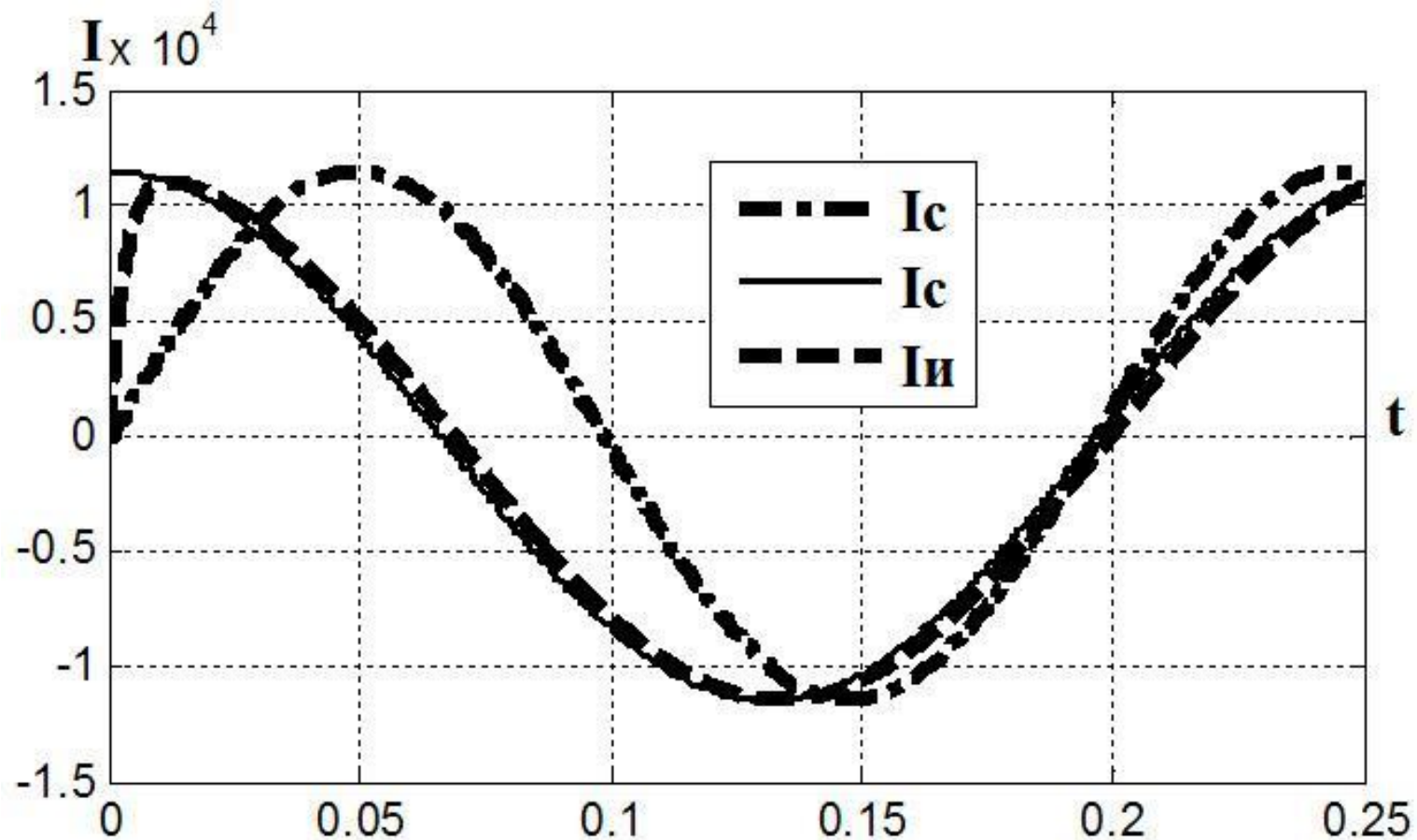


Рисунок 7 - Кривые I_c и $I_{и}$ при $d=0.1$, косинусоидальном токе нагрузки I_c и синусоидальном токе I_a

Выводы:

- Создан простой наблюдать тока нагрузки электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения. Схема наблюдателя отличается предельной простотой, высокой точностью и в силу простоты высокой надежностью.
- В данной работе наблюдатель реализован на аналоговой технике. Но его математическую модель, состоящую из двух передаточных функций (4) и (5) не составит труда преобразовать в уравнения состояния (уравнения в форме Коши), а за тем в разностные уравнения по схеме Эйлера, которые легко представить в виде программы на языке си или ассемблера. Последняя задача является предметом отдельной статьи.

Список использованных источников:

- Олссон Г. Цифровые системы автоматизации и управления [Текст] / Г.Олссон, Д.Пиани.- СПб.: Невский Диалект, 2001. - 557 с.
- Справочник по электрическим машинам [Текст] В 2-х т. / Под ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т.1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. -438 с.